JNC TN9520 2003-006

汎用非線形構造解析システム

FINAS

FINITE ELEMENT NONLINEAR STRUCTURAL ANALYSIS SYSTEM

解析例題書
（第2版）

核燃料サイクル開発機構

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319－1184　茨城県那珂郡東海村村松４番地４９
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to：
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division ,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49　Muramatsu , Tokai-mura , Naka-gun , Ibaraki 319-1184 ,
Japan

©　核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
２００３

Ⓢ

JNC TN9520 2003-006

汎用非線形構造解析システム

FINAS

FINITE ELEMENT NONLINEAR STRUCTURAL ANALYSIS SYSTEM

解析例題書
（第2版）

2003年12月

技術情報室
No.
2004. 2. 03
サイクル機構大洗工学センター

核燃料サイクル開発機構

FINAS 汎用非線形構造解析システム解析例題書（第２版）

岩田耕司*　月森和之**　千葉隆久***
酒井新吉***　上野睦郎+　坂井哲也***
酒井　光***

要　旨

本解析例題書は、汎用非線形構造解析システム（Finite Element Nonlinear Structural Analysis System）による各種解析例を収録したものである。

解析例題書は基礎編と応用編に分かれており、基礎編は解析タイプごとに理論解等の参照解がある基礎的例題を、応用編はより複雑で実際的な例題を取り上げている。各例題は、初心者でも追計算が可能なように、出来る限り全入力データリストと主要結果を載せるようにした。なお、解析についてはすべてFINASのVersion13.0により実行した。

*　核燃料サイクル開発機構　社内公募型研究推進室
**　核燃料サイクル開発機構　大洗工学センター　要素技術開発部
***　株式会社ＣＲＣ総合研究所　産業科学部
+　元株式会社ＣＲＣ総合研究所

FINAS Example Manual (Second Edition)

K.Iwata*, K.Tsukimori**, T.Chiba***,
S.Sakai***, M.Ueno+, T.Sakai***
and H.Sakai***

Introduction

FINAS is a general purpose structural analysis computer program which was developed by Japan Nuclear Cycle Development Institute for the analysis of static, dynamic and thermal responses of elastic and inelastic structures by the finite element method.

This manual contains typical analysis examples that illustrate applications of FINAS to a variety of structural engineering problems.

The first part of this manual presents fundamental examples in which numerical solutions by FINAS are compared with some analytical reference solutions, and the second part of this manual presents more complex examples intended for practical application.

All the input data images and principal results for each problem are included in this manual for beginners' conveninence.

All the analyses are performed by using the FINAS Version 13.0.

---

* Japan Nuclear Cycle Development Institute, Innovative Research Promotion Office

** Japan Nuclear Cycle Development Institute, O-arai Engineering Center, Advanced Technology Division

*** CRC Solutions Corp., Industrial & Scientific System Dept.

+ Formerly, CRC Solutions Corp.

目　次

Ⅰ. 基礎編 …… 1

1. 概要 …… 3

2. 静的解析 …… 5

2.1 線形解析 …… 5
2.1.1 トラスの弾性解析 …… 5
2.1.2 内圧を受ける有孔円板の弾性解析 …… 11
2.1.3 肉厚方向に温度分布のある円筒の熱弾性解析 …… 14
2.1.4 外圧を受ける浅い球殻の弾性解析 …… 23
2.1.5 薄肉円筒の曲げ解析(非軸対称荷重解析) …… 31
2.1.6 オフセット機能を用いたⅠ型断面梁の曲げ解析 …… 39
2.1.7 偏心荷重が作用する梁の弾性解析 …… 45

2.2 非線形解析 …… 51
2.2.1 並列2本棒の弾塑性解析 …… 51
2.2.2 直列2本棒の弾性クリープ解析 …… 61
2.2.3 肉厚方向に温度分布のある円筒の熱弾塑性クリープ解析 …… 71
2.2.4 地盤の弾塑性解析 …… 78
2.2.5 摩擦を考慮した弾性接触問題解析 …… 88
2.2.6 2本棒トラスの線形および非線形座屈荷重解析 …… 95
2.2.7 柱状構造物の弾塑性大変形解析 …… 114

2.3 破壊力学解析 …… 127
2.3.1 中央き裂板の線形破壊力学解析 …… 127
2.3.2 仮想き裂進展法による破壊力学パラメータ解析 …… 136

3. 動的解析 …… 145

3.1 モーダル法 …… 145
3.1.1 ばね質量系の固有値解析 …… 145
3.1.2 片持ち梁のモーダル応答解析 …… 151
3.1.3 単純支持梁の応答スペクトル解析 …… 163

3.2 直接積分法 …… 173
3.2.1 片持ち梁の時刻歴応答解析 …… 173
3.2.2 初期変位のあるばね質量系の自由振動解析 …… 184

3.3 流体・構造連成解析 …… 191
3.3.1 円筒タンクのスロッシング固有値解析 …… 191
3.3.2 矩形タンクのスロッシング固有値解析 …… 200

3.4 周波数応答解析 …… 209
3.4.1 減衰のある1自由度系の周波数応答解析 …… 209

4. 温度解析 …… 217

4.1 定常温度解析 …… 217
4.1.1 円筒の定常温度解析 …… 217
4.1.2 無限板の定常温度解析 …… 224
4.1.3 輻射を含む定常熱伝導解析 …… 231
4.1.4 熱伝導係数の直交異方性を考慮した定常温度解析 …… 237

4.2 非定常温度解析 …… 245
4.2.1 コールド/ホットショックを受ける円筒の非定常温度解析 …… 245
4.2.2 2重管の非定常温度解析 …… 257

5. ユーティリティープログラムの使用例 …… 267

5.1 温度解析と応力解析との連結 …… 267
5.1.1 熱過度を受ける円筒の弾性熱応力解析 …… 267

5.2 リスタートテープの編集 …… 273
5.2.1 熱弾塑性クリープ解析におけるリスタートテープの編集とリスタートテープからの出力 …… 273

Ⅱ. 応用編 …… 279

1. 概要 …… 281

2. 静的解析 …… 283

2.1 線形解析 …… 283
2.1.1 パイプ結合部の弾性解析 …… 283
2.1.2 面内曲げモーメントを受ける直管付きエルボの弾性解析 …… 293
2.1.3 多種の荷重を受ける配管の弾性解析 …… 305

2.2 非線形解析 …… 313
2.2.1 円筒の熱ラチェッティング解析 …… 313
2.2.2 面内荷重を受ける多孔板の弾塑性解析 …… 322
2.2.3 梁の弾塑性クリープ解析 …… 331
2.2.4 球殻の弾性大変形解析 …… 348
2.2.5 外荷重を受ける片持ち梁の大変形大回転解析 …… 352

2.3 破壊力学解析 …… 363
2.3.1 3 点曲げ試験片の弾性破壊力学解析 …… 363

2.4 面接触解析 …… 373
2.4.1 面接触機能を用いた円板塑性加工解析 …… 373
2.4.2 移動マンドレルを用いた円筒とキャップの引き抜き塑性加工解析 …… 401

3. 動的解析 …… 431

3.1 モーダル法 …… 431
3.1.1 クーリングタワーの固有値解析 …… 431
3.1.2 3 次元骨組構造の応答スペクトル解析 …… 438
3.1.3 モーダル法による円筒タンクの動的応答解析 …… 444

3.2 直接積分法 …… 457
3.2.1 片持ち梁の衝突振動解析 …… 457
3.2.2 直接積分法による円筒タンクの動的応答解析 …… 470
3.2.3 静的縮合機能を用いた固有値解析 …… 479

4. 温度解析 …… 489

4.1 定常温度解析 …… 489
4.1.1 加熱管内を流れる空気の温度上昇解析 …… 489

5. ユーザーサブプログラムによる解析 …… 497

5.1 静的解析 …… 497
5.1.1 クリープひずみを定義するユーザーサブプログラム XCREEP …… 497
5.1.2 スウェリングひずみを定義するユーザーサブプログラム XSWELL …… 503
5.1.3 弾性係数マトリックスを定義するユーザーサブプログラム XELMAT …… 509
5.1.4 線膨張係数を定義するユーザーサブプログラム XEXPA …… 517
5.1.5 荷重を定義するユーザーサブプログラム XEFORC …… 525
5.1.6 粘弾塑性ひずみを定義するユーザーサブプログラム XVISCO …… 537

5.2 温度解析 …… 545
5.2.1 熱伝達係数を定義するユーザーサブプログラム XFILM …… 545
5.2.2 直交異方性材料のための材料座標系を定義するユーザーサブプログラム XMCORD …… 551

参考文献 …… 559

Ⅰ. 基　礎　編

1. 概　　要

FINAS が現在備えている解析機能は主として静的解析、動的解析、熱伝導解析の 3 つの解析機能である。基礎編は、個別的なモデル機能の検証を目的として、構造負荷が単純な問題を取り上げ FINAS の解と理論解との比較を行なう。理論解の求解が困難な場合には、他の汎用プログラムによる参照解と比較する。

静的解析の例を第 2 章、動的解析の例を第 3 章、そして熱伝導解析の例を第 4 章でそれぞれ述べ、最後に第 5 章でユーティリティープログラムの利用例を示す。

2. 静 的 解 析

2.1 線 形 解 析

2.1.1 トラスの弾性解析

(1) 問題

図 2.1.1-1 に示すように長さ 10m、断面積 12cm^{2}の部材からなるトラスに集中荷重が作用する場合について弾性解析を行う。[1] 弾性係数は 2.1x10^{6}kg/cm^{2}とする。

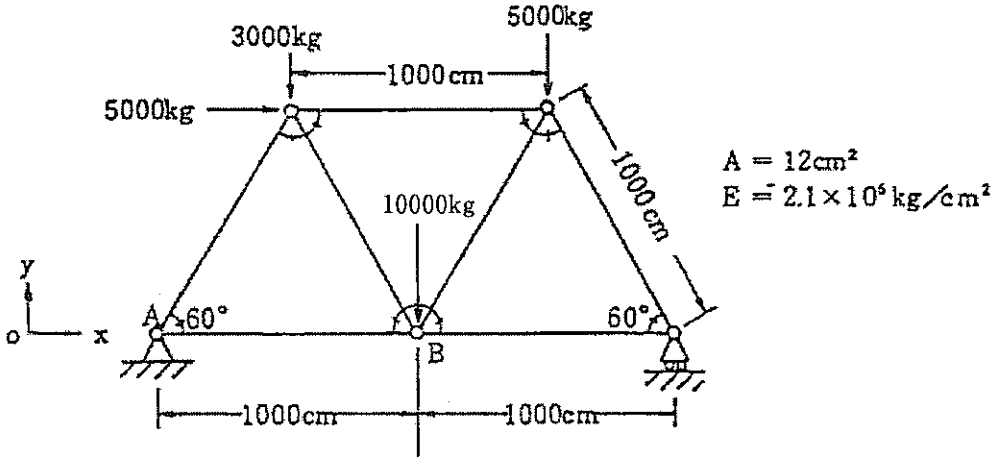


図 2.1.1-1 トラス構造

(2) 有限要素モデルと解析条件

3 次元棒要素 ROD2 を用いて図 2.1.1-2 のように有限要素モデルを作成する。境界条件と負荷条件はそれぞれ表 2.1.1-1 と表 2.1.1-2 に示す。

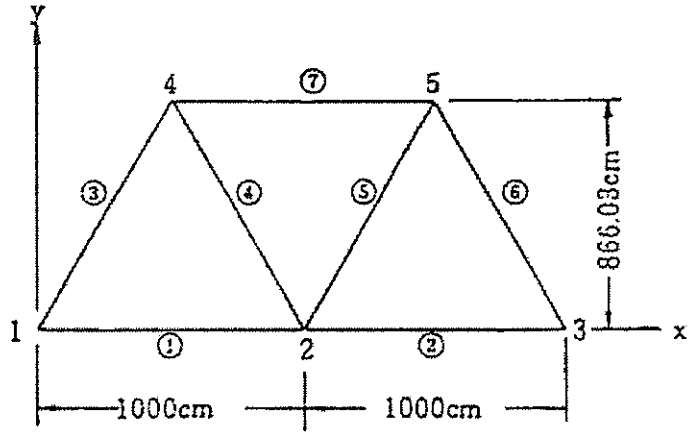


図 2.1.1-2 有限要素モデル

表 2.1.1-1　境界条件

節点番号	拘束自由度
1	ux,　uy,　uz
3	uy,　uz
2,4～7	uz

表 2.1.1-2　負荷条件

節点番号	負　荷(kg)
2	Py=-10000
4	Px=5000, Py=-3000
5	Py=-5000

(3) 解析結果

反力と各部材における応力を 表 2.1.1-3 と表 2.1,1-4 にそれぞれ示す。

表 2.1.1-3　反　力

節点	成分	反力(kg)	
		FINAS の解	理論解
A	Rx	-5.00000E+0^3	-5.00000x10^3
	Ry	6.33492E+0^3	6.33494x10^3
C	Ry	1.16651E+0^4	11.6651x10^3

表 2.1.1-4　軸方向応力

部材	軸方向応力(kg/cm^2)	
	FINAS の解	理論解
AB	7.2145E+02	721.46
BC	5.6123E+02	561.24
AD	-6.0968E+02	-609.58
DB	3.2090E+02	320.90
BE	6.4135E+02	641.35
EC	-1.1225E+02	-1122.45
DE	-8.8191E+02	-881.91

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 2.1.1-5 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     ELASTIC ANALYSIS OF A PIN JOINTED TRUSS
STATIC    E
MODEL
NODE
    1                      0.0       0.0
    2                   1000.0       0.0
    3                   2000.0       0.0
    4                    500.0    866.03
    5                   1500.0    866.03
ELEMENT TYPE
   10     ROD2
CONNECTION
    1   10   20   30    1    2
    2   10   20   30    2    3
    3   10   20   30    1    4
    4   10   20   30    4    2
    5   10   20   30    2    5
    6   10   20   30    5    3
    7   10   20   30    4    5
GEOMETRY
   20    1      12.0
MATERIAL
   30
          E              2.1E6
BOUNDARY
    1
              1                   1    2
              3                   2
              1    5              3
FORCE
    2
              2                                   -10000.0
              4                            5000.0   -3000.0
              5                                    -5000.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     2
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.1.1-6　解析結果のリスト

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0
                 FINAS
                 TITLE     ELASTIC ANALYSIS OF A PIN JOINTED TRUSS
                 STATIC    E
1   ELASTIC ANALYSIS OF A PIN JOINTED TRUSS                          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    2

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0.  :...  0
            0-   MODEL
            1-   NODE
            2-       1                    0.0       0.0
            3-       2                 1000.0       0.0
            4-       3                 2000.0       0.0
            5-       4                  500.0     866.03
            6-       5                 1500.0     866.03
            7-   ELEMENT TYPE
            8-      10     ROD2
            9-   CONNECTION
           10-       1   10   20   30    1    2
           11-       2   10   20   30    2    3
           12-       3   10   20   30    1    4
           13-       4   10   20   30    4    2
           14-       5   10   20   30    2    5
           15-       6   10   20   30    5    3
           16-       7   10   20   30    4    5
           17-   GEOMETRY
           18-      20    1       12.0
           19-   MATERIAL
           20-      30
           21-            E              2.1E0
           22-   BOUNDARY
           23-       1
           24-                 1                  1    2
           25-                 3                  2
           26-                 1    5             3
           27-   FORCE
           28-       2
           29-                 2                                  -10000.0
           30-                 4                          5000.0   -3000.0
           31-                 5                                   -5000.0
           32-   HISTORY
           33-   INTERVAL
           34-            BOUN     1
           35-            FORC     2
           36-   END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID    30
        POISSON RATIO IS MISSING
1   ELASTIC ANALYSIS OF A PIN JOINTED TRUSS                          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    3

                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    ----------------
    NODAL COORDINATE
    ----------------

       NUMBER OF NODAL POINTS .....      5

       NODE              X1            X2            X3

          1        0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00
          2         1000.00      0.000000E+00  0.000000E+00
          3         2000.00      0.000000E+00  0.000000E+00
          4         500.000       866.030      0.000000E+00
          5         1500.00       866.030      0.000000E+00

    MAXIMUM      NODE-    3    NODE-    4    NODE-    1    NODE-
      VALUE        2000.00       866.030      0.000000E+00

    MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-    1    NODE-
      VALUE        0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00

    -------------
    ELEMENT TYPE
    -------------

       TYPE        NAME                    SWC- 1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
        10        ROD2                          0     0     0     0     0     0     0     0     0     0

    ------------------
    ELEMENT CONNECTION
    ------------------

    NUMBER OF ELEMENTS .      7

    ELEMENT          TYPE   GEOM    MAT              NODES
```

```
        1          10    20    30          1     2
        2          10    20    30          2     3
        3          10    20    30          1     4
        4          10    20    30          4     2
        5          10    20    30          2     5
        6          10    20    30          5     3
        7          10    20    30          4     5

 ------------------
  ELEMENT GEOMETRY
 ------------------

 GEOMETRY          GEOM-1        GEOM-2        GEOM-3

     20            12.00

1   ELASTIC ANALYSIS OF A PIN JOINTED TRUSS                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    4

                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

 ------------------
  MATERIAL PROPERTY
 ------------------

  IDENTIFICATION NUMBER ===     30

                  VALUE
     E          0.210000E+07

 ------------------
  BOUNDARY CONDITION
 ------------------

  IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP

            1      1            0.0000E+00          1      2            0.0000E+00          3      2            0.0000E+00
            1      3            0.0000E+00          2      3            0.0000E+00          3      3            0.0000E+00
            4      3            0.0000E+00          5      3            0.0000E+00

 ------
  FORCE
 ------

  IDENTIFICATION NUMBER ===      2

          NODE        COORD        F1           F2           F3           F4           F5           F6           F7

            2                 0.000000E+00  -10000.0     0.000000E+00
            4                  5000.00      -3000.00     0.000000E+00
            5                 0.000000E+00  -5000.00     0.000000E+00

 --------------
  LOAD HISTORY
 --------------

     NUM                                        IDENT  * FACTOR

      1                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             2     1.000
1   ELASTIC ANALYSIS OF A PIN JOINTED TRUSS                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    5

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1          0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2          3.43550E-01  -1.15952E+00   0.00000E+00
          3          6.10804E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
          4          7.32808E-01  -7.58301E-01   0.00000E+00
          5          3.12913E-01  -7.89187E-01   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                    ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         -5.00000E+03   6.33482E+03   0.00000E+00
          3          0.00000E+00   1.18651E+04   0.00000E+00
0

                                T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM.   1 )
0 ELM. ID-POINT            X                                                                  VON MISES    TRESCA

    1 -  1    STRESS   7.2145E+02                                                             7.2145E+02   7.2145E+02
              STRAIN   3.4355E-04

    2 -  1    STRESS   5.6123E+02                                                             5.6123E+02   5.6123E+02
              STRAIN   2.8725E-04

    3 -  1    STRESS  -6.0958E+02                                                             6.0958E+02   6.0958E+02
```

```
            STRAIN  -2.9028E-04

     4 - 1  STRESS   3.2090E+02                                                  3.2090E+02  3.2090E+02
            STRAIN   1.5281E-04

     5 - 1  STRESS   6.4135E+02                                                  6.4135E+02  6.4135E+02
            STRAIN   3.0540E-04

     6 - 1  STRESS  -1.1225E+03                                                  1.1225E+03  1.1225E+03
            STRAIN  -5.3451E-04

     7 - 1  STRESS  -8.8191E+02                                                  8.8191E+02  8.8191E+02
            STRAIN  -4.1995E-04
1   ELASTIC ANALYSIS OF A PIN JOINTED TRUSS                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/88      PAGE    8

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . STATIC  E
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . . . . 1          ( FROM     1 TO     1 )
0       NUMBER OF ELEMENTS                          7
+                                                               (       7*RC02     )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . . . 5
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . . . 7
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . . . 5
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . . . 3.3
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION .         0.0         ( 33.33 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.).       0.0         ( 66.67 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . . . 0.1 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . . . 33 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . . . . 0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.1.2 内圧を受ける有孔円板の弾性解析

(1) 問題

図 2.1.2-1 に示すような内半径 50mm、外半径 200mm、板厚 1mm の有孔円板の内側に圧力 1kg/mm² が作用する場合について弾性解析を行ない、主応力 σ_r と σ_θ を求める。[2] 材料定数は弾性係数 7.0×10^3 kg/mm²、ポアソン比 0.3 とする。

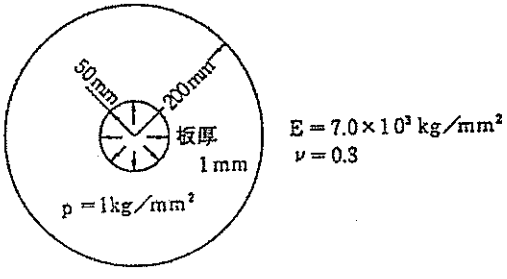


図 2.1.2-1 内圧を受ける有孔円板

(2) 有限要素モデルと解析条件

4 節点四辺形平面応力要素 QMEM4D2 を用いて図 2.1.2-2 に示す有限要素モデルを作成する。境界条件は構造と負荷の対称性を考慮して全節点について周方向の自由度を拘束する。

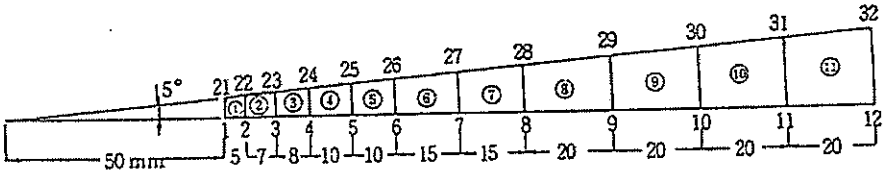


図 2.1.1-2 有限要素モデル

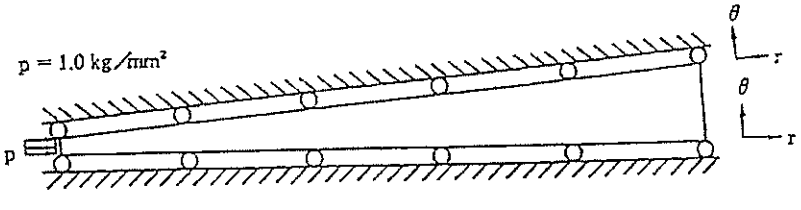


図 2.1.2-3 境 界 条 件

(3) 理論解

内圧を受ける有孔円板の半径方向と周方向の応力は次式で与えられる。[3)]

$$\sigma_r = \frac{a^2 p}{b^2 - a^2}\left(1 - \frac{b^2}{r^2}\right) \qquad (2.1.2\text{-}1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{a^2 p}{b^2 - a^2}\left(1 + \frac{b^2}{r^2}\right) \qquad (2.1.2\text{-}2)$$

a ：内半径　　b ：外半径　　r ：評価点位置

p ：内圧

(4) 解析結果

要素中心における主応力の値を表 2.1-1 に、ベクトル図を図 2.1.2-4 にそれぞれ示す。

表 2.1.2-1　要素中心における主応力

要素番号	σ_r 〔kg/mm²〕		σ_θ 〔kg/mm²〕	
	FINAS の解	理論解	FINAS の解	理論解
1	-9.0042E-01	-9.0083×10^{-1}	1.0317E+00	1.0342
2	-7.1239E-01	-7.1255×10^{-1}	8.4509E-01	8.4588×10^{-1}
3	-5.4546E-01	-5.4552×10^{-1}	6.7824E-01	6.7885×10^{-1}
4	-4.0741E-01	-4.0741×10^{-1}	5.4071E-01	5.4074×10^{-1}
5	-3.0244E-01	-3.0242×10^{-1}	4.6523E-01	4.3576×10^{-1}
6	-2.1389E-01	-2.1385×10^{-1}	3.4768E-01	3.4718×10^{-1}
7	-1.4402E-01	-1.4403×10^{-1}	2.7737E-01	2.7737×10^{-1}
8	-9.1097E-02	-9.1124×10^{-2}	2.2479E-01	2.2446×10^{-1}
9	-5.1794E-02	-5.1852×10^{-2}	1.8524E-01	1.8519×10^{-1}
10	-2.5551E-02	-2.5606×10^{-2}	1.5887E-01	1.5894×10^{-1}
11	-7.1608E-03	-7.2022×10^{-3}	1.4041E-01	1.4054×10^{-1}

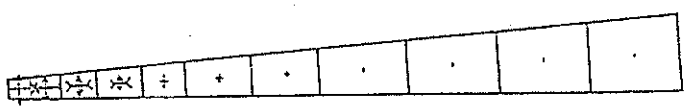


図 2.1.2-4　主応力のベクトル図

(5) 入力データ

表 2.1.2-2　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     ELASTIC ANALYSIS OF A CIRCULAR PLATE SUBJECTED TO INTERNAL PRESSURE
STATIC    E
MODEL
COORDINATE SYSTEM
   10    2                  0.0       0.0       0.0       1.0       0.0       0.0
                            0.0       1.0       0.0
NODE PITCH
   20     5.0       7.0       8.0       2*10.0    2*15.0    4*20.0
NODE
    1   10                 50.0       0.0                         11   20        12
   12   10                200.0       0.0
   21   10                 50.0       5.0                         11   20        32
   32   10                200.0       5.0
ELEMENT TYPE
   30     QMEM4
CONNECTION
    1   30   40   50    1    2   21   22                          11
GEOMETRY
   40            1.0
MATERIAL
   50
          E               7000.0
          NU                 0.3
BOUNDARY
   60
              1   12        10    2
             21   32        10    2
FORCE
   70
         1    1              2                   1.0       1.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN     60
          FORC     70
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
STRSOPT   PRINST
STRUCTURE PLOT
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
IPLOT                BOTH
PTITLE    DEFORMATION FIGURE
DPLOT
PTITLE    VECTOR DESCRIPTION OF THE PRINCIPAL STRESS
VPLOT                PRIN*
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.1.3　肉厚方向に温度分布のある円筒の熱弾性解析

(1) 問題

内半径 100mm、肉厚 10mm の円筒が式(2.1.3-1)で与えられる肉厚方向の温度分布と、図 2.1.3-1 に示す軸方向等分布荷重を受ける場合について弾性解析を行なう。材料は SUS 304 とし、表 2.1.3-1 に示す物性値を用いる。

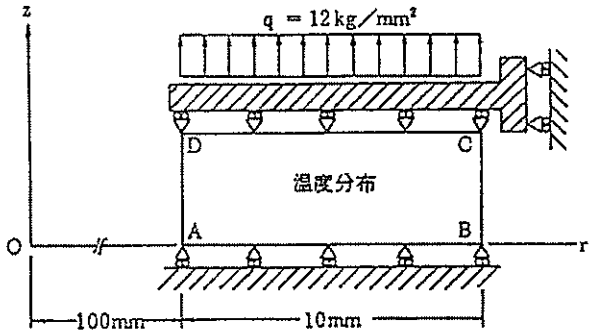


図 2.1.3-1　円　　筒

$$T = T_1 - \frac{\ell_n\left(\frac{r}{a}\right)}{\ell_n\left(\frac{b}{a}\right)}(T_1 - T_2) \qquad (2.1.3\text{-}1)$$

a ：内半径

b ：外半径

T_1 ：内表面温度(500℃)

T_2 ：外表面温度(550℃)

表 2.1.3-1　材料定数

弾性係数 E [kg/mm²]	1.63×10^4
ポアソン比 ν	0.3
線膨張係数 α [1/℃]	2.0×10^{-5}

(2) 有限要素モデルと解析条件

4 節点四辺形軸対称要素 QAX4 を用いて図 2.1.3-2 に示す有限要素モデルを作成

する。

式（2.1.3-1）から求めた各節点温度を表 2.1.3-2、境界条件を表 2.1.3-3 に示す。なお、参照温度は 20℃とする。

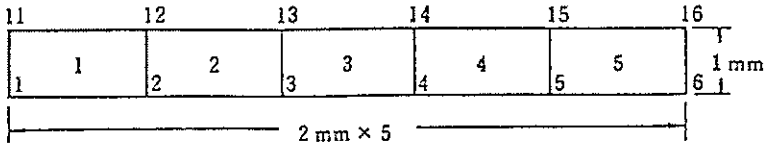


図 2.1.3-2　有限要素モデル

表 2.1.3-2　各節点における温度

節点番号	T［℃］	節点番号	T［℃］
1, 11	500.00	4, 14	530.57
2, 12	510.39	5, 15	540.37
3, 13	520.58	6, 16	550.00

Tref＝20℃

表 2.1.3-3　境界条件

節点番号	自由度
1～ 6	$u_z = 0$
11～16	$u_{z11} = u_{z12} = \cdots\cdots = u_{z16}$

(3) 理論解

肉厚方向に式（2.1.3-1）で与えられる温度分布があり、軸方向に等分布荷重 q が負荷された場合の各応力成分の値は評価点の半径 r の関数として次式で表わすことができる。[3)]

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu}\left\{\frac{1}{2}\left(1-\frac{a^2}{r^2}\right)\varepsilon_z - \frac{\alpha}{r^2}\int_a^r (T-Tref)rdr\right\}$$

$$\sigma_z = \frac{E}{1-\nu}\left\{\varepsilon_z - \alpha(T-Tref)\right\} + q$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\nu}\left\{\frac{1}{2}\left(1+\frac{a^2}{r^2}\right)\varepsilon_z + \frac{\alpha}{r^2}\int_a^r (T-Tref)rdr - \alpha(T-Tref)\right\}$$

ここで、

$$\varepsilon_z = \alpha\left\{\frac{T_2 b^2 - T_1 a^2}{b^2 - a^2} + \frac{T_1 - T_2}{2\ln(b/a)} - Tref\right\}$$

$$\int_a^r (T - Tref) r dr = \frac{1}{2\ln(b/a)}\left[r^2\left\{T_1 \ln(\frac{b}{r}) + T_2 \ln(\frac{r}{a})\right\} - T_1 a^2 \ln(\frac{b}{a}) + \frac{1}{2}(T_1 - T_2)(r^2 - a^2)\right] - \frac{Tref}{2}(r^2 - a^2)$$

Tref＝基準温度

(4) 解析結果

要素１と５の要素中心における応力を表 2.1.3-3 に、応力の肉厚方向分布を図 2.1.3-3 に示す。

表 2.1.3-3　要素中心における応力

応力成分	要素 1		要素 5	
	FINAS の解	理論解	FINAS の解	理論解
σ_r [kg/mm^2]	1.2241E-01	0.10633	1.0728E-01	0.093648
σ_z [kg/mm^2]	2.1592E+01	21.582	2.9671E+00	2.9580
σ_θ [kg/mm^2]	9.4845E+00	9.4752	-9.1286E+00	-9.1356

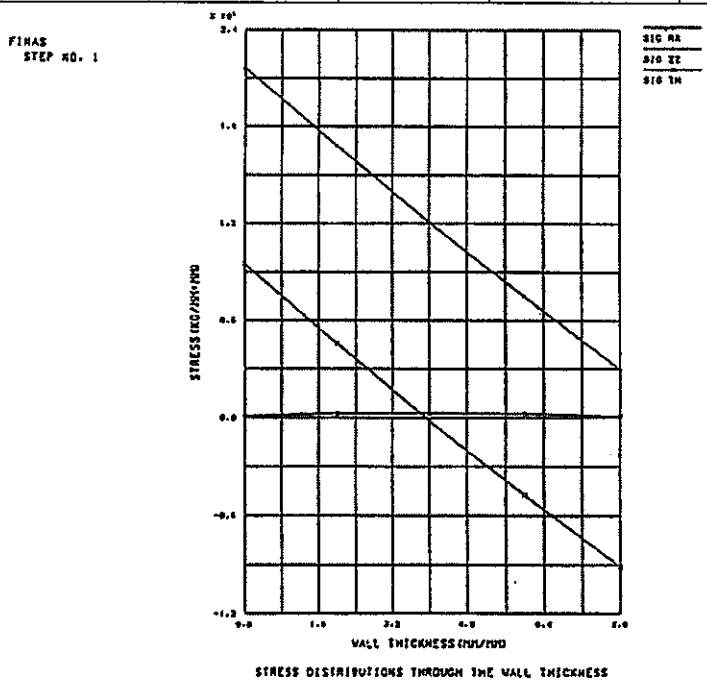


図 2.1.3-3　肉厚内の応力分布

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.1.3-4 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE
STATIC    TE
MODEL
NODE
**NLOOP1      2   10       0.0       1.0
    1                    100.0       0.0                         5               6
    6                    110.0       0.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1     QAX4
CONNECTION
    1    1         1    1    2   11   12                         5
MATERIAL
    1
          E         1.63E4
          NU        0.3
          ALPHA     2.0E-5
BOUNDARY
    1
              1    6              2
FASTENING
    2
     F2       6    2   11   12   13   14   15   16
TEMPERATURE
     REF        20.0
    3
              1   11   10         480.00
              2   12   10         490.39
              3   13   10         500.58
              4   14   10         510.57
              5   15   10         520.37
              6   16   10         530.00
FORCE
    4
         1    1    5         4                -1.0      -1.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN     1
          FAS      2
          TEMP     3
          FORC     4      12.0
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
NSET1       100    1    6   11   16
ESET1       200    1    5
ESET2       210    2    4
IPSET1      300    4    5    6
DISP        100
REAC        100
ELM         200  300      210
$
STRUCTURE PLOT
PTITLE    NODE NUMBER AND ELEMENT NUMBER
IPLOT               BOTH
$
XYPLOT
PTITLE    STRESS DISTRIBUTIONS THROUGH THE WALL THICKNESS
XTITLE    WALL THICKNESS(MM/MM)
YTITLE    STRESS(KG/MM*MM)
ELIST2       10    1    5
```

```
CURVE          1                SIG RR
CURVE          2                SIG ZZ
CURVE          3                SIG TH
PLOT2     STRS1ELIST   10                STRS2ELIST   10
          STRS3ELIST   10
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.1.3-5　解析結果のリスト（抜粋）

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1.......0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                FINAS
                TITLE     THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE
                STATIC    TE
1   THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                      FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    2

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1.......0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
          0-    MODEL
          1-    NODE
          2-    **HLGOP1      2   10       0.0       1.0
          3-       1                    100.0       0.0                    5              8
          4-       8                    110.0       0.0
          5-    **END1
          6-    ELEMENT TYPE
          7-       1     QAX4
          8-    CONNECTION
          9-       1     1         1    1    2   11   12                    5
         10-    MATERIAL
         11-       1
         12-             E         1.63E4
         13-             NU        0.3
         14-             ALPHA     2.0E-5
         15-    BOUNDARY
         16-       1
         17-                 1    6              2
         18-    FASTENING
         19-       2
         20-        F2       6    2   11   12   13   14   15   16
         21-    TEMPERATURE
         22-        REF        20.0
         23-       3
         24-                 1   11   10         480.00
         25-                 2   12   10         490.39
         26-                 3   13   10         500.58
         27-                 4   14   10         510.57
         28-                 5   15   10         520.37
         29-                 6   16   10         530.00
         30-    FORCE
         31-       4
         32-             1    1    5         4                -1.0      -1.0
         33-    HISTORY
         34-    INTERVAL
         35-             BOUN      1
         36-             FAS       2
         37-             TEMP      3
         38-             FORC      4       12.0
         39-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  2225.  CARD NUMBER     22.  DATA GROUP NAME- TEMPERATURE
        'REF' CARD IS OBSOLETE — USE 'REFERENCE TEMP' INSTEAD
1   THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                      FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    3

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1.......0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                OUTPUT
                PRINT SELECT
                NSET1       100    1    6   11   16
                ESET1       200    1    5
                ESET2       210    2    4
                IPSET1      300    4    5    6
                DISP        100
                REAC        100
                FLM         200  300      210
                $
                STRUCTURE PLOT
                PTITLE    NODE NUMBER AND ELEMENT NUMBER
                IPLOT                BOTH
                $
                XYPLOT
                PTITLE    STRESS DISTRIBUTIONS THROUGH THE WALL THICKNESS
                XTITLE    WALL THICKNESS(MM/MM)
                YTITLE    STRESS(KG/MM*MM)
                ELIST2       10    1    5
                CURVE         1                SIG RR
                CURVE         2                SIG ZZ
                CURVE         3                SIG TH
                PLOT2     STRS1ELIST   10              STRS2ELIST   10
                          STRS3ELIST   10
                END OUTPUT
                END FINAS
1   THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                      FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    4

                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N
```

```
-----------------
NODAL COORDINATE
-----------------

   NUMBER OF NODAL POINTS ....      12

   NODE              X1            X2

     1          100.000      0.000000E+00
     2          102.000      0.000000E+00
     3          104.000      0.000000E+00
     4          106.000      0.000000E+00
     5          108.000      0.000000E+00
     6          110.000      0.000000E+00
     *
    11          100.000      1.00000
    12          102.000      1.00000
    13          104.000      1.00000
    14          106.000      1.00000
    15          108.000      1.00000
    16          110.000      1.00000

 MAXIMUM      NODE-    0    NODE-   11    NODE-
   VALUE        110.000      1.00000

 MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-
   VALUE        100.000      0.000000E+00

-------------
ELEMENT TYPE
-------------

   TYPE        NAME                    SNO- 1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
     1        QAX4                          2     8    36     1     0     0     0     0     0     0

-------------------
ELEMENT CONNECTION
-------------------

 NUMBER OF ELEMENTS ...     5

 ELEMENT          TYPE   GEOM    MAT              NODES

     1              1            1            1     2    11    12
     2              1            1            2     3    12    13
     3              1            1            3     4    13    14
     4              1            1            4     5    14    15
     5              1            1            5     6    15    16

1    THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    5

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

-----------------
MATERIAL PROPERTY
-----------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

    THERMAL EXPANSION  ..... .. ..  INSTANTANEOUS COEFFICIENT

                  VALUE
    E           16300.0
    NU          0.300000
    ALPHA       0.200000E-04

-------------------
BOUNDARY CONDITION
-------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP

             1      2           0.0000E+00          2      2           0.0000E+00          3      2           0.0000E+00
             4      2           0.0000E+00          5      2           0.0000E+00          6      2           0.0000E+00

--------------------
FASTENING CONDITION
--------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      2

          ( NODE, DOF, COORD )   =   ( NODE, DOF, COORD )   =   ( NODE, DOF, COORD )   =   ( NODE, DOF, COORD )

             11    2                   12    2                   13    2                   14    2
                                       15    2                   16    2

-------------
REFERENCE TEMP
-------------
```

```
          NODE      TEMP

           ALL   20.0000

1   THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98    PAGE   6

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

   -------------
   TEMPERATURE
   -------------

   IDENTIFICATION NUMBER ===      3

          NODE      TEMP       NODE      TEMP       NODE      TEMP       NODE      TEMP       NODE      TEMP

            1   480.000         11   480.000          2   490.390         12   490.390          3   500.580
           13   500.580          4   510.570         14   510.570          5   520.370         15   520.370
            6   530.000         16   530.000

   -------
   FORCE
   -------

   IDENTIFICATION NUMBER ===      4

        ELEMENT   TYPE  PARAM       P1          P2          P3          P4          P5          P6          P7

            1      1      4  -1.00000    -1.00000    0.000000E+00  0.000000E+00
            2      1      4  -1.00000    -1.00000    0.000000E+00  0.000000E+00
            3      1      4  -1.00000    -1.00000    0.000000E+00  0.000000E+00
            4      1      4  -1.00000    -1.00000    0.000000E+00  0.000000E+00
            5      1      4  -1.00000    -1.00000    0.000000E+00  0.000000E+00

   -------------
   LOAD HISTORY
   -------------

      NUM                                    IDENT  * FACTOR

        1                       BOUNDARY        1     1.000
                                FASTENING       2     1.000
                                TEMPERATURE     3     1.000
                                FORCE           4     12.00
1   THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98    PAGE   7


     P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT   1.   UNDEFORMED SHAPE
                  AXES ..... ..... ..... ..+Z. +X. +Y     VIEW ANGLE .......     0.00,     0.00,     0.00
                  SCALE FACTOR ............ 1.186E+01     FRAME SIZE .......   210.2 .   297.3
1   THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98    PAGE   8

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1          D2          D3          D4          D5          D6

            1       9.89358E-01   0.00000E+00
            6       1.08832E+00   0.00000E+00
           11       9.89358E-01   1.08518E-02
           16       1.08832E+00   1.08518E-02
0

                                N O D A L,  P O I N T   R E A C T I O N                  ( STEP NUM   1 )
0     POINT-ID          D1          D2          D3          D4          D5          D6

            1       0.00000E+00  -1.45588E+04
            6       0.00000E+00  -1.14874E+03
           11       0.00000E+00   6.96868E+03
           16       0.00000E+00  -7.09480E+03
0

                                T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                  ( STEP NUM.   1 )
0 ELM. ID-POINT              R           Z          THETA        RZ                    VON MISES   TRESCA       TEMP.

    1 -  4    STRESS  -2.3620E+00  1.8103E+01  6.9469E+00  0.0000E+00                  1.8648E+01  2.1470E+01     508.2
            E.STRAIN  -6.2444E-04  1.0879E-03  1.1799E-04  0.0000E+00
            T.STRAIN   9.7639E-03  9.7639E-03  9.7639E-03  0.0000E+00
              STRAIN   9.1394E-03  1.0852E-02  9.8819E-03  0.0000E+00

    1 -  5    STRESS   1.2241E-01  2.1592E+01  9.4245E+00  0.0000E+00                  1.8644E+01  2.1470E+01     505.2
            E.STRAIN  -5.6446E-04  1.1479E-03  1.8221E-04  0.0000E+00
            T.STRAIN   9.7039E-03  9.7039E-03  9.7039E-03  0.0000E+00
              STRAIN   9.1394E-03  1.0852E-02  9.8861E-03  0.0000E+00

    2 -  5    STRESS   2.5554E-01  1.6800E+01  4.5570E+00  0.0000E+00                  1.4868E+01  1.6544E+01     515.5
            E.STRAIN  -3.7741E-04  9.4207E-04 -3.4275E-05  0.0000E+00
            T.STRAIN   9.9097E-03  9.9097E-03  9.9097E-03  0.0000E+00
```

```
            STRAIN   9.5323E-03  1.0852E-02  9.8754E-03  0.0000E+00

     3 -  5   STRESS   2.9162E-01  1.2100E+01 -1.7830E-01  1.3920E-12                    1.2051E+01  1.2279E+01      525.0
           E.STRAIN  -2.0153E-04  7.4027E-04 -2.3901E-04  2.2204E-16
           T.STRAIN   1.0111E-02  1.0111E-02  1.0111E-02  0.0000E+00
             STRAIN   9.8100E-03  1.0852E-02  9.8725E-03  2.2204E-16

     4 -  5   STRESS   2.3958E-01  7.4918E+00 -4.7355E+00  6.9602E-13                    1.0650E+01  1.2227E+01      535.5
           E.STRAIN  -3.6035E-05  5.4237E-04 -4.3282E-04  1.1102E-16
           T.STRAIN   1.0309E-02  1.0309E-02  1.0309E-02  0.0000E+00
             STRAIN   1.0273E-02  1.0852E-02  9.8766E-03  1.1102E-16
1    THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    9


                                    T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N              ( STEP NUM    1 )
0 ELM ID-POINT              R           Z          THETA        RZ                          VON MISES    TRESCA        TEMP

     5 -  4   STRESS  -2.1219E+00  7.3797E-01 -1.1309E+01  6.9602E-13                    1.0902E+01  1.2047E+01      548.0
           E.STRAIN   6.4384E-05  2.9247E-04 -6.6834E-04  1.1102E-16
           T.STRAIN   1.0559E-02  1.0559E-02  1.0559E-02  0.0000E+00
             STRAIN   1.0624E-02  1.0852E-02  9.8910E-03  1.1102E-16

     5 -  5   STRESS   1.0728E-01  2.9971E+00 -9.1288E+00  6.9602E-13                    1.0950E+01  1.2098E+01      545.2
           E.STRAIN   1.1998E-04  3.4807E-04 -8.1662E-04  1.1102E-16
           T.STRAIN   1.0504E-02  1.0504E-02  1.0504E-02  0.0000E+00
             STRAIN   1.0624E-02  1.0852E-02  9.8971E-03  1.1102E-16
1    THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE   10


       X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT   2.   TYPE 2    COMMAND NUMBER    1.      STRESS DISTRIBUTIONS THROUGH THE WALL THICKNESS
0                  CURVE  1. STRS1    ALONG ELIST        10
                             YMIN(ALL DATA)= 1.07283E-01  AT X= 8.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 2.91616E-01  AT X= 4.00000E+00
0                  CURVE  2. STRS2    ALONG ELIST        10
                             YMIN(ALL DATA)= 2.96714E+00  AT X= 8.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 2.15923E+01  AT X= 0.00000E+00
0                  CURVE  3. STRS3    ALONG ELIST        10
                             YMIN(ALL DATA)=-9.12862E+00  AT X= 8.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 9.48445E+00  AT X= 0.00000E+00
1    THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A STRAIGHT PIPE                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE   11


0                  F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE .      .  .  .  .  .  .  .  .  .  .  STATIC  TE
0        NUMBER OF LOAD STEPS   .  .  .  .  .  .  .  .  .        1          ( FROM     1 TO     1 )
0        NUMBER OF ELEMENTS  .  .  .  .                          5
+                                                                           (       5*QAX4     )
0        NUMBER OF NODES . . .      .  .  .  .  .  .  .        12
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS  .  .  .  .  .  .        13
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS  .  .  .  .         6
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS  .  .  .           4.5
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION .  .      0.0          ( 20.00 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) .  .   0.1          ( 80.00 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME  .  .  .  .  .  .  .   0.1 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK  .  .  .  .   24 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE  .  .  .    0 BLOCKS
                          ( SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.1.4 外圧を受ける浅い球殻の弾性解析

(1) 問題

半径 90 mm、厚さ 3 mm、開き角 35° の浅い球殻に 1.0 kg/mm^2 外圧が作用する場合の弾性解析を行なう。[4] 解析する領域は構造と負荷の対称性を考慮して球殻の 1/8 の部分とし、材料定数は弾性係数 1.0 kg/mm^2、ポアソン比 1/6 とする。

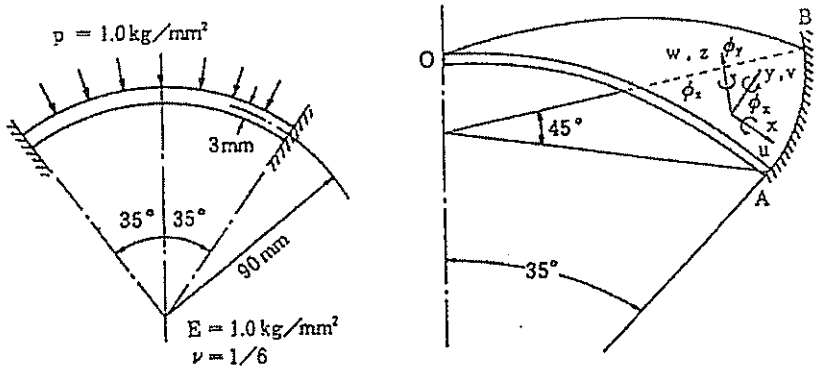


図 2.1.4-1 外圧を受ける浅い球殻

(2) 有限要素モデルと解析条件

4 節点四辺形平板シェル低減積分要素 QFLA4R を用いて図 2.1.4-2 に示す有限要素モデルを作成する。要素分割は図 2.1.4-1 の AB に沿い 5 等分、OA(OB)に沿い 14 等分を行なっている。境界条件は AB に沿い固定条件、OA および OB に沿い対称条件、点 0 に極点の条件を与える。境界に沿う節点の拘束自由度を表 2.1.4-1 に示す。また、図 2.1.4-2 の有限要素モデルでは、点 0 に対応する節点が複数個あるため、これらの節点が同一の挙動を示すためのファスニング関係も併せて表 2.1.4-1 に示す。

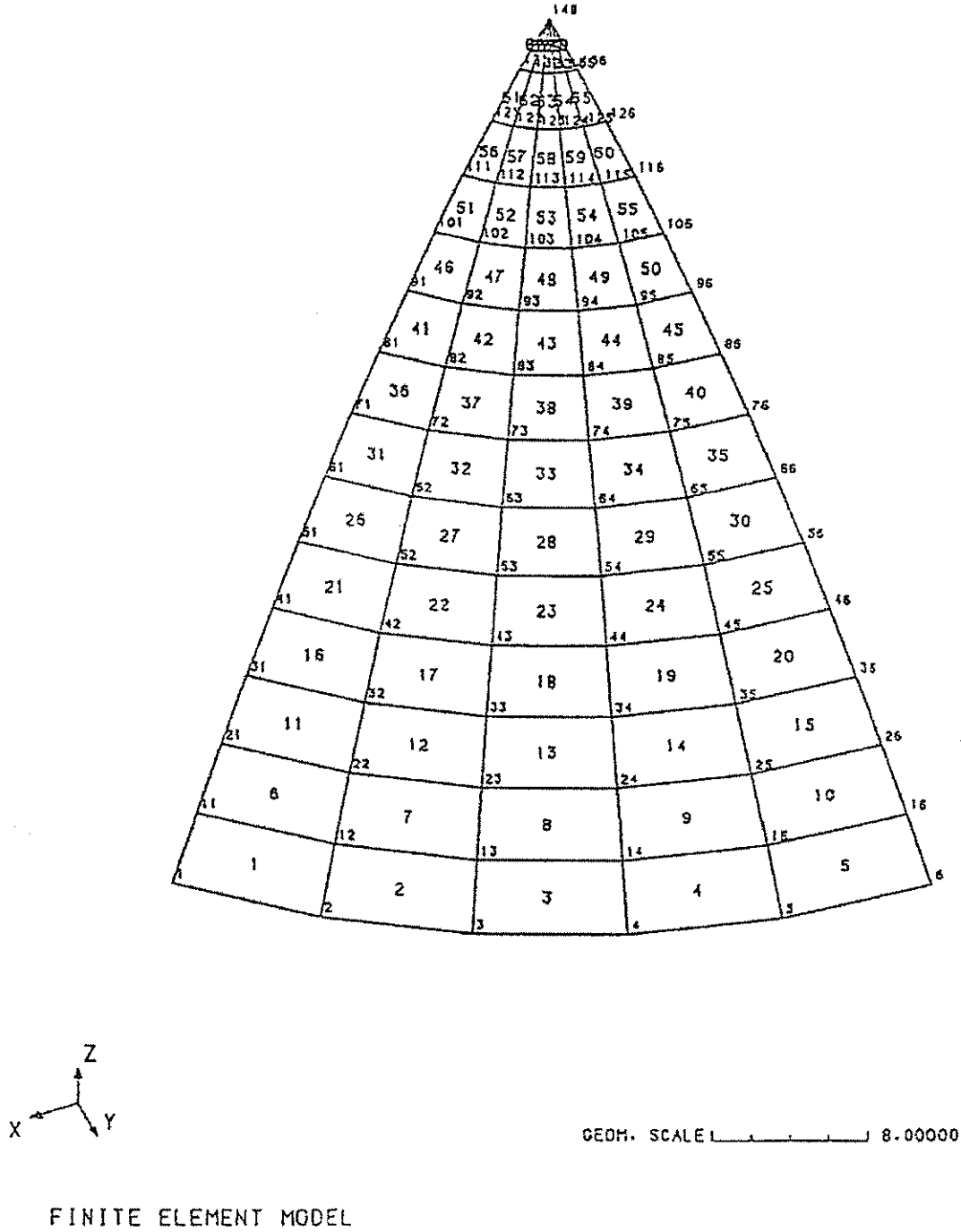


図 2.1.4-2　有限要素モデル

表 2.1.4-1　境界条件

節点番号	境界条件	備 考
1－6	u=v=w=0 ϕx=ϕy=ϕz=0	固定条件
11, 21, 31, …, 131	v=ϕx=ϕz=0	対称条件

16, 26, 36, …, 136		
141－146	u=v=0 $\phi x=\phi y=\phi z=0$	極点条件
	$w_{141}=w_{142}=\cdots=w_{146}$	ﾌｧｽﾆﾝｸﾞ条件

(3) 解析結果

子午線方向曲げモーメント分布と周方向面内力分布を FINAS の解と理論解 [5] とを比較して図 2.1.4-3 と図 2.1.4-4 に示す。また、変形図、周方向応力の等高線図、主応力のベクトル図、子午線方向応力の分布図を図 2.1.4-5～図 2.1.4-8 にそれぞれ示す。

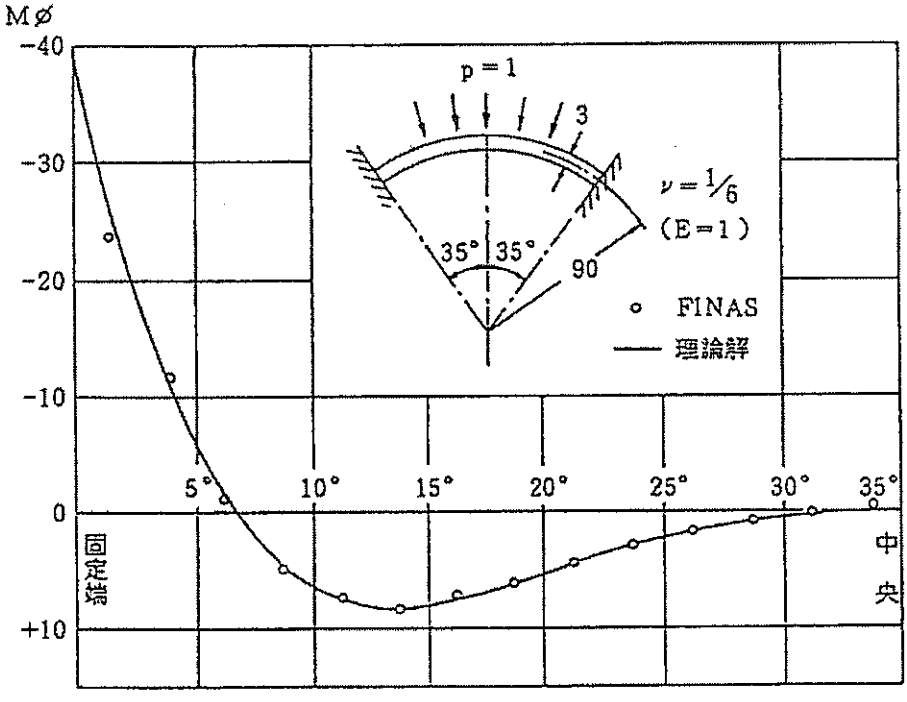


図 2.1.4-3　子午線方向曲げモーメント

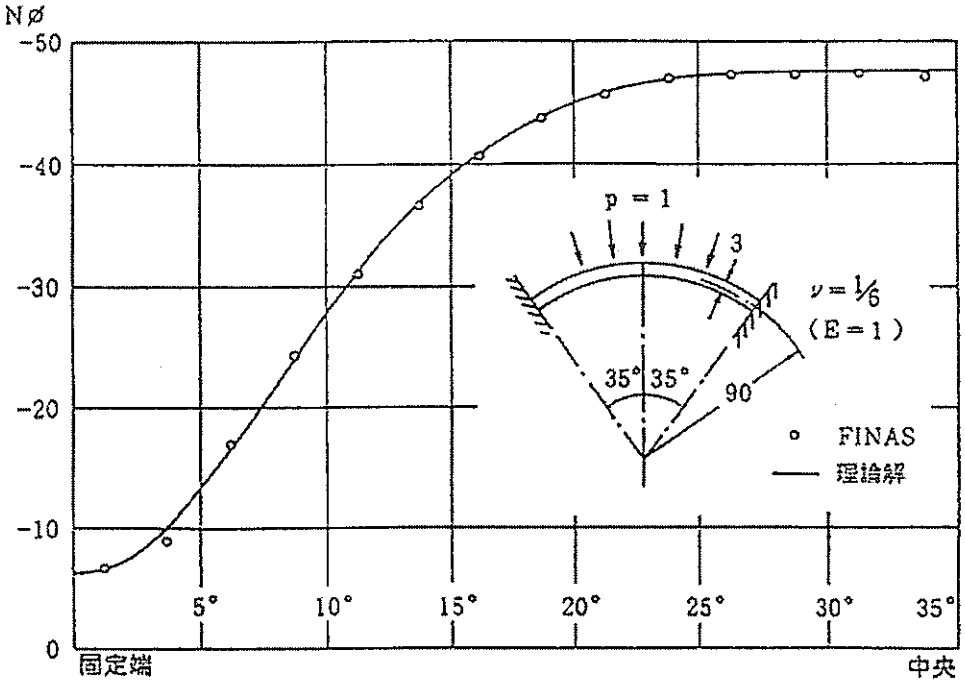
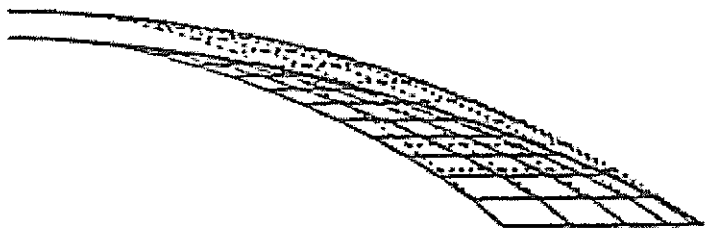


図 2.1.4-4　周方向面内力



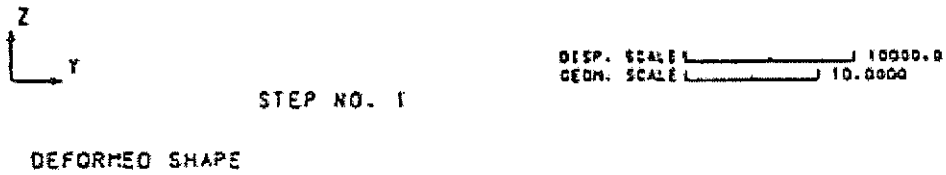


図 2.1.4-5　変形図

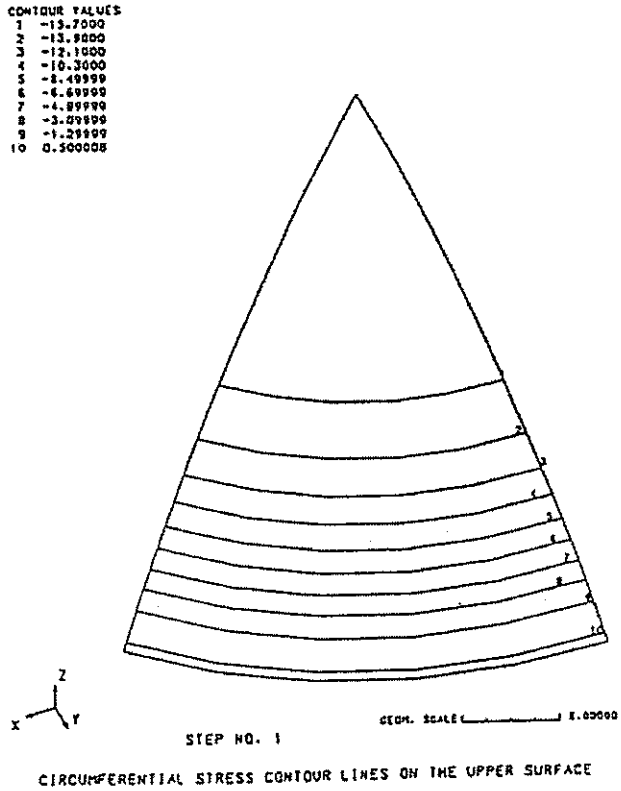


図 2.1.4-6　上面における周方向応力

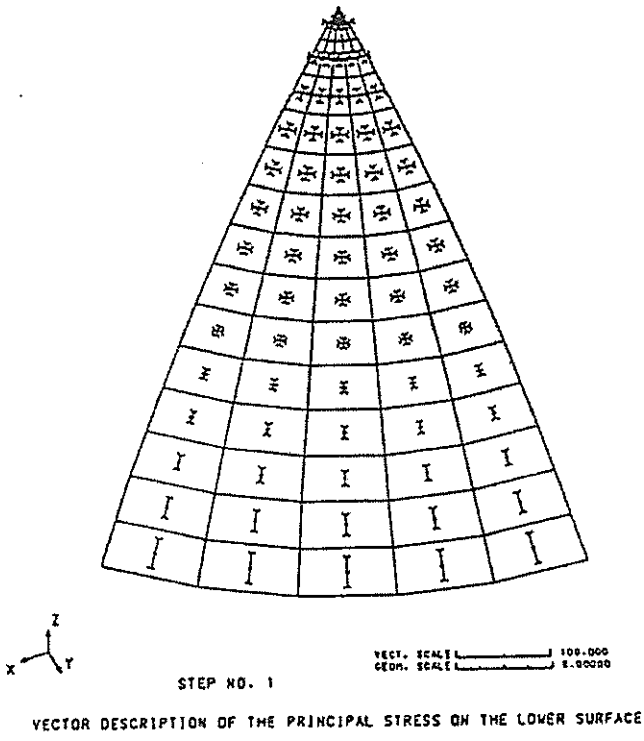
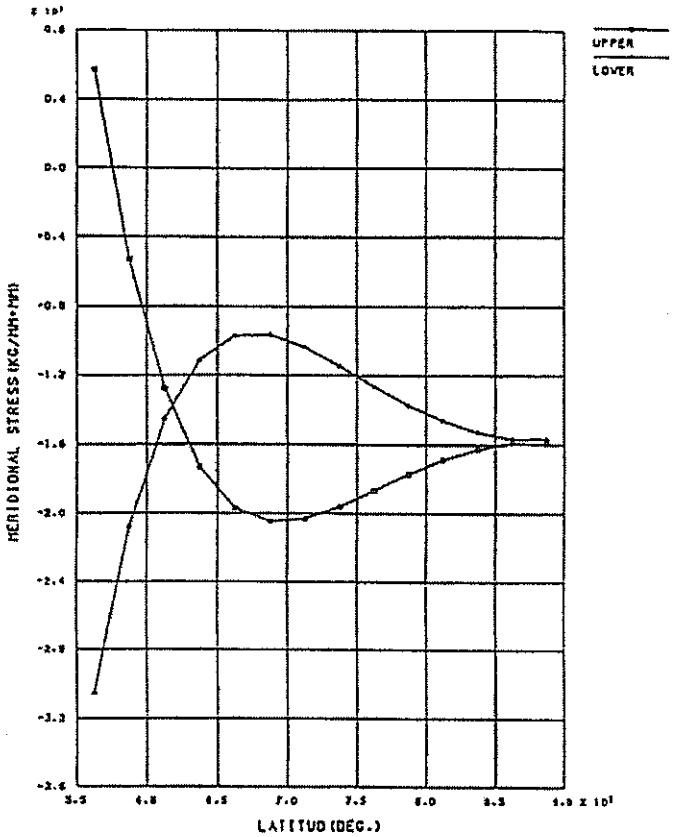


図 2.1.4-7 下面における主応力



MERIDIONAL STRESS DISTRIBUTION ALONG THE MERIDIONAL LINE

図 2.1.4-8 子午線方向応力の子午線に沿う分布

(4) 入力データ

表 2.1.4-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     ELASTIC ANALYSIS OF SPHERICAL SHELL
STATIC    E
MODEL
COORDINATE SYSTEM
   10    3                 0.0       0.0       0.0       1.0       0.0       0.0
                           1.0       1.0       0.0
NODE
**NLOOP1      15   10       0.0       0.0       2.5
    1   10                90.0      45.0      55.0              5         1    6
    6   10                90.0      90.0      55.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1     QFLA4R
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2   11   12                        5    1   14   10
GEOMETRY
    1    5       3.0                                0.83333333
MATERIAL
    1
          E          1.0
          NU         0.16666667
BOUNDARY
    1
              1    6    1   10    1    6
             11  131   10   10    2
             11  131   10   10    4
             11  131   10   10    6
             16  136   10   10    2
             16  136   10   10    4
             16  136   10   10    6
            141  146    1   10    2    6
FASTENING
    1
     F1       5  141    1    0  142    1    1   10
FORCE
    1
         3    1   70    1         1    4       1.0       1.0       1.0       1.0
HISTORY
INTERVAL      1
          BOUN     1        1.0
          FORC     1        1.0
END MODEL
OUTPUT
NSET2        10    1  141   10    6  146   10
NSET2        20    1    6       141  146
ESET2        10    3   68    5
PRINT SELECT
DISP         10
REAC         20
ELM          10
STRSOPT   PRINST
$
STRUCTURE PLOT
VIEW        0.0       0.0       0.0
PTITLE    DEFORMED SHAPE
DPLOT
VIEW        0.0      45.0     -67.5
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
IPLOT               BOTH
PTITLE    CIRCUMFERENTIAL STRESS CONTOUR LINES ON THE UPPER SURFACE
CPLOT               STRS1 TOP      LCL
```

```
PTITLE    CIRCUMFERENTIAL STRESS CONTOUR LINES ON THE LOWER FACE
CPLOT               STRS1 BOT      LCL
PTITLE    MERIDIONAL STRESS CONTOUR LINES ON THE UPPER SURFACE
CPLOT               STRS2 TOP      LCL
PTITLE    MERIDIONAL STRESS CONTOUR LINES ON THE LOWER SURFACE
CPLOT               STRS2 BOT      LCL
PTITLE    VECTOR DESCRIPTION OF THE PRINCIPAL STRESS ON THE UPPER SURFACE
VPLOT               PRIN* TOP
PTITLE    VECTOR DESCRIPTION OF THE PRINCIPAL STRESS ON THE LOWER SURFACE
VPLOT               PRIN* BOT
$
XYPLOT
XVALU        10     56.25     58.75     61.25     63.75     66.25     68.75
                    71.25     73.75     76.25     78.75     81.25     83.75
                    86.25     88.75
ILIST        10    3   68    5   45
ILIST        20    3   68    5    5
XRANGE          55.0      90.0
XDIVISION     7    0
YDIVISION          0
PTITLE    CIRCUMFERENTIAL STRESS DISTRIBUTION ALONG THE MERIDIONAL LINE
XTITLE    LATITUD(DEG.)
YTITLE    CIRCUMFERENTIAL STRESS(KG/MM*MM)
CURVE        1                UPPER
CURVE        2                LOWER
PLOT2     STRS1ILIST   10     XVALU   10STRS1ILIST   20     XVALU   10
PTITLE    MERIDIONAL STRESS DISTRIBUTION ALONG THE MERIDIONAL LINE
YTITLE    MERIDIONAL STRESS(KG/MM*MM)
PLOT2     STRS2ILIST   10     XVALU   10STRS2ILIST   20     XVALU   10
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.1.5 薄肉円筒の曲げ解析（非軸対称荷重解析）

(1) 問題

図 2.1.5-1 に示すように直径 2.0in、板厚 0.1in、長さ 250in の薄肉円筒の自重による曲げ弾性解析（非軸対称荷重解析）を行なう。弾性係数は 30.0×10^6psi、ポアソン比 0.0、密度 0.00073 $lb\cdot sec^2/in^4$ とする。

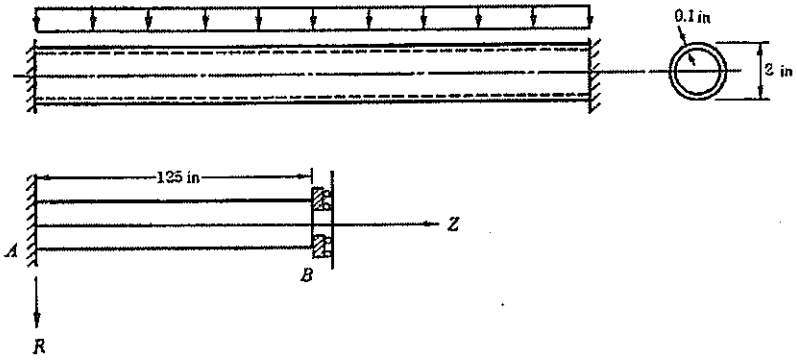


図 2.1.5 -1 薄肉円筒

(2) 有限要素モデルと解析条件

円筒の対称性を考慮して 1/2 モデルについて、2 節点円錐台シェル調和級数要素 NCONC2 を用いて図 2.1.5 -2 のような有限要素モデルを作成する。境界条件は節点 1 において完全拘束、節点 9 は対称条件を与える。

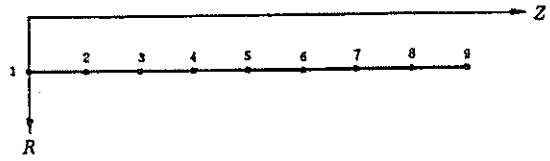


図 2.1.5 -2 有限要素モデル

負荷条件は自重を負荷する。すなわち単位体積あたりの物体力 q は密度 ρ および重力加速度 g から次式で与えられる。

$$q = \rho * g = 0.00073 \times 386 = 0.28178 kg / in^3 \qquad (2.1.5\text{-}1)$$

また、自重は対称 1 次モードの荷重であり次式等で与えられる。

(2.1.5-2)

$$q_R = \sum_{n=0}^{m} q_{R,n} \cos n\theta$$

$$q_\theta = \sum_{n=0}^{m} q_{\theta,n} \sin n\theta \qquad (2.1.5\text{-}3)$$

$$q = q_R - q_\theta = q_{R,1} \cos\theta - q_{\theta,1} \sin\theta \qquad (2.1.5\text{-}4)$$

したがって、

$$q_{R,1} = -q_{\theta,1} = 0.28178 lb/in^3 \qquad (2.1.5\text{-}5)$$

(3) 理論解

梁理論により、両端固定の円筒に等分布荷重が作用する場合の梁中央部のたわみは次式で与えられる。

$$\delta = \frac{\rho g A \cdot l^4}{384 EI} \qquad (2.1.5\text{-}6)$$

ここでA、Iはそれぞれ断面積、断面2次モーメントで、次式等で示される。

$$A = \pi dt, \quad I = \frac{\pi}{8} dt(d^2 + t^2) \qquad (2.1.5\text{-}7)$$

したがって、δ=0.190618in となる。

また、曲げモーメントMは次式で与えられる。

$$M = -\frac{\rho g A \cdot l^2}{12} + \frac{\rho g A \cdot ls}{2} - \frac{\rho g A \cdot s^2}{2} \qquad (2.1.5\text{-}8)$$

したがって、応力σは次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{Mr}{I} = -\frac{2r\rho g}{3(d^2 + t^2)}(l^2 - 6ls + 6s^2) \qquad (2.1.5\text{-}9)$$

最大曲げモーメント固定端 1 に生じ、固定端に最も近い積分点位置の座標Sは次の値である。

$$s = \frac{1}{8} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{2}(1.906) = 0.18359 \qquad (2.1.5\text{-}10)$$

よって、最大応力 σ_{max} は(1.05, 0.18359)において 3060.75psi の値を持つ。

(4) 解析結果

節点9におけるたわみuおよび座標(1.05, 0.18359)-要素1積分点5-における最大応力 σ_{max} について表 2.1.5-1 に FINAS の解と理論解を示す。

表 2.1.5-1　FINAS の解と理論解

変位・応力	FINAS の解	理論解
u (θ =0°)	1.91222E-01	0.190618
v (θ =90°)	-1.91222E-01	-0.190618
σ_{ϕ} (θ =0°)	-3.0029+03	3060.75

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.1.5-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
STATIC    E    NONAX
TITLE     VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY
DEVELOPER
MODEL
$         VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY
$                  AXISYMMETRIC SOLID UNDER NON-AXISYMMETRIC LOAD
NODE
    1                1.0         0.0                            8         1    9
    9                1.0       125.0
ELEMENT TYPE
    1     NCONC2
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2                                 8    1
MATERIAL
    1
          E              30.0E6
          NU                0.0
GEOMETRY
    1    2 0.1        0.1
BOUNDARY
    1
               1                    1    4
               9                    2
               9                    4
FORCE
    1
         6    1    8    1    1    1    2 0.28178   0.28178
         6    1    8    1    3    1    2-0.28178  -0.28178
MULTICASE
LOADING            1SYM      1
          FORC     1       1.0
          BOUN     1       1.0
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
ELM       ALL  ALL
POST TAPE
DISP      ALL
ELM       ALL  ALL
REAC      ALL
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.1.5-3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM   0-0
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    1


                        A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1       2       3       4       5       6       7       8
                1...0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0
                FINAS
                STATIC    E    NONAX
                TITLE     VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY
                DEVELOPER
1   VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY                      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    2


                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1       2       3       4       5       6       7       8
                1...0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0
            0-  MODEL
                $         VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY
                $                   AXISYMMETRIC SOLID UNDER NON-AXISYMMETRIC LOAD
            1-  NODE
            2-      1               1.0       0.0                           8       1   9
            3-      9               1.0     125.0
            4-  ELEMENT TYPE
            5-      1     NCONC2
            6-  CONNECTION
            7-      1   1   1   1   1   2                                   8   1
            8-  MATERIAL
            9-      1
           10-            E             30.0E0
           11-            NU              0.0
           12-  GEOMETRY
           13-      1   2 0.1       0.1
           14-  BOUNDARY
           15-      1
           16-                1                   1   4
           17-                9                   2
           18-                9                   4
           19-  FORCE
           20-      1
           21-            6   1   8   1   1   1   2 0.28178   0.28178
           22-            6   1   9   1   3   1   2-0.28179  -0.29178
           23-  MULTICASE
           24-  LOADING            ISYM     1
           25-            FORC     1       1.0
           26-            BOUN     1       1 0
           27-  END MODEL
1   VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY                      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    3


                        O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1       2       3       4       5       6       7       8
                1...0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0
                OUTPUT
                PRINT SELECT
                ELM       ALL  ALL
                POST TAPE
                DISP      ALL
                ELM       ALL  ALL
                REAC      ALL
                END OUTPUT
                END FINAS
1   VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY                      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    4


                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    ----------------
    NODAL COORDINATE
    ----------------

      NUMBER OF NODAL POINTS . .        9

      NODE              X1            X2

        1           1.00000       0.00000
        2           1.00000      15.6250
        3           1.00000      31.2500
        4           1.00000      46.8750
        5           1.00000      62.5000
        6           1.00000      78.1250
        7           1.00000      93.7500
        8           1.00000     109.375
        9           1.00000     125.000

    MAXIMUM      NODE-    1    NODE-    9    NODE-
      VALUE        1.00000      125.000

    MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-
      VALUE        1.00000      0.00000
```

ELEMENT TYPE

TYPE	NAME	SWC- 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	NCDN02	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0

ELEMENT CONNECTION

NUMBER OF ELEMENTS ... 8

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES	
1	1	1	1	1	2
2	1	1	1	2	3
3	1	1	1	3	4
4	1	1	1	4	5
5	1	1	1	5	6
6	1	1	1	6	7
7	1	1	1	7	8
8	1	1	1	8	9

MODEL DATA DESCRIPTION

ELEMENT GEOMETRY

GEOMETRY	GEOM-1	GEOM-2
1	0.1000	0.1000

MATERIAL PROPERTY

IDENTIFICATION NUMBER == 1

	VALUE
E	0.300000E+08
NU	0.00000

BOUNDARY CONDITION

IDENTIFICATION NUMBER == 1

NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP
1	1		0.000	1	2		0.000	1	3		0.000
1	4		0.000	9	2		0.000	9	4		0.000

FORCE

IDENTIFICATION NUMBER == 1

ELEMENT	TYPE	PARAM	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	6	1	0.281780	0.281780					
2	6	1	0.281780	0.281780					
3	6	1	0.281780	0.281780					
4	6	1	0.281780	0.281780					
5	6	1	0.281780	0.281780					
6	6	1	0.281780	0.281780					
7	6	1	0.281780	0.281780					
8	6	1	0.281780	0.281780					
1	6	3	-0.281780	-0.281780					
2	6	3	-0.281780	-0.281780					
3	6	3	-0.281780	-0.281780					
4	6	3	-0.281780	-0.281780					
5	6	3	-0.281780	-0.281780					
6	6	3	-0.281780	-0.281780					

MODEL DATA DESCRIPTION

ELEMENT	TYPE	PARAM	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
7	6	3	-0.281780	-0.281780					
8	6	3	-0.281780	-0.281780					

MULTICASE

```
      LOAD      MODE      NUMBER                IDENT  * FACTOR

        1       SYM          1    BOUNDARY        1     1.000
                                  FORCE           1     1.000
1   VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    7

                                 D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( CASE ID.    1 )
0     MODE NUMBER   1   SYMMETRIC                                                   CASE SEQUENCE NUMBER   1
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4          D5            D6

          1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2        1.05512E-02  -1.25301E-03  -1.05514E-02  -1.25709E-03
          3        3.66986E-02  -2.00482E-03  -3.66985E-02  -2.00834E-03
          4        7.10742E-02  -2.32702E-03  -7.10742E-02  -2.32995E-03
          5        1.07815E-01  -2.29122E-03  -1.07815E-01  -2.29358E-03
          6        1.41256E-01  -1.86602E-03  -1.41256E-01  -1.87078E-03
          7        1.68083E-01  -1.43201E-03  -1.68083E-01  -1.43319E-03
          8        1.85298E-01  -7.51807E-04  -1.85298E-01  -7.52393E-04
          9        1.91222E-01   0.00000E+00  -1.91222E-01   0.00000E+00
0

                                 N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( CASE ID.    1 )
0     MODE NUMBER   1   SYMMETRIC                                                   CASE SEQUENCE NUMBER   1
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4          D5            D6

          1       -1.25534E+01   8.92483E+02   9.57756E+00   2.78593E+01
          9        0.00000E+00   4.62548E+02   0.00000E+00   3.14328E-01
0

                                 S T R E S S   A N D   S T R A I N                        ( CASE ID.    1 )
0     MODE NUMBER   1   SYMMETRIC                                                   CASE SEQUENCE NUMBER   1
0 ELM ID-POINT          X             Y             YZ                                   VON MISES     TRESCA

    1 -  1    STRESS  -2.7128E+03 -3.6931E+00 -2.0277E+01                                2.7112E+03  2.7313E+03
              STRAIN  -9.0426E-05 -1.2310E-07 -1.3518E-06

    1 -  2    STRESS  -2.7853E+03 -3.6931E+00 -1.9866E+01                                2.7837E+03  2.8035E+03
              STRAIN  -9.2844E-05 -1.2310E-07 -1.3264E-06

    1 -  3    STRESS  -2.8579E+03 -3.6931E+00 -1.9516E+01                                2.8562E+03  2.8756E+03
              STRAIN  -9.5282E-05 -1.2310E-07 -1.3011E-06

    1 -  4    STRESS  -2.9304E+03 -3.6931E+00 -1.9136E+01                                2.9287E+03  2.9478E+03
              STRAIN  -9.7680E-05 -1.2310E-07 -1.2757E-06

    1 -  5    STRESS  -3.0029E+03 -3.6931E+00 -1.8755E+01                                3.0013E+03  3.0199E+03
              STRAIN  -1.0010E-04 -1.2310E-07 -1.2504E-06

    1 -  6    STRESS  -2.5495E+03 -9.1383E+00 -6.4244E+01                                2.5473E+03  2.6093E+03
              STRAIN  -8.4952E-05 -3.0454E-07 -4.2830E-06

    1 -  7    STRESS  -2.6170E+03 -9.1383E+00 -6.2711E+01                                2.6148E+03  2.6754E+03
              STRAIN  -8.7235E-05 -3.0454E-07 -4.1808E-06
1   VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    8

                                 S T R E S S   A N D   S T R A I N                        ( CASE ID.    1 )
0     MODE NUMBER   1   SYMMETRIC                                                   CASE SEQUENCE NUMBER   1
0 ELM ID-POINT          X             Y             YZ                                   VON MISES     TRESCA

    1 -  8    STRESS  -2.6846E+03 -9.1383E+00 -6.1179E+01                                2.6822E+03  2.7414E+03
              STRAIN  -8.9486E-05 -3.0454E-07 -4.0786E-06

    1 -  9    STRESS  -2.7522E+03 -9.1383E+00 -5.9646E+01                                2.7496E+03  2.8075E+03
              STRAIN  -9.1741E-05 -3.0454E-07 -3.9764E-06

    1 -  10   STRESS  -2.8198E+03 -9.1383E+00 -5.8113E+01                                2.8171E+03  2.8735E+03
              STRAIN  -9.3994E-05 -3.0454E-07 -3.8742E-06

    1 -  11   STRESS  -2.2853E+03 -1.8211E+00 -7.8048E+01                                2.2834E+03  2.3725E+03
              STRAIN  -7.6511E-05 -6.0705E-08 -5.2033E-06

    1 -  12   STRESS  -2.3557E+03 -1.8211E+00 -7.6131E+01                                2.3534E+03  2.4309E+03
              STRAIN  -7.8522E-05 -6.0705E-08 -5.0754E-06

    1 -  13   STRESS  -2.4160E+03 -1.8211E+00 -7.4212E+01                                2.4135E+03  2.4893E+03
              STRAIN  -8.0533E-05 -6.0705E-08 -4.9475E-06

    1 -  14   STRESS  -2.4763E+03 -1.8211E+00 -7.2294E+01                                2.4736E+03  2.5477E+03
              STRAIN  -8.2545E-05 -6.0705E-08 -4.8196E-06

    1 -  15   STRESS  -2.5367E+03 -1.8211E+00 -7.0375E+01                                2.5337E+03  2.6061E+03
              STRAIN  -8.4556E-05 -6.0705E-08 -4.6917E-06

    1 -  16   STRESS  -2.0234E+03  5.3225E+00 -6.6666E+01                                2.0294E+03  2.0930E+03
              STRAIN  -6.7446E-05  1.7742E-07 -4.4577E-06

    1 -  17   STRESS  -2.0785E+03  5.3225E+00 -6.5272E+01                                2.0822E+03  2.1445E+03
              STRAIN  -6.9216E-05  1.7742E-07 -4.3515E-06

    1 -  18   STRESS  -2.1296E+03  5.3225E+00 -6.3879E+01                                2.1351E+03  2.1960E+03
```

```
                                    S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( CASE ID.     1 )
0      MODE NUMBER    1    SYMMETRIC                                                 CASE SEQUENCE NUMBER    1
0 ELM ID-POINT                X            Y            YZ                                VON MISES    TRESCA

      8 -  9    STRESS   1.4609E+03  2.7506E-01 -4.4098E+00                                1.4607E+03  1.4651E+03
                STRAIN   4.8694E-05  9.1687E-09 -2.9789E-07

      8 - 10    STRESS   1.4965E+03  2.7506E-01 -4.3555E+00                                1.4963E+03  1.5007E+03
                STRAIN   4.9882E-05  9.1687E-09 -2.9036E-07

      8 - 11    STRESS   1.3727E+03  2.5443E-01 -4.6284E+00                                1.3726E+03  1.3772E+03
                STRAIN   4.5757E-05  8.4810E-09 -3.0858E-07

      8 - 12    STRESS   1.4088E+03  2.5443E-01 -4.5182E+00                                1.4087E+03  1.4132E+03
                STRAIN   4.6961E-05  8.4810E-09 -3.0122E-07

      8 - 13    STRESS   1.4448E+03  2.5443E-01 -4.4080E+00                                1.4448E+03  1.4492E+03
                STRAIN   4.8165E-05  8.4810E-09 -2.9387E-07

      8 - 14    STRESS   1.4811E+03  2.5443E-01 -4.2978E+00                                1.4808E+03  1.4852E+03
                STRAIN   4.9368E-05  8.4810E-09 -2.8652E-07

      8 - 15    STRESS   1.5172E+03  2.5443E-01 -4.1876E+00                                1.5171E+03  1.5212E+03
                STRAIN   5.0572E-05  8.4810E-09 -2.7917E-07

      8 - 16    STRESS   1.3890E+03  2.7911E-01 -4.4368E+00                                1.3889E+03  1.3933E+03
                STRAIN   4.6300E-05  9.3038E-09 -2.9579E-07

      8 - 17    STRESS   1.4256E+03  2.7911E-01 -4.3308E+00                                1.4255E+03  1.4298E+03
                STRAIN   4.7520E-05  9.3038E-09 -2.8873E-07

      8 - 18    STRESS   1.4622E+03  2.7911E-01 -4.2250E+00                                1.4620E+03  1.4663E+03
                STRAIN   4.8739E-05  9.3038E-09 -2.8167E-07

      8 - 19    STRESS   1.4987E+03  2.7911E-01 -4.1191E+00                                1.4986E+03  1.5027E+03
                STRAIN   4.9958E-05  9.3038E-09 -2.7461E-07

      8 - 20    STRESS   1.5353E+03  2.7911E-01 -4.0132E+00                                1.5352E+03  1.5392E+03
                STRAIN   5.1177E-05  9.3038E-09 -2.6755E-07

      8 - 21    STRESS   1.3987E+03  3.1945E-01 -1.4091E+00                                1.3985E+03  1.3999E+03
                STRAIN   4.6622E-05  1.0648E-08 -9.3542E-08

      8 - 22    STRESS   1.4358E+03  3.1945E-01 -1.3693E+00                                1.4354E+03  1.4368E+03
                STRAIN   4.7852E-05  1.0648E-08 -9.1288E-08

      8 - 23    STRESS   1.4725E+03  3.1945E-01 -1.3355E+00                                1.4723E+03  1.4736E+03
                STRAIN   4.9082E-05  1.0648E-08 -8.9033E-08

      8 - 24    STRESS   1.5094E+03  3.1945E-01 -1.3017E+00                                1.5092E+03  1.5105E+03
                STRAIN   5.0312E-05  1.0648E-08 -8.6778E-08
1    VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    20


                                    S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( CASE ID.     1 )
0      MODE NUMBER    1    SYMMETRIC                                                 CASE SEQUENCE NUMBER    1
0 ELM ID-POINT                X            Y            YZ                                VON MISES    TRESCA

      8 - 25    STRESS   1.5482E+03  3.1945E-01 -1.2678E+00                                1.5481E+03  1.5474E+03
                STRAIN   5.1542E-05  1.0648E-08 -8.4525E-08
1    VP-115   BENDING OF THIN PIPE UNDER GRAVITY                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    21


0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . STATIC  E   NONA
0         NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . .          1          ( FROM     1 TO     1 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .          8
+                                                                    (       8*NCONC2  )
0         NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .         9
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .         30
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .        8
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .        5.8
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .        0.0          ( 6.25 % )
0         MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .       0.0          ( 6.25 % )
0         STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . .        0.0          ( 12.50 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) . .      0.2          ( 75.00 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .        0.3 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .       15 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .         0 BLOCKS
                                  ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.1.6 オフセット機能を用いたI型断面梁の曲げ解析

(1) 問題

図2.1.6-1に示すように長さ100.0cmのI型断面梁を3本の矩形断面梁の組み合せとして同一軸上にモデル化し、オフセット量を考慮した曲げ解析を行なう。このときリブ部の断面積は18.0cm²、断面2次モーメントは1.5cm⁴および486.0cm⁴、フランジ部では、それぞれ5.0cm²、10.4167cm⁴および0.4167cm⁴とする。各梁の弾性係数は2.1x10⁶kg/cm²、ポアソン比は0.3を用いる。

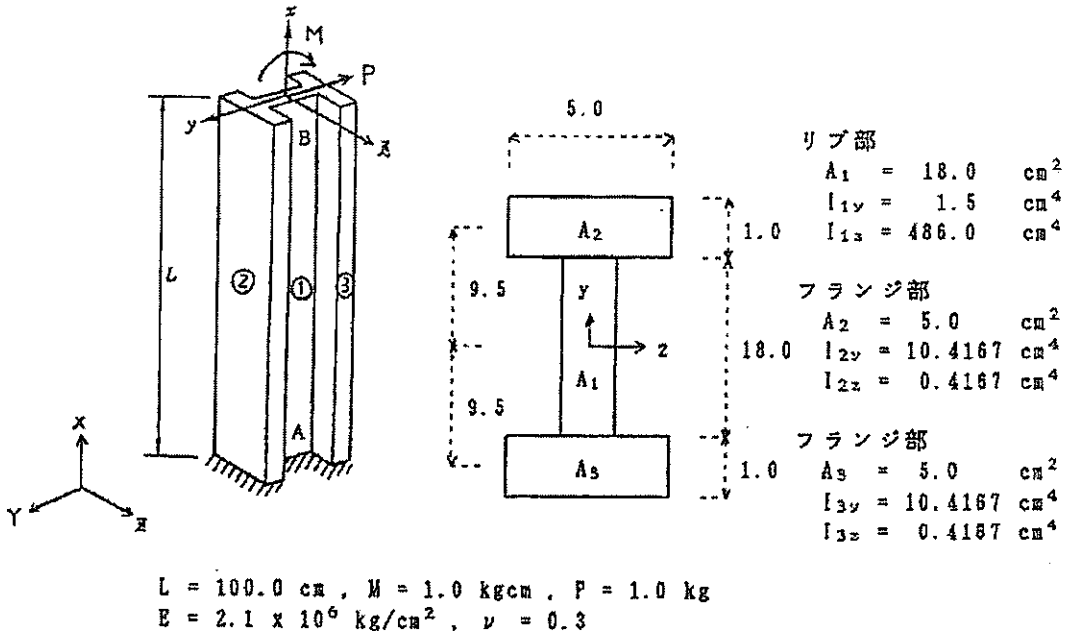


図2.1.6-1　I型断面梁

(2) 有限要素モデルと解析条件

3本の矩形断面梁①、②、③は同一節点上でモデル化し、有限要素としては3次元梁要素BEAM2を用いる。オフセット量はI型断面のフランジ部の梁②、③にそれぞれ9.5cm、-9.5cmを考慮する。境界条件はA点を完全拘束とする。負荷条件としては、B点へ曲げ荷重すなわちモーメント荷重1.0kgcmを与える。

(3) 理論解

モーメント荷重の場合

$$u_y = \frac{ML^2}{2EI_z} = -1.71378x10^{-6} \qquad (2.1.6\text{-}1)$$

$$\theta_z = \frac{ML}{EI_z} = -3.42756x10^{-8} \qquad (2.1.6\text{-}2)$$

(4) 解析結果

B点における変位およびA点における反力を表2.1.6-1にFINASの解と理論解を示す。

表2.1.6-1　モーメント荷重による変位、反力

変位・反力	FINASの解	理論解
Uy	-1.71373E-06	$-1.71378x10^{-6}$
θz	-3.42747E-08	$-3.42756x10^{-8}$
Mz	1.00000E+00	1.0

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.1.6-3 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0

SYSTEM    0/0
.
FINAS
TITLE     VP201   OFFSET FUNCTION
$
$ ... ABORT BY UNDERFLOW AT CRCHP11 ... 95.8/14
$
SUBTITLE  CANTILEVER H-TYPE BEAM SUBJECTED MOMENT AND SHEAR LOAD
NOPRINT   DESCR
DIAG      4/1
STATIC    E    MLT
MODEL
ELEMENT TYPE
    1     BEAM2
NODE
    1                     0.0       0.0       0.0
    2                   100.0       0.0       0.0
    3                     0.0      10.0       0.0
GEOMETRY
$---*----1----*----2----*----3----*----4----*----5----*----6----*----7----*----8
    1    6       1.0      18.0       1.0      18.0       0.0       0.0
    2    6       5.0       1.0       5.0       1.0       9.5       0.0
    3    6       5.0       1.0       5.0       1.0      -9.5       0.0
MATERIAL
    1
         E                2.1E6
         NU                 0.3
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2    3
    2    1    2    1    1    2    3
    3    1    3    1    1    2    3
BOUNDARY
    1
              1                   1    6      0.0
FORCE
    1
              2                   6    6     -1.0
    2
              2                   2    2     -1.0
MULTICASE
LOADING            1
         BOUN      1
         FORC      1
LOADING            2
         BOUN      1
         FORC      2
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.1.6-4　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM    0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                  1.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0
                  FINAS
                  TITLE     VP201   OFFSET FUNCTION
                  $
                  $   ABORT BY UNDERFLOW AT CRCHP11 .   95.8/14
                  $
                  SUBTITLE  CANTILEVER H-TYPE BEAM SUBJECTED MOMENT AND SHEAR LOAD
                  NOPRINT   DESCR
                  DIAG      4/1
                  STATIC    E    MLT
1     VP201   OFFSET FUNCTION                                      FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    2
      CANTILEVER H-TYPE BEAM SUBJECTED MOMENT AND SHEAR LOAD

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                  1.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0
            0-    MODEL
            1-    ELEMENT TYPE
            2-        1     BEAM2
            3-    NODE
            4-        1                   0.0      0.0      0.0
            5-        2                 100.0      0.0      0.0
            6-        3                   0.0     10.0      0.0
            7-    GEOMETRY
                  $---*----1----*----2----*----3----*----4----*----5----*----6----*----7----*----8
            8-        1    6      1.0     18.0      1.0     18.0      0.0      0.0
            9-        2    6      5.0      1.0      5.0      1.0      9.5      0.0
           10-        3    6      5.0      1.0      5.0      1.0     -8.5      0.0
           11-    MATERIAL
           12-        1
           13-             E            2.1E6
           14-             NU             0.3
           15-    CONNECTION
           16-        1    1    1    1    1    2    3
           17-        2    1    2    1    1    2    3
           18-        3    1    3    1    1    2    3
           19-    BOUNDARY
           20-        1
           21-                 1                   1    6      0.0
           22-    FORCE
           23-        1
           24-                 2                   6    6     -1.0
           25-        2
           26-                 2                   2    2     -1.0
           27-    MULTICASE
           28-    LOADING            1
           29-             BOUN     1
           30-             FORC     1
           31-    LOADING            2
           32-             BOUN     1
           33-             FORC     2
           34-    END MODEL
1     VP201   OFFSET FUNCTION                                      FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    3
      CANTILEVER H-TYPE BEAM SUBJECTED MOMENT AND SHEAR LOAD

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( CASE ID.    1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        1.31502E-24  -1.71374E-08   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.42747E-08
0

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( CASE ID.    2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        1.28298E-22  -1.67198E-04   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -1.71374E-08
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( CASE ID.    1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
```

```
          1        0.00000E+00   -3.46945E-18   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( CASE ID.    2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.00000E+02
1   VP201   OFFSET FUNCTION                                                FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    4
    CANTILEVER H-TYPE BEAM SUBJECTED MOMENT AND SHEAR LOAD

                                  S T R E S S   A N D   S T R A I N                        ( CASE ID.    1 )
0 ELM ID-POINT              X          XY          ZX                                  VON MISES   TRESCA

    1 - 53    STRESS  -6.4779E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.4779E-03  6.4779E-03
              STRAIN  -3.0847E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    1 - 61    STRESS   2.7615E-20  0.0000E+00  0.0000E+00                              2.7615E-20  2.7615E-20
              STRAIN   1.3150E-26  0.0000E+00  0.0000E+00

    1 - 63    STRESS   2.7615E-20  0.0000E+00  0.0000E+00                              2.7615E-20  2.7615E-20
              STRAIN   1.3150E-26  0.0000E+00  0.0000E+00

    1 - 65    STRESS   2.7615E-20  0.0000E+00  0.0000E+00                              2.7615E-20  2.7615E-20
              STRAIN   1.3150E-26  0.0000E+00  0.0000E+00

    1 - 73    STRESS   6.4779E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.4779E-03  6.4779E-03
              STRAIN   3.0847E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    2 - 53    STRESS   6.4779E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.4779E-03  6.4779E-03
              STRAIN   3.0847E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    2 - 61    STRESS   6.8378E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.8378E-03  6.8378E-03
              STRAIN   3.2561E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    2 - 63    STRESS   6.8378E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.8378E-03  6.8378E-03
              STRAIN   3.2561E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    2 - 65    STRESS   6.8378E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.8378E-03  6.8378E-03
              STRAIN   3.2561E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    2 - 73    STRESS   7.1977E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              7.1977E-03  7.1977E-03
              STRAIN   3.4275E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    3 - 53    STRESS  -7.1977E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              7.1977E-03  7.1977E-03
              STRAIN  -3.4275E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    3 - 61    STRESS  -6.8378E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.8378E-03  6.8378E-03
              STRAIN  -3.2561E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    3 - 63    STRESS  -6.8378E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.8378E-03  6.8378E-03
              STRAIN  -3.2561E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    3 - 65    STRESS  -6.8378E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.8378E-03  6.8378E-03
              STRAIN  -3.2561E-09  0.0000E+00  0.0000E+00

    3 - 73    STRESS  -6.4779E-03  0.0000E+00  0.0000E+00                              6.4779E-03  6.4779E-03
              STRAIN  -3.0847E-09  0.0000E+00  0.0000E+00
1   VP201   OFFSET FUNCTION                                                FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    5
    CANTILEVER H-TYPE BEAM SUBJECTED MOMENT AND SHEAR LOAD

                                  S T R E S S   A N D   S T R A I N                        ( CASE ID.    2 )
0 ELM ID-POINT              X          XY          ZX                                  VON MISES   TRESCA

    1 - 53    STRESS  -3.2390E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                              3.2390E-01  3.2390E-01
              STRAIN  -1.5424E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

    1 - 61    STRESS   2.6943E-18  0.0000E+00  0.0000E+00                              2.6943E-18  2.6943E-18
              STRAIN   1.2830E-24  0.0000E+00  0.0000E+00

    1 - 63    STRESS   2.6943E-18  0.0000E+00  0.0000E+00                              2.6943E-18  2.6943E-18
              STRAIN   1.2830E-24  0.0000E+00  0.0000E+00

    1 - 65    STRESS   2.6943E-18  0.0000E+00  0.0000E+00                              2.6943E-18  2.6943E-18
              STRAIN   1.2830E-24  0.0000E+00  0.0000E+00

    1 - 73    STRESS   3.2390E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                              3.2390E-01  3.2390E-01
              STRAIN   1.5424E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

    2 - 53    STRESS   3.2390E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                              3.2390E-01  3.2390E-01
              STRAIN   1.5424E-07  0.0000E+00  0.0000E+00
```

```
2 - 61    STRESS   3.4189E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                                  3.4189E-01  3.4189E-01
          STRAIN   1.6281E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

2 - 63    STRESS   3.4189E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                                  3.4189E-01  3.4189E-01
          STRAIN   1.6281E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

2 - 65    STRESS   3.4189E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                                  3.4189E-01  3.4189E-01
          STRAIN   1.6281E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

2 - 73    STRESS   3.5988E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                                  3.5988E-01  3.5988E-01
          STRAIN   1.7137E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

3 - 53    STRESS  -3.5988E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                                  3.5988E-01  3.5988E-01
          STRAIN  -1.7137E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

3 - 61    STRESS  -3.4189E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                                  3.4189E-01  3.4189E-01
          STRAIN  -1.6281E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

3 - 63    STRESS  -3.4189E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                                  3.4189E-01  3.4189E-01
          STRAIN  -1.6281E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

3 - 65    STRESS  -3.4189E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                                  3.4189E-01  3.4189E-01
          STRAIN  -1.6281E-07  0.0000E+00  0.0000E+00

3 - 73    STRESS  -3.2390E-01  0.0000E+00  0.0000E+00                                  3.2390E-01  3.2390E-01
          STRAIN  -1.5424E-07  0.0000E+00  0.0000E+00
1   VP201   OFFSET FUNCTION                                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98     PAGE    6
    CANTILEVER H-TYPE BEAM SUBJECTED MOMENT AND SHEAR LOAD

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . STATIC  E   MLT
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .      1          ( FROM     1 TO     1 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .      3
+                                                                 (       3*BEAM2    )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .      3
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .      6
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .      3
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .      2.2
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . . .      0.0          ( 50.00 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) . .      0.0          ( 50.00 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .      0.1 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .      20 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . . .      0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.1.7 偏心荷重が作用する梁の弾性解析

(1) 問題

図 2.1.7-1 に示すようにオフセット量が与えられた長さ 100.0cm の矩形断面梁へ集中荷重が作用する弾性解析を行なう。梁の断面積は 25.0cm²、断面 2 次モーメントは 52.083cm⁴、弾性係数は 2.1x10⁶kg/cm²、ポアソン比は 0.3 を用いる。

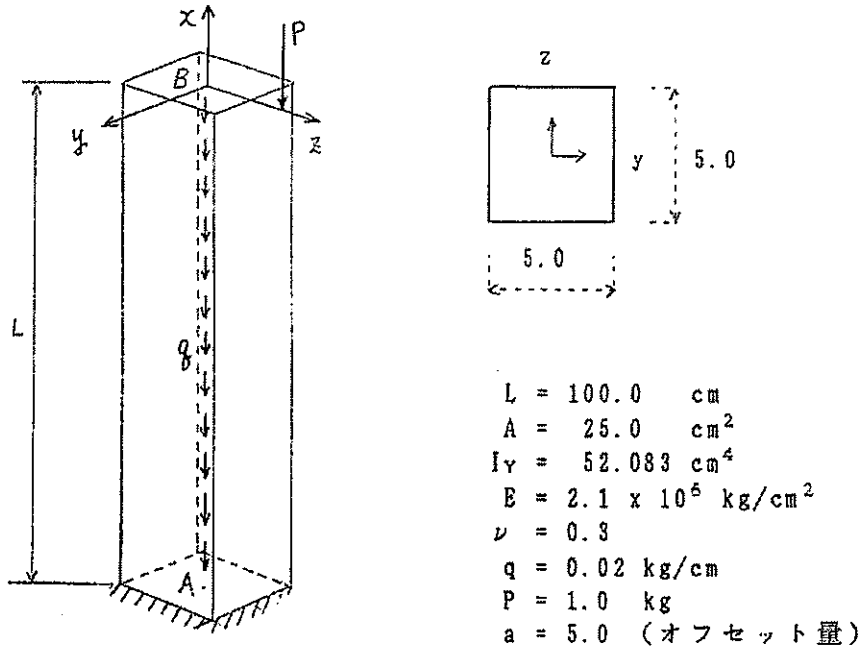


図 2.1.7-1 偏心荷重を受ける梁

(2) 有限要素モデルと解析条件

有限要素としては 3 次元弾性梁要素 SBEAM2 を用い、オフセット量は 5.0cm を与える。境界条件は A 点を完全拘束とし、集中荷重は B 点に 1.0kg を負荷する。

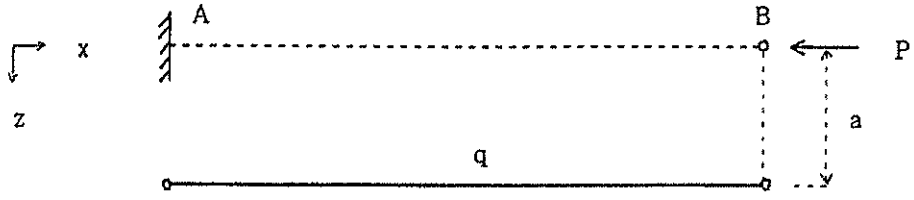


図 2.1.7-2 オフセットモデル

(3) 理論解

$$u_z = \frac{ML^2}{2EI_y} = -2.28573x10^{-4} \qquad (2.1.7\text{-}1)$$

$$\theta_y = \frac{ML}{EI_y} = 4.57146x10^{-6} \qquad (2.1.7\text{-}2)$$

$$u_x = \frac{PL}{EA} - a\theta_y = -2.47621x10^{-5} \qquad (2.1.7\text{-}3)$$

(4) 解析結果

表 2.1.7-1 に変位、反力および部材力について FINAS の解と理論解を示す。

表 2.1.7-1　変位、反力および部材力

項　　目	成分	FINAS の解	理論解
B 端の変位	Ux	-2.47621E-05	$-2.47621x10^{-5}$
	Uy	0.0	0.0
	Uz	-2.8573E-05	$-2.28573x10^{-4}$
	θx	0.0	0.0
	θy	4.57146E-06	$4.57146x10^{-6}$
	θz	0.0	0.0
A 端の反力	Ux	1.00000E+00	1.0
	Uy	0.0	0.0
	Uz	0.0	0.0
	θx	0.0	0.0
	θy	0.0	0.0
	θz	0.0	0.0
部材力	Fx A	-1.00000E+00	-1.0
	B	-1.00000E+00	-1.0
	Fy A	0.0	0.0
	B	0.0	0.0
	Fz A	0.0	0.0
	B	0.0	0.0
	Mx A	0.0	0.0
	B		

			0.0	0.0
	My	A	5.00000E+00	5.0
		B	5.00000E+00	5.0
	Mz	A	0.0	0.0
		B	0.0	0.0

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.1.7 − 2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0


SYSTEM     0/0
FINAS
NOPRINT    DESCR
TITLE      VP-204   OFFSET FUNCTION
SUBTITLE   CANTILEVER OFFSET BEAM SUBJECTED AXIAL LOAD
DIAG       4/1
STATIC     E   MLT
MODEL
ELEMENT TYPE
    1          SBEAM2
NODE
    1                        0.0       0.0       0.0
    2                      100.0       0.0       0.0
    3                        0.0      10.0       0.0
GEOMETRY
$---*----1----*----2----*----3----*----4----*----5----*----6----*----7----*----8
    1    8       25.0                        52.083    52.083     2.0E4       0.0
                  5.0
MATERIAL
    1
           E                2.1E6
           NU                 0.3
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2    3
BOUNDARY
    1
               1                    1    6       0.0
FORCE
    1
               2                    1    1      -1.0
    2
         1     1               1    1    2     -0.02     -0.02
   11
               2                    1    6      -1.0       0.0       0.0       0.0
                                                 0.0      -5.0
MULTICASE
LOADING              1
           BOUN      1
           FORC      1
LOADING              2
           BOUN      1
           FORC      2
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.1.7 − 3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM    0/0
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE     1


                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                 1.  ....0....    ....0....    ....0....    ....0....    ....0....    ....0....    ....0....    ....0
                 FINAS
                 NOPRINT   DESCR
                 TITLE     VP-204   OFFSET FUNCTION
                 SUBTITLE  CANTILEVER OFFSET BEAM SUBJECTED AXIAL LOAD
                 DIAG      4/1
                 STATIC    E   MLT
1   VP-204   OFFSET FUNCTION                                         FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE     2
    CANTILEVER OFFSET BEAM SUBJECTED AXIAL LOAD

                                          M O D E L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                 1....    ....0....    ....0....    ....0....    ....0....    ....0....    ....0....    ....0
            0-   MODEL
            1-   ELEMENT TYPE
            2-       1        SBEAM2
            3-   NODE
            4-       1                   0.0      0.0      0.0
            5-       2                 100.0      0.0      0.0
            6-       3                   0.0     10.0      0.0
            7-   GEOMETRY
                 $---*---1---*---2---*---3---*---4---*---5---*---6---*---7---*---8
            8-       1    8     25.0                     52.083   52.083    2.0E4      0.0
            9-                  5.0
           10-   MATERIAL
           11-       1
           12-            E              2.1E6
           13-            NU               0.3
           14-   CONNECTION
           15-       1    1    1    1    1    2    3
           16-   BOUNDARY
           17-       1
           18-                1                   1    6      0.0
           19-   FORCE
           20-       1
           21-                2                   1    1     -1.0
           22-       2
           23-            1    1              1    1    2    -0.02    -0.02
           24-      11
           25-                2                   1    6     -1.0      0.0      0.0      0.0
           26-                                                0.0     -5.0
           27-   MULTICASE
           28-   LOADING            1
           29-            BOUN       1
           30-            FORC       1
           31-   LOADING            2
           32-            BOUN       1
           33-            FORC       2
           34-   END MODEL
1   VP-204   OFFSET FUNCTION                                         FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE     3
    CANTILEVER OFFSET BEAM SUBJECTED AXIAL LOAD

                                   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( CASE ID.     1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2       -2.47621E-05   0.00000E+00  -2.29573E-04   0.00000E+00   4.57146E-08   0.00000E+00
0

                                   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( CASE ID.     2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2       -1.80476E-08   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                   N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( CASE ID      1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1        1.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -7.10543E-15   0.00000E+00
0
```

```
                                    N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                    ( CASE ID.     2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        2.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.00000E+01   0.00000E+00
1   VP-204   OFFSET FUNCTION                                                FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE     4
    CANTILEVER OFFSET BEAM SUBJECTED AXIAL LOAD

                                    E L E M E N T   F O R C E                                  ( CASE ID.     1 )
0     ELM.ID            F1            F2            F3            F4            F5            F6

          1    BEGIN   -1.00000E+00  0.00000E+00  2.29573E-06  0.00000E+00  4.99998E+00  0.00000E+00
                 END   -1.00000E+00  0.00000E+00  2.28573E-06  0.00000E+00  4.99998E+00  0.00000E+00
0

                                    E L E M E N T   F O R C E                                  ( CASE ID.     2 )
0     ELM.ID            F1            F2            F3            F4            F5            F6

          1    BEGIN   -2.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                 END    1.90476E-06  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
1   VP-204   OFFSET FUNCTION                                                FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE     5
    CANTILEVER OFFSET BEAM SUBJECTED AXIAL LOAD

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . STATIC  E   MLT
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .        1          ( FROM     1 TO     1 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .        1
+                                                                  (       1*SBEAM2  )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .        3
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .        6
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          4
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          2.7
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .       0.0 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .       13 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .         0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.2 非線形解析

2.2.1 並列２本棒の弾塑性解析

(1) 問題

断面積 150 mm^2 の SUS 304 製の棒と断面積 100 mm^2 の SUS 316 製の棒を図 2.2.1-1 に示すように並列に結合し、4000 kgの引張荷重を負荷する場合について弾塑性解析を行なう。棒の長さは 2 本とも 100 mmであり、2 本の棒の中心間隔は 20 mmとする。構造の温度は 550℃とし、その温度における材料定数を表 2.2.1-1 に示す。

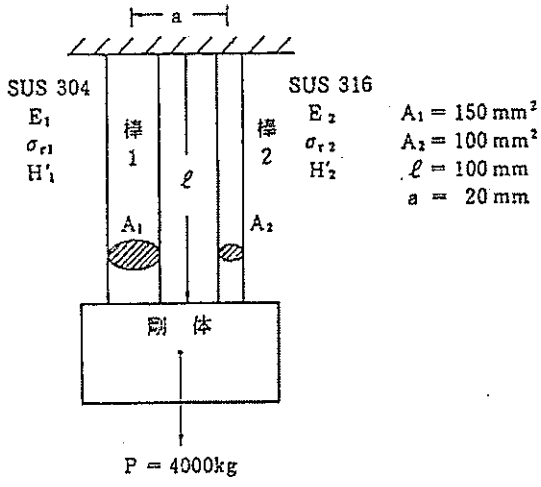


図 2.2.1-1　並列に結合した 2 本棒

表 2.2.1-1　材料定数

	棒 1	棒 2
弾性係数 E [kg/mm^2]	1.57×10^4	1.57×10^4
降伏応力 σ_y [kg／mm^2]	13.1	14.0
加工硬化係数 H' [kg／mm^2]	445	407

(2) 有限要素モデルと解析条件

3 次元棒要素 ROD2 を用いて図 2.2.1-2 に示す有限要素モデルを作成する。荷重は最初に 3000 kgを負荷し、次に 100 kgの増分を 10 回行なう。境界条件は表 2.2.1-2 に示すものとし、塑性硬化則は等方硬化則を用いる。

表 2.2.1-2　境 界 条 件

節点番号	境界条件
1, 11	$u_x = u_z = 0$ $u_{y1} = u_{y11}$
2, 12	$u_x = u_y = u_z = 0$

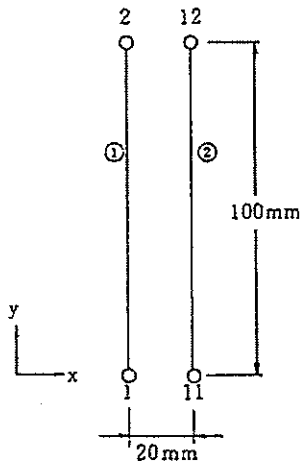


図 2.2.1-2　有限要素モデル

(3) 理論解

2本棒が共に降伏した場合の応力とひずみはそれぞれ次式で与えられる。

$$\sigma_1 = \frac{E_1/(E_1+H_1')}{A_1E_1H_1'(E_1+H_1')+A_2E_2H_2'(E_2+H_2')}\left\{PH_1' + \frac{A_2E_2}{E_2+H_2'}(H_2'\sigma_{y1} - H_1'\sigma_{y2})\right\} \quad (2.2.1\text{-}1)$$

$$\sigma_2 = \frac{E_2/(E_2+H_2')}{A_1E_1H_1'(E_1+H_1')+A_2E_2H_2'(E_2+H_2')}\left\{PH_2' + \frac{A_1E_1}{E_1+H_1'}(H_1'\sigma_{y2} - H_2'\sigma_{y1})\right\} \quad (2.2.1\text{-}2)$$

$$\varepsilon_1^{ep} = \varepsilon_2^{ep} = \frac{1}{A_1E_1H_1'(E_1+H_1')+A_2E_2H_2'(E_2+H_2')}\left\{P - (\frac{A_1E_1\sigma_{y1}}{E_1+H_1'} + \frac{A_2E_2\sigma_{y2}}{E_2+H_2'})\right\} \quad (2.2.1\text{-}3)$$

$$\varepsilon_1^{p} = \varepsilon_1^{ep} - \frac{\sigma_1}{E_1} \quad (2.2.1\text{-}4)$$

$$\varepsilon_2^{p} = \varepsilon_2^{ep} - \frac{\sigma_2}{E_2} \quad (2.2.1\text{-}5)$$

(4) 解析結果

4000 kgの荷重を負荷した時の応力とひずみの値を表 2.2.1-3 に示し、応力ーひずみ曲線を図 2.2.1-3 に示す。

表 2.2.1-3 棒1と棒2の応力とひずみ

成 分	棒 1		棒 2	
	FINAS の解	理論解	FINAS の解	理論解
σ [kg/mm²]	1.5737E+01	15.737	1.6395E+01	16.395
ε^{ep} [mm/mm]	6.9279E-03	6.9279×10^{-3}	6.9279E-03	6.9279×10^{-3}
ε^{p} [mm/mm]	5.9256E-03	5.9256×10^{-3}	5.8837E-03	5.8837×10^{-3}

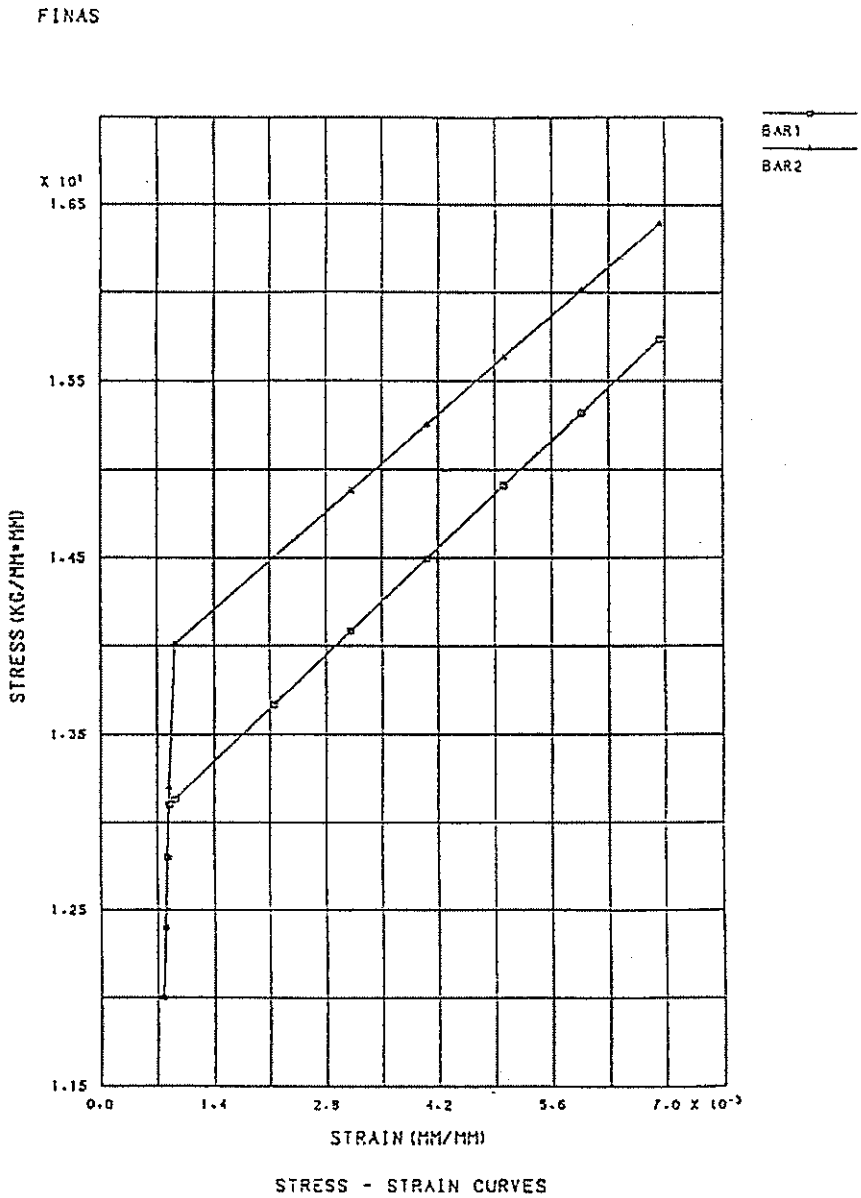


図 2.2.1-3　棒 1 と棒 2 の応力ーひずみ曲線

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.2.1-4 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL
STATIC    EP
MODEL
NODE
    1                        0.0       0.0
    2                        0.0     100.0
   11                       20.0       0.0
   12                       20.0     100.0
ELEMENT TYPE
    1     ROD2
CONNECTION
    1    1   11   21    1    2
    2    1   12   22   11   12
GEOMETRY
   11    1      150.0
   12    1      100.0
MATERIAL
   21                     1    1    1
          E               1.57E4
          SIGY              13.1
          HDASH            445.0
   22                     1    1    1
          E               1.57E4
          SIGY              14.0
          HDASH            407.0
BOUNDARY
    1
              1   11   10         1
              1   11   10         3
              2   12   10         1    3
FASTENING
    1
        F1         1    2        11    2
FORCE
    1
              1                   2            1.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN     1
          FAS      1
          FORC     1   -3000.0
INTERVAL    10
          BOUN     1
          FAS      1
          FORC     1   -1000.0
END MODEL
OUTPUT
XYPLOT
PTITLE    STRESS - STRAIN CURVES
XTITLE    STRAIN(MM/MM)
YTITLE    STRESS(KG/MM*MM)
CURVE        1                BAR1
CURVE        2                BAR2
PLOT3     EEP1     1     STRS1    1     EEP1     2     STRS1    2
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.1-5　解析結果のリスト（抜粋）

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    1

                                  A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                            1         2         3         4         5         6         7         8
                   1....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0
                   FINAS
                   TITLE     ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL
                   STATIC    EP
1    ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                                 FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    2

                                          M O D E L   D A T A   I M A G E
0                            1         2         3         4         5         6         7         8
                   1....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0
             0-    MODEL
             1-    NODE
             2-       1                      0.0       0.0
             3-       2                      0.0     150.0
             4-      11                     20.0       0.0
             5-      12                     20.0     100.0
             6-    ELEMENT TYPE
             7-       1     ROD2
             8-    CONNECTION
             9-       1    1   11   21    1    2
            10-       2    1   12   22   11   12
            11-    GEOMETRY
            12-      11    1     150.0
            13-      12    1     100.0
            14-    MATERIAL
            15-      21                    1    1    1
            16-             E             1.57E4
            17-             SIGY            13.1
            18-             HDASH          445.0
            19-      22                    1    1    1
            20-             E             1.57E4
            21-             SIGY            14.0
            22-             HDASH          407.0
            23-    BOUNDARY
            24-       1
            25-                1   11   10         1
            26-                1   11   10         3
            27-                2   12   10         1    3
            28-    FASTENING
            29-       1
            30-            FI         1    2        11    2
            31-    FORCE
            32-       1
            33-                1                    2            1.0
            34-    HISTORY
            35-    INTERVAL
            36-             BOUN      1
            37-             FAS       1
            38-             FORC      1   -3000.0
            39-    INTERVAL    10
            40-             BOUN      1
            41-             FAS       1
            42-             FORC      1   -1000.0
            43-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID    21
        POISSON RATIO IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID    22
        POISSON RATIO IS MISSING
1    ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                                 FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    3

                                  O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                            1         2         3         4         5         6         7         8
                   1....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0....0
                   OUTPUT
                   XYPLOT
                   PTITLE    STRESS - STRAIN CURVES
                   XTITLE    STRAIN(MM/MM)
                   YTITLE    STRESS(KG/MM**2)
                   CURVE        1              BAR1
                   CURVE        2              BAR2
                   PLOT3     EEP1     1     STRS1     1     EEP1     2     STRS1     2
                   END OUTPUT
                   END FINAS
1    ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                                 FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    4

                                          M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    -----------------
    NODAL COORDINATE
    -----------------

       NUMBER OF NODAL POINTS . . .          4

       NODE              X1            X2            X3

          1        0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00
```

```
     2        0.000000E+00   100.000      0.000000E+00
     *
    11         20.0000      0.000000E+00  0.000000E+00
    12         20.0000       100.000      0.000000E+00

 MAXIMUM      NODE-   11    NODE-    2    NODE-    1    NODE-
   VALUE        20.0000       100.000      0.000000E+00

 MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-    1    NODE-
   VALUE        0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00

 ------------
 ELEMENT TYPE
 ------------

   TYPE        NAME                    SWC- 1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
     1        ROD2                          0     0     0     0     0     0     0     0     0     0

 ------------------
 ELEMENT CONNECTION
 ------------------

 NUMBER OF ELEMENTS ...     2

 ELEMENT          TYPE   GEOM    MAT              NODES

     1              1     11     21            1     2
     2              1     12     22           11    12

 ----------------
 ELEMENT GEOMETRY
 ----------------

 GEOMETRY          GEOM-1        GEOM-2        GEOM-3

    11             150.0
    12             100.0

1   ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    5

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

 ------------------
 MATERIAL PROPERTY
 ------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===     21

    PLASTIC POTENTIAL  ............  ASSOCIATED RULE
    YIELD CRITERION  ..... ... ...  VON MISES
    PLASTIC HARDENING RULE . ... ...  ISOTOROPIC

                  VALUE
    E           15700.0
    SIGY        13.1000
    HDASH       445.000

 IDENTIFICATION NUMBER ===     22

    PLASTIC POTENTIAL  ... ..... ...  ASSOCIATED RULE
    YIELD CRITERION  ... .. ..... ...  VON MISES
    PLASTIC HARDENING RULE .........  ISOTOROPIC

                  VALUE
    E           15700.0
    SIGY        14.0000
    HDASH       407.000

 ------------------
 BOUNDARY CONDITION
 ------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP

            1      1            0.0000E+00         11      1            0.0000E+00          1      3            0.0000E+00
           11      3            0.0000E+00          2      1            0.0000E+00          2      2            0.0000E+00
            2      3            0.0000E+00         12      1            0.0000E+00         12      2            0.0000E+00
           12      3            0.0000E+00

 ------------------
 FASTENING CONDITION
 ------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          ( NODE, DOF, COORD )

           11    2                    1    2

1   ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    6
```

```
                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

 -------
 FORCE
 -------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE        COORD        F1          F2          F3          F4          F5          F6          F7

             1                 0.000000E+00  1.00000     0.000000E+00

 -------------
 LOAD HISTORY
 -------------

     NUM                                        IDENT  * FACTOR

       1                        BOUNDARY          1     1.000
                                FASTENING         1     1.000
                                FORCE             1    -3000.

       2                        BOUNDARY          1    0.1000
                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0

       3                        BOUNDARY          1    0.1000
                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0

       4                        BOUNDARY          1    0.1000
                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0

       5                        BOUNDARY          1    0.1000
                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0

       6                        BOUNDARY          1    0.1000
                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0

       7                        BOUNDARY          1    0.1000
                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0

       8                        BOUNDARY          1    0.1000
                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0

       9                        BOUNDARY          1    0.1000
                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0

      10                        BOUNDARY          1    0.1000
1   ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    7

                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

     NUM                                        IDENT  * FACTOR

                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0

      11                        BOUNDARY          1    0.1000
                                FASTENING         1    0.1000
                                FORCE             1    -100.0
1   ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    8

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1          0.00000E+00   -7.64331E-02   0.00000E+00
          2          0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
         11          0.00000E+00   -7.64331E-02   0.00000E+00
         12          0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                    ( STEP NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1          0.00000E+00    1.20000E+03   0.00000E+00
          2          0.00000E+00    1.80000E+03   0.00000E+00
         11          0.00000E+00   -1.20000E+03   0.00000E+00
         12          0.00000E+00    1.20000E+03   0.00000E+00
0

                                T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM   1 )
0 ELM ID-POINT          X                                                          VON MISES    TRESCA
```

```
     1 - 1    STRESS   1.2000E+01                                                  1.2000E+01  1.2000E+01
              STRAIN   7.6433E-04

     2 - 1    STRESS   1.2000E+01                                                  1.2000E+01  1.2000E+01
              STRAIN   7.6433E-04
1    ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    9

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   -7.89809E-02   0.00000E+00
            2        0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
           11        0.00000E+00   -7.89809E-02   0.00000E+00
           12        0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                            ( STEP NUM.   2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00    1.24000E+03   0.00000E+00
            2        0.00000E+00    1.86000E+03   0.00000E+00
           11        0.00000E+00   -1.24000E+03   0.00000E+00
           12        0.00000E+00    1.24000E+03   0.00000E+00
0

                                T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                      ( STEP NUM.   2 )
0 ELM. ID-POINT          X                                                                  VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS   1.2400E+01                                                  1.2400E+01  1.2400E+01
              STRAIN   7.8981E-04

     2 - 1    STRESS   1.2400E+01                                                  1.2400E+01  1.2400E+01
              STRAIN   7.8981E-04
1    ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE   10

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   3 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   -8.15287E-02   0.00000E+00
            2        0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
           11        0.00000E+00   -8.15287E-02   0.00000E+00
           12        0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                            ( STEP NUM.   3 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00    1.28000E+03   0.00000E+00
            2        0.00000E+00    1.92000E+03   0.00000E+00
           11        0.00000E+00   -1.28000E+03   0.00000E+00
           12        0.00000E+00    1.28000E+03   0.00000E+00
0

                                T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                      ( STEP NUM.   3 )
0 ELM. ID-POINT          X                                                                  VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS   1.2800E+01                                                  1.2800E+01  1.2800E+01
              STRAIN   8.1529E-04

     2 - 1    STRESS   1.2800E+01                                                  1.2800E+01  1.2800E+01
              STRAIN   8.1529E-04
1    ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE   11

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   4 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   -8.40764E-02   0.00000E+00
            2        0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
           11        0.00000E+00   -8.40764E-02   0.00000E+00
           12        0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                            ( STEP NUM.   4 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00    1.32000E+03   0.00000E+00
            2        0.00000E+00    1.98000E+03   0.00000E+00
           11        0.00000E+00   -1.32000E+03   0.00000E+00
           12        0.00000E+00    1.32000E+03   0.00000E+00
0

                                T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                      ( STEP NUM.   4 )
0 ELM. ID-POINT          X                                                                  VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS   1.3103E+01                                                  1.3103E+01  1.3103E+01
            E.STRAIN   8.3457E-04
            P.STRAIN   6.1938E-06                                                  6.1938E-06
              STRAIN   8.4076E-04
```

```
0

                                    T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N          ( STEP NUM  10 )
0 ELM ID-POINT              X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1     STRESS   1.5323E+01                                                     1.5323E+01  1.5323E+01
             E.STRAIN   9.7598E-04
             P.STRAIN   4.9958E-03                                                     4.9958E-03
               STRAIN   5.9718E-03

     2 - 1     STRESS   1.6015E+01                                                     1.6015E+01  1.6015E+01
             E.STRAIN   1.0201E-03
             P.STRAIN   4.9517E-03                                                     4.9517E-03
               STRAIN   5.9718E-03
1    ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                        FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    18

                                T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R          ( STEP NUM  11 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   -6.92794E-01   0.00000E+00
            2        0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
           11        0.00000E+00   -6.92794E-01   0.00000E+00
           12        0.00000E+00    0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                    N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                ( STEP NUM  11 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00    1.63947E+03   0.00000E+00
            2        0.00000E+00    2.36053E+03   0.00000E+00
           11        0.00000E+00   -1.63947E+03   0.00000E+00
           12        0.00000E+00    1.63947E+03   0.00000E+00
0

                                    T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N          ( STEP NUM  11 )
0 ELM ID-POINT              X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1     STRESS   1.5737E+01                                                     1.5737E+01  1.5737E+01
             E.STRAIN   1.0023E-03
             P.STRAIN   5.9256E-03                                                     5.9256E-03
               STRAIN   6.9279E-03

     2 - 1     STRESS   1.6395E+01                                                     1.6395E+01  1.6395E+01
             E.STRAIN   1.0442E-03
             P.STRAIN   5.8837E-03                                                     5.8837E-03
               STRAIN   6.9279E-03
1    ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                        FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    19


      X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT   1.   TYPE 3  . COMMAND NUMBER    1.      STRESS - STRAIN CURVES
0                  CURVE  1, EEP 1      VS.  STRS1
                           YMIN(ALL DATA)= 1.20000E+01  AT X= 7.64331E-04    YMAX(ALL DATA)= 1.57369E+01  AT X= 6.92794E-03
                           XMIN(ALL DATA)= 7.64331E-04  AT Y= 1.20000E+01    XMAX(ALL DATA)= 6.92794E-03  AT Y= 1.57369E+01
0                  CURVE  2, EEP 1      VS.  STRS1
                           YMIN(ALL DATA)= 1.20000E+01  AT X= 7.64331E-04    YMAX(ALL DATA)= 1.63947E+01  AT X= 6.92794E-03
                           XMIN(ALL DATA)= 7.64331E-04  AT Y= 1.20000E+01    XMAX(ALL DATA)= 6.92794E-03  AT Y= 1.63947E+01
1    ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF TWO BARS IN PARALLEL                        FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    20


0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . .   STATIC  EP
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . .      11          ( FROM     1 TO    11 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .       2
+                                                                 (       2*RCD2     )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .      4
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .       1
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       1
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       1.0
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . .           0.0          ( 9.09 % )
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . .      0.1          ( 36.38 % )
0        STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
             LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . .     0.0          ( 18.18 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) .     0.1          ( 36.38 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . .       0.2 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . .       31 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . .       0 BLOCKS
                           ( 'SAVE' OPTION INACTIVE
```

2.2.2 直列2本棒の弾性クリープ解析

(1) 問題

500℃の高温状態で長さ100mm、断面積100 mm^{2}と100 mm^{2}の2本棒を直列に結合し、端部に0.15mmの長手方向規定変位を与えて3000時間の保持を行なう。材料はSUS 304であり、弾性係数は1.62×10^{4}kg/mm^2、クリープ式は式(2.2.2-1)に示すNorton型を使用する。

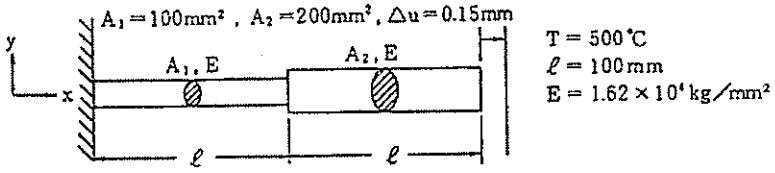


図2.2.2-1　直列に結合した2本棒

$$\varepsilon^{c} = A\sigma^{B}t^{D}$$
$$A = 1.474\times10^{-8} \qquad (2.2.2\text{-}1)$$
$$B = 3.361$$
$$D = 0.4157$$
$$t_{max} = 3000\ \text{時間}$$

(2) 有限要素モデルと解析条件

3次元棒要素ROD2を用いて図2.2.2-2に示す有限要素モデルを作成する。各節点における境界条件を表2.2.2-1に示す。クリープ硬化則はひずみ硬化則を使用し、時間増分は次式で決定する。

$$\Delta t_{i-1} = \gamma^{i-1}\Delta t_{i} \qquad (i>2)$$
$$\Delta t_{i-1} = 0.05\text{hr} \qquad (2.2.2\text{-}2)$$
$$\gamma = 1.3$$

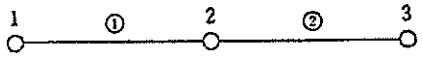


図2.2.2-2　有限要素モデル

表2.2.2-1　境界条件

節点番号	拘束自由度
1	$U_x = U_y = U_z = 0$

2	$U_y = U_z = 0$
3	$U_x = 0.15$ mm $U_y = U_z = 0$

(3) 理論解

時間ステップ i におけるひずみ硬化理論に基づくクリープひずみ $\varepsilon^c_{(i)}$ は次式で与えられる。

$$\varepsilon^c_{(i)} = A\sigma^B_{(0)}\Delta t^D_{(i)}$$
$$\varepsilon^c_{(i)} = A\sigma^B_{(i-1)}\left(t^* + \Delta t^D_{(i)}\right)^D \qquad (2.2.2\text{-}3)$$
$$t^* = \left(\varepsilon^c_{(i-1)}/A\sigma^B_{(i)}\right)^{1/D}$$

また、規定変位△u を与え、保持を行なった場合の棒 1 と棒 2 の応力 σ_1、σ_2 およびひずみは ε^{ec}_1 ε^{cc}_2 はそれぞれ次式で表わすことができる。

棒 1

$$\sigma_1 = \frac{A_2 E}{A_1 + A_2}\left\{\frac{\Delta u}{l} - (\varepsilon_1^c + \varepsilon_2^c)\right\} \qquad (2.2.2\text{-}4)$$

$$\varepsilon_1^{ec} = \frac{A_2}{A_1 + A_2}\left\{\frac{\Delta u}{l} - (\varepsilon_1^c + \varepsilon_2^c)\right\} + \varepsilon_1^c \qquad (2.2.2\text{-}5)$$

棒 2

$$\sigma_2 = \frac{A_1 E}{A_1 + A_2}\left\{\frac{\Delta u}{l} - (\varepsilon_1^c + \varepsilon_2^c)\right\} \qquad (2.2.2\text{-}6)$$

$$\varepsilon_2^{cc} = \frac{A_1}{A_1 + A_2}\left\{\frac{\Delta u}{l} - (\varepsilon_1^c + \varepsilon_2^c)\right\} + \varepsilon_2^c \qquad (2.2.2\text{-}7)$$

(4) 解析結果

棒 1 と棒 2 における応力とひずみを保持時間 0hr と 3000hr について表 2.2.2-2 と表 2.2.2-3 に示し、クリープひずみ曲線と応力緩和曲線を図 2.2.2-3 と図 2.2.2-4 にそれぞれ示す。

表 2.2.2-2　棒 1 における応力とひずみ

成 分	保持時間　0 hr	保持時間　3000 hr

	FINAS の解	理論解	FINAS の解	理論解
σ [kg/mm^2]	1.6200E+01	16.2	7.6567E+00	7.7542
ε^{c} [mm/mm]		0.0	7.2088E-04	7.1265×10^{-4}
ε^{ec} [mm/mm]	1.0000E-03	1.0×10^{-3}	1.1935E-03	1.1913×10^{-3}

注）理論解は式（2.2.2-3）において△t(i)=0.01 hr とした値

表 2.2.2-3　棒 2 における応力とひずみ

成 分	保持時間　0 hr		保持時間　3000 hr	
	FINAS の解	理論解	FINAS の解	理論解
σ [kg/mm^2]	8.1000E+01	8.1	3.8283E+00	3.87712
ε^{c} [mm/mm]		0.0	7.0162E-05	6.9361×10^{-5}
ε^{ec} [mm/mm]	5.0000E-04	5.0×10^{-4}	3.0648E-04	3.0869×10^{-4}

注）理論解は式（2.2.2-3）において△t(i)=0.01 hr とした値

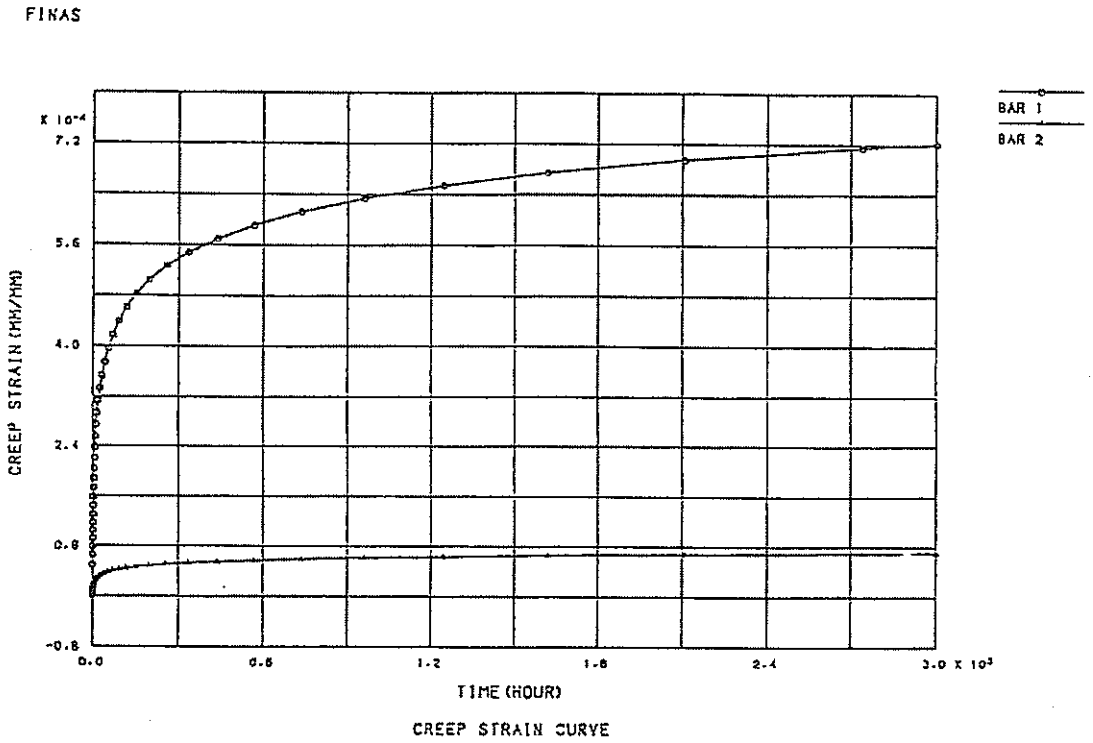


図 2.2.2-3　棒 1 と 2 のクリープのひずみ曲線

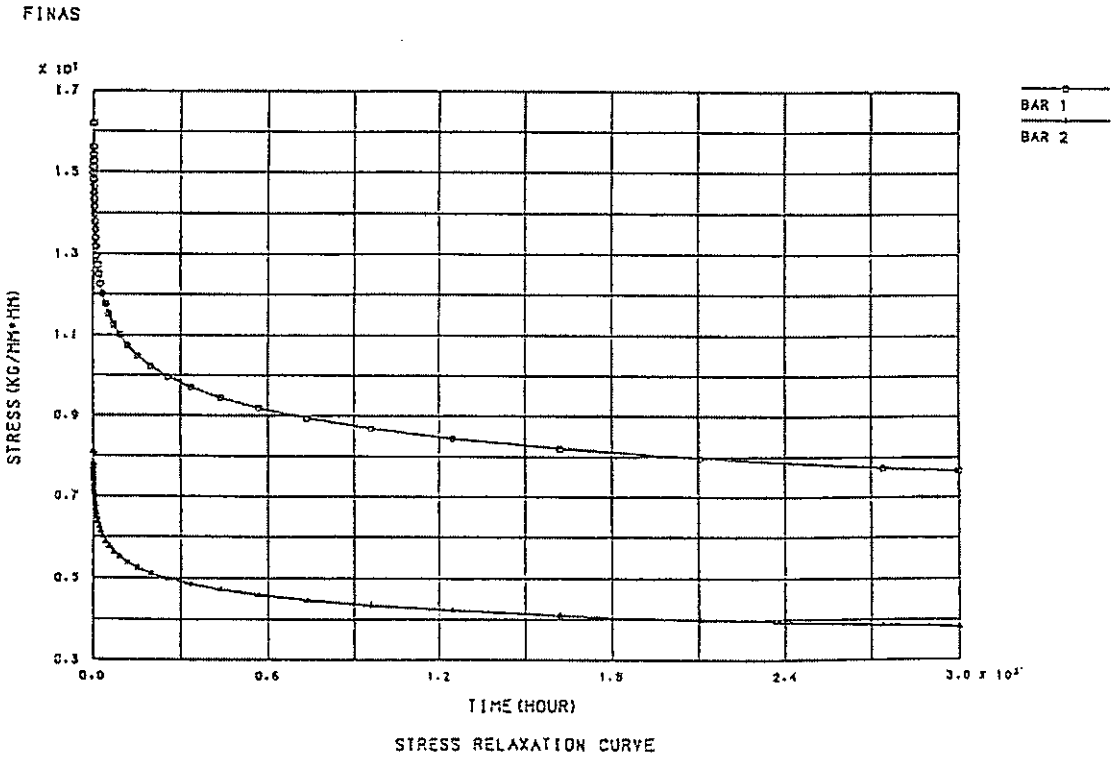


図 2.2.2-4　棒 1 と 2 の応力緩和曲線

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.2.2-4 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES
STATIC    EC
MODEL
NODE
    1                      0.0                                  2              3
    3                    200.0
ELEMENT TYPE
    1     ROD2
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2
    2    1    2    1    2    3
GEOMETRY
    1    1     100.0
    2    1     200.0
MATERIAL
    1    1 SUS304                      1    2
          EPLAST LIB     500.0
          CREEP     F8            1
            1.474E-8     3.361       0.0    0.4157
BOUNDARY
    1
              1    3              2    3       0.0
              1                   1            0.0
              3                   1            1.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN     1      0.15
**ILOOP1     37                      1.3
INTERVAL                            0.05
          BOUN     1       0.0
**END1
INTERVAL                         260.153
          BOUN     1       0.0
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
OTIME1        1    1    2   39
DISP      ALL      1
REAC      ALL      1
ELM       ALL           1
XYPLOT
PTITLE    CREEP STRAIN CURVE
XTITLE    TIME(HOUR)
YTITLE    CREEP STRAIN(MM/MM)
CURVE         1                BAR 1
CURVE         2                BAR 2
FRAME     A4H
PLOT1     EC1      1     EC1      2                                  CTIME
$
PTITLE    STRESS RELAXATION CURVE
YTITLE    STRESS(KG/MM*MM)
PLOT1     STRS1    1     STRS1    2                                  CTIME
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.2-5　解析結果のリスト（抜粋）

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                 FINAS
                 TITLE     ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES
                 STATIC    EC
1   ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    2

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
            0-   MODEL
            1-   NODE
            2-      1                   0.0                                   2              3
            3-      3                 200.0
            4-   ELEMENT TYPE
            5-      1     R002
            6-   CONNECTION
            7-      1    1    1    1    1    2
            8-      2    1    2    1    2    3
            9-   GEOMETRY
           10-      1    1     100.0
           11-      2    1     200.0
           12-   MATERIAL
           13-      1    1 SUS304                      1    2
           14-             EPLAST LIB     500.0
           15-             CREEP     F8              1
           16-               1 474E-8     3.361       0.0    0.4157
           17-   BOUNDARY
           18-      1
           19-                 1    3              2    3       0.0
           20-                 1                   1            0.0
           21-                 3                   1            1.0
           22-   HISTORY
           23-   INTERVAL
           24-             BOUN     1      0.15
           25-   **ILOOP1     37                      1 3
           26-   INTERVAL                            0.05
           27-             BOUN     1       0.0
           28-   **END1
           29-   INTERVAL                         260.153
           30-             BOUN     1       0.0
           31-   END MODEL
1   ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    3

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                 OUTPUT
                 PRINT SELECT
                 OTIME1        1    1    2   30
                 DISP      ALL      1
                 REAC      ALL      1
                 ELM       ALL           1
                 XYPLOT
                 PTITLE    CREEP STRAIN CURVE
                 XTITLE    TIME(HOUR)
                 YTITLE    CREEP STRAIN(MM/MM)
                 CURVE         1                BAR 1
                 CURVE         2                BAR 2
                 FRAME     A4H
                 PLOT1     EC1      1     EC1      2                                  CTIME
                 $
                 PTITLE    STRESS RELAXATION CURVE
                 YTITLE    STRESS(KG/MM**MM)
                 PLOT1     STRS1    1     STRS1    2                                  CTIME
                 END OUTPUT
                 END FINAS
1   ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    4

                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

 ------------------
 NODAL COORDINATE
 ------------------

    NUMBER OF NODAL POINTS ....        3

    NODE              X1            X2            X3

      1        0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00
      2         100.000      0.000000E+00  0.000000E+00
      3         200.000      0.000000E+00  0.000000E+00

 MAXIMUM      NODE-    3    NODE-    1    NODE-    1    NODE-
   VALUE        200.000      0.000000E+00  0.000000E+00
```

```
MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-    1    NODE-
  VALUE        0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00

-------------
ELEMENT TYPE
-------------

   TYPE        NAME                    SWC- 1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
     1        R002                          0     0     0     0     0     0     0     0     0     0

-------------------
ELEMENT CONNECTION
-------------------

NUMBER OF ELEMENTS . .     2

ELEMENT          TYPE   GEOM   MAT              NODES

     1             1      1     1             1     2
     2             1      2     1             2     3

-------------------
ELEMENT GEOMETRY
-------------------

GEOMETRY          GEOM-1        GEOM-2        GEOM-3

     1            100.0
     2            200.0
```

1 ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 5

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

```
-------------------
MATERIAL PROPERTY
-------------------

IDENTIFICATION NUMBER ===      1

   THERMAL EXPANSION . .. .. .... INSTANTANEOUS COEFFICIENT

   CREEP POTENTIAL ........... .... VON MISES
   CREEP HARDENING RULE ..... .... STRAIN HARDENING

   E        MATERIAL DATA LIBRARY ...  SUS304    (TEMPE=  500.000   )
   NU       MATERIAL DATA LIBRARY ...  SUS304    (TEMPE=  500.000   )
   ALPHA    MATERIAL DATA LIBRARY ...  SUS304    (TEMPE=  500.000   )

   CREEP    PRIMARY CREEP LAW .....   1
                                      0.147400E-07  3.38100     0.000000E+00  0.415700

-------------------
BOUNDARY CONDITION
-------------------

IDENTIFICATION NUMBER ===      1

        NODE   DOF  COORD     DISP            NODE   DOF  COORD     DISP            NODE   DOF  COORD     DISP

          1     2           0.0000E+00         1     3           0.0000E+00         2     2           0.0000E+00
          2     3           0.0000E+00         3     2           0.0000E+00         3     3           0.0000E+00
          1     1           0.0000E+00         3     1           1.000

-------------
LOAD HISTORY
-------------

   NUM                                  IDENT  * FACTOR                          INCREMENT     TOTAL

     1                    BOUNDARY        1    0.1500       CREEP   TIME      0.0000E+00   0.0000E+00

     2                    BOUNDARY        1    0.0000E+00   CREEP   TIME      0.5000E-01   0.5000E-01

     3                    BOUNDARY        1    0.0000E+00   CREEP   TIME      0.6500E-01   0.1150

     4                    BOUNDARY        1    0.0000E+00   CREEP   TIME      0.8450E-01   0.1995

     5                    BOUNDARY        1    0.0000E+00   CREEP   TIME      0.1098       0.3093

     6                    BOUNDARY        1    0.0000E+00   CREEP   TIME      0.1428       0.4522

     7                    BOUNDARY        1    0.0000E+00   CREEP   TIME      0.1856       0.6378

     8                    BOUNDARY        1    0.0000E+00   CREEP   TIME      0.2413       0.8791

     9                    BOUNDARY        1    0.0000E+00   CREEP   TIME      0.3137       1.193
```

1 ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 6

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

NUM		IDENT	* FACTOR			INCREMENT	TOTAL
10	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	0.4079	1.601
11	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	0.5302	2.131
12	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	0.6883	2.820
13	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	0.8961	3.718
14	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	1.165	4.881
15	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	1.514	6.396
16	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	1.969	8.364
17	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	2.559	10.92
18	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	3.327	14.25
19	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	4.325	18.58
20	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	5.623	24.20
21	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	7.310	31.51
22	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	9.502	41.01
23	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	12.35	53.36
24	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	16.06	69.42
25	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	20.88	90.30
26	BOUNDARY	1	0.0000E+03	CREEP	TIME	27.14	117.4
27	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	35.28	152.7
28	BOUNDARY	1	0.0000E+03	CREEP	TIME	45.87	198.6
29	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	59.63	258.2
30	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	77.51	335.7
31	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	100.8	436.5
32	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	131.0	567.5
33	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	170.3	737.8
34	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	221.4	959.2
35	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	287.8	1247.

1 ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBINED IN SERIES FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 7

MODEL DATA DESCRIPTION

NUM		IDENT	* FACTOR			INCREMENT	TOTAL
36	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	374.1	1621.
37	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	488.4	2109.
38	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	632.3	2740.
39	BOUNDARY	1	0.0000E+00	CREEP	TIME	260.2	3000.

1 ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBINED IN SERIES FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 8

TOTAL DISPLACEMENT VECTOR (STEP NUM. 1)
CREEP TIME 0.0000E+00

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00			
2	1.00000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00			
3	1.50000E-01	0.00000E+00	0.00000E+00			

0

NODAL POINT REACTION (STEP NUM. 1)
CREEP TIME 0.0000E+00

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	-1.82000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00			
3	1.82000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00			

0

TOTAL STRESS AND STRAIN (STEP NUM. 1)
CREEP TIME 0.0000E+00

0 ELM ID-POINT	X		VON MISES	TRESCA
1 - 1	STRESS 1.6200E+01		1.6200E+01	1.6200E+01
	STRAIN 1.0000E-03			

```
     2 - 1    STRESS   8.1000E+00                                                  8.1000E+00  8.1000E+00
              STRAIN   5.0000E-04
1    ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    9

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM    2 )
                                                                                             CREEP TIME  5.0000E-02
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        1.01323E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
            3        1.50000E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                      ( STEP NUM    2 )
                                                                                             CREEP TIME  5.0000E-02
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1       -1.56157E+03   0.00000E+00   0.00000E+00
            3        1.56157E+03   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N              ( STEP NUM    2 )
                                                                                             CREEP TIME  5.0000E-02
0 ELM ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS   1.5616E+01                                                  1.5616E+01  1.5616E+01
            E.STRAIN   9.6394E-04
            C.STRAIN   4.9299E-05                                                  4.9299E-05
              STRAIN   1.0132E-03

     2 - 1    STRESS   7.8079E+00                                                  7.8079E+00  7.8079E+00
            E.STRAIN   4.8197E-04
            C.STRAIN   4.7982E-06                                                  4.7982E-06
              STRAIN   4.8877E-04
1    ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE   10

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM   39 )
                                                                                             CREEP TIME  3.0000E+03
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        1.19352E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
            3        1.50000E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                      ( STEP NUM   39 )
                                                                                             CREEP TIME  3.0000E+03
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1       -7.65669E+02   0.00000E+00   0.00000E+00
            3        7.65669E+02   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N              ( STEP NUM   39 )
                                                                                             CREEP TIME  3.0000E+03
0 ELM ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS   7.6567E+00                                                  7.6567E+00  7.6567E+00
            E.STRAIN   4.7263E-04
            C.STRAIN   7.2069E-04                                                  7.2069E-04
              STRAIN   1.1935E-03

     2 - 1    STRESS   3.8283E+00                                                  3.8283E+00  3.8283E+00
            E.STRAIN   2.3632E-04
            C.STRAIN   7.0162E-05                                                  7.0162E-05
              STRAIN   3.0648E-04
1    ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE   11


      X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT   1.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    1.      CREEP STRAIN CURVE
0                  CURVE  1, EC  1    ALONG CTIME
                           YMIN(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 7.20886E-04  AT X= 3.00000E+03
0                  CURVE  2, EC  1    ALONG CTIME
                           YMIN(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 7.01624E-05  AT X= 3.00000E+03
0      PLOT   2.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    2.      STRESS RELAXATION CURVE
0                  CURVE  1, STRS1    ALONG CTIME
                           YMIN(ALL DATA)= 7.65669E+00  AT X= 3.00000E+03    YMAX(ALL DATA)= 1.62000E+01  AT X= 0.00000E+00
0                  CURVE  2, STRS1    ALONG CTIME
                           YMIN(ALL DATA)= 3.82834E+00  AT X= 3.00000E+03    YMAX(ALL DATA)= 8.10000E+00  AT X= 0.00000E+00
1    ELASTIC-CREEP ANALYSIS OF TWO BARS COMBIMED IN SERIES                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE   12


0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . STATIC  EC
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . . . 39          ( FROM    1 TO    39 )
```

```
0        NUMBER OF ELEMENTS  . . . . . . . . .        2
+                                                                  (        2*R002     )
0        NUMBER OF NODES  . . . . . . . . . .        3
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .        1
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .        1
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .        1.0
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .      0.0          ( 12.00 % )
0        LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . .      0.0          (  4.00 % )
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .      0.0          (  4.00 % )
0        STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
             LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . .      0.1          ( 28.00 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .      0.2          ( 52.00 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .      0.4 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .       30 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .        0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.2.3 肉厚方向に温度分布のある円筒の熱弾塑性クリープ解析

(1) 問題

内半径 100 mm、肉厚 10 mmの円筒に式（2.2.3-1）で表わされる温度分布を与え、次に軸方向に 13 kg/mm^{2}の等分布荷重を負荷して 1000hr の保持を行なう。材料は SUS 304 とし、FINAS に組み込まれている材料データライブラリ [6] を用いて熱弾塑性クリープ解析を行なう。

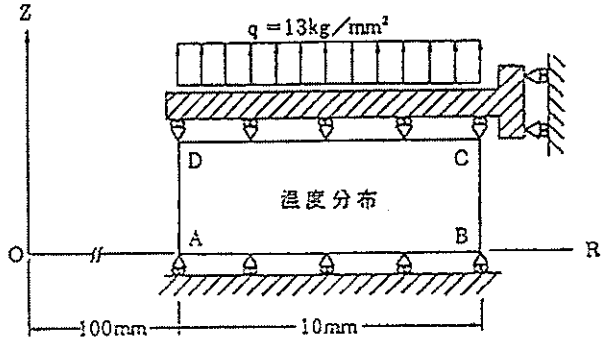


図 2.2.3-1　円　　筒

$$T = T_1 - \frac{\ln(r/a)}{\ln(b/a)}(T_1 - T_2) \qquad (2.2.3\text{-}1)$$

a ：内半径
b ：外半径
T_1：内表面温度(500℃)
T_2：外表面温度(550℃)

(2) 有限要素モデルと解析条件

4 節点四辺形軸対称要素 QAX4 を用いて図 2.2.3-2 に示す有限要素モデルを作成する。熱応力計算の基準温度は 550℃とし、上式から求めた温度を各節点に与える。軸方向分布荷重ははじめに 3 kg/mm^{2}負荷し、次に 1 kg/mm^{2}ずつ 10 回に分けて増分を行なう。境界条件は表 2.2.3-1 に示すものを用い、塑性硬化則は等方硬化則を使用する。また、解析はリスタート機能を利用して図 2.2.2-3 に示すように 2 回に分けて行なう。

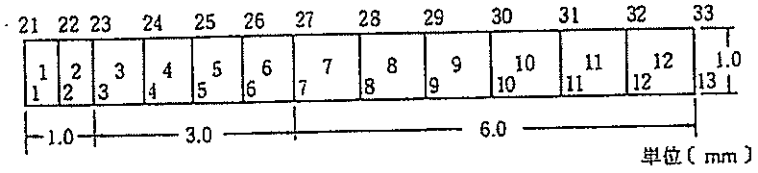


図 2.2.2-2　有限要素モデル

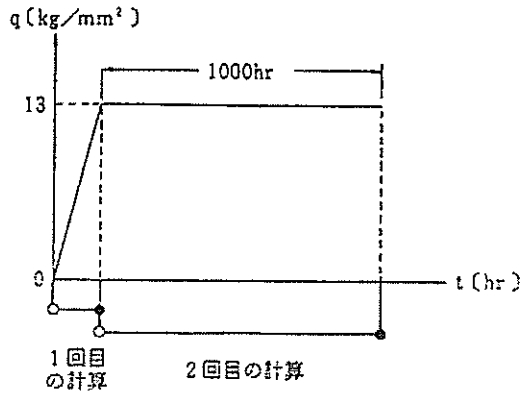


図 2.2.3-3　リスタート条件

表 2.1.1-1　境 界 条 件

節点番号	自 由 度
1～ 13	$u_z = 0$
21～33	$u_{z21} = u_{z22} = \cdots\cdots = u_{z33}$

(3) 解析結果

図 2.2.3-4 と図 2.2.3-5 に 1 回目の計算による弾塑性解析の結果を、図 2.2.3-6 と図 2.2.3-7 に 2 回目の計算によるクリープ解析の結果を示す。図 2.2.3-4 は熱荷重と熱荷重に機械荷重を加えた場合の軸方向応力の肉厚方向分布であり、図 2.2.3-5 は内外両表面に最も近い積分点における軸方向の応力－ひずみ曲線である。また、図 2.2.3-6 は図 2.2.3-5 と同一点での相当のクリープひずみの時刻歴であり、図 2.2.3-7 は相当応力の時刻歴である。

PNC N941 85-172

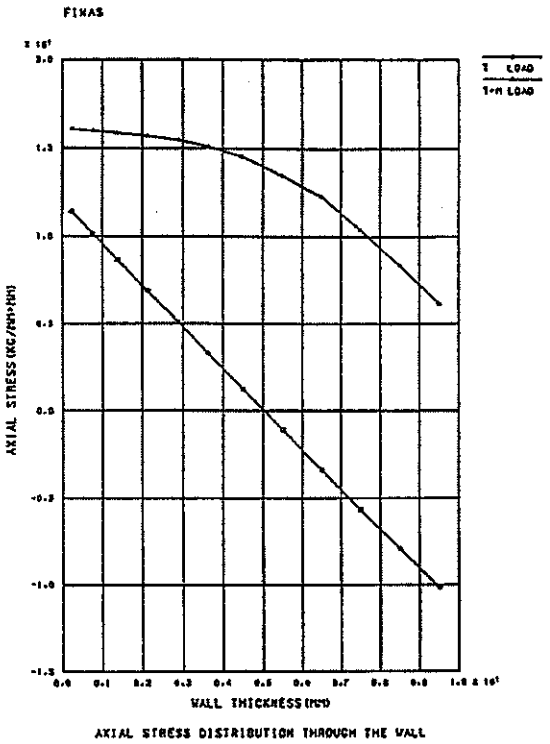


図 2.2.3-4　軸方向応力の肉厚方向分布

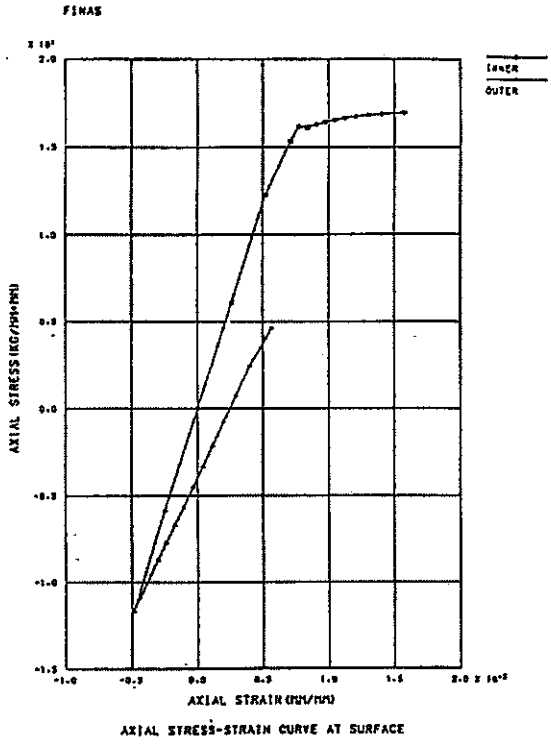


図 2.2.3-5　内外表面における応力ひずみ曲線

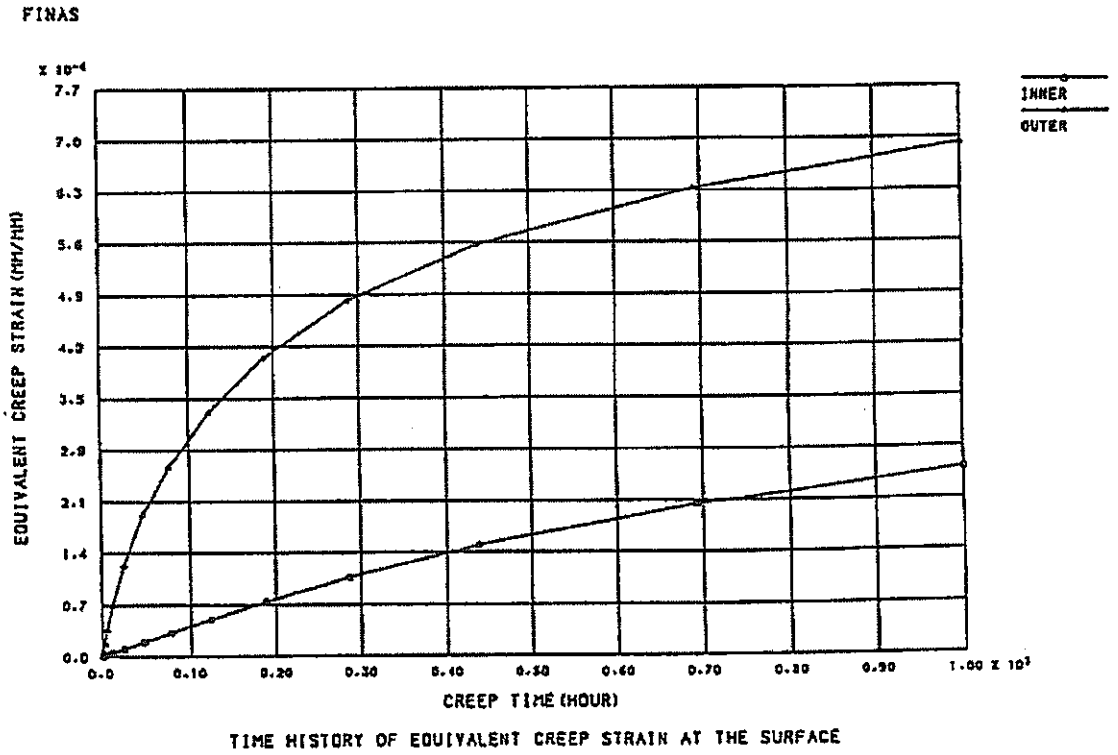


図 2.2.3-6　内外表面における相当クリープひずみの時刻歴

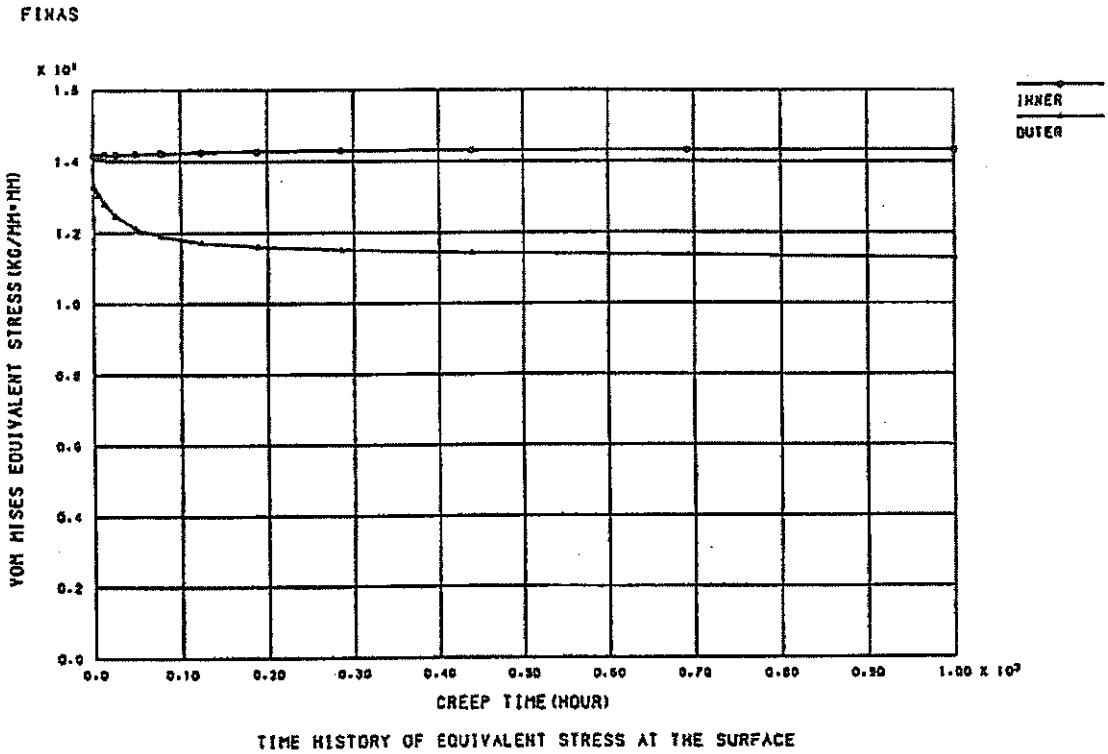


図 2.2.3-7　内外表面における相当応力の時刻歴

(4) 入力データ

表 2.2.3-2　1回目の計算の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE      THERMAL ELASTIC-PLASTIC-CREEP ANALYSIS OF A PIPE
SUBTITLE   FIRST RUN (THERMAL LOAD AND MECHANICAL LOAD)
STATIC     TEPC
SAVE
CONTROL
     AUTO CREEP
MODEL
NODE PITCH
    1      2*0.5      4*0.75     6*1.0
NODE
**NLOOP1       2    20        0.0        1.0
    1                      100.0        0.0                        12     1         13
   13                      110.0        0.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1      QAX4
CONNECTION
    1    1          1     1     2    21    22                        12
MATERIAL
    1    1SUS304          1     1     1     1     2
          EPLAST LIB
          CREEP LIB
BOUNDARY
    1
              1    13                2              0.0
FASTENING
    2
     F1       12    21     2     0    22     2     1                                11    12
TEMPERATURE
     REF        550.0
    3
              1    21    20          -50.00
              2    22    20          -47.38
              3    23    20          -44.78
              4    24    20          -40.90
              5    25    20          -37.05
              6    26    20          -33.22
              7    27    20          -29.42
              8    28    20          -24.40
              9    29    20          -19.43
             10    30    20          -14.51
             11    31    20           -9.63
             12    32    20           -4.79
             13    33    20             0.0
FORCE
    4
          1     1    12          4                  -1.0       -1.0
STEP RATIO
   10      3.0        10*1.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN      1
          FAS       2
INTERVAL       2
          BOUN      1
          FAS       2
          TEMP      3         1.0
INTERVAL      11    10
          BOUN      1
          FAS       2
          FORC      4        13.0
```

```
INTERVAL
          BOUN      1
          FAS       2
END MODEL
OUTPUT
OTIME1       10     3    14    15
NSET1       100     1    13    21    33
ESET1       200     1    12
IPSET1      300     4     5     6
$
PRINT SELECT
DISP        100    10
REAC        100    10
ELM         200   300    10
$
POST TAPE
ELM       ALL     300
$
STRUCTURE PLOT
PTITLE    NODE NUMBER AND ELEMENT NUMBER
IPLOT               BOTH
$
XYPLOT
PTITLE    AXIAL STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
YTITLE    AXIAL STRESS(KG/MM*MM)
ELIST2       30     1    12
XVALU        40     0.25      0.75      1.375     2.125     2.875     3.625
                    4.5       5.5       6.5       7.5       8.5       9.5
XRANGE    0.0       10.0
YRANGE    -15.0     20.0
XDIVISION    8     0
YDIVISION    7     0
CURVE        1                T   LOAD
CURVE        2                T+M LOAD
PLOT2     STRS2ELIST   30    3XVALU  40 STRS2ELIST   30   15XVALU   40
$
PTITLE    AXIAL STRESS-STRAIN CURVE AT SURFACE
XTITLE    AXIAL STRAIN(MM/MM)
YTITLE    AXIAL STRESS(KG/MM*MM)
XRANGE    -1.0E-3   2.0E-3
YRANGE    -15.0     20.0
XDIVISION    6     0
CURVE        1                INNER
CURVE        2                OUTER
PLOT3     EEP2      1    4STRS2    1    4EEP2    12    6STRS2   12    6
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.3-2　2 回目の計算の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     THERMAL ELASTIC-PLASTIC-CREEP ANALYSIS OF A PIPE              D)
SUBTITLE  SECOND RUN (CREEP)
STATIC    TEPC
RESTART
SAVE
MODEL
HISTORY
INTERVAL
          BOUN      1
          FAS       2
INTERVAL      2
          BOUN      1
          FAS       2
          TEMP      3        1.0
INTERVAL     11    10
          BOUN      1
          FAS       2
          FORC      4       13.0
INTERVAL
          BOUN      1
          FAS       2
INTERVAL  AUTO CREEP                1000.0        0.2
          BOUN      1
          FAS       2
END MODEL
OUTPUT
ESET1       100     1
ESET1       200    12
IPSET1      300     4
IPSET1      400     6
IPSET2      500     4     6
$
PRINT SELECT
DISP      NONE
REAC      NONE
ELM         100  300       200    400
$
POST TAPE
ELM       ALL     500
$
XYPLOT
PTITLE    TIME HISTORY OF EQUIVALENT CREEP STRAIN AT THE SURFACE
XTITLE    CREEP TIME(HOUR)
YTITLE    EQUIVALENT CREEP STRAIN(MM/MM)
FRAME     A4H
CURVE         1                INNER
CURVE         2                OUTER
XRANGE            0.0     1000.0
YRANGE            0.0
XDIVISION    10     0
YDIVISION           0
PLOT1     ECEQ      1     4ECEQ     12     6                              CTIME
$
PTITLE    TIME HISTORY OF EQUIVALENT STRESS AT THE SURFACE
YTITLE    VON MISES EQUIVALENT STRESS(KG/MM*MM)
YRANGE            0.0       16.0
YDIVISION      8     0
PLOT1     VMS       1     4VMS      12     6                              CTIME
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.2.4 地盤の弾塑性解析

(1) 問題

図 2.2.4-1 に示すように均一な地盤の一部分（幅 360in、深さ 180in）を取り出し地表面の一部に圧力が作用する弾塑性解析を行なう。材料定数として弾性係数は 10000psi、ポアソン比は 0.3、加工硬化係数は 0.01psi を用いる。

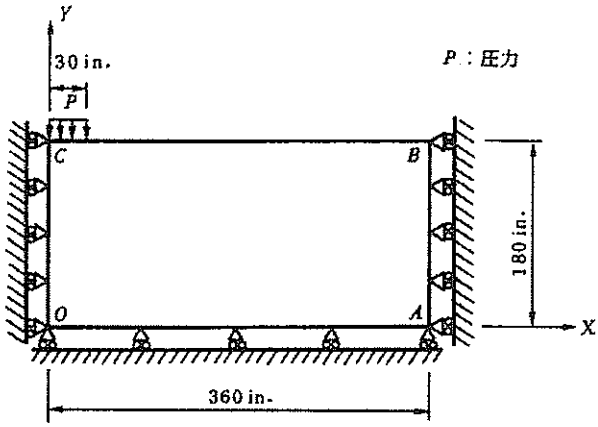


図 2.2.4-1　均一な地盤の一部分

(2) 有限要素モデルと解析条件

地盤の一部分を平面ひずみ構造モデルで取り扱うため、有限要素は 8 節点四辺形平面ひずみ要素 QPLAN8 を用いて図 2.2.4-2 に示す有限要素モデルを作成する。境界条件は図 2.2.4-1 に示されるように OA に沿って Y 方向変位および OC、AB に沿って X 方向変位を拘束する。荷重は図 2.2.4-1 のように地盤の一部に圧力分布 260psi を負荷する。塑性の降伏条件は Drucker-Prager 条件を適用し、次式等のパラメータ α、k を与え、硬化則は等方硬化則とする。

$$\alpha = \frac{\tan\phi}{(9+12\tan^2\phi)^{1/2}} = 0.11841 \qquad (2.2.4\text{-}1)$$

ここで、ϕ は内部摩擦角、C は粘着係数を表し、それぞれ 20°、15.0psi とする。

$$k = \frac{3C}{(9+12\tan^2\phi)^{1/2}} = 13.82836 \qquad (2.2.4\text{-}2)$$

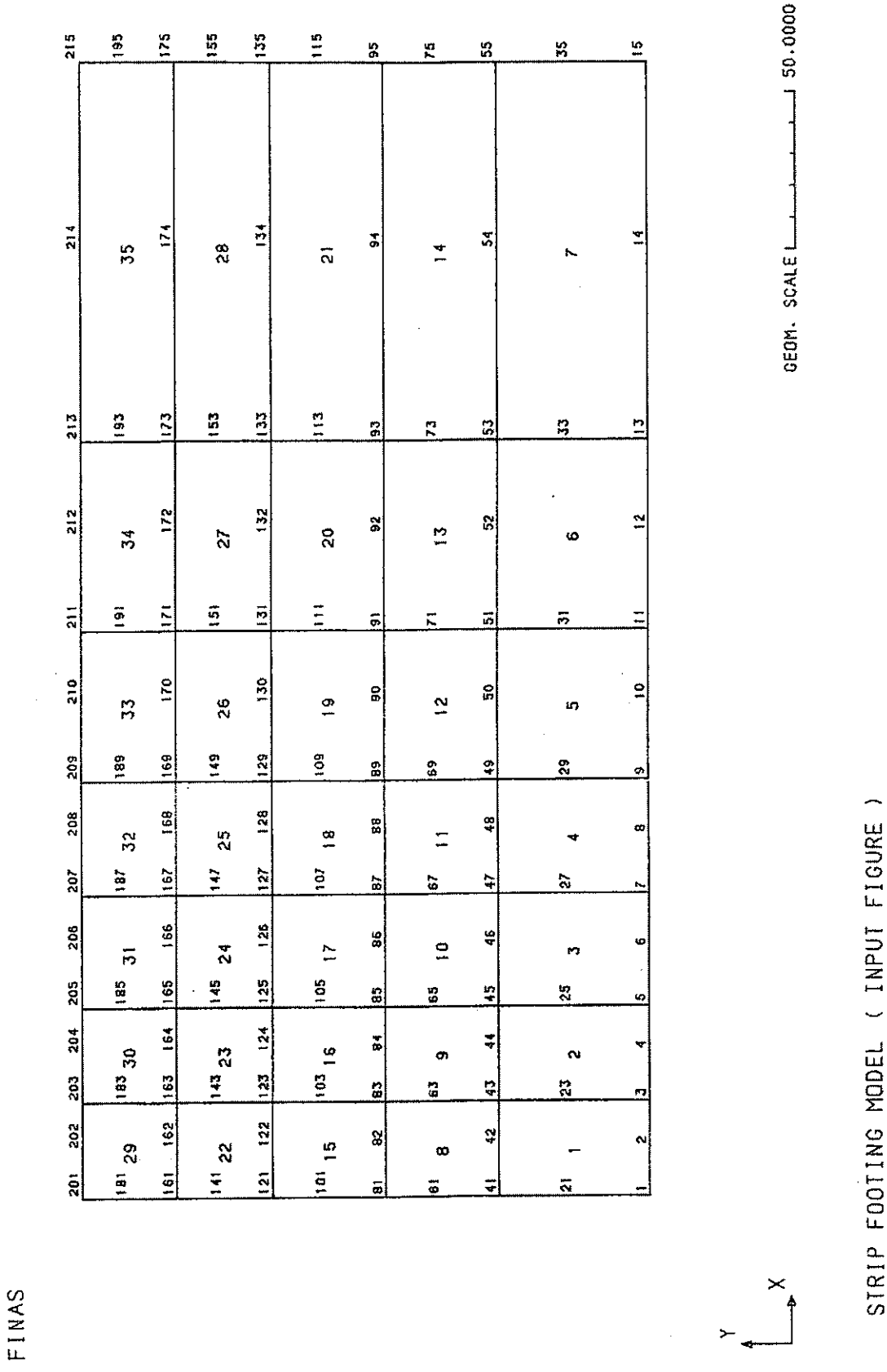


図 2.2.4-2　有限要素モデル

(3) 解析結果

図 2.2.4-3、図 2.2.4-4 は圧力分布 260psi の負荷時での変形図および相当塑性ひずみ分布図を示す。図 2.2.4-5 は節点 201 における圧力-変位履歴図を示す。

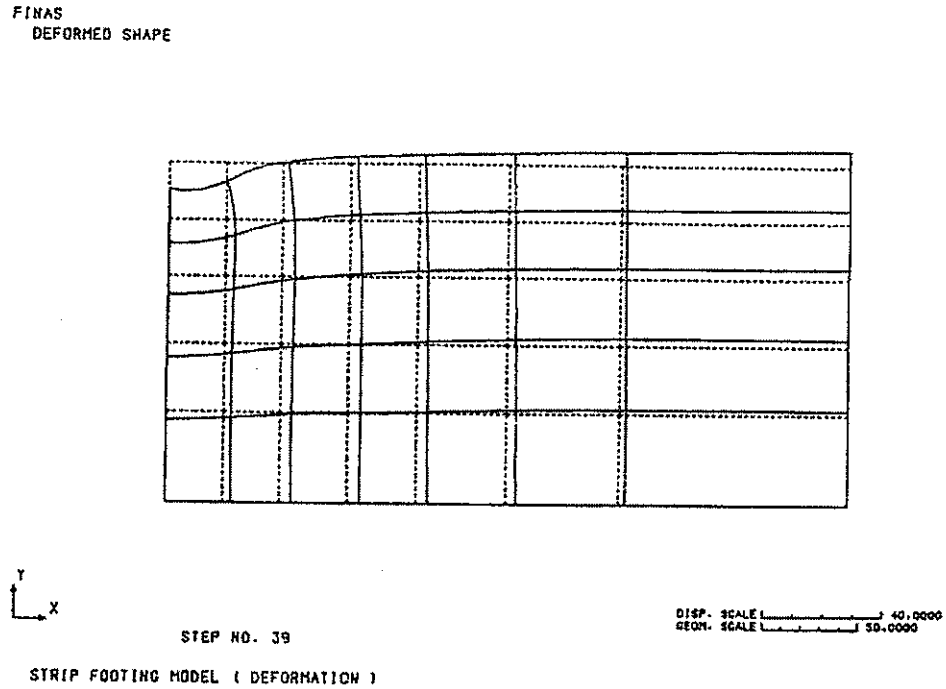


図 2.2.4-3　変形図（p=260psi）

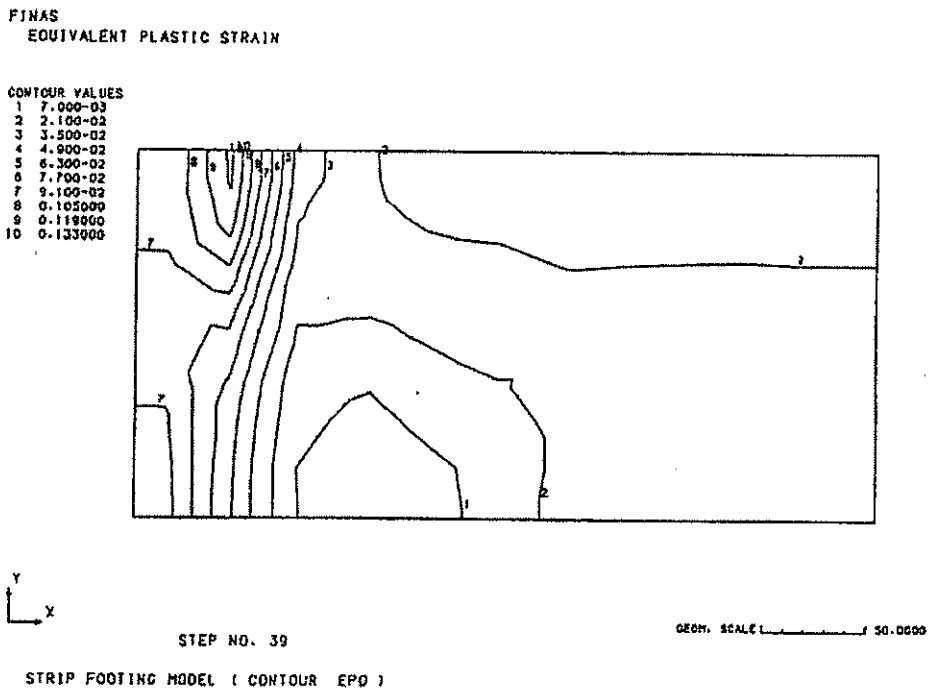


図 2.2.4-4　相当塑性ひずみ分布図（p=260psi）

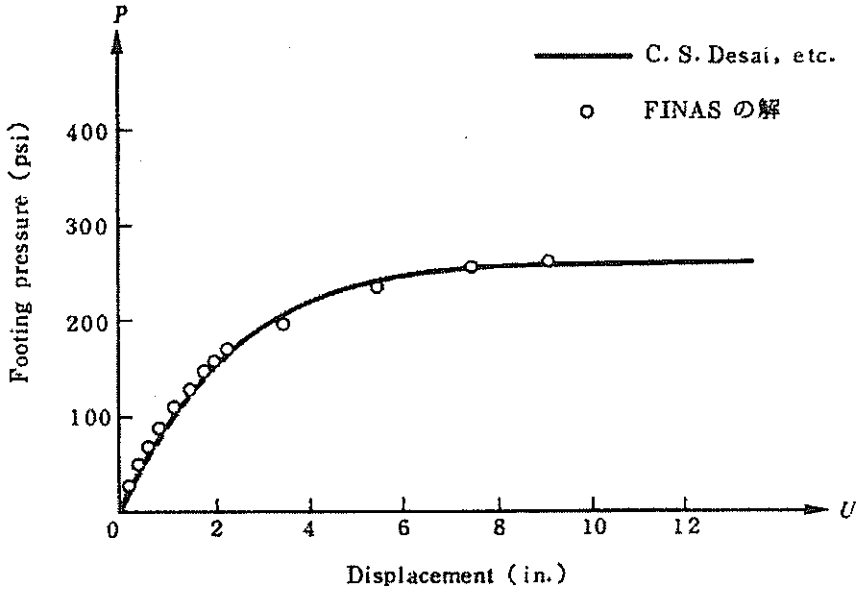


図 2.2.4-5　圧力・変位履歴図（節点 201）

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 2.2.4 − 1 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM     0/0
FINAS
STATIC     EP
TITLE      VP154
SUBTITLE   STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL
NOPRINT    DESC
MODEL
NODE PITCH
   10      4*15.0    4*18.0    2*24.0    2*30.0    2*60.0
   20      2*30.0    2*36.0    1*48.0    1*60.0    1*120.0
NODE
    1                     0.0       0.0                          14   10    1   15
   15                   360.0       0.0
**NLOOP1       3   40     0.0      36.0
   41                     0.0      48.0                          14   10    1   55
   55                   360.0      48.0
**END1
**NLOOP1       2   40     0.0      30.0
  161                     0.0     150.0                          14   10    1  175
  175                   360.0     150.0
**END1
   21                     0.0      24.0                           7   20    2   35
   35                   360.0      24.0
**NLOOP1       2   40     0.0      36.0
   61                     0.0      66.0                           7   20    2   75
   75                   360.0      66.0
**END1
**NLOOP1       2   40     0.0      30.0
  141                     0.0     135.0                           7   20    2  155
  155                   360.0     135.0
**END1
CONNECTION
    1    1         1    1    2    3   21   23   41   42   43    7    2    5   40
ELEMENT TYPE
    1      QPLAN8
MATERIAL
    1                    1    2    1
           E            10000.0
           NU               0.3
           HDASH           0.01
3           B1          -0.11184
           B1           0.11184
           B2           13.8283
BOUNDARY
    1
              1   15    1         2
              1  201   20         1
             15  215   20         1
FORCE
    1
         1   29              4    1    3       1.0       1.0       1.0
HISTORY
INTERVAL      1
           FORC     1       0.0
           BOUN     1
INTERVAL      1
           FORC     1      30.0
           BOUN     1
INTERVAL     30
           FORC     1     120.0
           BOUN     1
```

```
INTERVAL        2
          FORC      1       20.0
          BOUN      1
INTERVAL        4
          FORC      1       80.0
          BOUN      1
INTERVAL        1
          FORC      1       10.0
          BOUN      1
END MODEL
OUTPUT
NSET1           1   201
ESET1           1    29
OTIME1          1    38
PRINT SELECT
$DISP       ALL       1
$ELM        ALL             1
$REAC       ALL       1
DISP            1
ELM             1
REAC        NONE
STRUCTURE PLOT
FRAME       A4H
$PTITLE     STRIP FOOTING MODEL ( INPUT FIGURE )
$IPLOT                BOTH
PTITLE      STRIP FOOTING MODEL ( DEFORMATION )
DPLOT               1
$PTITLE     STRIP FOOTING MODEL ( CONTOUR  VMS )
$CPLOT               1VMS
PTITLE      STRIP FOOTING MODEL ( CONTOUR  EPQ )
CPLOT               1EPEQ
XYPLOT
PTITLE      STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29, IP=5 )
XTITLE      STRAIN ( EPEQ )
YTITLE      STRESS ( VMS )
PLOT3       EPEQ     29     5VMS      29     5
PTITLE      STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29, IP=5 )
XTITLE      STRAIN ( EPS-X )
YTITLE      STRESS ( SIG-X )
PLOT3       EEP1     29     5STRS1    29     5
PTITLE      STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29, IP=5 )
XTITLE      STRAIN ( EPS-Y )
YTITLE      STRESS ( SIG-Y )
PLOT3       EEP2     29     5STRS2    29     5
PTITLE      STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29, IP=5 )
XTITLE      STRAIN ( EPS-XY )
YTITLE      STRESS ( SIG-XY )
PLOT3       EEP4     29     5STRS4    29     5
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.4 − 2　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM    0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1.....0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                FINAS
                STATIC    EP
                TITLE     VP154
                SUBTITLE  STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL
                NOPRINT   DESC
1     VP154                                                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2
      STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1.....0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
          0-    MODEL
          1-    NODE PITCH
          2-      10    4*15.0    4*18.0    2*24.0    2*30.0    2*60.0
          3-      20    2*30.0    2*36.0    1*48.0    1*60.0    1*120.0
          4-    NODE
          5-       1                   0.0       0.0                        14   10    1   15
          6-      15                 360.0       0.0
          7-    **NLOOP1      3   40     0.0      36.0
          8-      41                   0.0      48.0                        14   10    1   55
          9-      55                 360.0      48.0
         10-    **END1
         11-    **NLOOP1      2   40     0.0      30.0
         12-     161                   0.0     150.0                        14   10    1  175
         13-     175                 360.0     150.0
         14-    **END1
         15-      21                   0.0      24.0                         7   20    2   35
         16-      35                 360.0      24.0
         17-    **NLOOP1      2   40     0.0      36.0
         18-      61                   0.0      66.0                         7   20    2   75
         19-      75                 360.0      66.0
         20-    **END1
         21-    **NLOOP1      2   40     0.0      30.0
         22-     141                   0.0     135.0                         7   20    2  155
         23-     155                 360.0     135.0
         24-    **END1
         25-    CONNECTION
         26-       1    1         1    1    2    3   21   23   41   42   43    7    2    5   40
         27-    ELEMENT TYPE
         28-       1    QPLAN3
         29-    MATERIAL
         30-       1                   1    2    1
         31-              E           10000.0
         32-              NU              0.3
         33-              HDASH           0.01
                $          B1          -0.11184
         34-              B1           0.11184
         35-              B2          13.8263
         36-    BOUNDARY
         37-       1
         38-                 1   15    1         2
         39-                 1  201   20         1
         40-                15  215   20         1
         41-    FORCE
         42-       1
         43-              1   29            4    1    3       1.0       1.0       1.0
         44-    HISTORY
         45-    INTERVAL      1
         46-              FORC     1       0.0
         47-              BOUN     1
         48-    INTERVAL      1
1     VP154                                                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3
      STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1.....0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
         49-              FORC     1      30.0
         50-              BOUN     1
         51-    INTERVAL     30
         52-              FORC     1     120.0
         53-              BOUN     1
         54-    INTERVAL      2
         55-              FORC     1      20.0
         56-              BOUN     1
         57-    INTERVAL      4
         58-              FORC     1      80.0
         59-              BOUN     1
         60-    INTERVAL      1
         61-              FORC     1      10.0
         62-              BOUN     1
         63-    END MODEL
1     VP154                                                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    4
      STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL
```

```
                    O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                  1         2         3         4         5         6         7         8
            1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
            OUTPUT
            NSET1        1  201
            ESET1        1   29
            OTIME1       1   38
            PRINT SELECT
            $DISP      ALL       1
            $ELM       ALL            1
            $REAC      ALL       1
            DISP         1
            ELM          1
            REAC       NONE
            STRUCTURE PLOT
            FRAME      A4H
            $PTITLE    STRIP FOOTING MODEL ( INPUT FIGURE )
            $IPLOT              BOTH
            PTITLE     STRIP FOOTING MODEL ( DEFORMATION )
            DPLOT              1
            $PTITLE    STRIP FOOTING MODEL ( CONTOUR  VMS )
            $CPLOT              1VMS
            PTITLE     STRIP FOOTING MODEL ( CONTOUR  EPQ )
            CPLOT              1EPEQ
            XYPLOT
            PTITLE     STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29, IP=5 )
            XTITLE     STRAIN ( EPEQ )
            YTITLE     STRESS ( VMS )
            PLOT3      EPEQ    29    5VMS     29    5
            PTITLE     STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29, IP=5 )
            XTITLE     STRAIN ( EPS-X )
            YTITLE     STRESS ( SIG-X )
            PLOT3      EEP1    29    5STRS1   29    5
            PTITLE     STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29, IP=5 )
            XTITLE     STRAIN ( EPS-Y )
            YTITLE     STRESS ( SIG-Y )
            PLOT3      EEP2    29    5STRS2   29    5
            PTITLE     STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29, IP=5 )
            XTITLE     STRAIN ( EPS-XY )
            YTITLE     STRESS ( SIG-XY )
            PLOT3      EEP4    29    5STRS4   29    5
            END OUTPUT
            END FINAS
1   VP154                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     5
    STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL

                    T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM    1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          201        0.00000E+00    0.00000E+00
0

                          T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM    1 )
0 ELM ID-POINT          X           Y           Z           XY                          VON MISES    TRESCA

    29 -  5    STRESS  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00                  0.0000E+00  0.0000E+00
               STRAIN  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                    T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM    2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          201        0.00000E+00   -2.46790E-01
0

                          T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM    2 )
0 ELM ID-POINT          X           Y           Z           XY                          VON MISES    TRESCA

    29 -  5    STRESS -8.8179E+00 -2.0007E+01 -1.0447E+01  3.3657E+00                  1.7438E+01  1.8460E+01
               STRAIN  2.1183E-04 -2.0227E-03  0.0000E+00  8.7508E-04
1   VP154                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     6
    STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL

                    T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM    3 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          201        0.00000E+00   -2.79896E-01
0

                          T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM    3 )
0 ELM ID-POINT          X           Y           Z           XY                          VON MISES    TRESCA

    29 -  5    STRESS -9.9936E+00 -2.9474E+01 -1.1840E+01  3.8145E+00                  1.9763E+01  2.0921E+01
               STRAIN  2.4008E-04 -2.2924E-03  0.0000E+00  9.9176E-04
0

                    T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM    4 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          201        0.00000E+00   -3.12601E-01
0
```

```
                                   T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM.  35 )
0 ELM. ID-POINT              X           Y           Z           XY                                VON MISES    TRESCA

    29 -  5    STRESS  -6.1093E+01 -1.4845E+02 -1.1097E+02  2.3112E+01                            8.8312E+01  8.9407E+01
             E. STRAIN  1.6732E-03 -9.0834E-03 -4.8102E-03  8.1656E-03
             P. STRAIN  1.9165E-02 -1.2083E-02  4.8102E-03  1.6309E-02                            2.1235E-02
               STRAIN   2.0828E-02 -2.1146E-02  0.0000E+00  2.2475E-02
0

                                 T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.  36 )
0     POINT-ID            D1          D2          D3          D4          D5          D6

          201          0.00000E+00   -3.79350E+00
0

                                   T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM.  36 )
0 ELM. ID-POINT              X           Y           Z           XY                                VON MISES    TRESCA

    29 -  5    STRESS  -8.6002E+01 -1.8406E+02 -1.2456E+02  2.5191E+01                            9.3515E+01  1.0758E+02
             E. STRAIN  1.7584E-03 -1.0599E-02 -5.4643E-03  5.3497E-03
             P. STRAIN  2.4457E-02 -1.4902E-02  5.4643E-03  2.0728E-02                            2.0791E-02
               STRAIN   2.6215E-02 -2.5501E-02  0.0000E+00  2.7219E-02
1    VP154                                                                   FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    23
     STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL

                                 T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.  37 )
0     POINT-ID            D1          D2          D3          D4          D5          D6

          201          0.00000E+00   -4.54469E+00
0

                                   T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM.  37 )
0 ELM. ID-POINT              X           Y           Z           XY                                VON MISES    TRESCA

    29 -  5    STRESS  -7.5598E+01 -1.7785E+02 -1.3926E+02  2.6325E+01                            1.0540E+02  1.1502E+02
             E. STRAIN  1.9555E-03 -1.1339E-02 -6.3259E-03  6.8444E-03
             P. STRAIN  3.2438E-02 -1.9103E-02  6.3259E-03  2.7188E-02                            3.5081E-02
               STRAIN   3.4395E-02 -3.0442E-02  0.0000E+00  3.4031E-02
0

                                 T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.  38 )
0     POINT-ID            D1          D2          D3          D4          D5          D6

          201          0.00000E+00   -6.23154E+00
0

                                   T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM.  38 )
0 ELM. ID-POINT              X           Y           Z           XY                                VON MISES    TRESCA

    29 -  5    STRESS  -8.1804E+01 -1.8615E+02 -1.5596E+02  2.0425E+01                            1.0095E+02  1.2085E+02
             E. STRAIN  2.0830E-03 -1.1482E-02 -7.5576E-03  7.5260E-03
             P. STRAIN  5.0781E-02 -2.8286E-02  7.5576E-03  4.1329E-02                            5.3721E-02
               STRAIN   5.2864E-02 -3.9711E-02  0.0000E+00  4.9254E-02
1    VP154                                                                   FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    24
     STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL


       P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT   1.   DEFORMED SHAPE
                   AXES                    +Z  +X  +Y      VIEW ANGLE . . .        0.00,     0.00      0.00
                   SCALE FACTOR . . . . . . 4.243E-01      FRAME SIZE . . . .    297.3 ,   210.2
0      PLOT   2.   CONTOUR OF EQUIVALENT PLASTIC STRAIN
                   AXES                    +Z  +X  +Y      VIEW ANGLE . .          0.00      0.00,     0.00
                   SCALE FACTOR . . . .     5.123E+01      FRAME SIZE . .        297.3     210.2
                   CONTOUR VALUES . .       1)  -7.000E-03      2)  2.000E-03      3)  1.300E-02      4)  2.300E-02
                                            5)   3.300E-02      6)  4.300E-02      7)  5.300E-02      8)  6.300E-02
                                            9)   7.300E-02     10)  8.300E-02
0

                                 T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.  39 )
0     POINT-ID            D1          D2          D3          D4          D5          D6

          201          0.00000E+00   -9.53350E+00
0

                                   T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM.  39 )
0 ELM. ID-POINT              X           Y           Z           XY                                VON MISES    TRESCA

    29 -  5    STRESS  -7.9034E+01 -1.9226E+02 -1.4899E+02  2.9218E+01                            1.0453E+02  1.1662E+02
             E. STRAIN  2.0840E-03 -1.1355E-02 -7.1599E-03  7.5968E-03
             P. STRAIN  8.5285E-02 -4.2835E-02  7.1599E-03  7.0022E-02                            8.8512E-02
               STRAIN   8.7349E-02 -5.4190E-02  0.0000E+00  7.7618E-02
1    VP154                                                                   FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    25
     STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL


       X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT   3    TYPE 3    COMMAND NUMBER    1        STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29, IP=5 )
0                  CURVE  1  EFEQ      VS   VMS
                             YMIN(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 1.05947E+02  AT X= 5.37212E-02
                             XMIN(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT Y= 0.00000E+00    XMAX(ALL DATA)= 8.65124E-02  AT Y= 1.94592E+02
```

```
0      PLOT   4.   TYPE 3    COMMAND NUMBER    2.       STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29 IP=5 )
0                  CURVE  1.  EEP 1      VS.   STRS1
                              YMIN(ALL DATA)=-6.18044E+01  AT X= 5.28843E-02    YMAX(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT X= 0.00000E+00
                              XMIN(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT Y= 0.00000E+00    XMAX(ALL DATA)= 6.73467E-02  AT Y=-7.90741E+01
0      PLOT   5    TYPE 3    COMMAND NUMBER    3.       STRESS-STRAIN REATION   ELM=29 IP=5 )
0                  CURVE  1.  EEP 2      VS.   STRS2
                              YMIN(ALL DATA)=-1.80152E+02  AT X=-3.97111E-02    YMAX(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT X= 0.00000E+00
                              XMIN(ALL DATA)=-5.41600E-02  AT Y=-1.82260E+02    XMAX(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT Y= 0.00000E+00
0      PLOT   6.   TYPE 3    COMMAND NUMBER    4.       STRESS-STRAIN REATION ( ELM=29 IP=5 )
0                  CURVE  1.  EEP 4      VS.   STRS4
                              YMIN(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 3.04847E+01  AT X= 4.92536E-02
                              XMIN(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT Y= 0.00000E+00    XMAX(ALL DATA)= 7.78185E-02  AT Y= 2.92185E+01
1    VP154                                                                      FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    26
     STRIP FOOTING ON DRUCKER-PRAGER MATERIAL

0                  F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . STATIC  EP
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . . .      39          ( FROM     1 TO    39 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .        35
+                                                                    (      35*CPLANS  )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .      130
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .       223
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . .            32
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . .            24.0
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .          0.4          ( 16.25 % )
0        LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .         0.0          (  1.25 % )
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . .           0.7          ( 27.50 % )
0        STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
             LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES .            0.8          ( 30.63 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.)            0.6          ( 24.38 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . .                2.7 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .         81 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . .           0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.2.5 摩擦を考慮した弾性接触問題解析

(1) 問題

図 2.2.5-1 に示すような長さ 10mm、断面積 1.0mm² の丸棒の一端が接触し、その後すべりを生じる簡単な構造について弾性接触問題を解析する。丸棒の材料定数として弾性係数は 10000kg/mm²、ポアソン比は 0.0 を用いる。

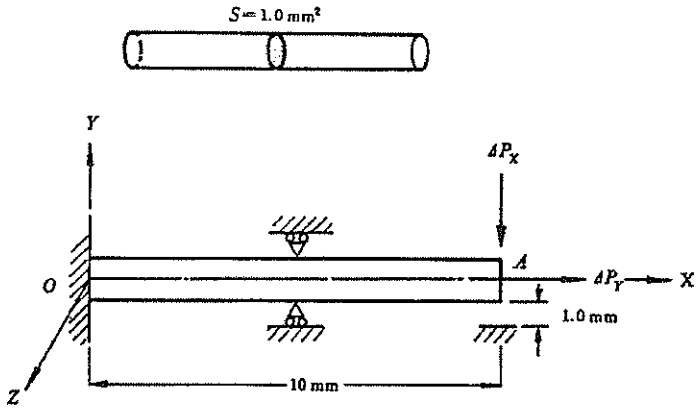


図 2.2.5-1　接触を考慮した簡易な丸棒モデル

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 2.2.5-2 に示すように有限要素モデルは丸棒を 3 次元棒要素 ROD2、接触およびすべりが生じる一端には 3 次元接触要素 CONT2 を用いて作成する。境界条件は節点 1 および 3 を完全拘束、節点 2 の面外方向変位を拘束する。負荷条件は各ステップで表 2.2.5-1 の値とする。接触要素に対するデータは表 2.2.5-2 を用いる。

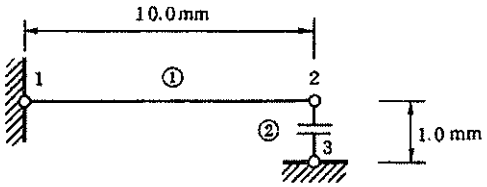


図 2.2.5-2　有限要素モデル

表 2.2.5-1 負荷条件 (kg)

ｽﾃｯﾌﾟ	X 方向負荷	Y 方向負荷
1	0.0	-2000.0
2	400.0	0.0
3	-200.0	0.0

表 2.2.5-2 接触要素データ

初期状態	無接触
垂直方向剛性 (kg/mm²)	1.0×10^7
水平方向剛性 (kg/mm²)	1.0×10^7
ｷﾞｬｯﾌﾟの大きさ (mm)	1.0
摩擦係数	0.1

(3) 理論解

・ステップ1の場合

初期のギャップ量が1.0mmから節点2のX方向変位Ux、Y方向変位Uyは次のようになる。

$$Ux=0.0 \quad , \quad Uy=-1.0 \qquad (2.2.5\text{-}1)$$

また、接触要素の垂直方向および水平方向の力σ、τ、ギャップの大きさε、すべり量γは明らかに次の値をもつ。

$$\sigma=-2000.0 \quad , \quad \tau=0.0 \qquad (2.2.5\text{-}2)$$

$$\varepsilon=-1.0 \quad , \quad \gamma=0.0 \qquad (2.2.5\text{-}3)$$

・ステップ2の場合

節点2のX方向変位Uxは接触状態が接触してすべりが生じてないことから次式で計算される。

$$Ux=Px/(K+Kf)=3.99960004\times10^{-5} \qquad (2.2.5\text{-}4)$$

ここで、Pxはステップ2のX方向負荷、Kは3次元棒要素の剛性、Kfは3次元接触要素の水平方向剛性である。

したがって、接触要素のτは次式から求まる。

$$\tau=Kf(-Ux)=-399.960004 \qquad (2.2.5\text{-}5)$$

この値はすべり限界τ^{CR}に対して次式を満足する。

$$|\tau|>\tau^{CR}=\mu|\sigma_{(1)}|=200.0 \qquad (2.2.5\text{-}6)$$

ここで、$\sigma_{(1)}$はステップ1での接触要素の水平方向の力、μは摩擦係数である。

式(2.2.5-6)よりすべりが生じ、解析全体の釣り合い状態を考慮すると、Ux新たに次式から求まる。

$$Ux=(Px-\tau^{CR})/K=0.2 \qquad (2.2.5\text{-}7)$$

また、接触要素のσ、τ、εおよびγは次のようになる。

$$\sigma = -2000.0 \quad , \qquad \tau = -200.0 \qquad (2.2.5\text{-}8)$$

$$\varepsilon = -1.0 \quad , \qquad \gamma = -0.2 \qquad (2.2.5\text{-}9)$$

・ステップ3の場合

接触状態はすべりが生じた後、静止状態にあり、逆方向の負荷に対しては式(2.2.5-6)のすべり限界を超えるまで変位は生じない。また、接触要素のτは解析全体の釣り合い状態を考慮すると次のようになる。

$$\tau = 0.0 \qquad (2.2.5\text{-}10)$$

(4) 解析結果

表 2.2.5-3 は各ステップにおける節点 2 の変位、表 2.2.5-4 は接触要素の要素力、ギャップ量およびすべり量を示している。

表 2.2.5-3 節点 2 の変位

ｽﾃｯﾌﾟ	変位	FINAS の解	理論解
1	Ux	0.00000E+00	0.0
	Uy	-1.00020E+00	-1.0
2	Ux	1.98020E-01	0.2
	Uy	-1.00020E+00	-1.0
3	Ux	1.98005E-01	0.2
	Uy	-1.00020E+00	-1.0

表 2.2.5-4 要素力、ギャップ量、すべり量

ｽﾃｯﾌﾟ	各項目	FINAS の解	理論解
1	σ	-1.9950E+03	-2000.0
	τ	0.0000E+00	0.0
	ε	-1.0002E+00	-1.0
	γ	0.0000E+00	0.0
2	σ	-2.0000E+03	-2000.0
	τ	-2.0000E+02	-200.0
	ε	-1.0002E+00	-1.0
	γ	-1.9802E-01	-0.2
3	σ	-2.0000E+03	-2000.0
	τ	-1.9438E+00	0.0
	ε	-1.0002E+00	-1.0
	γ	-1.9800E-01	-0.2

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.2.5–5 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
STATIC    E
TITLE     VP-109
SUBTITLE  CONTACT PROBLEM WITH FRICTION AND SLIDING
CONTROL
     CONTACT
NOPRINT    DES
MODEL
$    VP-109
$    CONTACT PROBLEM WITH FRICTION AND SLIDING
NODE
    1                    0.0       1.0       0.0
    2                   10.0       1.0       0.0
    3                   10.0       0.0       0.0
ELEMENT TYPE
    1     ROD2
   10     CONT2
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2
    2   10  101  102    3    2
GEOMETRY
    1         1.0
  101    6       1.0      90.0       0.0     1.0E7     1.0E7       1.0
MATERIAL
    1
          E            10000.0
  102
          MU               0.1
BOUNDARY
    1
              1    3    2         1    3
              2                   3
FORCE
    1
              2                   2            1.0
    2
              2                   1            1.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN      1
          FORC      1   -2000.0
INTERVAL
          BOUN      1
          FORC      2     400.0
INTERVAL
          BOUN      1
          FORC      2    -200.0
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.5-6　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM    0/0
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    1


                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                         1        2        3        4        5        6        7        8
                  1 ....  0.  ....0. .... 0.       0...     .0. ......0. .....0...  ....0
                  FINAS
                  STATIC    E
                  TITLE     VP-109
                  SUBTITLE  CONTACT PROBLEM WITH FRICTION AND SLIDING
                  CONTROL
                      CONTACT
                  NOPRINT   DES
1   VP-109                                                           FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2
    CONTACT PROBLEM WITH FRICTION AND SLIDING

                                   M O D E L   D A T A   I M A G E
0                         1        2        3        4        5        6        7        8
                  1.....0. .....0 .... 0.....0.... ....0.... ..0.........0...  ....0
            0-    MODEL
                  $    VP-109
                  $    CONTACT PROBLEM WITH FRICTION AND SLIDING
            1-    NODE
            2-        1                    0.0      1.0      0.0
            3-        2                   10.0      1.0      0.0
            4-        3                   10.0      0.0      0.0
            5-    ELEMENT TYPE
            6-        1     ROD2
            7-       10     CONT2
            8-    CONNECTION
            9-        1    1    1    1    1    2
           10-        2   10  101  102    3    2
           11-    GEOMETRY
           12-        1          1.0
           13-      101    8      1.0      90.0      0.0     1.0E7     1.0E7      1.0
           14-    MATERIAL
           15-        1
           16-              E            10000.0
           17-      102
           18-              MU             0.1
           19-    BOUNDARY
           20-        1
           21-                1    3    2        1    3
           22-                2                   3
           23-    FORCE
           24-        1
           25-                2                   2          1.0
           26-        2
           27-                2                   1          1.0
           28-    HISTORY
           29-    INTERVAL
           30-              BOUN    1
           31-              FORC    1   -2000.0
           32-    INTERVAL
           33-              BOUN    1
           34-              FORC    2     400.0
           35-    INTERVAL
           36-              BOUN    1
           37-              FORC    2    -200.0
           39-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID     1
        POISSON RATIO IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4801.   MATERIAL ID   102
        ELASTIC MODULAS IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID   102
        POISSON RATIO IS MISSING
1   VP-109                                                           FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3
    CONTACT PROBLEM WITH FRICTION AND SLIDING

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2       0.00000E+00  -1.00020E+00   0.00000E+00
            3       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                       ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            3       0.00000E+00   2.00000E+03   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                 ( STEP NUM.   1 )
0 ELM. ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

      1 -  1    STRESS   0.0000E+00                                                  0.0000E+00   0.0000E+00
                STRAIN   0.0000E+00
0 ELM. ID-POINT            X            Y            Z        GAP STATUS             VON MISES    TRESCA
```

```
     2 - 1    STRESS  -1.9850E+03  0.0000E+00  0.0000E+00    CLOSE,  FRICTIONAL
            E.STRAIN   0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
              STRAIN  -1.0002E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2         1.98020E-01  -1.00020E+00   0.00000E+00
            3         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   VP-109                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    4
    CONTACT PROBLEM WITH FRICTION AND SLIDING

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                    ( STEP NUM.   2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        -1.98020E+02   0.00000E+00   0.00000E+00
            3        -2.01980E+02   2.00000E+03   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                ( STEP NUM.   2 )
0 ELM. ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS   1.9802E+02                                                   1.9802E+02  1.9802E+02
              STRAIN   1.9802E-02
0 ELM. ID-POINT            X          Y          Z          GAP STATUS                VON MISES    TRESCA

     2 - 1    STRESS  -2.0000E+03 -2.0000E+02  0.0000E+00    CLOSE,  SLIDING
            E.STRAIN   0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
              STRAIN  -1.0002E+00 -1.9802E-01  0.0000E+00
0

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   3 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2         1.98000E-01  -1.00020E+00   0.00000E+00
            3         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                    ( STEP NUM.   3 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        -1.98000E+02   0.00000E+00   0.00000E+00
            3        -1.98980E+00   2.00000E+03   0.00000E+00
1   VP-109                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    5
    CONTACT PROBLEM WITH FRICTION AND SLIDING

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                ( STEP NUM.   3 )
0 ELM. ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS   1.9800E+02                                                   1.9800E+02  1.9800E+02
              STRAIN   1.9800E-02
0 ELM. ID-POINT            X          Y          Z          GAP STATUS                VON MISES    TRESCA

     2 - 1    STRESS  -2.0000E+03 -1.9436E+00  0.0000E+00    CLOSE,  FRICTIONAL
            E.STRAIN   0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
              STRAIN  -1.0002E+00 -1.9800E-01  0.0000E+00
1   VP-109                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    6
    CONTACT PROBLEM WITH FRICTION AND SLIDING

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . .   STATIC E
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . .        3          ( FROM    1 TO    3 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . .        2
*                                                          (       1*RD02    )
                                                          (       1*CONT2   )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . .         3
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . .        2
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .      1
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . .        1.0
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . .        0.0          ( 16.67 % )
0       STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
            LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES        0.0          ( 33.33 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .   0.0          ( 50.00 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .    0.1 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .     45 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .     0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.2.6　２本棒トラスの線形および非線形座屈荷重解析

(1) 問題

図 2.2.6-1 に示す 2 本棒トラスの線形および非線形座屈解析を行なう。材料は SUS 304 とし、弾性係数は 1.57×10^4 kg/mm^2 を用いる。

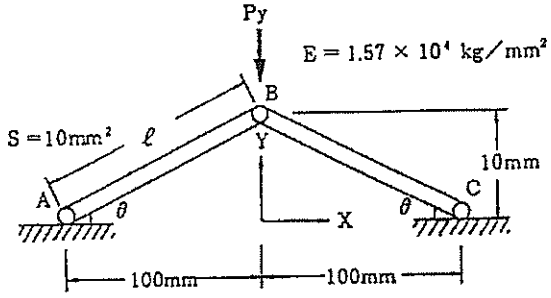


図 2.2.6-1　2 本棒トラス

(2) 有限要素モデルと解析条件

3 次元棒要素 ROD2 を用いて図 2.2.6-2 に示す有限要素モデルを作成する。境界条件と負荷条件を表 2.2.6-1 と表 2.2.6-2 にそれぞれ示す。なお、表 2.2.6-2 の（　）内は荷重増分の割合とその繰返し数を表わす。

表 2.2.6-1　境 界 条 件

節点番号	拘束自由度
6, 3	u_x、u_y、u_z
2	u_z

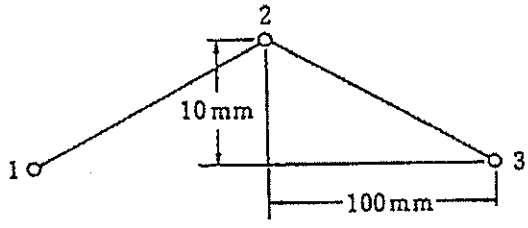


図 2.2.6-2　有限要素モデル

表 2.2.6-1　負 荷 条 件

	節　点 2
線形座屈	P_y=−5.9534 kg
非線形座屈	P_y=−59.534 kg×(0.1×9 + 0.02×5)

(3) 理論解

線形座屈解析

構造の対称性より解くべき問題は B 点の y 方向に関する 1 自由度問題となる。B 点における Y の正の方向変位および荷重を U_y、P_y とすると、B 点の Y 方向に関する微小変位剛性 K^L と初期応力剛性 K^σ、固有値 λ および u_y はそれぞれ次式で表わすことができる。

$$K^L=2EA\sin^2\theta/l \qquad (2.2.6\text{-}1)$$

$$K^\sigma=Py/l\sin\theta \qquad (2.2.6\text{-}2)$$

$$\lambda=-K^L/K^\sigma=-2EA\sin^3\theta/Py \qquad (2.2.6\text{-}3)$$

$$Uy=Py/K^L=Pyl/2EA\sin^2\theta \qquad (2.2.6\text{-}4)$$

非線形座屈解析

荷重ステップ i における荷重増分を ΔP_i、固有値を λi とすると、ステップ i における座屈荷重 P_{cr} は次式で推定することができる。

$$P_{cr}=\sum_{n}^{i-1}\Delta P_n+\lambda_i\Delta P_i \qquad (2.2.6\text{-}5)$$

(4) 解析結果

線形座屈解析の結果を表 2.2.6-3 に、非線形座屈解析の結果を表 2.2.6-4 と図 2.2.6-3 に MARC の解と併せて示す。

表 2.2.6-3　線形座屈解析の結果

成 分	FINAS の解	理論解
変　位　U_y [mm]	-3.23260E-02	-3.23260×10^{-2}
ひずみ　ε [mm/mm]	-3.2006E-05	-3.2006×10^{-5}
応　力　σ [kg/mm^2]	-5.0249E-01	-5.0249×10^{-1}
固有値　λ	3.09348D-02	3.09348×10^{-2}

表 2.2.6-4　非線形座屈解析の結果 (Py=58.34332kg)

成 分	FINAS の解	MARC の解
変　位　U_y [mm]	-3.52586E+00	-3.5666
ひずみ　ε [mm/mm]	-2.8755E-03	-2.902E-03
応　力　σ [kg/mm^2]	-4.5146E+01	-4.555E+01
固有値　λ	3.709144D-00	3.316E+00
座屈荷重　P_{er}	61.568	62.292

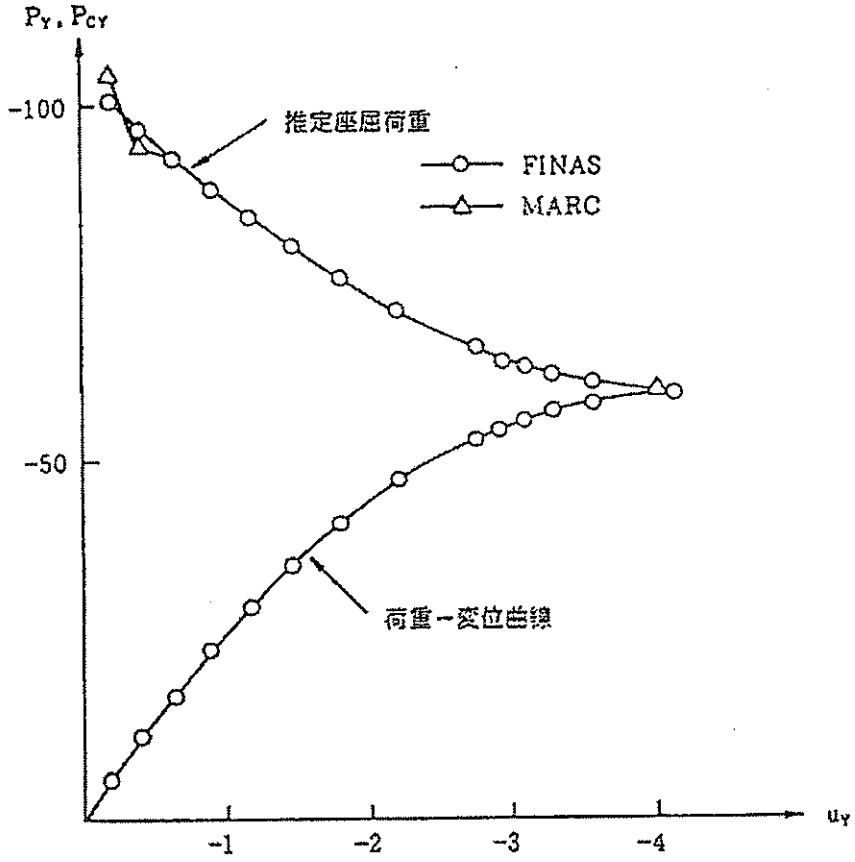


図 2. 2. 6-3　荷重ー変位曲線および推定座屈荷重

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.2.6-5　線形座屈荷重解析の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     LINEAR BUCKLING ANALYSIS OF A SIMPLE TRUSS MODEL
STATIC    E
CONTROL
     BUCKLING
MODEL
NODE
    1                    -100.0       0.0
    2                       0.0      10.0
    3                     100.0       0.0
ELEMENT TYPE
    1     ROD2
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2
    2    1    1    1    2    3
GEOMETRY
    1           10.0
MATERIAL
    1
          E              1.57E4
BOUNDARY
    1
               1                   1    2
               3                   1    2
               1    3              3
FORCE
    1
               2                                        -1.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN      1
          FORC      1
BUCKLING
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.6-6　線形座屈解析結果のリスト（抜粋）

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                 FINAS
                 TITLE     LINEAR BUCKLING ANALYSIS OF A SIMPLE TRUSS MODEL
                 STATIC    E
                 CONTROL
                     BUCKLING
1   LINEAR BUCKLING ANALYSIS OF A SIMPLE TRUSS MODEL                 FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    2

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
          0-     MODEL
          1-     NODE
          2-         1                  -100.0       0.0
          3-         2                     0.0      10.0
          4-         3                   100.0       0.0
          5-     ELEMENT TYPE
          6-         1     ROD2
          7-     CONNECTION
          8-         1    1    1    1    1    2
          9-         2    1    1    1    2    3
         10-     GEOMETRY
         11-         1           10.0
         12-     MATERIAL
         13-         1
         14-             E             1.57E4
         15-     BOUNDARY
         16-         1
         17-                 1                  1    2
         18-                 3                  1    2
         19-                 1    3             3
         20-     FORCE
         21-         1
         22-                 2                                  -1.0
         23-     HISTORY
         24-     INTERVAL
         25-             BOUN     1
         26-             FORC     1
         27-     BUCKLING
         28-     END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID     1
        POISSON RATIO IS MISSING
1   LINEAR BUCKLING ANALYSIS OF A SIMPLE TRUSS MODEL                 FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    3

                                  C O N T R O L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    -------------
     CONTROL DATA
    -------------

        BUCKLING ANALYSIS
            NUMBER OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS ..........        1
            MAXIMUM NUMBER OF EIGENVALUE PROBLEM ITERATION ...      40
            TOLERANCE FOR JUDGEMENT OF ITERATION  ..........      0.100E-03
            ANALYSIS CONTINUATION SWITCH  ..............  ...   TERMINATE
            PRINT SWITCH FOR EIGENVALUE PROBLEM ITERATION  ...   OFF

1   LINEAR BUCKLING ANALYSIS OF A SIMPLE TRUSS MODEL                 FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    4

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    ----------------
     NODAL COORDINATE
    ----------------

       NUMBER OF NODAL POINTS .....       3

       NODE              X1            X2            X3

         1         -100.000      0.000000E+00  0.000000E-00
         2         0.000000E+00   10.0000      0.000000E-00
         3          100.000      0.000000E+00  0.000000E+00

     MAXIMUM      NODE-    3    NODE-    2    NODE-    1    NODE-
       VALUE        100.000      10.0000      0.000000E+00

     MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-    1    NODE-
       VALUE       -100.000      0.000000E+00  0.000000E+00

    -------------
     ELEMENT TYPE
    -------------

       TYPE        NAME                    SWC- 1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
         1        ROD2                          0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
```

```
--------------------
 ELEMENT CONNECTION
--------------------

 NUMBER OF ELEMENTS ...     2

 ELEMENT          TYPE   GEOM    MAT              NODES

      1             1      1      1            1      2
      2             1      1      1            2      3

-----------------
 ELEMENT GEOMETRY
-----------------

GEOMETRY          GEOM-1        GEOM-2        GEOM-3

      1           10.00

-------------------
 MATERIAL PROPERTY
-------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

1   LINEAR BUCKLING ANALYSIS OF A SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    5

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

                  VALUE
     E           15700.0

--------------------
 BOUNDARY CONDITION
--------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE    DOF  COORD      DISP              NODE    DOF  COORD      DISP              NODE    DOF  COORD      DISP

            1      1            0.0000E+00            1      2            0.0000E+00            3      1            0.0000E+00
            3      2            0.0000E+00            1      3            0.0000E+00            2      3            0.0000E+00
            3      3            0.0000E+00

-------
 FORCE
-------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE        COORD        F1           F2           F3           F4           F5           F6           F7

            2                 0.000000E+00  -1.00000     0.000000E+00

-------------
 LOAD HISTORY
-------------

     NUM                                          IDENT  * FACTOR

      1                          BOUNDARY           1     1.000
                                 FORCE              1     1.000

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS
1   LINEAR BUCKLING ANALYSIS OF A SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    6

                                  R E A L   E I G E N V A L U E S                          ( STEP NUM   1 )

                      MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                  3.093482E+02
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( STEP NUM   1 )
                                                                                           ( MODE NUM   1 )
0    POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
           1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
           2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
           3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                        T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM   1 )
0    POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

           1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
           2        0.00000E+00  -3.23200E-02   0.00000E+00
           3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( STEP NUM   1 )
```

```
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        5.00000E+00   5.00000E-01   0.00000E+00
            3       -5.00000E+00   5.00000E-01   0.00000E+00
1   LINEAR BUCKLING ANALYSIS OF A SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     7

                                   T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                 ( STEP NUM.   1 )
0 ELM ID-POINT              X                                                                  VON MISES    TRESCA

     1 -  1    STRESS  -5.0249E-01                                                            5.0249E-01  5.0249E-01
               STRAIN  -3.2006E-05

     2 -  1    STRESS  -5.0249E-01                                                            5.0249E-01  5.0249E-01
               STRAIN  -3.2006E-05
1   LINEAR BUCKLING ANALYSIS OF A SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     8

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . STATIC  E
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . .        1          ( FROM     1 TO     1 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .        2
+                                                                  (       2*ROD2     )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .        3
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .        2
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .        1
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .        1.0
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .      0.0          ( 33.33 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .      0.0          ( 66.67 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .      0.1 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .       34 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .       0 BLOCKS
                              ( 'SAVE  OPTION INACTIVE )
```

表 2.2.6-7　非線形座屈荷重解析の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL
STATIC    E
CONTROL
     BUCKLING
     LARGE DISP                    1
MODEL
NODE
    1                    -100.0       0.0
    2                       0.0      10.0
    3                     100.0       0.0
ELEMENT TYPE
    1     ROD2
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2
    2    1    1    1    2    3
GEOMETRY
    1           10.0
MATERIAL
    1
          E              1.57E4
BOUNDARY
    1
              1                    1    2
              3                    1    2
              1    3               3
FORCE
    1
              2                                        -59.534
HISTORY
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1        0.1
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1        0.1
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1        0.1
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1        0.1
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1        0.1
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1        0.1
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1        0.1
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1        0.1
BUCKLING
```

```
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1        0.1
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1       0.02
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1       0.02
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1       0.02
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1       0.02
BUCKLING
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1       0.02
BUCKLING
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.6-8　非線形座屈解析結果のリスト（抜粋）

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                 FINAS
                 TITLE     NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL
                 STATIC    E
                 CONTROL
                     BUCKLING
                     LARGE DISP                 1
1    NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    2

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
           0-    MODEL
           1-    NODE
           2-        1                  -100.0       0.0
           3-        2                     0.0      10.0
           4-        3                   100.0       0.0
           5-    ELEMENT TYPE
           6-        1     ROD2
           7-    CONNECTION
           8-        1    1    1    1    1    2
           9-        2    1    1    1    2    3
          10-    GEOMETRY
          11-        1          10.0
          12-    MATERIAL
          13-        1
          14-             E            1.37E4
          15-    BOUNDARY
          16-        1
          17-                 1                   1    2
          18-                 3                   1    2
          19-                 1    3              3
          20-    FORCE
          21-        1
          22-                 2                                  -59.534
          23-    HISTORY
          24-    INTERVAL
          25-             BOUN     1
          26-             FORC     1       0.1
          27-    BUCKLING
          28-    INTERVAL
          29-             BOUN     1
          30-             FORC     1       0.1
          31-    BUCKLING
          32-    INTERVAL
          33-             BOUN     1
          34-             FORC     1       0.1
          35-    BUCKLING
          36-    INTERVAL
          37-             BOUN     1
          38-             FORC     1       0.1
          39-    BUCKLING
          40-    INTERVAL
          41-             BOUN     1
          42-             FORC     1       0.1
          43-    BUCKLING
          44-    INTERVAL
          45-             BOUN     1
          46-             FORC     1       0.1
          47-    BUCKLING
          48-    INTERVAL
          49-             BOUN     1
1    NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    3

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
          50-             FORC     1       0.1
          51-    BUCKLING
          52-    INTERVAL
          53-             BOUN     1
          54-             FORC     1       0.1
          55-    BUCKLING
          56-    INTERVAL
          57-             BOUN     1
          58-             FORC     1       0.1
          59-    BUCKLING
          60-    INTERVAL
          61-             BOUN     1
          62-             FORC     1      0.02
          63-    BUCKLING
          64-    INTERVAL
          65-             BOUN     1
          66-             FORC     1      0.02
          67-    BUCKLING
          68-    INTERVAL
```

```
          69-              BOUN     1
          70-              FORC     1       0.02
          71-    BUCKLING
          72-    INTERVAL
          73-              BOUN     1
          74-              FORC     1       0.02
          75-    BUCKLING
          76-    INTERVAL
          77-              BOUN     1
          78-              FORC     1       0.02
          79-    BUCKLING
          80-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID     1
       POISSON RATIO IS MISSING
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     4

                                  C O N T R O L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    -------------
     CONTROL DATA
    -------------

        BUCKLING ANALYSIS
            NUMBER OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS ..........          1
            MAXIMUM NUMBER OF EIGENVALUE PROBLEM ITERATION          40
            TOLERANCE FOR JUDGEMENT OF ITERATION  ......          0.100E-03
            ANALYSIS CONTINUATION SWITCH ..... .. ..... .  TERMINATE
            PRINT SWITCH FOR EIGENVALUE PROBLEM ITERATION ..    OFF

        GEOMETRICAL NONLINEAR ANALYSIS

            UPDATED LAGRANGIAN JAUMANN STRESS RATE FORMULATION( LARGE DISPLACEMENTS, LARGE ROTATIONS, LARGE STRAINS )

1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     5

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    ----------------
     NODAL COORDINATE
    ----------------

       NUMBER OF NODAL POINTS .....      3

       NODE              X1            X2            X3

          1         -100.000      0.000000E+00  0.000000E+00
          2         0.000000E+00   10.0000      0.000000E+00
          3          100.000      0.000000E+00  0.000000E+00

     MAXIMUM      NODE-    3    NODE-    2    NODE-    1    NODE-
       VALUE        100.000       10.0000      0.000000E+00

     MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-    1    NODE-
       VALUE       -100.000      0.000000E+00  0.000000E+00

    -------------
     ELEMENT TYPE
    -------------

       TYPE        NAME                    SWC- 1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
          1       ROD2                          0     0     0     0     0     0     0     0     0     0

    ------------------
     ELEMENT CONNECTION
    ------------------

     NUMBER OF ELEMENTS . .      2

     ELEMENT          TYPE   GEOM    MAT              NODES

          1            1      1      1            1      2
          2            1      1      1            2      3

    ----------------
     ELEMENT GEOMETRY
    ----------------

    GEOMETRY          GEOM-1        GEOM-2        GEOM-3

          1           10.00

    ----------------
     MATERIAL PROPERTY
    ----------------

     IDENTIFICATION NUMBER ===      1

1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     6
```

```
                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

                  VALUE
     E          15700.0

 ------------------
 BOUNDARY CONDITION
 ------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP

            1      1            0.0000E+00          1      2            0.0000E+00          3      1            0.0000E+00
            3      2            0.0000E+00          1      3            0.0000E+00          2      3            0.0000E+00
            3      3            0.0000E+00

 -------
 FORCE
 -------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE         COORD        F1           F2           F3           F4           F5           F6           F7

            2                  0.000000E+00  -59.5340     0.000000E+00

 -------------
 LOAD HISTORY
 -------------

     NUM                                          IDENT  * FACTOR

      1                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.1000

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

      2                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.1000

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

      3                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.1000

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

      4                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.1000

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

      5                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.1000
1    NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     7

                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

     NUM                                          IDENT  * FACTOR

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

      6                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.1000

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

      7                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.1000

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

      8                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.1000

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

      9                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.1000

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

     10                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.2000E-01

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

     11                          BOUNDARY          1     1.000
                                 FORCE             1    0.2000E-01

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS
```

```
        12                    BOUNDARY          1     1.000
                              FORCE             1    0.2000E-01

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

        13                    BOUNDARY          1     1.000
                              FORCE             1    0.2000E-01

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

        14                    BOUNDARY          1     1.000
                              FORCE             1    0.2000E-01

              CALCULATION OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     8

                              R E A L   E I G E N V A L U E S                                  ( STEP NUM   1 )

                     MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                  1.759840E+01
0

                              R E A L   E I G E N V E C T O R                                  ( STEP NUM   1 )
                                                                                               ( MODE NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2       0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                         T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                     ( STEP NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2       0.00000E+00  -1.92450E-01   0.00000E+00
            3       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                              N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                          ( STEP NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1       2.97870E+01   2.97870E+00   0.00000E+00
            3      -2.97870E+01   2.97870E+00   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     9

                              T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM   1 )
0 ELM ID-POINT          X                                                                  VON MISES    TRESCA

     1 -  1    STRESS  -2.9915E+00                                                        2.9915E+00  2.9915E+00
               STRAIN  -1.9054E-04

     2 -  1    STRESS  -2.9915E+00                                                        2.9915E+00  2.9915E+00
               STRAIN  -1.9054E-04
0

                              R E A L   E I G E N V A L U E S                                  ( STEP NUM   2 )

                     MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                  1.585792E+01
0

                              R E A L   E I G E N V E C T O R                                  ( STEP NUM   2 )
                                                                                               ( MODE NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2       0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                         T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                     ( STEP NUM   2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2       0.00000E+00  -4.00383E-01   0.00000E+00
            3       0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    10

                              N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                          ( STEP NUM   2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1       8.13334E+01   5.95340E+00   0.00000E+00
            3      -8.13334E+01   5.95340E+00   0.00000E+00
0

                              T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM   2 )
0 ELM ID-POINT          X                                                                  VON MISES    TRESCA
```

```
     1 - 1    STRESS  -6.1628E+00                                                  6.1628E+00  6.1628E+00
              STRAIN  -3.9253E-04

     2 - 1    STRESS  -6.1628E+00                                                  6.1628E+00  6.1628E+00
              STRAIN  -3.9253E-04
0

                                  R E A L   E I G E N V A L U E S                          ( STEP NUM   3 )

                        MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                     1.397757E+01
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( STEP NUM   3 )
                                                                                           ( MODE NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   11

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM   3 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -8.29067E-01   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( STEP NUM   3 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        9.44486E+01   8.93010E+00   0.00000E+00
            3       -9.44486E+01   8.93010E+00   0.00000E+00
0

                                   T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N           ( STEP NUM   3 )
0 ELM ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS  -9.4883E+00                                                  9.4883E+00  9.4883E+00
              STRAIN  -6.0435E-04

     2 - 1    STRESS  -9.4883E+00                                                  9.4883E+00  9.4883E+00
              STRAIN  -6.0435E-04
0

                                  R E A L   E I G E N V A L U E S                          ( STEP NUM   4 )

                        MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                     1.230128E+01
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   12

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( STEP NUM   4 )
                                                                                           ( MODE NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM   4 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -8.63495E-01   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( STEP NUM   4 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        1.29402E+02   1.19068E+01   0.00000E+00
            3       -1.29402E+02   1.19068E+01   0.00000E+00
0

                                   T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N           ( STEP NUM   4 )
0 ELM ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS  -1.2997E+01                                                  1.2997E+01  1.2997E+01
              STRAIN  -8.2783E-04

     2 - 1    STRESS  -1.2997E+01                                                  1.2997E+01  1.2997E+01
              STRAIN  -8.2783E-04
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   13

                                  R E A L   E I G E N V A L U E S                          ( STEP NUM   5 )

                        MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6
```

```
                    1.06207E+01
0

                              R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( STEP NUM.   5 )
                                                                                       ( MODE NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                        T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.   5 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -1.12601E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                              N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                      ( STEP NUM.   5 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        1.66820E+02   1.48835E+01   0.00000E+00
            3       -1.66820E+02   1.48835E+01   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    14

                              T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                ( STEP NUM.   5 )
0 ELM ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS  -1.6731E+01                                                    1.6731E+01  1.6731E+01
              STRAIN  -1.0657E-03

     2 - 1    STRESS  -1.6731E+01                                                    1.6731E+01  1.6731E+01
              STRAIN  -1.0657E-03
0

                              R E A L   E I G E N V A L U E S                              ( STEP NUM.   6 )

                        MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                    8.936042E+00
0

                              R E A L   E I G E N V E C T O R                              ( STEP NUM.   6 )
                                                                                           ( MODE NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                        T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.   6 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -1.41703E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    15

                              N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                      ( STEP NUM.   6 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        2.06730E+02   1.78602E+01   0.00000E+00
            3       -2.06730E+02   1.78602E+01   0.00000E+00
0

                              T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                ( STEP NUM.   6 )
0 ELM ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS  -2.0754E+01                                                    2.0754E+01  2.0754E+01
              STRAIN  -1.3219E-03

     2 - 1    STRESS  -2.0754E+01                                                    2.0754E+01  2.0754E+01
              STRAIN  -1.3219E-03
0

                              R E A L   E I G E N V A L U E S                              ( STEP NUM.   7 )

                        MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                    7.248062E+00
0

                              R E A L   E I G E N V E C T O R                              ( STEP NUM.   7 )
                                                                                           ( MODE NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    16
```

```
                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM   7 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -1.74664E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                        ( STEP NUM   7 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        2.50711E+02   2.08369E+01   0.00000E+00
            3       -2.50711E+02   2.08369E+01   0.00000E+00
0

                                 T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                 ( STEP NUM   7 )
0 ELM ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS  -2.5163E+01                                                   2.5163E+01  2.5163E+01
              STRAIN  -1.6028E-03

     2 - 1    STRESS  -2.5163E+01                                                   2.5163E+01  2.5163E+01
              STRAIN  -1.6028E-03
0

                                R E A L   E I G E N V A L U E S                                ( STEP NUM   8 )

                        MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                     5.559681E+00
1    NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    17

                                R E A L   E I G E N V E C T O R                                ( STEP NUM   8 )
                                                                                               ( MODE NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM   8 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -2.13233E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                        ( STEP NUM   8 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        3.00252E+02   2.38136E+01   0.00000E+00
            3       -3.00252E+02   2.38136E+01   0.00000E+00
0

                                 T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                 ( STEP NUM   8 )
0 ELM ID-POINT            X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS  -3.0127E+01                                                   3.0127E+01  3.0127E+01
              STRAIN  -1.9189E-03

     2 - 1    STRESS  -3.0127E+01                                                   3.0127E+01  3.0127E+01
              STRAIN  -1.9189E-03
1    NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    18

                                R E A L   E I G E N V A L U E S                                ( STEP NUM   9 )

                        MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                     3.879115E+00
0

                                R E A L   E I G E N V E C T O R                                ( STEP NUM   9 )
                                                                                               ( MODE NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM   9 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -2.60932E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                        ( STEP NUM   9 )
```

```
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        3.58720E+02   2.67903E+01   0.00000E+00
            3       -3.58720E+02   2.67903E+01   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   19

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                  ( STEP NUM   9 )
0 ELM ID-POINT            X                                                                  VON MISES    TRESCA

     1 -  1    STRESS  -3.5983E+01                                                          3.5983E+01  3.5983E+01
               STRAIN  -2.2919E-03

     2 -  1    STRESS  -3.5983E+01                                                          3.5983E+01  3.5983E+01
               STRAIN  -2.2919E-03
0

                                  R E A L   E I G E N V A L U E S                                ( STEP NUM   10 )

                        MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                     8.204508E+00
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                                ( STEP NUM   10 )
                                                                                                 ( MODE NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                            T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM   10 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -2.78508E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   20

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                        ( STEP NUM   10 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        3.79076E+02   2.73858E+01   0.00000E+00
            3       -3.79076E+02   2.73858E+01   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                  ( STEP NUM   10 )
0 ELM ID-POINT            X                                                                  VON MISES    TRESCA

     1 -  1    STRESS  -3.8011E+01                                                          3.8011E+01  3.8011E+01
               STRAIN  -2.4211E-03

     2 -  1    STRESS  -3.8011E+01                                                          3.8011E+01  3.8011E+01
               STRAIN  -2.4211E-03
0

                                  R E A L   E I G E N V A L U E S                                ( STEP NUM   11 )

                        MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                     8.910014E+00
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                                ( STEP NUM   11 )
                                                                                                 ( MODE NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   21

                            T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM   11 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -2.93030E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                        ( STEP NUM   11 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        3.95455E+02   2.79810E+01   0.00000E+00
            3       -3.95455E+02   2.79810E+01   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                  ( STEP NUM   11 )
0 ELM ID-POINT            X                                                                  VON MISES    TRESCA

     1 -  1    STRESS  -3.9648E+01                                                          3.9648E+01  3.9648E+01
```

```
            STRAIN  -2.5254E-03

     2 - 1   STRESS  -3.9848E+01                                          3.9848E+01  3.9848E+01
             STRAIN  -2.5254E-03
0

                              R E A L   E I G E N V A L U E S                          ( STEP NUM.  12 )

                      MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                   7.299194E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                  FINAS   VERSION 13.0   02/25/98    PAGE   22

                              R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( STEP NUM.  12 )
                                                                                       ( MODE NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                        T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.  12 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -3.09110E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                              N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( STEP NUM.  12 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        4.13204E+02   2.85763E+01   0.00000E+00
            3       -4.13204E+02   2.85763E+01   0.00000E+00
0

                              T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                ( STEP NUM.  12 )
0 ELM ID-POINT          X                                                        VON MISES    TRESCA

     1 - 1   STRESS  -4.1424E+01                                                  4.1424E+01  4.1424E+01
             STRAIN  -2.6384E-03

     2 - 1   STRESS  -4.1424E+01                                                  4.1424E+01  4.1424E+01
             STRAIN  -2.6384E-03
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                  FINAS   VERSION 13.0   02/25/98    PAGE   23

                              R E A L   E I G E N V A L U E S                          ( STEP NUM.  13 )

                      MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6

                   5.527033E+00
0

                              R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( STEP NUM.  13 )
                                                                                       ( MODE NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                        T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.  13 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -3.27869E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                              N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( STEP NUM.  13 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        4.33454E+02   2.91717E+01   0.00000E+00
            3       -4.33454E+02   2.91717E+01   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                  FINAS   VERSION 13.0   02/25/98    PAGE   24

                              T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                ( STEP NUM.  13 )
0 ELM ID-POINT          X                                                        VON MISES    TRESCA

     1 - 1   STRESS  -4.3449E+01                                                  4.3449E+01  4.3449E+01
             STRAIN  -2.7674E-03

     2 - 1   STRESS  -4.3449E+01                                                  4.3449E+01  4.3449E+01
             STRAIN  -2.7674E-03
0

                              R E A L   E I G E N V A L U E S                          ( STEP NUM.  14 )

                      MODE-1        MODE-2        MODE-3        MODE-4        MODE-5        MODE-6
```

```
                    3.764626E+00
0

                              R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( STEP NUM.  14 )
                                                                                       ( MODE NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00   1.00000E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                         T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                 ( STEP NUM.  14 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        0.00000E+00  -3.51102E+00   0.00000E+00
            3        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   25

                              N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( STEP NUM.  14 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        4.57860E+02   2.97670E+01   0.00000E+00
            3       -4.57860E+02   2.97670E+01   0.00000E+00
0

                                 T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N            ( STEP NUM.  14 )
0 ELM ID-POINT              X                                                        VON MISES    TRESCA

     1 -  1    STRESS  -4.5889E+01                                                  4.5889E+01  4.5889E+01
               STRAIN  -2.9229E-03

     2 -  1    STRESS  -4.5889E+01                                                  4.5889E+01  4.5889E+01
               STRAIN  -2.9229E-03
1   NONLINEAR BUCKLING ANALYSIS OF SIMPLE TRUSS MODEL                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   26

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . STATIC  E
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . . . 14          ( FROM    1 TO    14 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . . . 2
+                                                              (       2*RQD2     )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . . 3
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . . . 2
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . . . 1
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . . . 1.0
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . . . . 0.1          ( 21.43 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . . . 0.0          ( 14.29 % )
0       STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
            LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . . . . 0.1          ( 35.71 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). . . 0.1          ( 28.57 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . . . 0.2 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . . . 45 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . . . . 0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.2.7 柱状構造物の弾塑性大変形解析

(1) 問題

図 2.2.7-1 に示すような長さ 10.0in、幅 1.0in、板厚 1.0in の柱状構造物の弾塑性大変形解析を行なう。弾性係数は 3.0×10^{7}psi、ポアソン比は 0.3 として、塑性に　関しては、降伏応力は 4.4×10^{4}psi、加工硬化係数 3.030303×10^{5}psi および硬化則は等方硬化則とする。解法は前ステップの形状をもとに解析する Updated Lagrangian 方式を用いる。

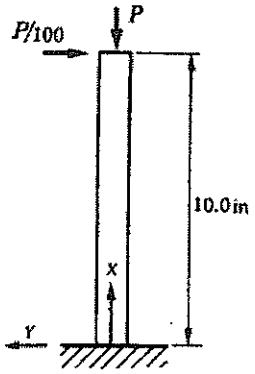


図 2.2.7-1　柱状構造物

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 2.2.7-2 に示すように有限要素モデルは 8 節点四辺形平面応力要素 QMEM8 を用いて柱の上部 5.0in を 5 要素、下部 5.0in を 20 要素の計 25 要素分割で作成する。境界条件は柱下端部節点を完全拘束および全節点の面外方向変位を拘束する。また、平面保持のための線形結合条件を与える。負荷条件は柱上部に X 方向荷重 28100 lb および Y 方向荷重 281 lb を与える。

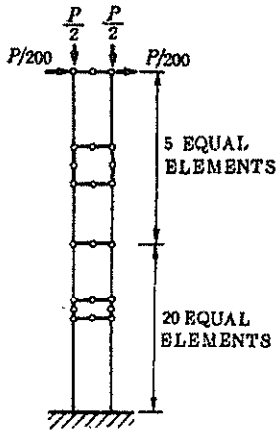


図 2.2.7-2　有限要素モデル

(3) 解析結果

図 2. 2. 7-3 は横軸に変位率、縦軸に荷重変数を表したものである。

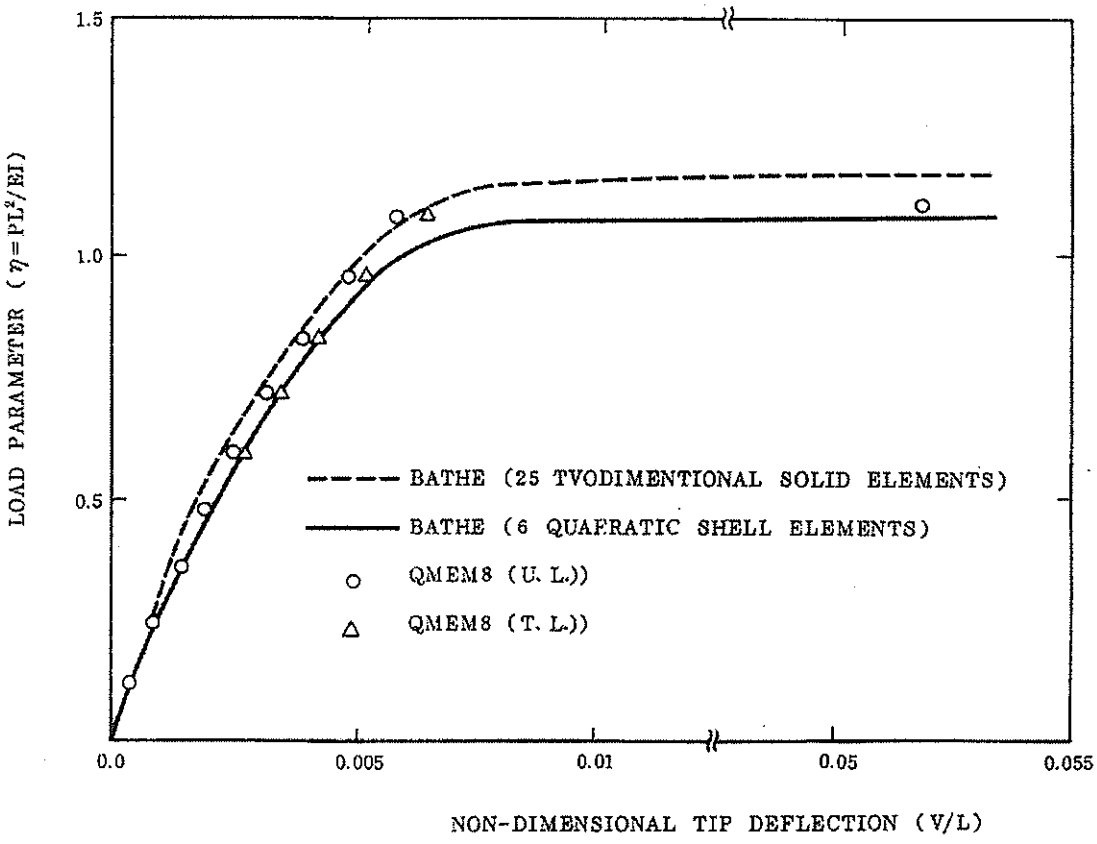


図 2. 2. 7-3　解析結果

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 2.2.7-1 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM 0/0
FINAS
TITLE     VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS
SUBTITLE  ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEM8 ELEMENT )
CONTROL
     LARGE DISP    1
STATIC    EP
MODEL
NODE PITCH
    1      40*0.0125   10*0.05
    2      20*0.025     5*0.1
NODE
**NLOOP1       2  200       0.0       1.0       0.0
    1                       0.0       0.0       0.0            50    1    1   51
   51                      10.0       0.0       0.0
**END1
  101                       0.0       0.5       0.0            25    2    2  151
  151                      10.0       0.5       0.0
ELEMENT TYPE
    1     QMEM8
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2    3  101  103  201  202  203   25    2
MATERIAL
    1                      1    1    1
          E               3.0E7
          NU                0.3
          SIGY            4.4E4
          HDASH      3.030303E5
GEOMETRY
    1    1        1.0
BOUNDARY
    1
              1  201  100         1    2
              1   51              3
            101  151    2         3
            201  251              3
FASTENING
    1
        F3  103    1              2
              3    1       0.5  203    1       0.5
        F3  105    1              2
              5    1       0.5  205    1       0.5
        F3  107    1              2
              7    1       0.5  207    1       0.5
        F3  109    1              2
              9    1       0.5  209    1       0.5
        F3  111    1              2
             11    1       0.5  211    1       0.5
        F3  113    1              2
             13    1       0.5  213    1       0.5
        F3  115    1              2
             15    1       0.5  215    1       0.5
        F3  117    1              2
             17    1       0.5  217    1       0.5
        F3  119    1              2
             19    1       0.5  219    1       0.5
        F3  121    1              2
             21    1       0.5  221    1       0.5
        F3  123    1              2
             23    1       0.5  223    1       0.5
        F3  125    1              2
             25    1       0.5  225    1       0.5
```

F3	127	1		2		
	27	1	0.5	227	1	0.5
F3	129	1		2		
	29	1	0.5	229	1	0.5
F3	131	1		2		
	31	1	0.5	231	1	0.5
F3	133	1		2		
	33	1	0.5	233	1	0.5
F3	135	1		2		
	35	1	0.5	235	1	0.5
F3	137	1		2		
	37	1	0.5	237	1	0.5
F3	139	1		2		
	39	1	0.5	239	1	0.5
F3	141	1		2		
	41	1	0.5	241	1	0.5
F3	143	1		2		
	43	1	0.5	243	1	0.5
F3	145	1		2		
	45	1	0.5	245	1	0.5
F3	147	1		2		
	47	1	0.5	247	1	0.5
F3	149	1		2		
	49	1	0.5	249	1	0.5
F3	151	1		2		
	51	1	0.5	251	1	0.5
F3	103	2		2		
	3	2	0.5	203	2	0.5
F3	105	2		2		
	5	2	0.5	205	2	0.5
F3	107	2		2		
	7	2	0.5	207	2	0.5
F3	109	2		2		
	9	2	0.5	209	2	0.5
F3	111	2		2		
	11	2	0.5	211	2	0.5
F3	113	2		2		
	13	2	0.5	213	2	0.5
F3	115	2		2		
	15	2	0.5	215	2	0.5
F3	117	2		2		
	17	2	0.5	217	2	0.5
F3	119	2		2		
	19	2	0.5	219	2	0.5
F3	121	2		2		
	21	2	0.5	221	2	0.5
F3	123	2		2		
	23	2	0.5	223	2	0.5
F3	125	2		2		
	25	2	0.5	225	2	0.5
F3	127	2		2		
	27	2	0.5	227	2	0.5
F3	129	2		2		
	29	2	0.5	229	2	0.5
F3	131	2		2		
	31	2	0.5	231	2	0.5
F3	133	2		2		
	33	2	0.5	233	2	0.5
F3	135	2		2		
	35	2	0.5	235	2	0.5
F3	137	2		2		
	37	2	0.5	237	2	0.5
F3	139	2		2		
	39	2	0.5	239	2	0.5

```
        F3  141    2              2
             41    2        0.5  241    2        0.5
        F3  143    2              2
             43    2        0.5  243    2        0.5
        F3  145    2              2
             45    2        0.5  245    2        0.5
        F3  147    2              2
             47    2        0.5  247    2        0.5
        F3  149    2              2
             49    2        0.5  249    2        0.5
        F3  151    2              2
             51    2        0.5  251    2        0.5
FORCE
   1
             51  251  200         1    3       -1.0       0.0       0.0
   2
             51  251  200         1    3        0.0      -1.0       0.0
HISTORY
INTERVAL      9
          BOUN     1        0.0
          FAS      1        9.0
          FORC     1    1.35E4         2    1.35E2
INTERVAL      1
          BOUN     1        0.0
          FAS      1        1.0
          FORC     1        0.0         2     0.0
INTERVAL      1
          BOUN     1        0.0
          FAS      1        1.0
          FORC     1   0.060E4         2   0.060E2
END MODEL
OUTPUT
NSET2         1   51  251  100
NSET2         2    1  201  100
ESET1         1   25
PRINT SELECT
DISP          1
ELM           1  ALL
REAC          2
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.7–2　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM C/O
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.....0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                 FINAS
                 TITLE     VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS
                 SUBTITLE  ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEMB ELEMENT )
                 CONTROL
                     LARGE DISP    1
                 STATIC    EP
1     VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2
      ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEMB ELEMENT )

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.....0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
           0-    MODEL
           1-    NODE PITCH
           2-       1      40*0.0125   10*0.05
           3-       2      20*0.025     5*0.1
           4-    NODE
           5-    **NLOOP1      2  200       0.0       1.0       0.0
           6-       1                      0.0       0.0       0.0            50    1    1   51
           7-      51                     10.0       0.0       0.0
           8-    **END1
           9-     101                      0.0       0.5       0.0            25    2    2  151
          10-     151                     10.0       0.5       0.0
          11-    ELEMENT TYPE
          12-       1     QMEMB
          13-    CONNECTION
          14-       1    1    1    1    1    2    3  101  103  201  202  203   25    2
          15-    MATERIAL
          16-       1                   1    1    1
          17-              E              3.0E7
          18-              NU               0.3
          19-              SIGY            4.4E4
          20-              HDASH     3 030303E5
          21-    GEOMETRY
          22-       1    1        1.0
          23-    BOUNDARY
          24-       1
          25-                 1  201  100         1    2
          26-                 1   51              3
          27-               101  151    2         3
          28-               201  251              3
          29-    FASTENING
          30-       1
          31-            F3  103    1              2
          32-                 3    1       0.5  203    1       0.5
          33-            F3  105    1              2
          34-                 5    1       0.5  205    1       0.5
          35-            F3  107    1              2
          36-                 7    1       0.5  207    1       0.5
          37-            F3  109    1              2
          38-                 9    1       0.5  209    1       0.5
          39-            F3  111    1              2
          40-                11    1       0.5  211    1       0.5
          41-            F3  113    1              2
          42-                13    1       0.5  213    1       0.5
          43-            F3  115    1              2
          44-                15    1       0.5  215    1       0.5
          45-            F3  117    1              2
          46-                17    1       0.5  217    1       0.5
          47-            F3  119    1              2
          48-                19    1       0.5  219    1       0.5
          49-            F3  121    1              2
1     VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3
      ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEMB ELEMENT )

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.....0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
          50-                21    1       0.5  221    1       0.5
          51-            F3  123    1              2
          52-                23    1       0.5  223    1       0.5
          53-            F3  125    1              2
          54-                25    1       0.5  225    1       0.5
          55-            F3  127    1              2
          56-                27    1       0.5  227    1       0.5
          57-            F3  129    1              2
          58-                29    1       0.5  229    1       0.5
          59-            F3  131    1              2
          60-                31    1       0.5  231    1       0.5
          61-            F3  133    1              2
          62-                33    1       0.5  233    1       0.5
          63-            F3  135    1              2
          64-                35    1       0.5  235    1       0.5
          65-            F3  137    1              2
```

```
        68-          37   1     0.5  237   1     0.5
        67-      F3  139   1          2
        68-          39   1     0.5  239   1     0.5
        69-      F3  141   1          2
        70-          41   1     0.5  241   1     0.5
        71-      F3  143   1          2
        72-          43   1     0.5  243   1     0.5
        73-      F3  145   1          2
        74-          45   1     0.5  245   1     0.5
        75-      F3  147   1          2
        76-          47   1     0.5  247   1     0.5
        77-      F3  149   1          2
        78-          49   1     0.5  249   1     0.5
        79-      F3  151   1          2
        80-          51   1     0.5  251   1     0.5
        81-      F3  103   2          2
        82-           3   2     0.5  203   2     0.5
        83-      F3  105   2          2
        84-           5   2     0.5  205   2     0.5
        85-      F3  107   2          2
        86-           7   2     0.5  207   2     0.5
        87-      F3  109   2          2
        88-           9   2     0.5  209   2     0.5
        89-      F3  111   2          2
        90-          11   2     0.5  211   2     0.5
        91-      F3  113   2          2
        92-          13   2     0.5  213   2     0.5
        93-      F3  115   2          2
        94-          15   2     0.5  215   2     0.5
        95-      F3  117   2          2
        96-          17   2     0.5  217   2     0.5
        97-      F3  119   2          2
        98-          19   2     0.5  219   2     0.5
        99-      F3  121   2          2
1   VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    4
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEMB ELEMENT )

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                  1         2         3         4         5         6         7         8
             1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
       100-          21   2     0.5  221   2     0.5
       101-      F3  123   2          2
       102-          23   2     0.5  223   2     0.5
       103-      F3  125   2          2
       104-          25   2     0.5  225   2     0.5
       105-      F3  127   2          2
       106-          27   2     0.5  227   2     0.5
       107-      F3  129   2          2
       108-          29   2     0.5  229   2     0.5
       109-      F3  131   2          2
       110-          31   2     0.5  231   2     0.5
       111-      F3  133   2          2
       112-          33   2     0.5  233   2     0.5
       113-      F3  135   2          2
       114-          35   2     0.5  235   2     0.5
       115-      F3  137   2          2
       116-          37   2     0.5  237   2     0.5
       117-      F3  139   2          2
       118-          39   2     0.5  239   2     0.5
       119-      F3  141   2          2
       120-          41   2     0.5  241   2     0.5
       121-      F3  143   2          2
       122-          43   2     0.5  243   2     0.5
       123-      F3  145   2          2
       124-          45   2     0.5  245   2     0.5
       125-      F3  147   2          2
       126-          47   2     0.5  247   2     0.5
       127-      F3  149   2          2
       128-          49   2     0.5  249   2     0.5
       129-      F3  151   2          2
       130-          51   2     0.5  251   2     0.5
       131-  FORCE
       132-     1
       133-          51  251  200        1   3    -1.0     0.0     0.0
       134-     2
       135-          51  251  200        1   3     0.0    -1.0     0.0
       136-  HISTORY
       137-  INTERVAL     9
       138-          BOUN   1     0.0
       139-          FAS    1     9.0
       140-          FORC   1   1.35E4       2   1.35E2
       141-  INTERVAL     1
       142-          BOUN   1     0.0
       143-          FAS    1     1.0
       144-          FORC   1     0.0        2    0.0
       145-  INTERVAL     1
       146-          BOUN   1     0.0
       147-          FAS    1     1.0
       148-          FORC   1   0.000E4       2   0.000E2
       149-  END MODEL
1   VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    5
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEMB ELEMENT )
```

```
        4                    BOUNDARY        1    0.0000E+00
                             FASTENING       1    1.000
                             FORCE           1    1500
                             FORCE           2    15.00

        5                    BOUNDARY        1    0.0000E+00
                             FASTENING       1    1.000
                             FORCE           1    1500
                             FORCE           2    15.00

        6                    BOUNDARY        1    0.0000E+00
                             FASTENING       1    1.000
                             FORCE           1    1500
                             FORCE           2    15.00
1   VP125 - 1 /  U.L  LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98     PAGE   15
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEM8 ELEMENT )

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

       NUM                                   IDENT  * FACTOR

        7                    BOUNDARY        1    0.0000E+00
                             FASTENING       1    1.000
                             FORCE           1    1500.
                             FORCE           2    15.00

        8                    BOUNDARY        1    0.0000E+00
                             FASTENING       1    1.000
                             FORCE           1    1500.
                             FORCE           2    15.00

        9                    BOUNDARY        1    0.0000E+00
                             FASTENING       1    1.000
                             FORCE           1    1500.
                             FORCE           2    15.00

       10                    BOUNDARY        1    0.0000E+00
                             FASTENING       1    1.000
                             FORCE           1    0.0000E+00
                             FORCE           2    0.0000E+00

       11                    BOUNDARY        1    0.0000E+00
                             FASTENING       1    1.000
                             FORCE           1    800.0
                             FORCE           2    8.000
1   VP125 - 1 /  U.L  LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98     PAGE   16
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEM8 ELEMENT )

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          51        -1.27144E-03  -3.68153E-03   0.00000E+00
         151        -9.98385E-04  -3.66653E-03   0.00000E+00
         251        -7.25352E-04  -3.65153E-03   0.00000E+00
0

                                N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                    ( STEP NUM   1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

           1         8.53211E+02   2.11149E+02   0.00000E+00
         101         1.86374E+03  -6.92692E+01   0.00000E+00
         201         2.53048E+02  -1.11880E+02   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                    ( STEP NUM   1 )
0 ELM ID-POINT              X             Y             XY                                  VON MISES    TRESCA

    25 -  1    STRESS  -3.1202E+03 -3.0141E+01 -3.3926E+01                                  3.1028E+03  3.1208E+03
               STRAIN  -1.0365E-04  2.9997E-05 -2.9403E-06

    25 -  2    STRESS  -3.0697E+03 -2.0968E+01 -2.5102E+01                                  3.0596E+03  3.0699E+03
               STRAIN  -1.0211E-04  2.9998E-05 -2.1755E-06

    25 -  3    STRESS  -3.0193E+03 -5.7828E+00 -3.3938E+01                                  3.0169E+03  3.0186E+03
               STRAIN  -1.0058E-04  3.0000E-05 -2.9413E-06

    25 -  4    STRESS  -3.0000E+03  4.3862E-03 -3.3916E+01                                  3.0008E+03  3.0009E+03
               STRAIN  -1.0000E-04  3.0000E-05 -2.9394E-06

    25 -  5    STRESS  -3.0000E+03 -4.3508E-04 -2.5091E+01                                  3.0003E+03  3.0004E+03
               STRAIN  -1.0000E-04  3.0000E-05 -2.1745E-06

    25 -  6    STRESS  -3.0000E+03  6.1373E-03 -3.3926E+01                                  3.0006E+03  3.0008E+03
               STRAIN  -1.0000E-04  3.0000E-05 -2.9402E-06

    25 -  7    STRESS  -2.8798E+03  3.6148E+01 -3.3921E+01                                  2.9986E+03  2.9107E+03
               STRAIN  -9.6355E-05  3.0003E-05 -2.9398E-06

    25 -  8    STRESS  -2.9303E+03  2.0965E+01 -2.5094E+01                                  2.9411E+03  2.9517E+03
               STRAIN  -9.7885E-05  3.0002E-05 -2.1746E-06

    25 -  9    STRESS  -2.9807E+03  5.7928E+00 -3.3928E+01                                  2.9842E+03  2.9873E+03
               STRAIN  -9.9416E-05  3.0001E-05 -2.9404E-06
```

```
1   VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                          FINAS  VERSION 13.0   01/22/98      PAGE   17
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEM3 ELEMENT )

                                   T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM   2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          51        -2.60376E-03   -8.11874E-03   0.00000E+00
         151        -1.99877E-03   -6.09391E-03   0.00000E+00
         251        -1.39377E-03   -8.06909E-03   0.00000E+00
0

                                   N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                              ( STEP NUM   2 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

           1         1.75807E+03    4.28965E+02   0.00000E+00
         101         3.78751E+03   -1.54010E+02   0.00000E+00
         201         4.54416E+02   -2.15955E+02   0.00000E+00
0

                                   T O T A L   S T R A I N   A N D   S T R A I N                        ( STEP NUM   2 )
0 ELM.ID-POINT              X             Y             XY                                          VON MISES    TRESCA

    25 -  1    STRESS  -6.2720E+03  -8.1607E+01  -7.4598E+01                                        6.2329E+03  6.2729E+03
               STRAIN  -2.0825E-04   5.9998E-05  -8.6416E-06

    25 -  2    STRESS  -6.1580E+03  -4.7315E+01  -5.4876E+01                                        6.1352E+03  6.1585E+03
               STRAIN  -2.0476E-04   6.0001E-05  -4.9139E-06

    25 -  3    STRESS  -6.0440E+03  -1.3031E+01  -7.4650E+01                                        6.0388E+03  6.0449E+03
               STRAIN  -2.0133E-04   6.0003E-05  -6.8435E-06

    25 -  4    STRESS  -6.0005E+03   4.5514E-02  -7.4613E+01                                        6.0019E+03  6.0024E+03
               STRAIN  -2.0001E-04   6.0004E-05  -6.8381E-06

    25 -  5    STRESS  -6.0004E+03   5.1871E-02  -5.4685E+01                                        6.0012E+03  6.0015E+03
               STRAIN  -2.0001E-04   6.0005E-05  -4.9118E-06

    25 -  6    STRESS  -6.0005E+03   4.8910E-02  -7.4851E+01                                        6.0019E+03  6.0024E+03
               STRAIN  -2.0001E-04   6.0004E-05  -6.8428E-06

    25 -  7    STRESS  -5.7289E+03   8.1693E+01  -7.4680E+01                                        5.7717E+03  5.8125E+03
               STRAIN  -1.9178E-04   6.0010E-05  -6.6374E-06

    25 -  8    STRESS  -5.8429E+03   4.7414E+01  -5.4720E+01                                        5.8875E+03  5.8914E+03
               STRAIN  -1.9524E-04   6.0003E-05  -4.9125E-05

    25 -  9    STRESS  -5.9569E+03   1.3125E+01  -7.4695E+01                                        5.9849E+03  5.9719E+03
               STRAIN  -1.9869E-04   6.0005E-05  -6.8450E-06
1   VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                          FINAS  VERSION 13.0   01/22/98      PAGE   18
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEM3 ELEMENT )

                                   T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM   3 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          51        -3.37971E-03   -1.30937E-02   0.00000E+00
         151        -3.00183E-03   -1.30392E-02   0.00000E+00
         251        -2.02394E-03   -1.28950E-02   0.00000E+00
0

                                   N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                              ( STEP NUM   3 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

           1         2.69879E+03    6.54008E+02   0.00000E+00
         101         5.68128E+03   -2.49450E+02   0.00000E+00
         201         6.18931E+02   -3.14819E+02   0.00000E+00
0

                                   T O T A L   S T R A I N   A N D   S T R A I N                        ( STEP NUM   3 )
0 ELM.ID-POINT              X             Y             XY                                          VON MISES    TRESCA

    25 -  1    STRESS  -9.4454E+03  -1.3300E+02  -1.2088E+02                                        9.3816E+03  9.4470E+03
               STRAIN  -3.1350E-04   8.9994E-05  -1.1049E-05

    25 -  2    STRESS  -9.2596E+03  -7.7449E+01  -8.8270E+01                                        9.2214E+03  9.2595E+03
               STRAIN  -3.0784E-04   9.0000E-05  -8.2200E-06

    25 -  3    STRESS  -9.0720E+03  -2.1324E+01  -1.2101E+02                                        9.0838E+03  9.0738E+03
               STRAIN  -3.0218E-04   9.0002E-05  -1.1052E-05

    25 -  4    STRESS  -9.0007E+03   1.2433E-01  -1.2098E+02                                        9.0052E+03  9.0041E+03
               STRAIN  -3.0002E-04   9.0004E-05  -1.1042E-05

    25 -  5    STRESS  -9.0006E+03   1.4088E-01  -8.8347E+01                                        9.0020E+03  9.0025E+03
               STRAIN  -3.0002E-04   9.0005E-05  -8.2169E-06

    25 -  6    STRESS  -9.0007E+03   1.3177E-01  -1.2105E+02                                        9.0032E+03  9.0041E+03
               STRAIN  -3.0002E-04   9.0005E-05  -1.1053E-05

    25 -  7    STRESS  -8.5590E+03   1.3094E+02  -1.2114E+02                                        8.6283E+03  8.6832E+03
               STRAIN  -2.8552E-04   9.0015E-05  -1.1039E-05

    25 -  8    STRESS  -8.7427E+03   7.7725E+01  -8.8473E+01                                        8.7831E+03  8.8222E+03
               STRAIN  -2.9219E-04   9.0012E-05  -8.2178E-06
```

```
    25 -  7    STRESS  -1.9540E+04  4.3988E+02 -2.9078E+02                                  1.9775E+04  1.9895E+04
               STRAIN  -8.5584E-04  2.0897E-04 -3.9262E-05

    25 -  8    STRESS  -2.0152E+04  2.5570E+02 -2.8308E+02                                  2.0287E+04  2.0415E+04
               STRAIN  -8.7422E-04  2.0998E-04 -3.0050E-05

    25 -  9    STRESS  -2.0765E+04  7.1603E+01 -3.8974E+02                                  2.0912E+04  2.0851E+04
               STRAIN  -8.9279E-04  2.0995E-04 -3.9407E-05
1   VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    23
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEM8 ELEMENT )

                                  T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   8 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

           51        -1.19500E-02  -5.06262E-02   0.00000E+00
          151        -8.11621E-03  -5.05189E-02   0.00000E+00
          251        -4.28182E-03  -5.04116E-02   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                              ( STEP NUM.   8 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1         8.26703E+03   1.90219E+03   0.00000E+00
          101         1.51504E+04  -9.94942E+02   0.00000E+00
          201         5.82494E+02  -6.77247E+02   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                        ( STEP NUM.   8 )
0 ELM ID-POINT            X             Y            XY                                        VON MISES    TRESCA

    25 -  1    STRESS  -2.5841E+04  -5.5208E+02  -4.8432E+02                                  2.5583E+04  2.5850E+04
               STRAIN  -8.5570E-04  2.3997E-04  -5.0716E-05

    25 -  2    STRESS  -2.5068E+04  -3.1655E+02  -3.5030E+02                                  2.4915E+04  2.5071E+04
               STRAIN  -8.3224E-04  2.3991E-04  -3.9002E-05

    25 -  3    STRESS  -2.4294E+04  -8.6836E+01  -4.8713E+02                                  2.4265E+04  2.4304E+04
               STRAIN  -8.0876E-04  2.3991E-04  -5.0732E-05

    25 -  4    STRESS  -2.3898E+04   1.8780E+00  -4.8770E+02                                  2.4014E+04  2.4020E+04
               STRAIN  -7.9981E-04  2.3991E-04  -5.0851E-05

    25 -  5    STRESS  -2.3897E+04   1.8873E+00  -3.5263E+02                                  2.4006E+04  2.4008E+04
               STRAIN  -7.9981E-04  2.3993E-04  -3.8988E-05

    25 -  6    STRESS  -2.3898E+04   2.0491E+00  -4.8921E+02                                  2.4014E+04  2.4020E+04
               STRAIN  -7.9981E-04  2.3991E-04  -5.0769E-05

    25 -  7    STRESS  -2.2155E+04   5.5578E+02  -4.9128E+02                                  2.2455E+04  2.2732E+04
               STRAIN  -7.4393E-04  2.3994E-04  -5.0804E-05

    25 -  8    STRESS  -2.2828E+04   3.2326E+02  -3.5507E+02                                  2.3090E+04  2.3282E+04
               STRAIN  -7.6739E-04  2.3995E-04  -3.8990E-05

    25 -  9    STRESS  -2.3702E+04   9.0010E+01  -4.8949E+02                                  2.3783E+04  2.3813E+04
               STRAIN  -7.9084E-04  2.3991E-04  -5.0321E-05
1   VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    24
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEM8 ELEMENT )

                                  T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   9 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

           51        -1.38538E-02  -8.27561E-02   0.00000E+00
          151        -9.18735E-03  -8.25410E-02   0.00000E+00
          251        -4.42091E-03  -8.23259E-02   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                              ( STEP NUM.   9 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1         9.69397E+03   2.19805E+03   0.00000E+00
          101         1.70445E+04  -1.22570E+03   0.00000E+00
          201         2.61530E+02  -7.02349E+02   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                        ( STEP NUM.   9 )
0 ELM ID-POINT            X             Y            XY                                        VON MISES    TRESCA

    25 -  1    STRESS  -2.9313E+04  -8.9347E+02  -6.0333E+02                                  2.8892E+04  2.9326E+04
               STRAIN  -9.6999E-04  2.6980E-04  -6.5093E-05

    25 -  2    STRESS  -2.8329E+04  -4.0115E+02  -4.3538E+02                                  2.8151E+04  2.8348E+04
               STRAIN  -9.4047E-04  2.6980E-04  -5.0365E-05

    25 -  3    STRESS  -2.7368E+04  -1.0850E+02  -8.0772E+02                                  2.7335E+04  2.7382E+04
               STRAIN  -9.1098E-04  2.6985E-04  -8.5107E-05

    25 -  4    STRESS  -2.6998E+04   2.9357E+00  -6.0874E+02                                  2.7018E+04  2.7027E+04
               STRAIN  -8.9860E-04  2.6985E-04  -6.4095E-05

    25 -  5    STRESS  -2.6995E+04   2.9034E+00  -4.3897E+02                                  2.7007E+04  2.7012E+04
               STRAIN  -8.9859E-04  2.6989E-04  -5.0348E-05
```

```
    25 -  6    STRESS  -2.6986E+04  3.2080E+00 -6.0945E+02                                  2.7019E+04  2.7027E+04
               STRAIN  -8.9989E-04  2.6985E-04 -6.5166E-05

    25 -  7    STRESS  -2.4680E+04  6.8928E+02 -6.1439E+02                                  2.5056E+04  2.5409E+04
               STRAIN  -8.2943E-04  2.6969E-04 -6.4921E-05

    25 -  8    STRESS  -2.5650E+04  4.0693E+02 -4.4280E+02                                  2.5888E+04  2.6072E+04
               STRAIN  -8.5602E-04  2.6991E-04 -5.0349E-05

    25 -  9    STRESS  -2.6624E+04  1.1490E+02 -8.1143E+02                                  2.6709E+04  2.6787E+04
               STRAIN  -8.8841E-04  2.6988E-04 -8.5245E-05
1   VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                          FINAS  VERSION 13.0   01/22/98      PAGE   25
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QUEMB ELEMENT )

                                  T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.  10 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

           51        -1.55602E-02   -6.20379E-02   0.00000E+00
          151        -9.52251E-03   -8.10352E-02   0.00000E+00
          251        -3.45685E-03   -8.18326E-02   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                              ( STEP NUM.  10 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1         9.80778E+03    2.59887E+02   0.00000E+00
          101         1.81859E+04   -1.82579E+03   0.00000E+00
          201        -1.15360E+03   -4.71083E+02   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                        ( STEP NUM.  10 )
0 ELM ID-POINT              X             Y            XY                                      VON MISES    TRESCA

    25 -  1    STRESS  -2.9730E+04  -8.2094E+02  -6.9598E+02                                  2.8359E+04  2.9753E+04
               STRAIN  -9.6265E-04   2.6965E-04  -7.9536E-05

    25 -  2    STRESS  -2.8581E+04  -4.7417E+02  -4.9782E+02                                  2.8360E+04  2.8588E+04
               STRAIN  -9.4798E-04   2.6975E-04  -8.2041E-05

    25 -  3    STRESS  -2.7431E+04  -1.2711E+02  -7.0289E+02                                  2.7394E+04  2.7449E+04
               STRAIN  -9.1273E-04   2.6971E-04  -7.9482E-05

    25 -  4    STRESS  -2.6939E+04   4.8910E+00  -7.0450E+02                                  2.7020E+04  2.7031E+04
               STRAIN  -8.9935E-04   2.6971E-04  -7.9381E-05

    25 -  5    STRESS  -2.6987E+04   4.9548E+00  -5.0159E+02                                  2.7003E+04  2.7010E+04
               STRAIN  -8.9935E-04   2.6978E-04  -6.2017E-05

    25 -  6    STRESS  -2.6989E+04   5.3881E+00  -7.0504E+02                                  2.7020E+04  2.7032E+04
               STRAIN  -8.9935E-04   2.6972E-04  -7.8588E-05

    25 -  7    STRESS  -2.4243E+04   8.3075E+02  -7.1414E+02                                  2.4700E+04  2.5114E+04
               STRAIN  -8.1605E-04   2.6977E-04  -7.9253E-05

    25 -  8    STRESS  -2.5393E+04   4.8413E+02  -5.0606E+02                                  2.5854E+04  2.5897E+04
               STRAIN  -8.5101E-04   2.6981E-04  -6.2020E-05

    25 -  9    STRESS  -2.6548E+04   1.3787E+02  -7.0891E+02                                  2.6046E+04  2.6724E+04
               STRAIN  -8.8597E-04   2.6972E-04  -7.9721E-05
1   VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                          FINAS  VERSION 13.0   01/22/98      PAGE   26
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QUEMB ELEMENT )

                                  T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.  11 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

           51        -1.86925E-02   -8.92489E-02   0.00000E+00
          151        -1.02017E-02   -8.91455E-02   0.00000E+00
          251        -3.71089E-03   -8.90420E-02   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                              ( STEP NUM.  11 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1         1.00291E+04    2.87427E+03   0.00000E+00
          101         1.92692E+04   -1.88515E+03   0.00000E+00
          201        -1.09833E+03   -5.07121E+02   0.00000E+00
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N                        ( STEP NUM.  11 )
0 ELM ID-POINT              X             Y            XY                                      VON MISES    TRESCA

    25 -  1    STRESS  -3.0896E+04  -8.1044E+02  -7.3067E+02                                  3.0529E+04  3.0917E+04
               STRAIN  -1.0215E-03   2.8158E-04  -8.4705E-05

    25 -  2    STRESS  -2.9759E+04  -4.6946E+02  -5.3608E+02                                  2.9542E+04  2.9769E+04
               STRAIN  -9.8699E-04   2.8165E-04  -6.7492E-05

    25 -  3    STRESS  -2.8625E+04  -1.2590E+02  -7.3926E+02                                  2.8591E+04  2.8844E+04
               STRAIN  -9.5250E-04   2.8165E-04  -8.4679E-05

    25 -  4    STRESS  -2.8190E+04   4.3414E+00  -7.4107E+02                                  2.9221E+04  2.9233E+04
               STRAIN  -9.3931E-04   2.8164E-04  -8.4600E-05
```

```
    25 -  5    STRESS  -2.8187E+04  3.2226E+00 -5.4298E+02                                  2.8204E+04  2.8211E+04
               STRAIN  -9.3931E-04  2.8169E-04 -6.7436E-05

    25 -  6    STRESS  -2.8190E+04  4.7475E+00 -7.4192E+02                                  2.8222E+04  2.8234E+04
               STRAIN  -9.3931E-04  2.8165E-04 -8.4736E-05

    25 -  7    STRESS  -2.5481E+04  8.1905E+02 -7.5340E+02                                  2.5933E+04  2.6343E+04
               STRAIN  -8.5714E-04  2.8170E-04 -8.4520E-05

    25 -  8    STRESS  -2.6615E+04  4.7590E+02 -5.5022E+02                                  2.6873E+04  2.7113E+04
               STRAIN  -8.9163E-04  2.8172E-04 -6.7440E-05

    25 -  9    STRESS  -2.7755E+04  1.3539E+02 -7.4491E+02                                  2.7853E+04  2.7930E+04
               STRAIN  -9.2612E-04  2.8166E-04 -8.4822E-05
1   VP125 - 1 /  U.L. LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    27
    ELASTIC-PLASTIC INSTABILITY ANALYSIS ( QMEM8 ELEMENT )

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE  . . .  . . . . . .      STATIC  EP
0       NUMBER OF LOAD STEPS   . . . . . . .      11          ( FROM     1 TO    11 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . .        25
+                                                             (      25=QMEM8    )
0       NUMBER OF NODES  . . . . . . . . . .     128
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS  . . .        200
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS  . . .    12
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS  . . .     8.3
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .    0.2         ( 17.31 % )
0       LOAD VECTOR FORMATION  . . . . . . .      0.0         (  3.85 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .   0.3         ( 30.54 % )
0       STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
            LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES  .     0.2         ( 21.15 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) . .  0.2         ( 21.15 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .    0.9 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . .      110 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .     0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.3 破壊力学解析

2.3.1 中央き裂板の線形破壊力学解析

(1) 問題

図 2.3.1-1 に示すように長さ 3000mm、幅 2000mm、板厚 1.0mm、中央に 1000mm のき裂を有する帯板の一様引張問題に対し線形破壊力学解析を用い J 値を求める。弾性係数は 2.1×10^4kg/mm^2、ポアソン比は 0.3 とする。

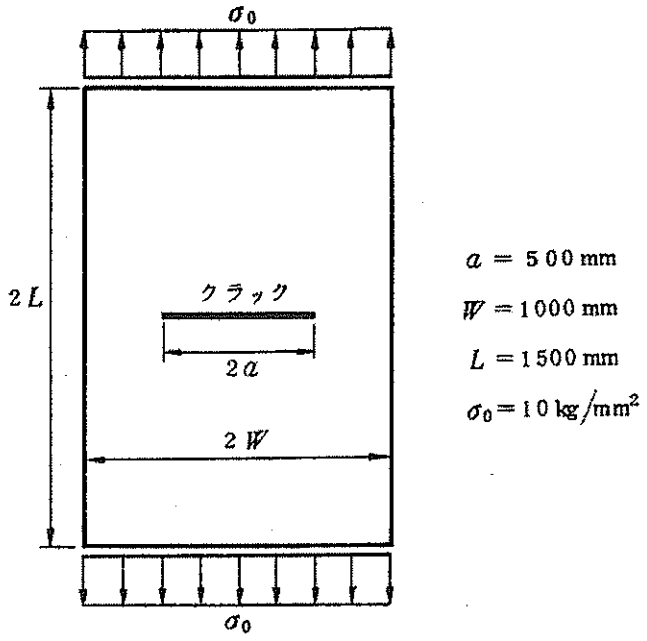


図 2.3.1-1 中央にき裂を有する帯板

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 2.3.1-2 のように構造および負荷条件の対称性を考慮し、8 節点四辺形平面応力要素 QMEM8 を用いて 1/4 の有限要素モデルを作成する。境界条件は AB、CD には対称条件、全節点には面外拘束条件を与える。負荷条件は BE に沿う分布荷重 10kg/mm² とする。積分径路は図 2.3.1-2 に示されるように 2 本の径路を定義し J 値を求める。

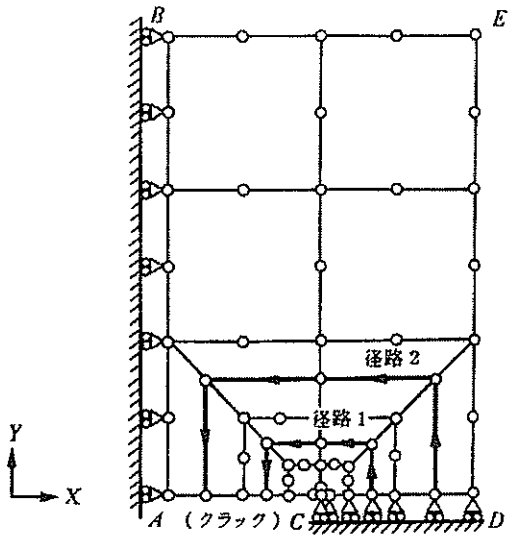


図 2.3.1-2　有限要素モデル

(3) 理論解

中央にクラックのある帯板の一様引張り問題における応力拡大係数 K_I は次式で近似的に与えられる。

$$K_I = \sigma_0 \sqrt{\pi b \cdot \sec(\pi \xi / 2)} \qquad (2.3.1\text{-}1)$$

ここで、b は図 2.3.1-1 におけるクラック長さの半分、σ_0 は引張り応力を表し、ξ は帯板の幅の長さを 2W とすると次式で与えられものである。

$$\xi = b/W \qquad (2.3.1\text{-}2)$$

また、応力拡大係数 K_I と J 値との間には次の関係がある。

$$J = \frac{1}{E} K_I^2 \qquad (2.3.1\text{-}3)$$

なお、E は弾性係数である。

(4) 解析結果

表 2.3.1-1 は J 積分値と応力拡大係数である。

表 2.3.1-1　解析結果

径　路	J 積分値	応力拡大係数
1	1.11334E+01	4.83530E+02
2	1.09138E+01	4.78737E+02
理論解	10.578	471.322

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.3.1-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    O/O
FINAS
TITLE     VP-066-1
SUBTITLE  FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION
NOPRINT   DES
STATIC    E
CONTROL
     J-INTEGRAL          2    4    4
                        24   23   22   21
                        34   33   32   31
MODEL
NODE
   11                     0.        0.
   12                   -25.        0.
   13                     0.       25.
   14                    25.        0.
   21                  -100.        0.                        2             23
   23                  -100.      100.                        4             27
   27                   100.      100.                        2             29
   29                   100.        0.
   31                  -175.        0.
   33                  -175.      175.                        2         2   37
   37                   175.      175.
   39                   175.        0.
   41                  -250.        0.                        2             43
   43                  -250.      250.                        4             47
   47                   250.      250.                        2             49
   49                   250.        0.
   51                  -375.        0.
   53                  -375.      375.                        2         2   57
   57                   375.      375.
   59                   375.        0.
   61                  -500.        0.                        2             63
   63                  -500.      500.                        4             67
   67                   500.      500.                        2             69
   69                   500.        0.
   73                  -500.      750.                        2         2   77
   77                   500.      750.
   83                  -500.     1000.                        4             87
   87                   500.     1000.
   93                  -500.     1250.                        2         2   97
   97                   500.     1250.
  103                  -500.     1500.                        4            107
  107                   500.     1500.
ELEMENT TYPE
    1     QMEM8
CONNECTION
   11    1    1    1   21   12   11   22   13   23   24   25
   12    1    1    1   11   14   29   13   28   25   26   27
   21    1    1    1   21   22   23   31   33   41   42   43    4    2
   31    1    1    1   41   42   43   51   53   61   62   63    4    2
   41    1    1    1   63   64   65   73   75   83   84   85    2    2
   51    1    1    1   83   84   85   93   95  103  104  105    2    2
GEOMETRY
    1            1.0
MATERIAL
    1
          E                2.1E4
          NU                 0.3
BOUNDARY
    1
             11                    2
```

```
            14                  2
            29   69   10        2
            61   82             1
            63  103   10        1
            11   14    1        3
            21   29    1        3
            31   39    2        3
            41   49    1        3
            51   59    2        3
            61   69    1        3
            73   77    2        3
            83   87    1        3
            93   97    2        3
           103  107    1        3
FORCE
    1
        1   51   52        4              -10.0     -10.0     -10.0
HISTORY
INTERVAL
         BOUN     1
         FORC     1
END MODEL
OUTPUT
NSET1        1   11   14   29   39   49   59   61   62   63   69   73   83   93
                103
PRINT SELECT
REAC         1
POSTTAPE  CADAS
OUTSYS    GLOBAL
ELM       ALL  ALL
NPST      ALL
DISP      ALL
REAC      NONE
STRUCTURE PLOT
FRAME     A4H
AXES      Z    Y    -X
VIEW            0.0       0.0       0.0
IPLOT              BOTH
DPLOT
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
        0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.3.1-3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM    0/0
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0
                  FINAS
                  TITLE     VP-066-1
                  SUBTITLE  FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION
                  NOPRINT   DES
                  STATIC    E
                  CONTROL
                      J-INTEGRAL          2    4    4
                                         24   23   22   21
                                         34   33   32   31
1     VP-066-1                                                       FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2
      FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0
            0-    MODEL
            1-    NODE
            2-       11                    0.        0.
            3-       12                  -25.        0.
            4-       13                    0.       25.
            5-       14                   25.        0.
            6-       21                 -100.        0.                    2             23
            7-       23                 -100.      100.                    4             27
            8-       27                  100.      100.                    2             29
            9-       29                  100        0.
           10-       31                 -175.        0.
           11-       33                 -175.      175.                    2         2   37
           12-       37                  175.      175.
           13-       39                  175.        0.
           14-       41                 -250.        0                     2             43
           15-       43                 -250.      250.                    4             47
           16-       47                  250.      250.                    2             49
           17-       49                  250        0.
           18-       51                 -375.        0.
           19-       53                 -375.      375                     2         2   57
           20-       57                  375.      375.
           21-       59                  375        0.
           22-       61                 -500.        0.                    2             63
           23-       63                 -500.      500.                    4             67
           24-       67                  500.      500.                    2             69
           25-       69                  500.        0.
           26-       73                 -500.      750                     2         2   77
           27-       77                  500.      750.
           28-       83                 -500.     1000.                    4             87
           29-       87                  500.     1000.
           30-       93                 -500.     1250.                    2         2   97
           31-       97                  500.     1250.
           32-      103                 -500.     1500.                    4            107
           33-      107                  500.     1500.
           34-    ELEMENT TYPE
           35-        1     OMEM8
           36-    CONNECTION
           37-       11    1    1    1   21   12   11   22   13   23   24   25
           38-       12    1    1    1   11   14   29   12   28   25   26   27
           39-       21    1    1    1   21   22   23   31   33   41   42   43    4    2
           40-       31    1    1    1   41   42   43   51   53   61   62   63    4    2
           41-       41    1    1    1   63   64   65   73   75   83   84   85    2    2
           42-       51    1    1    1   83   84   85   93   95  103  104  105    2    2
           43-    GEOMETRY
           44-        1            1.0
           45-    MATERIAL
           46-        1
           47-             E              2.1E4
           48-             NU              0.3
           49-    BOUNDARY
1     VP-066-1                                                       FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3
      FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0
           50-        1
           51-                 11                  2
           52-                 14                  2
           53-                 29   69   10         2
           54-                 61   62              1
           55-                 83  103   10         1
           56-                 11   14    1         3
           57-                 21   29    1         3
           58-                 31   39    2         3
           59-                 41   49    1         3
           60-                 51   50    2         3
           61-                 61   69    1         3
           62-                 73   77    2         3
```

```
63-                 83   87   1        3
64-                 93   97   2        3
65-                103  107   1        3
66-    FORCE
67-        1
68-            1   51   52        4              -10.0     -10.0     -10.0
69-    HISTORY
70-    INTERVAL
71-            BOUN     1
72-            FORC     1
73-    END MODEL
```

1 VP-068-1 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 4

FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION

```
                    O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                  1         2         3         4         5         6         7         8
           1...:...0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
           OUTPUT
           NSET1        1   11   14   29   39   49   59   61   62   63   69   73   83   93
                          103
           PRINT SELECT
           REAC         1
           POSTTAPE  CADAS
           OUTSYS    GLOBAL
           ELM       ALL  ALL
           NPST      ALL
           DISP      ALL
           REAC      NONE
           STRUCTURE PLOT
           FRAME     A4H
           AXES      Z    Y    -X
           VIEW            0.0       0.0       0.0
           IPLOT                BOTH
           DPLOT
           END OUTPUT
           END FINAS
```

1 VP-068-1 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 5

FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION

```
      P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT   1.   UNDEFORMED SHAPE
                  AXES ...................+Z, -Y, -X      VIEW ANGLE .......      0.00,      0.00,      0.00
                  SCALE FACTOR ............ 1.186E-01      FRAME SIZE .......    297.3 ,    210.2
0

                          PATH INDEPENDENT INTEGRAL ESTIMATION  (STEP NUMBER    1)

                                  PATH NUMBER          J-VALUE
                                        1             5.56689E+00
                                        2             5.45698E+00
0

                    T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM    1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          11        -2.88673E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
          12        -2.74191E-01   1.71970E-01   0.00000E+00
          13        -2.10734E-01   8.42321E-02   0.00000E+00
          14        -2.49488E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
          21        -2.36622E-01   3.38202E-01   0.00000E+00
          22        -1.84089E-01   3.44820E-01   0.00000E+00
          23        -1.15830E-01   3.52642E-01   0.00000E+00
          24        -1.21558E-01   2.72793E-01   0.00000E+00
          25        -1.39751E-01   1.91156E-01   0.00000E+00
          26        -1.63777E-01   1.27032E-01   0.00000E+00
          27        -1.81678E-01   8.85888E-02   0.00000E+00
          28        -2.09675E-01   4.39678E-02   0.00000E+00
          29        -2.20231E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
          31        -1.91901E-01   4.30476E-01   0.00000E+00
          33        -8.37069E-02   4.53863E-01   0.00000E+00
          35        -1.02806E-01   2.57088E-01   0.00000E+00
          37        -1.70153E-01   1.44897E-01   0.00000E+00
          39        -2.20568E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
          41        -1.46392E-01   4.92478E-01   0.00000E+00
          42        -7.30401E-02   5.07986E-01   0.00000E+00
          43        -3.29992E-02   5.21927E-01   0.00000E+00
          44        -4.82142E-02   4.28082E-01   0.00000E+00
          45        -7.81286E-02   3.13979E-01   0.00000E+00
          46        -1.24620E-01   2.36569E-01   0.00000E+00
          47        -1.65584E-01   1.85703E-01   0.00000E+00
          48        -2.04291E-01   9.19974E-02   0.00000E+00
          49        -2.27410E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
          51        -8.94021E-02   5.49407E-01   0.00000E+00
          53        -5.30253E-03   5.92817E-01   0.00000E+00
          55        -5.56402E-02   3.93472E-01   0.00000E+00
```

1 VP-068-1 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 6

FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION

```
                    T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM    1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
```

57	-1.60601E-01	2.49996E-01	0.00000E+00
59	-2.43185E-01	0.00000E+00	0.00000E+00
61	0.00000E+00	5.64460E-01	0.00000E+00
62	0.00000E+00	5.97227E-01	0.00000E+00
63	0.00000E+00	6.31052E-01	0.00000E+00
64	-8.37906E-03	5.78926E-01	0.00000E+00
65	-4.27217E-02	4.64930E-01	0.00000E+00
66	-9.94301E-02	3.68355E-01	0.00000E+00
67	-1.54988E-01	3.06939E-01	0.00000E+00
68	-2.21242E-01	1.41382E-01	0.00000E+00
69	-2.82248E-01	0.00000E+00	0.00000E+00
73	0.00000E+00	0.87551E-01	0.00000E+00
75	-3.25087E-02	5.92126E-01	0.00000E+00
77	-1.18887E-01	4.77099E-01	0.00000E+00
83	0.00000E+00	7.75403E-01	0.00000E+00
84	-1.31881E-02	7.55118E-01	0.00000E+00
85	-3.21067E-02	7.10225E-01	0.00000E+00
86	-6.36926E-02	6.58562E-01	0.00000E+00
87	-1.04675E-01	6.26557E-01	0.00000E+00
93	0.00000E+00	8.75825E-01	0.00000E+00
95	-2.82802E-02	8.25073E-01	0.00000E+00
97	-6.93307E-02	7.57903E-01	0.00000E+00
103	0.00000E+00	9.62883E-01	0.00000E+00
104	1.21107E-03	9.70725E-01	0.00000E+00
105	-6.45587E-03	9.39277E-01	0.00000E+00
106	-3.38499E-02	9.04200E-01	0.00000E+00
107	-6.80574E-02	8.76210E-01	0.00000E+00

1 VP-066-1 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 7
FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION

NODAL POINT REACTION (STEP NUM. 1)

O POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
11	0.00000E+00	-7.88953E+02	0.00000E+00			
14	0.00000E+00	-2.47138E+03	0.00000E+00			
29	0.00000E+00	-1.28226E+03	0.00000E+00			
36	0.00000E+00	-1.80208E+03	0.00000E+00			
49	0.00000E+00	-9.85388E+02	0.00000E+00			
59	0.00000E+00	-2.34253E+03	0.00000E+00			
61	9.42154E+02	0.00000E+00	0.00000E+00			
62	1.05902E+03	0.00000E+00	0.00000E+00			
63	-2.45737E+02	0.00000E+00	0.00000E+00			
69	0.00000E+00	-3.47438E+02	0.00000E+00			
73	-4.98987E+02	0.00000E+00	0.00000E+00			
83	-2.81107E+02	0.00000E+00	0.00000E+00			
93	-7.04438E+02	0.00000E+00	0.00000E+00			
103	-2.72928E+02	0.00000E+00	0.00000E+00			

O

TOTAL STRESS AND STRAIN (STEP NUM. 1)

O ELM ID-POINT		X	Y	XY	VON MISES	TRESCA
11 - 5	STRESS	5.4542E-01	8.1550E+00	-8.1338E+00	1.6150E+01	1.7858E+01
	STRAIN	-9.0528E-05	3.8054E-04	-1.0070E-03		
12 - 5	STRESS	5.1104E+00	3.2243E+01	1.1565E+00	3.0083E+01	3.2292E+01
	STRAIN	-2.1726E-04	1.4524E-03	1.4319E-04		
21 - 5	STRESS	1.4171E+00	-4.6301E+00	2.3296E+00	6.8035E+00	7.9339E+00
	STRAIN	1.2383E-04	-2.4073E-04	2.8842E-04		
22 - 5	STRESS	-1.8388E+00	9.4061E+00	-6.0325E+00	1.4818E+01	1.6534E+01
	STRAIN	-2.2239E-04	4.7704E-04	-7.4682E-04		
23 - 5	STRESS	-1.8977E+00	2.9057E+01	-1.5126E+00	2.1626E+01	2.2757E+01
	STRAIN	-3.8547E-04	1.0105E-03	-1.8730E-04		
24 - 5	STRESS	1.8359E+01	3.2385E+00	-1.5693E+00	1.7190E+01	1.8520E+01
	STRAIN	8.2798E-04	-1.0815E-04	-1.9429E-04		
31 - 5	STRESS	1.2404E+00	-2.9685E+00	1.0351E+00	5.0422E+00	5.6052E+00
	STRAIN	1.1578E-04	-2.0669E-04	1.2815E-04		
32 - 5	STRESS	-7.7997E-01	6.7064E+00	-2.5487E+00	9.4806E+00	1.0381E+01
	STRAIN	-1.3423E-04	3.3478E-04	-4.3936E-04		
33 - 5	STRESS	-1.3108E+00	1.5223E+01	-1.1655E+00	1.6047E+01	1.6698E+01
	STRAIN	-2.7989E-04	7.4384E-04	-1.4429E-04		

1 VP-066-1 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 8
FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION

TOTAL STRESS AND STRAIN (STEP NUM. 1)

O ELM ID-POINT		X	Y	XY	VON MISES	TRESCA
34 - 5	STRESS	1.4097E+01	4.9286E-01	-8.9102E-01	1.3909E+01	1.4132E+01
	STRAIN	8.8426E-04	-1.7792E-04	-8.5555E-05		
41 - 5	STRESS	9.4052E-01	7.8664E+00	-1.6188E+00	7.7845E+00	8.0548E+00
	STRAIN	-8.5018E-05	3.5258E-04	-2.0043E-04		
42 - 5	STRESS	3.1608E-02	1.2190E+01	-1.2808E+00	1.2383E+01	1.2433E+01
	STRAIN	-1.7275E-04	5.8041E-04	-1.5858E-04		

```
    51 - 5    STRESS   1.6755E+00  9.5581E+00 -5.8431E-01                                  8.8980E+00  9.6012E+00
              STRAIN  -5.6760E-05  4.3121E-04 -7.2343E-05

    52 - 5    STRESS   5.4188E-01  1.0479E+01 -6.1428E-01                                  1.0274E+01  1.0517E+01
              STRAIN  -1.2390E-04  4.9128E-04 -7.6054E-05
1   VP-066-1                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     9
    FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION


      P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT   2.   DEFORMED SHAPE
                    AXES . . . . . . . . . . . . . +Z, +Y, -X      VIEW ANGLE . . . . . .      0.00,      0.00,      0.00
                    SCALE FACTOR . . . . . . . . . 1.098E-01      FRAME SIZE . . . . . .    297.3 ,    210.2
1   VP-066-1                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    10
    FRACTURE ANALYSIS OF CENTER CRACKED PLATE TENSION

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . STATIC  E
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . .          1          ( FROM     1 TO     1 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .         14
*                                                                  (      14*GMEM3   )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .        57
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . .          100
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         28
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . .           17.5
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .       0.0          ( 16.87 % )
0       STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . . .      0.0          ( 16.87 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .       0.1          ( 66.07 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .      0.1 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .       01 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .         0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.3.2 仮想き裂進展法による破壊力学パラメータ解析

(1) 問題

図 2.3.2-1 に示すように長さ 100mm、幅 40mm、中央に 20mm のき裂を有する平板の弾性解析を行い、仮想き裂進展法を用いて破壊力学パラメータの一つである J 値を求める。弾性係数は 2.1×10^4kg/mm^2、ポアソン比は 0.3 とする。

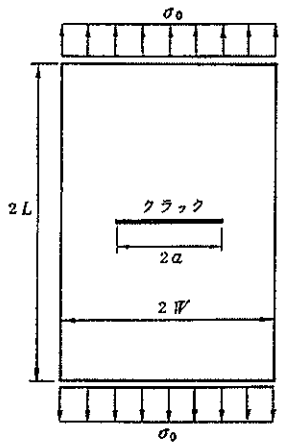


図 2.3.2-1 中央にき裂を有する平板

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 2.3.2-2 のように構造および負荷条件の対称性を考慮し、8 節点四辺形平面ひずみ要素 QPLAN8 を用いて 1/4 の有限要素モデルを作成する。境界条件は AD、BC には対称条件を与える。負荷条件は DE に沿う分布荷重 10kg/mm^2 とする。積分領域は図 2.3.2-3 に示される 4 つの領域を定義して J 値を求める。

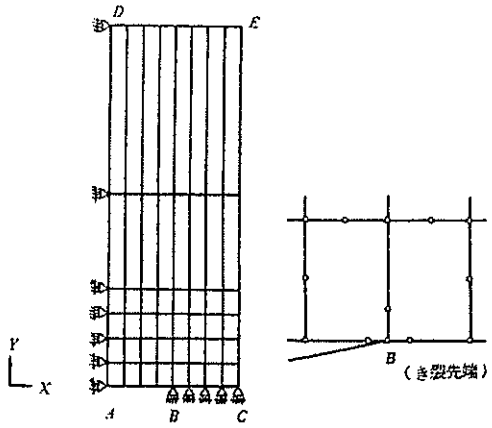


図 2.3.2-2 有限要素モデル

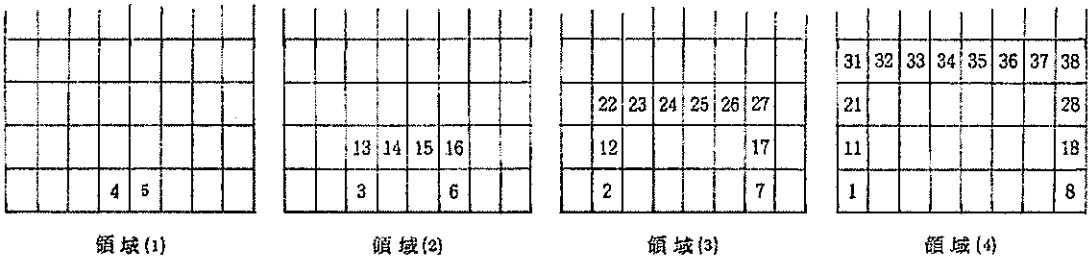


図 2.3.2-3　積分領域

(3) 理論解

中央にき裂のある平板の一様引張り問題における応力拡大係数K_Iは近似的に次式で与えられる。

$$K_I = \sigma_0 \sqrt{\pi a \cdot \sec(\pi\xi / 2)} \qquad (2.3.2\text{-}1)$$

ここで、a は図 2.3.2-1 におけるき裂の長さの半分、σ_0は引張り応力を表し、ξは帯板の幅の長さを 2W とすると次式で与えられものである。

$$\xi = b/W \qquad (2.3.2\text{-}2)$$

また、平面ひずみ場における応力拡大係数 K_Iと J値との間には次の関係がある。

$$J = \frac{1 - \nu^2}{E} K_I^2 \qquad (2.3.2\text{-}3)$$

なお、Eは弾性係数、νはポアソン比である。

(4) 解析結果

表 2.3.2-1 は仮想き裂進展法により選られた J 積分値である。

表 2.3.2-1　解析結果

領　域	J 積分値	理論解
1	1.9083E-01	1.9252×10^{-1}
2	1.9022E-01	
3	1.9030E-01	
4	1.9031E-01	

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 2.3.2-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
TITLE     VP179     QPLAN8
SUBTITLE  J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE
STATIC    E
NOPRINT   DESCR
CONTROL
      FRACTURE        JVAL
           10                        9    1   97
                1       5    4
                2       6   16   15   14   13    3
                3       7   17   27   26   25   24   23   22   12    2
                4       8   18   28   38   37   36   35   34   33   32   31   21
                       11    1
MODEL
ELEMENT TYPE
    1     QPLAN8
CONNECTION
**ELOOP2      6   10   40   40   40   40   40   40   40   40
**ELOOP1      8    1    2    2    2    2    2    2    2    2
    1    1    0    1    1    2    3   21   23   41   42   43
**END1
**END2
$
NODE
**NLOOP1     17    1     1.250     0.000     0.000
    1                   0.000     0.000     0.000
   41                   0.000     3.125     0.000
   81                   0.000     6.250     0.000
  121                   0.000     9.375     0.000
  161                   0.000    12.500     0.000
  201                   0.000    25.000     0.000
  241                   0.000    50.000     0.000
**END1
**NLOOP1      9    2     2.500     0.000     0.000
   21                   0.000     1.563     0.000
   61                   0.000     4.688     0.000
  101                   0.000     7.813     0.000
  141                   0.000    10.938     0.000
  181                   0.000    18.750     0.000
  221                   0.000    37.500     0.000
**END1
    8                   9.375     0.000     0.000
   10                  10.625     0.000     0.000
   29                  10.000    0.7815     0.000
MATERIAL
    1
          E              2.1E4
          NU               0.3
GEOMETRY
    1    1       1.0
BOUNDARY
    1
              1  241   20         1
              9   17    1         2
FORCE
    1
         1   51   58    1    4    1    3      -1.0      -1.0      -1.0
HISTORY
INTERVAL      1
          BOUN     1       0.0
          FORC     1      10.0
```

```
END MODEL
OUTPUT
POST TAPE
DISP      ALL
ELM       ALL  ALL
$PRINT SELECT
$DISP      NONE
$REAC      NONE
$ELM       NONE
STRUCTURE PLOT
PTITLE    (OPLAN8)
AXES      Z    X    Y
VIEW            0.0       0.0       0.0
!PLOT               NODES
!PLOT               ELEMENTS
DPLOT
$
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.3.2-3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM   0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                1 .:. .0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                FINAS
                TITLE     VP179     OPLAN8
                SUBTITLE  J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE
                STATIC    E
                NOPRINT   DESCR
                CONTROL
                     FRACTURE       JVAL
                         10                  9   1   97
                              1       5   4
                              2       6  16  15  14  13   3
                              3       7  17  27  26  25  24  23  22  12   2
                              4       8  18  28  38  37  36  35  34  33  32  31  21
                                     11   1
1   VP179     OPLAN8                                                   FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    2
    J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                1 .:. .0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
          0-    MODEL
          1-    ELEMENT TYPE
          2-        1     OPLAN8
          3-    CONNECTION
          4-    **ELOOP2      8  10  40  40  40  40  40  40  40  40
          5-    **ELOOP1      8   1   2   2   2   2   2   2   2   2
          6-        1   1     0   1   1   2   3  21  23  41  42  43
          7-    **END1
          8-    **END2
                $
          9-    NODE
         10-    **NLOOP1     17   1    1.250    0.000    0.000
         11-        1                  0.000    0.000    0.000
         12-       41                  0.000    3.125    0.000
         13-       81                  0.000    6.250    0.000
         14-      121                  0.000    9.375    0.000
         15-      161                  0.000   12.500    0.000
         16-      201                  0.000   25.000    0.000
         17-      241                  0.000   50.000    0.000
         18-    **END1
         19-    **NLOOP1      9   2    2.500    0.000    0.000
         20-       21                  0.000    1.563    0.000
         21-       61                  0.000    4.688    0.000
         22-      101                  0.000    7.813    0.000
         23-      141                  0.000   10.938    0.000
         24-      181                  0.000   18.750    0.000
         25-      221                  0.000   37.500    0.000
         26-    **END1
         27-        8                  9.375    0.000    0.000
         28-       10                 10.625    0.000    0.000
         29-       29                 10.000    0.7815    0.000
         30-    MATERIAL
         31-        1
         32-             E              2.1E4
         33-             NU              0.3
         34-    GEOMETRY
         35-        1   1       1.0
         36-    BOUNDARY
         37-        1
         38-                1  241  20        1
         39-                8   17   1        2
         40-    FORCE
         41-        1
         42-             1   51   58   1   4   1   3     -1.0     -1.0     -1.0
         43-    HISTORY
         44-    INTERVAL      1
         45-             BOUN     1      0.0
         46-             FORC     1     10.0
         47-    END MODEL
1   VP179     OPLAN8                                                   FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    3
    J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE

0*** USER WARNING MESSAGE  2080.  CARD NUMBER     27.  DATA GROUP NAME- NODE
         DUPLICATED NODE ID        9.  NEW ONE ADOPTED
0*** USER WARNING MESSAGE  2080.  CARD NUMBER     28.  DATA GROUP NAME- NODE
         DUPLICATED NODE ID       10.  NEW ONE ADOPTED
0*** USER WARNING MESSAGE  2080.  CARD NUMBER     29.  DATA GROUP NAME- NODE
         DUPLICATED NODE ID       29.  NEW ONE ADOPTED
1   VP179     OPLAN8                                                   FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    4
    J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                1 .:. .0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                OUTPUT
                POST TAPE
```

```
DISP      ALL
ELM       ALL  ALL
$PRINT SELECT
$DISP      NONE
$REAC      NONE
$ELM       NONE
STRUCTURE PLOT
PTITLE    (OPLAN8)
AXES      Z    X    Y
VIEW            0.0       0.0       0.0
IPLOT              NODES
IPLOT              ELEMENTS
DPLOT
$
END OUTPUT
END FINAS
```

```
1   VP179     OPLAN8                                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98     PAGE    5
    J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE


      P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT   1    UNDEFORMED SHAPE
                    AXES ..... ..... .....+Z. -X. +Y     VIEW ANGLE . . . . .     0.00,     0.00,     0.00
                    SCALE FACTOR ..... 3.688E+00     FRAME SIZE . . . . .     210.2     297.3
0     PLOT   2,   UNDEFORMED SHAPE
                    AXES ..... ..... .....+Z. +X. +Y     VIEW ANGLE . . . . .     0.00,     0.00,     0.00
                    SCALE FACTOR ..... 3.688E+00     FRAME SIZE . . . . .     210.2 .   297.3


                    J-INTEGRATION VALUE ESTIMATION BY VIRTUAL CRACK EXTENSION METHOD     ( STEP NUMBER    1 )

                  LOCATION NUMBER   10
                  VIRTUAL EXTENSION VALUE  2.5000E-04

                          AREA NO.        J-VALUE       J(X)-VALUE     J(Y)-VALUE     J(Z)-VALUE

                             1          9.5414E-02     9.5414E-02     0.0000E+00     0.0000E+00
                             2          9.5108E-02     9.5108E-02     0.0000E+00     0.0000E+00
                             3          9.5152E-02     9.5152E-02     0.0000E+00     0.0000E+00
                             4          9.5155E-02     9.5155E-02     0.0000E+00     0.0000E+00
0

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.    1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00    1.01839E-02
            2       -8.44999E-04    1.01058E-02
            3       -1.28743E-03    9.88824E-03
            4       -1.94408E-03    9.44872E-03
            5       -2.59639E-03    8.82622E-03
            6       -3.32988E-03    7.96503E-03
            7       -3.99152E-03    6.87779E-03
            8       -4.73370E-03    3.41268E-03
            9       -5.17419E-03    0.00000E+00
           10       -4.60987E-03    0.00000E+00
           11       -4.38014E-03    0.00000E+00
           12       -4.50399E-03    0.00000E+00
           13       -4.71148E-03    0.00000E+00
           14       -4.90591E-03    0.00000E+00
           15       -5.24148E-03    0.00000E+00
           16       -5.51491E-03    0.00000E+00
           17       -5.77452E-03    0.00000E+00
           21        0.00000E+00    1.04769E-02
           23       -8.93250E-04    1.01518E-02
           25       -1.71683E-03    9.11126E-03
1   VP179     OPLAN8                                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98     PAGE    6
    J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.    1 )
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

           27       -2.28149E-03    0.92712E-03
           29       -3.47165E-03    1.87876E-03
           31       -4.00943E-03    1.15589E-03
           33       -4.56520E-03    1.02351E-03
           35       -5.12758E-03    8.04221E-04
           37       -5.68561E-03    7.25231E-04
           41        0.00000E+00    1.00788E-02
           42       -2.83790E-04    1.05987E-02
           43       -5.58368E-04    1.03486E-02
           44       -8.06590E-04    9.91657E-03
           45       -1.01878E-03    9.26597E-03
           46       -1.21988E-03    8.39057E-03
           47       -1.40320E-03    7.23559E-03
           48       -1.81825E-03    5.77026E-03
           49       -2.10990E-03    4.37668E-03
           50       -2.70294E-03    3.17822E-03
           51       -3.26448E-03    2.58918E-03
           52       -3.77432E-03    2.24783E-03
           53       -4.17187E-03    2.06486E-03
           54       -4.51097E-03    1.94282E-03
           55       -4.83184E-03    1.83176E-03
```

```
                STRAIN  -2.7588E-04  8.0910E-04  0.0000E+00 -7.5008E-05

     38 -  5    STRESS  -1.0248E-01  1.4628E+01  4.3578E+00 -1.2228E-01                    1.3089E+01  1.4733E+01
                STRAIN  -2.7811E-04  6.3580E-04  0.0000E+00 -1.5139E-05
1    VP179      QPLAN8                                                   FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    12
     J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE

                                        T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N          ( STEP NUM.   1 )
0 ELM.ID-POINT              X           Y           Z           XY                          VON MISES   TRESCA

     41 -  5    STRESS   1.4504E+00  7.3793E+00  2.8489E+00 -3.2850E-01                    5.4592E+00  5.9848E+00
                STRAIN  -7.4196E-05  2.9284E-04  0.0000E+00 -4.0424E-05

     42 -  5    STRESS   1.3060E+00  7.7995E+00  2.7316E+00 -9.2034E-01                    6.1212E+00  6.7481E+00
                STRAIN  -8.8216E-05  3.1368E-04  0.0000E+00 -1.1395E-04

     43 -  5    STRESS   1.0560E+00  8.5888E+00  2.8874E+00 -1.3493E+00                    7.1769E+00  7.9828E+00
                STRAIN  -1.1338E-04  3.5170E-04  0.0000E+00 -1.6705E-04

     44 -  5    STRESS   7.5955E-01  9.5464E+00  3.0918E+00 -1.5480E+00                    8.3273E+00  9.3184E+00
                STRAIN  -1.4438E-04  3.9857E-04  0.0000E+00 -1.9166E-04

     45 -  5    STRESS   4.7969E-01  1.0549E+01  3.3085E+00 -1.5034E+00                    9.3638E+00  1.0508E+01
                STRAIN  -1.7511E-04  4.4819E-04  0.0000E+00 -1.8814E-04

     46 -  5    STRESS   2.5863E-01  1.1435E+01  3.5080E+00 -1.2513E+00                    1.0190E+01  1.1453E+01
                STRAIN  -2.0115E-04  4.9070E-04  0.0000E+00 -1.5492E-04

     47 -  5    STRESS   1.0740E-01  1.2175E+01  3.6848E+00 -8.3870E-01                    1.0833E+01  1.2183E+01
                STRAIN  -2.2146E-04  5.2560E-04  0.0000E+00 -1.0359E-04

     48 -  5    STRESS   1.2369E-02  1.2827E+01  3.8518E+00 -2.8743E-01                    1.1402E+01  1.2828E+01
                STRAIN  -2.3765E-04  5.5561E-04  0.0000E+00 -3.5588E-05

     51 -  5    STRESS   3.9053E-01  9.6053E+00  2.9988E+00 -4.7438E-02                    8.2272E+00  9.2153E+00
                STRAIN  -1.9148E-04  4.0898E-04  0.0000E+00 -5.8733E-06

     52 -  5    STRESS   3.8636E-01  9.8625E+00  3.0087E+00 -1.9545E-01                    8.3001E+00  9.3001E+00
                STRAIN  -1.8357E-04  4.1190E-04  0.0000E+00 -1.6770E-05

     53 -  5    STRESS   3.2039E-01  9.7688E+00  3.0207E+00 -2.0375E-01                    8.4348E+00  9.4570E+00
                STRAIN  -1.6753E-04  4.1735E-04  0.0000E+00 -2.5226E-05

     54 -  5    STRESS   2.5803E-01  9.9082E+00  3.0499E+00 -2.4205E-01                    8.6113E+00  9.6823E+00
                STRAIN  -1.7283E-04  4.2458E-04  0.0000E+00 -2.9966E-05

     55 -  5    STRESS   1.8693E-01  1.0061E+01  3.0743E+00 -2.4403E-01                    8.8033E+00  9.9859E+00
                STRAIN  -1.7874E-04  4.3250E-04  0.0000E+00 -3.0213E-05

     56 -  5    STRESS   1.1643E-01  1.0202E+01  3.0956E+00 -2.0796E-01                    8.9823E+00  1.0094E+01
                STRAIN  -1.8443E-04  4.3994E-04  0.0000E+00 -2.5748E-05

     57 -  5    STRESS   9.6934E-02  1.0308E+01  3.1089E+00 -1.3768E-01                    9.1176E+00  1.0253E+01
                STRAIN  -1.8693E-04  4.4593E-04  0.0000E+00 -1.7046E-05

     58 -  5    STRESS   2.1848E-02  1.0341E+01  3.1089E+00 -4.6123E-02                    9.1742E+00  1.0320E+01
                STRAIN  -1.9110E-04  4.4770E-04  0.0000E+00 -5.7104E-06
1    VP179      QPLAN8                                                   FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    13
     J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE


       P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT  3.   DEFORMED SHAPE
                    AXES ..... +Z  +X  +Y      VIEW ANGLE ..... 0.00.     0.00.     0.00
                    SCALE FACTOR ..... 3.415E+00   FRAME SIZE ..... 210.2.    297.3
1    VP179      QPLAN8                                                   FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    14
     J-VALUE CHECK PROBLEM OF CENTER CRACKED PLATE

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . STATIC  E
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .      1          ( FROM     1 TO     1 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .     48
0                                                                  (     48*QPLAN8  )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .    173
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .     324
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .      39
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .      28.2
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . . .     0.0          ( 9.09 % )
0        LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .      0.0          ( 9.09 % )
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . . .    0.0          ( 9.09 % )
0        STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . . .     0.0          ( 9.09 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) . . .   0.1          ( 63.64 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .     0.2 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .     94 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . . .     0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

3. 動 的 解 析

3.1 モーダル法

3.1.1 ばね質量系の固有値解析

(1) 問題

図 3.1.1-1 に示す 2 自由度のばね質量系について固有値解析を行い、1 次と 2 次の固有振動数と振幅比を求める。バネ定数は k_1 と k_3 が 4.0kg/mm、k_2 が 16.0kg/mm であり、質量は m_1 が 1.0204×10^{-2}kg・sec^2/mm、m_2 が 2.0408×10^{-2}kg・sec^2/mm である。

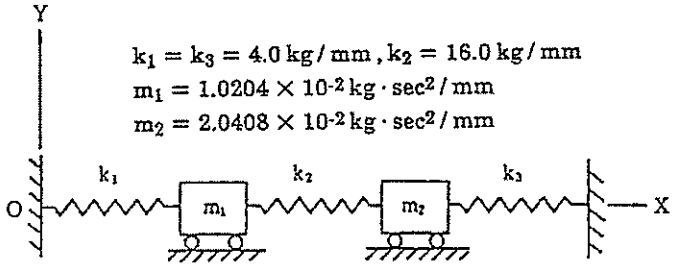


図 3.1.1-1　2 自由度のばね質量系

(2) 有限要素モデルと解析条件

3 次元ばね減衰要素 LCOMB2 を用い、減衰定数をゼロとして図 3.1.1-2 の有限要素モデルを作成する。質量は付加質量とし、その値を表 3.1.1-1 に、また境界条件を表 3.1.1-2 に示す。なお、有限要素モデルの作成にあたり、便宜上ばね 1 本の長さを 500 mmと仮定している。

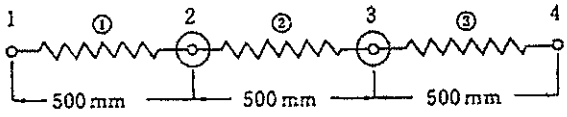


図 3.1.1-2　有限要素モデル

表 3.1.1-1　付加質量 m

節点番号	自由度	負　荷(kg)
2	X 方向	1.0204×10-2
3	X 方向	2.0408×10-2

表 3.1.1-2　境界条件

節点番号	拘束自由度
1, 4	ux,　uy,　uz、θx、θy、θz
2, 3	uy,　uz、θx、θy、θz

(3) 理解論

図 3.1.1-1 に示したばね質量系の固有円振動数は次の特性方程式の根として与えられる。[7)]

$$\omega^4 - \left(\frac{k_1 + k_2}{m_1} + \frac{k_2 + k_3}{m_2}\right)\omega^2 + \frac{k_1 k_2 + k_2 k_3 + k_3 k_1}{m_1 m_2} = 0 \qquad (3.1.1\text{-}1)$$

式（3.1.1-1）の根をω_1、ω_2とすると固有振動数 f は次式で求めることができる。

$$f_1 = \omega_1 / 2\pi 、\quad f_2 = \omega_2 / 2\pi \qquad (3.1.1\text{-}2)$$

また、図 3.1.1-2 の節点 2 と 3 の振幅比 A2/A3 は次式で与えられる。

$$\frac{A_2}{A_3} = \frac{k_2}{k_1 + k_2 - m_1\omega^2} = \frac{k_2 + k_3 - m_2\omega^2}{k_2} \qquad (3.1.1\text{-}3)$$

(4) 解析結果

固有振動数と節点 2 と 3 の固有ベクトルを表 3.1.1-3 と表 3.1.1-4 にそれぞれ示す。

表 3.1.1-3　固有振動数 f [Hz]

モード	FINAS の解	理論解
1 次	2.55546D+00	2.555461
2 次	8.24265D+00	8.242651

表 3.1.1-4　固有ベクトル

モード	節点番号	FINAS の解	理論解
1 次	2	9.21165E-01	0.9211646
	3	1.00000E+00	1.0000000
2 次	2	-1.00000E+00	-1.0000000
	3	4.60582E-01	4.605820

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 3.1.1-5　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM
DYNAMIC   M
CONTROL
     EIGENVALUE          2
MODEL
NODE
    1                     0.0                                   3                 4
    4                  1500.0
ELEMENT TYPE
   10     LCOMB2
CONNECTION
    1   10   20          1    2
    2   10   30          2    3
    3   10   20          3    4
GEOMETRY
   20    7       4.0       0.0       0.0       0.0       1.0       0.0       0.0
   30    7      16.0       0.0       0.0       0.0       1.0       0.0       0.0
ADD MASS
              2                   1      1.0204E-2
              3                   1      2.0408E-2
BOUNDARY
    1
              1    4    3         1
              1    4              2    6
RESPONSE
     TIME
          BOUN     1       1.0
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
MODE      ALL
END OUTPUT
END FINAS
1.........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 3.1.1-6　解析結果のリスト

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                    1         2         3         4         5         6         7         8
               1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
               FINAS
               TITLE     NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM
               DYNAMIC   M
               CONTROL
                   EIGENVALUE        2
1   NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM                  FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    2

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                    1         2         3         4         5         6         7         8
               1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
          0-   MODEL
          1-   NODE
          2-      1                  0.0                                  3              4
          3-      4                1500.0
          4-   ELEMENT TYPE
          5-     10     LCOMB2
          6-   CONNECTION
          7-      1   10   20        1    2
          8-      2   10   30        2    3
          9-      3   10   20        3    4
         10-   GEOMETRY
         11-     20    7      4.0      0.0      0.0      0.0      1.0      0.0      0.0
         12-     30    7     16.0      0.0      0.0      0.0      1.0      0.0      0.0
         13-   ADD MASS
         14-                2                  1      1.0204E-2
         15-                3                  1      2.0408E-2
         16-   BOUNDARY
         17-      1
         18-                1    4    3        1
         19-                1    4             2    6
         20-   RESPONSE
         21-       TIME
         22-            GOUN     1       1.0
         23-   END MODEL
1   NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM                  FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    3

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                    1         2         3         4         5         6         7         8
               1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
               OUTPUT
               PRINT SELECT
               MODE      ALL
               END OUTPUT
               END FINAS
1   NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM                  FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    4

                                C O N T R O L   D A T A   D E S C R I P T I O N

   ---------------
    CONTROL DATA
   ---------------

      EIGEN VALUE
          NUMBER OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS ..........      2
          MAXIMUM NUMBER OF EIGENVALUE PROBLEM ITERATION ..     15
          TOLERANCE FOR JUDGEMENT OF ITERATION ............     0.100E-05

1   NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM                  FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    5

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

   ------------------
    NODAL COORDINATE
   ------------------

      NUMBER OF NODAL POINTS . . .      4

      NODE              X1            X2            X3

        1         0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00
        2          500.000      0.000000E+00  0.000000E+00
        3          1000.00      0.000000E+00  0.000000E+00
        4          1500.00      0.000000E+00  0.000000E+00

    MAXIMUM      NODE-    4    NODE-    1    NODE-    1    NODE-
      VALUE        1500.00      0.000000E+00  0.000000E+00

    MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-    1    NODE-
      VALUE        0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00

   ---------------
    ELEMENT TYPE
```

```
-------------

   TYPE        NAME                    SWC- 1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
    10       LCOMB2                        0     0     0     0     0     0     0     0     0     0

-------------------
 ELEMENT CONNECTION
-------------------

 NUMBER OF ELEMENTS .      3

 ELEMENT          TYPE   GEOM   MAT              NODES

     1             10     20     0            1     2
     2             10     30     0            2     3
     3             10     20     0            3     4

-----------------
 ELEMENT GEOMETRY
-----------------

 GEOMETRY          GEOM-1        GEOM-2        GEOM-3        GEOM-4        GEOM-5        GEOM-6        GEOM-7

     20            4.000        0.0000E+00    0.0000E+00    0.0000E+00    1.000        0.0000E+00    0.0000E+00
     30            16.00        0.0000E+00    0.0000E+00    0.0000E+00    1.000        0.0000E+00    0.0000E+00

1   NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     6

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

-------------------
 BOUNDARY CONDITION
-------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP            NODE    DOF  COORD      DISP

            1      1            0.0000E+00          4      1            0.0000E+00          1      2            0.0000E+00
            1      3            0.0000E+00          1      4            0.0000E+00          1      5            0.0000E+00
            1      6            0.0000E+00          2      2            0.0000E+00          2      3            0.0000E+00
            2      4            0.0000E+00          2      5            0.0000E+00          2      6            0.0000E+00
            3      2            0.0000E+00          3      3            0.0000E+00          3      4            0.0000E+00
            3      5            0.0000E+00          3      6            0.0000E+00          4      2            0.0000E+00
            4      3            0.0000E+00          4      4            0.0000E+00          4      5            0.0000E+00
            4      6            0.0000E+00

----------
 ADD MASS
----------

  NODE   DOFS   DOFE  COORD        VALUE        VALUE        VALUE

    2      1      3      0   0.1020E-01   0.0000E+00   0.0000E+00
    3      1      3      0   0.2041E-01   0.0000E+00   0.0000E+00

----------
 RESPONSE
----------

 TIME AT SOLUTION END =   0.0000E+00
 NUMBER OF DIVISION IN EACH TIME SERIES DATA =      1     SUB-DIVISION IN EACH TIME INCREMENT =      0

                          IDENT  * FACTOR      *   ITSER        IDENT  * FACTOR      *   ITSER

              BOUNDARY          1     1.00
1   NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     7

                                  R E A L   E I G E N V A L U E S

                        MODE          EIGENVALUE      FREQUENCY        PERIOD

                          1          2.578090E+02    2.555460E+00    3.913188E-01
                          2          2.692214E+03    8.242850E+00    1.213202E-01
0

                P A R T I C I P A T I O N   F A C T O R   A N D   E F F E C T I V E   M A S S

 MODE NUM.                          D1            D2            D3            D4            D5            D6
0       1   PARTICIPATION FACTOR   1.74830E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                EFFECTIVE MASS     3.05675E-02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                         RATIO     9.98545E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0       2   PARTICIPATION FACTOR   6.67283E-03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                EFFECTIVE MASS     4.45266E-05   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                         RATIO     1.45455E-03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0
            TOTAL EFFECTIVE MASS   3.06120E-02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                                  ( MODE NUM    1 )
```

```
                                                                                  MAXIMUM NORM =  5.86548E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        9.21165E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            3        1.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            4        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    8

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                                  ( MODE NUM    2 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  8.28504E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2        1.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            3       -4.60582E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            4        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   NATURAL FREQUENCIES OF A TWO-MASS SPRING SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    9

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . . DYNAMIC M
0       NUMBER OF TIME STEPS   . . . . . . . .          0          ( FROM     0 TO     0 )
0       NUMBER OF ELEMENTS   . . . . . . . .            3
+                                                                  (       3*LCOMB2  )
0       NUMBER OF NODES   . . . . . . . . . .           4
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .          2
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS   .            0
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          0.0
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .        0.0          ( 50.00 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .       0.0          ( 50.00 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .        0.0 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .         20 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .         0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

3.1.2 片持ち梁のモーダル応答解析

(1) 問題

長さ 200cm、断面積 25cm²、断面 2 次モーメント 52.083cm⁴ の片持ち梁の自由端に衝撃荷重を加える場合について減衰を考慮したモーダル応答解析を行なう。材料定数は弾性係数 2.1×10^{6} kg/cm² 質量密度 8.1939×10^{-6} kg・sec²/cm⁴ であり、荷重は図 3.1.2-2 に示す。減衰特性はモーダル減衰とし、1 次のモードに対する減衰定数は 0.02 とする。

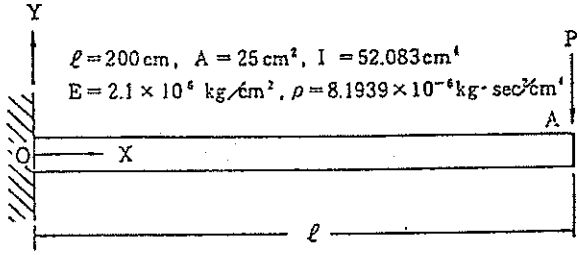


図 3.1.2-1　片持ち梁

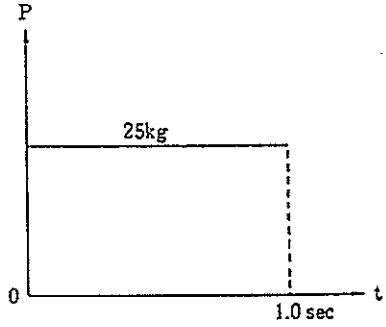


図 3.1.2-2　負荷条件

(2) 有限要素モデルと解析条件

3 次元弾性梁要素 SBEAM2 を用いて図 3.1.2-3 に示す有限要素モデルを作成する。応答解析に用いるモードは 1～3 次とし、式 (3.1.2-1) と式 (3.1.2-2) を用いて求めた各モードに対する減衰定数を表 3.1.2-2 に示す。

$$h_i = h_1 \frac{f_i}{f_1} \quad (i = 1,\ 2,\ 3) \qquad (3.1.2\text{-}1)$$

$$f_i = \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}\frac{(k_i l)^2}{2\pi l^2} \qquad (3.1.2\text{-}2)$$

ここで、h_i は i 次の減衰定数であり、h_i=0.02 である。また、f_i は片持ち梁の固有振動数であり、$k_i l$ [8] は表 3.1.2-1 に示す値を持つ。荷重は節点 9 の-y 方向に負荷し、時間増分は 2.5×10^{-3} 秒/ステップとする。境界条件を表 3.1.2-3 に示す。質量マトリックスは整合質量マトリックスを用いる。

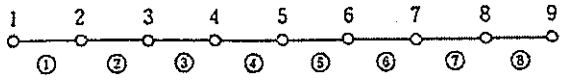


図 3.1.2-3　有限要素モデル

表 3.1.2-1　$k_i l$ の値

i	1	2	3
$k_i l$	1.875	4.694	7.855

表 3.1.2-2　減衰定数

次数	1	2	3
減衰定数 h_i	0.02	0.12535	0.35101

表 3.1.2-3　境界条件

節点番号	拘束自由度
1	u_x、u_y、u_z、θ_x、θ_y、θ_z
2～9	u_z、θ_x、θ_y

(3) 解析結果

固有振動数と梁の自由端における y 方向変位の代表時間での値を NASTRAN の解と比較し表 3.1.2-4 と表 3.1.2-5 に示し、1～3 次のモード図および自由端と中間点における y 方向変位の時間履歴を図 3.1.2-4 と図 3.1.2-5 にそれぞれ示す。

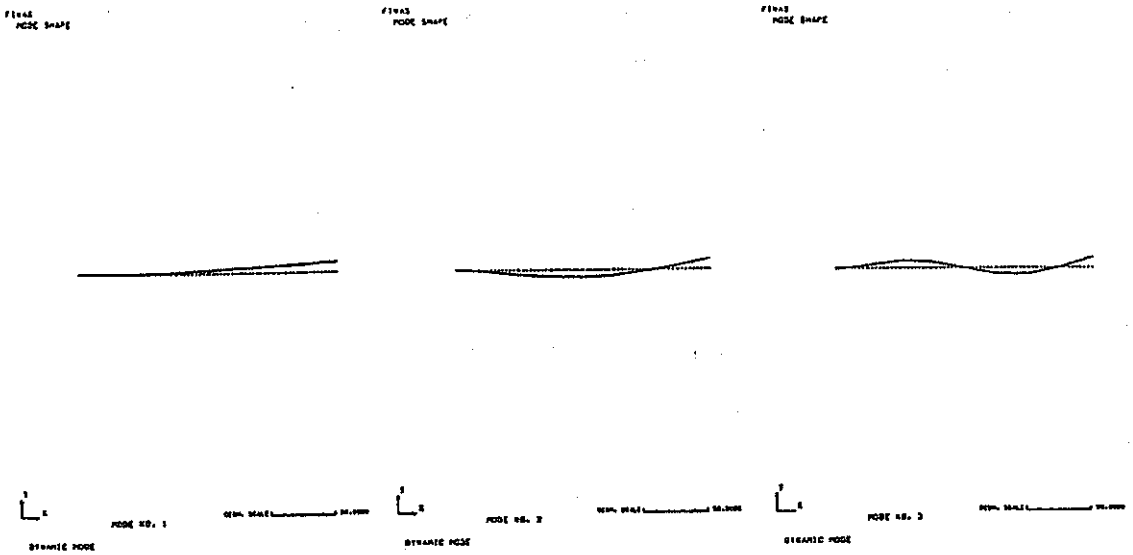
表 3.1.2-4 固有振動数 [Hz]

モード	FINAS の解	NASTRAN 解
1 次	1.02212D+01	1.022236E+01
2 次	6.40138D+01	6.406747E+01
3 次	1.79126D+02	1.794855E+02

表 3.1.2-5 固有ベクトル

時 刻	U_y [mm]	
t [sec]	FINAS の解	NASTRAN 解
0.05	-1.16230E+00	-1.162284E+00
0.15	-1.08829E+00	-1.088154E+00
0.25	-1.01555E+00	-1.015256E+00
0.35	-9.46610E-01	-9.461315E-01
0.45	-8.82751E-01	-8.820864E-01
0.55	-8.24814E-01	-8.239784E-01
0.65	-7.73264E-01	-7.722845E-01
0.75	-7.28260E-01	-7.271726E-01
0.85	-6.89722E-01	-6.885657E-01
0.95	-6.57387E-01	-6.562008E-01

PNC N941 85-172



a) モード1　　b) モード2.　　c) モード3

図 3.1.2-4　片持ち梁のモード図

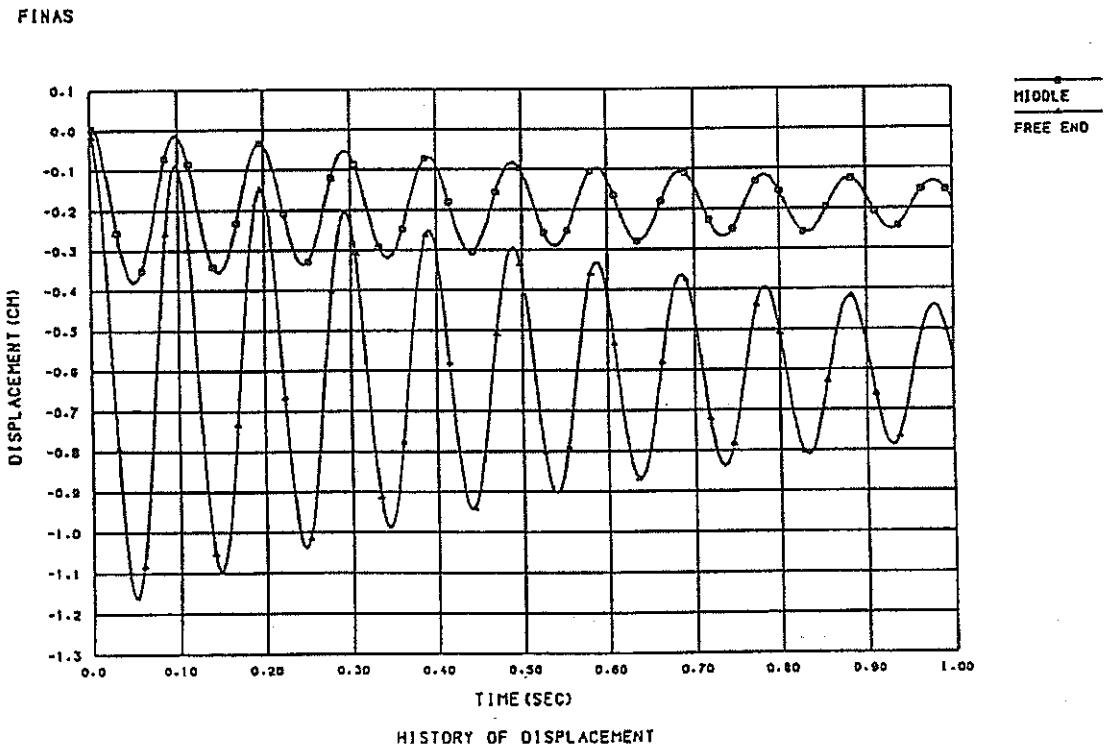


図 3.1.2-5　自由端と中間点における y 方向変位の時間履歴

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 3.1.2-6　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)
DYNAMIC   M    MR
CONTROL
     EIGENVALUE          3
MODEL
NODE
    1                      0.0                                    8              9
    9                    200.0
   10                      0.0        1.0
ELEMENT TYPE
    1     SBEAM2
CONNECTION
**ELOOP1      8    1    1    1    0
    1    1    1    1    1    2   10
**END1
GEOMETRY
    1    6      25.0                          52.083    52.083
MATERIAL
    1
          E          2.10E6
          RHO        8.1939E-6
BOUNDARY
    1
              1                    1    6
              2    9               3    5
FORCE
    1
              9                    2            1.0
DAMPING
     F1       3     0.02      0.12535   0.35101
TIME SERIES
    1
     F2       2            1.0
                 1.0       1.0
RESPONSE
     TIME        1.00  400
          FORC     1     -25.0    1
          BOUN     1       1.0
END MODEL
OUTPUT
OTIME2        1    4   40    4   60  340   40  360  400    4
NSET1        10    5    9
ESET1        20    1    8
$
PRINT SELECT
MODE      ALL
DISP         10    1
VELO         10    1
ACCE         10    1
ELFO         20         1
$
STRUCTUR PLOT
AXES      Z    X    Y
VIEW      0.0       0.0       0.0
PTITLE    DYNAMIC MODE
MPLOT
$
XYPLOT
PTITLE    HISTORY OF DISPLACEMENT
XTITLE    TIME(SEC)
YTITLE    DISPLACEMENT(CM)
```

```
CURVE          1              10MIDDLE
CURVE          2              10FREE END
FRAME      A4H
XDIVISION     10     0
YDIVISION            0
XRANGE            0.0        1.0
PLOT1      DISP2     5      DISP2     9                                    RTIME
$
PTITLE     HISTORY OF VELOCITY
YTITLE     VELOCITY(CM/SEC)
PLOT1      VELO2     5      VELO2     9                                    RTIME
$
PTITLE     HISTORY OF ACCELERATION
YTITLE     ACCELERATION(CM/SEC**2)
PLOT1      ACCE2     5      ACCE2     9                                    RTIME
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 3.1.2-7　解析結果のリスト（抜粋）

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/99      PAGE     1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.  .  .0   .    0.. : ...0.  .:. ..0..  ... 0.. :..  0.  .   . 0.. :..  0
                 FINAS
                 TITLE     MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)
                 DYNAMIC   M    MR
                 CONTROL
                      EIGENVALUE        3
1    MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)         FINAS   VERSION 13.0   02/25/99      PAGE     2

                                      M O D E L   D A T A   I M A G E
0                        1         2         3         4         5         6         7         8
                 1. . : . .0.  ...   0. . . . . 0 . . . .   0. .   . 0    . . .0    .   0       .0
            0-   MODEL
            1-   NODE
            2-       1                    0.0                                   8                 9
            3-       9                  200.0
            4-      10                    0.0       1.0
            5-   ELEMENT TYPE
            6-       1     SBEAM2
            7-   CONNECTION
            8-   **ELOOP1      8   1   1   2   0
            9-       1   1   1   1   1   2  10
           10-   **END1
           11-   GEOMETRY
           12-       1   6      25.0                        52.083    52.083
           13-   MATERIAL
           14-       1
           15-             E        2.10E6
           16-             RHO      8.1939E-6
           17-   BOUNDARY
           18-       1
           19-                1                    1   6
           20-                2   9                3   5
           21-   FORCE
           22-       1
           23-                9                    2           1.0
           24-   DAMPING
           25-       F1      3     0.02      0.12535   0.35101
           26-   TIME SERIES
           27-       1
           28-       F2      2            1.0
           29-                   1.0       0.0
           30-   RESPONSE
           31-       TIME        1.00  400
           32-             FORC     1     -25.0    1
           33-             BOUN     1       1.0
           34-   END MODEL
C*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID     1
        POISSON RATIO IS MISSING
1    MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)         FINAS   VERSION 13.0   02/25/99      PAGE     3

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1         2         3         4         5         6         7         8
                 1. . : . . 0        0. . . . .0. . . . . . .0. . . . . .0.  . . . .0 . . . . .0.  . . . . .0
                 OUTPUT
                 OTIME2       1   4   40    4   80  340   40  360  400    4
                 NSET1       10   5    9
                 ESET1       20   1    8
                 $
                 PRINT SELECT
                 MODE      ALL
                 DISP        10   1
                 VELO        10   1
                 ACCE        10   1
                 ELFO        20        1
                 $
                 STRUCTUR PLOT
                 AXES      Z    X    Y
                 VIEW      0.0       0.0       0.0
                 PTITLE    DYNAMIC MODE
                 MPLOT
                 $
                 XYPLOT
                 PTITLE    HISTORY OF DISPLACEMENT
                 XTITLE    TIME(SEC)
                 YTITLE    DISPLACEMENT(CM)
                 CURVE        1              10(MIDDLE
                 CURVE        2              10(FREE END)
                 FRAME     A4H
                 XDIVISION    10    0
                 YDIVISION          0
                 XRANGE           0.0       1.0
                 PLOT1     DISP2    5     DISP2    9                                  RTIME
                 $
                 PTITLE    HISTORY OF VELOCITY
                 YTITLE    VELOCITY(CM/SEC)
                 PLOT1     VELO2    5     VELO2    9                                  RTIME
```

```
$
PTITLE    HISTORY OF ACCELERATION
YTITLE    ACCELERATION(CM/SEC**2)
PLOT1     ACCE2    5     ACCE2    9                          RTIME
END OUTPUT
END FINAS
1   MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    4
```

C O N T R O L D A T A D E S C R I P T I O N

CONTROL DATA

EIGEN VALUE

NUMBER OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS	3
MAXIMUM NUMBER OF EIGENVALUE PROBLEM ITERATION . .	15
TOLERANCE FOR JUDGEMENT OF ITERATION	0.100E-05

```
1   MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    5
```

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

NODAL COORDINATE

NUMBER OF NODAL POINTS 10

NODE	X1	X2	X3
1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	25.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
3	50.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
4	75.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
5	100.000	0.000000E+00	0.000000E-00
6	125.000	0.000000E+00	0.000000E+00
7	150.000	0.000000E+00	0.000000E+00
8	175.000	0.000000E+00	0.000000E+00
9	200.000	0.000000E+00	0.000000E+00
10	0.000000E+00	1.00000	0.000000E+00
MAXIMUM	NODE- 9	NODE- 10	NODE- 1 NODE-
VALUE	200.000	1.00000	0.000000E+00
MINIMUM	NODE- 1	NODE- 1	NODE- 1 NODE-
VALUE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

ELEMENT TYPE

TYPE	NAME	SWC- 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	SBEAM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ELEMENT CONNECTION

NUMBER OF ELEMENTS . . . 8

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES		
1	1	1	1	1	2	10
2	1	1	1	2	3	10
3	1	1	1	3	4	10
4	1	1	1	4	5	10
5	1	1	1	5	6	10
6	1	1	1	6	7	10
7	1	1	1	7	8	10
8	1	1	1	8	9	10

```
1   MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    6
```

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

ELEMENT GEOMETRY

GEOMETRY	GEOM-1	GEOM-2	GEOM-3	GEOM-4	GEOM-5	GEOM-6	GEOM-7	GEOM-8
1	25.00	0.0000E+00	0.0000E+00	52.08	52.08	0.0000E+00		

MATERIAL PROPERTY

IDENTIFICATION NUMBER === 1

```
                VALUE
     E        0.210000E+07
     RHO      0.819390E-05

--------------------
 BOUNDARY CONDITION
--------------------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE    DOF  COORD      DISP              NODE    DOF  COORD      DISP              NODE    DOF  COORD      DISP

            1      1            0.0000E+00            1      2            0.0000E+00            1      3            0.0000E+00
            1      4            0.0000E+00            1      5            0.0000E+00            1      6            0.0000E+00
            2      3            0.0000E+00            2      4            0.0000E+00            2      5            0.0000E+00
            3      3            0.0000E+00            3      4            0.0000E+00            3      5            0.0000E+00
            4      3            0.0000E+00            4      4            0.0000E+00            4      5            0.0000E+00
            5      3            0.0000E+00            5      4            0.0000E+00            5      5            0.0000E+00
            6      3            0.0000E+00            6      4            0.0000E+00            6      5            0.0000E+00
            7      3            0.0000E+00            7      4            0.0000E+00            7      5            0.0000E+00
            8      3            0.0000E+00            8      4            0.0000E+00            8      5            0.0000E+00
            9      3            0.0000E+00            9      4            0.0000E+00            9      5            0.0000E+00

-------
 FORCE
-------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

          NODE        COORD        F1           F2           F3           F4           F5           F6           F7

            9                 0.000000E+00  1.00000     0.000000E+00  0.000000E+00

1   MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    7

                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

---------
 DAMPING
---------

 MODAL DAMPING

   NO  DAMP. CONST.              NO. DAMP. CONST.              NO  DAMP. CONST

     1   0.2000E-01                2   0.1253                    3   0.3510

-----------------
 TIME SERIES DATA
-----------------

 IDENTIFICATION NUMBER =    1     NUMBER OF DATA =    2

          TIME        VALUE              TIME        VALUE              TIME        VALUE              TIME        VALUE

       0.0000E+00    1.000              1.000       1.000

---------
 RESPONSE
---------

 TIME AT SOLUTION END =    1.000
 NUMBER OF DIVISION IN EACH TIME SERIES DATA =    400     SUB-DIVISION IN EACH TIME INCREMENT =      0

                                IDENT  * FACTOR      *   ITSER        IDENT  * FACTOR      *   ITSER

                BOUNDARY          1      1.00
                FORCE             1     -25.0              1
1   MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    8

                                    R E A L   E I G E N V A L U E S

                          MODE          EIGENVALUE      FREQUENCY        PERIOD

                            1          4.124418E+03    1.022118E+01    9.783585E-02
                            2          1.617735E+05    6.401382E+01    1.562163E-02
                            3          1.266710E+06    1.791260E+02    5.582891E-03
0

                P A R T I C I P A T I O N   F A C T O R   A N D   E F F E C T I V E   M A S S

  NODE NUM.                          D1           D2           D3           D4           D5           D6
0        1   PARTICIPATION FACTOR   8.75392E-16  1.58379E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -2.16556E-02
                 EFFECTIVE MASS    7.60259E-31  2.50840E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   4.68967E-04
                          RATIO    1.55712E-12  7.12088E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   2.82032E-01
0        2   PARTICIPATION FACTOR  -5.67142E-11 -8.73183E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -1.77502E-02
                 EFFECTIVE MASS    3.44736E-21  7.02448E-03  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   3.15069E-04
                          RATIO    7.00541E-03  2.16445E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   1.89479E-01
0        3   PARTICIPATION FACTOR  -6.99036E-10 -5.01749E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   2.96442E-02
                 EFFECTIVE MASS    4.88652E-19  2.51752E-03  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   8.78780E-04
```

```
                    RATIO   9.92895E-01  7.14877E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  5.28489E-01
0
          TOTAL EFFECTIVE MASS   4.92099E-19  3.52260E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  1.88282E-03
0

                                R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM.   1 )
                                                                                 MAXIMUM NORM =  9.87693E+00
0     POINT-ID          D1           D2           D3           D4           D5           D6
            1       0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
            2       5.55750E-15  2.58920E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.00840E-03
            3       9.34813E-15  9.72806E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  3.64032E-03
            4       1.01344E-14  2.04929E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  4.90319E-03
            5       7.59838E-15  3.39512E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  5.81521E-03
            6       2.49386E-15  4.82935E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  6.40925E-03
            7      -3.50986E-15  6.57738E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  6.73552E-03
            8      -8.31786E-15  8.28053E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  6.85348E-03
            9      -1.01550E-14  1.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  6.88275E-03
1   MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE     9

                                R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM.   2 )
                                                                                 MAXIMUM NORM =  9.87249E+00
0     POINT-ID          D1           D2           D3           D4           D5           D6
            1       0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
            2      -3.64585E-10 -1.37688E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -9.66836E-03
            3      -6.37924E-10 -4.17260E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -1.14345E-02
            4      -6.75891E-10 -6.54341E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -6.61205E-03
            5      -4.69885E-10 -7.12907E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.25063E-03
            6      -1.43368E-10 -5.34718E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  1.19373E-02
            7       2.41838E-10 -1.35382E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  1.94807E-02
            8       5.38362E-10  4.06483E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.32401E-02
            9       6.49106E-10  1.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.39159E-02
0

                                R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM.   3 )
                                                                                 MAXIMUM NORM =  9.88687E+00
0     POINT-ID          D1           D2           D3           D4           D5           D6
            1       0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
            2      -1.47500E-08 -3.25508E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -1.99059E-02
            3      -1.85860E-08 -7.25101E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -7.95718E-03
            4      -1.25725E-08 -8.18998E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  1.62879E-02
            5      -2.31804E-10 -2.10313E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.77773E-02
            6       8.78253E-09  5.57320E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  1.45917E-02
            7       1.06992E-08  5.82175E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -1.32910E-02
            8       8.15084E-09 -4.90153E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -3.45775E-02
            9       6.49377E-09 -1.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -3.93005E-02
1   MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    10

      P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT   1.   MODE SHAPE
                  AXES ..................  +Z  +X  +Y      VIEW ANGLE .....   0.00,    0.00,    0.00
                  SCALE FACTOR ..........  5.492E-01      FRAME SIZE .....  210.2 ,   297.3
0     PLOT   2.   MODE SHAPE
                  AXES ..................  +Z  +X  +Y      VIEW ANGLE .....   0.00,    0.00,    0.00
                  SCALE FACTOR ..........  5.492E-01      FRAME SIZE .....  210.2 ,   297.3
0     PLOT   3    MODE SHAPE
                  AXES ..................  +Z  +X  +Y      VIEW ANGLE .....   0.00,    0.00,    0.00
                  SCALE FACTOR ..........  5.492E-01      FRAME SIZE .....  210.2 ,   297.3
0

                                D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   4 )
                                                                                 TIME   1.0000E-02
0     POINT-ID          D1           D2           D3           D4           D5           D6

            5       1.02851E-11 -2.40833E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -8.75104E-04
            9      -1.57451E-12 -1.40771E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -1.40577E-03
0

                                V E L O C I T Y   V E C T O R                            ( STEP NUM.   4 )
                                                                                 TIME   1.0000E-02
0     POINT-ID          V1           V2           V3           V4           V5           V6

            5      -1.34331E-09 -9.60413E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -1.25522E-01
            9       1.53782E-09 -1.90623E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -8.68909E-02
1   MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    11

                                A C C E L E R A T I O N   V E C T O R                    ( STEP NUM.   4 )
                                                                                 TIME   1.0000E-02
0     POINT-ID          A1           A2           A3           A4           A5           A6

            5      -4.05925E-07 -1.23992E+03  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -9.30568E+00
            9       5.08944E-07 -1.00250E+03  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  7.03088E+00
0

                                D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM.   8 )
                                                                                 TIME   2.0000E-02
0     POINT-ID          D1           D2           D3           D4           D5           D6

            5       6.91331E-12 -1.31057E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00 -2.40895E-03
```

```
0          1   BEGIN   -4.73625E-05  -4.17943E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -8.82830E+03
                END    -4.73625E-05  -4.17943E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -5.78144E+03
0          8   BEGIN   -1.01861E-05  -1.73167E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.65601E+02
                END    -1.01861E-05  -1.73167E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   6.70922E+01
0

                                    E L E M E N T   F O R C E                                  ( STEP NUM    376 )
                                                                                               TIME   9.4000E-01
0     ELM ID              F1            F2            F3            F4            F5            F6
0          1   BEGIN   -4.73621E-05  -3.92658E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -8.48158E+03
                END    -4.73621E-05  -3.92658E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -5.47943E+03
0          8   BEGIN   -1.01863E-05  -1.69362E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.57650E+02
                END    -1.01863E-05  -1.69362E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   6.55413E+01
1     MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)              FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    41

                                    E L E M E N T   F O R C E                                  ( STEP NUM    380 )
                                                                                               TIME   9.5000E-01
0     ELM ID              F1            F2            F3            F4            F5            F6
0          1   BEGIN   -4.73610E-05  -3.31664E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -5.57192E+03
                END    -4.73610E-05  -3.31664E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -4.74288E+03
0          8   BEGIN   -1.01869E-05  -1.60079E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.38254E+02
                END    -1.01869E-05  -1.60079E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   6.17577E+01
0

                                    E L E M E N T   F O R C E                                  ( STEP NUM    384 )
                                                                                               TIME   9.6000E-01
0     ELM ID              F1            F2            F3            F4            F5            F6
0          1   BEGIN   -4.73597E-05  -2.59348E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -4.52038E+03
                END    -4.73597E-05  -2.59348E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.67189E+03
0          8   BEGIN   -1.01871E-05  -1.49110E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.15333E+02
                END    -1.01871E-05  -1.49110E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   5.72866E+01
0

                                    E L E M E N T   F O R C E                                  ( STEP NUM    388 )
                                                                                               TIME   9.7000E-01
0     ELM ID              F1            F2            F3            F4            F5            F6
0          1   BEGIN   -4.73587E-05  -2.04641E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.72493E+03
                END    -4.73587E-05  -2.04641E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.21333E+03
0          8   BEGIN   -1.01874E-05  -1.40911E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -2.97893E+02
                END    -1.01874E-05  -1.40911E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   5.38041E+01
1     MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)              FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    42

                                    E L E M E N T   F O R C E                                  ( STEP NUM    392 )
                                                                                               TIME   9.8000E-01
0     ELM ID              F1            F2            F3            F4            F5            F6
0          1   BEGIN   -4.73585E-05  -1.88617E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.49185E+03
                END    -4.73585E-05  -1.88617E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.02040E+03
0          8   BEGIN   -1.01875E-05  -1.38381E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -2.92914E+02
                END    -1.01875E-05  -1.38381E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   5.29134E+01
0

                                    E L E M E N T   F O R C E                                  ( STEP NUM    396 )
                                                                                               TIME   9.9000E-01
0     ELM ID              F1            F2            F3            F4            F5            F6
0          1   BEGIN   -4.73589E-05  -2.16598E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.88879E+03
                END    -4.73589E-05  -2.16598E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.35730E+03
0          8   BEGIN   -1.01873E-05  -1.42625E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.01703E+02
                END    -1.01873E-05  -1.42625E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   5.48434E+01
0

                                    E L E M E N T   F O R C E                                  ( STEP NUM    400 )
                                                                                               TIME   1.0000E+00
0     ELM ID              F1            F2            F3            F4            F5            F6
0          1   BEGIN   -4.73600E-05  -2.78462E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -4.78920E+03
                END    -4.73600E-05  -2.78462E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -4.07604E+03
0          8   BEGIN   -1.01870E-05  -1.51706E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.20758E+02
                END    -1.01870E-05  -1.51706E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   5.83447E+01
1     MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)              FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    43

                                    M A X I M U M   E L E M E N T   F O R C E
0     ELM ID              F1            F2            F3            F4            F5            F6
0          1   BEGIN   -6.96537E-05  -6.85072E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -1.05057E+04
                END    -6.96537E-05  -6.85072E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -6.79297E+03
0          2   BEGIN   -2.11083E-05  -6.53789E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -8.78580E+03
                END    -2.11083E-05  -6.53789E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -7.16386E+03
0          3   BEGIN   3.61077E-05  -5.90666E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -7.16188E+03
                END    3.61077E-05  -5.90666E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -5.70055E+03
0          4   BEGIN   6.00975E-05  -5.40635E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -5.70893E+03
                END    6.00975E-05  -5.40635E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -4.39739E+03
0          5   BEGIN   4.10743E-05  -5.36168E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -4.37417E+03
                END    4.10743E-05  -5.36168E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.04892E+03
0          6   BEGIN   -1.28016E-05  -5.44387E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.04143E+03
                END    -1.28016E-05  -5.44387E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -1.68048E+03
0          7   BEGIN   -2.56004E-05  -4.70182E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -1.65695E+03
                END    -2.56004E-05  -4.70182E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -4.81290E+02
0          8   BEGIN   -1.24053E-05  -2.10905E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -4.44494E+02
                END    -1.24053E-05  -2.10905E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   8.24409E+01
1     MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)              FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    44
```

```
        X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0       PLOT   4.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    1.       HISTORY OF DISPLACEMENT
0                   CURVE  1. DISP2     ALONG RTIME
                              YMIN(ALL DATA)=-3.78010E-01  AT X= 4.75000E-02    YMAX(ALL DATA)= 2.96858E-03  AT X= 5.00000E-03
0                   CURVE  2. DISP2     ALONG RTIME
                              YMIN(ALL DATA)=-1.16230E+03  AT X= 5.00000E-02    YMAX(ALL DATA)=-1.64816E-02  AT X= 2.50000E-03
0       PLOT   5    TYPE 1    COMMAND NUMBER    2        HISTORY OF VELOCITY
0                   CURVE  1. VELO2     ALONG RTIME
                              YMIN(ALL DATA)=-1.33092E+01  AT X= 2.75000E-02    YMAX(ALL DATA)= 1.16882E+01  AT X= 7.25000E-02
0                   CURVE  2. VELO2     ALONG RTIME
                              YMIN(ALL DATA)=-3.77416E+01  AT X= 2.00000E-02    YMAX(ALL DATA)= 3.48862E+01  AT X= 7.25000E-02
0       PLOT   6.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    3.       HISTORY OF ACCELERATION
0                   CURVE  1. ACCE2     ALONG RTIME
                              YMIN(ALL DATA)=-1.91052E+03  AT X= 7.50000E-03    YMAX(ALL DATA)= 9.33300E+02  AT X= 4.75000E-02
0                   CURVE  2. ACCE2     ALONG RTIME
                              YMIN(ALL DATA)=-2.45709E+03  AT X= 1.50000E-02    YMAX(ALL DATA)= 2.31708E+03  AT X= 5.25000E-02
1   MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    45


0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . DYNAMIC M   MR
0       NUMBER OF TIME STEPS . . . . . . . . . . .    400          ( FROM     1 TO   400 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . . .      5
+                                                               (        B*SBEAM2  )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . . .    10
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . . .    24
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . . .     5
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . . .     3.9
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . . .    0.0          ( 10.00 % )
0       STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . . . .    0.1          ( 50.00 % )
0       MODE SUPERPOSITION . . . . . . . . . . . .    0.0          ( 10.00 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). . .     0.1          ( 30.00 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . . .    0.2 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . . .     15 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . . .      0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

3.1.3 単純支持梁の応答スペクトル解析

(1) 問題

長さ 200cm、断面積 25cm²、断面 2 次モーメント 52.083cm⁴ の単純支持梁に応答変位スペクトルを与えた応答スペクトル解析を行なう。材料定数は弾性係数 2.1×10^{6} kg/cm² 質量密度 8.1939×10^{-6} kg・sec²/cm⁴ であり、応答変位スペクトルは表 3.1.3-1 に示す。

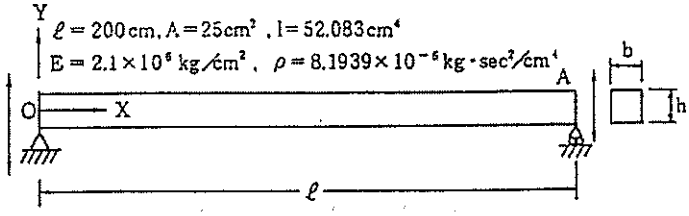


図 3.1.3-1　単純支持梁

表 3.1.3-1　応答変位スペクトル

周期 T [sec]	0.1	1.0
変位　Uy[cm]	1.12	1.12

(2) 有限要素モデルと解析条件

3 次元弾性梁要素 SBEAM2 を用いて図 3.1.3-2 に示す有限要素モデルを作成する。応答解析に用いるモードは 3 次までとし、質量マトリックスは整合質量マトリックスを用いる。応答変位スペクトルは、節点 1 と 9 の y 方向自由度を基盤自由度とし、この自由度に与える。拘束する自由度は表 3.1.3-2 に示す。

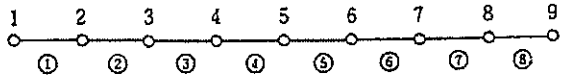


図 3.1.3-2　有限要素モデル

表 3.1.3-2　境 界 条 件

節点番号	拘束自由度
1	u_x、u_z、θ_x、θ_y、
2～9	u_z、θ_x、θ_y

(3) 解析結果

固有振動数とはり中央部のｙ方向最大変位、最大速度、最大加速度を NASTRAN の解と比較して表 3.1.3-3 と表 3.1.3-4 に示す。各最大値は 1 次～3 次の値の 2 乗平均であり、変位は基盤に対する相対量、速度と加速度は絶対量である。また、1～3 次のモード図を図 3.1.3-3 示す。

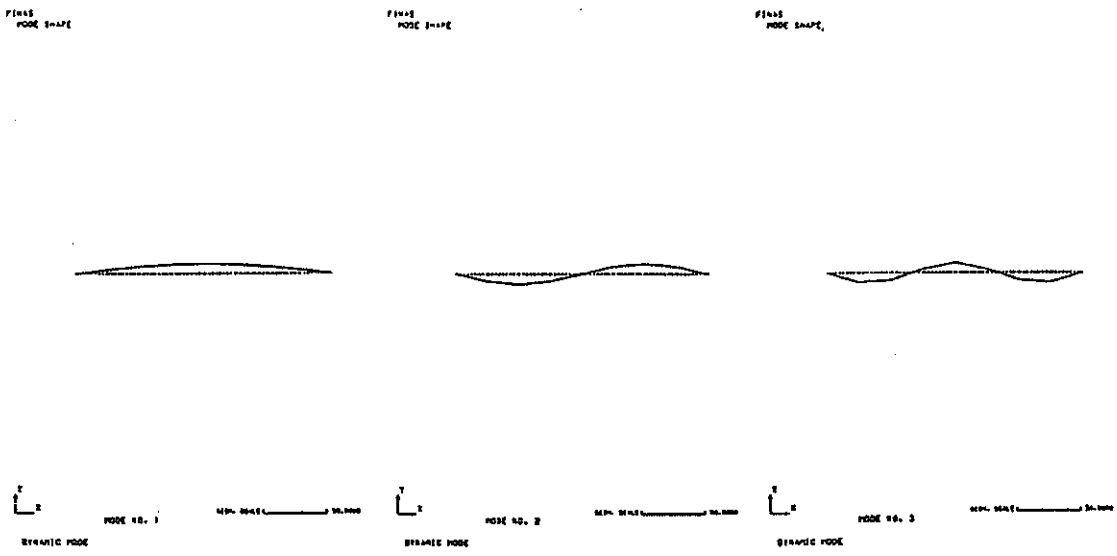
表 3.1.3-3　固有振動数［H_z］

モード	FINAS の解	NASTRAN 解
1 次	2.86878D+01	2.869503E+01
2 次	1.14691D+02	1.148080E+02
3 次	2.57988D+02	2.585833E+02

表 3.1.3-4　梁中央部のｙ方向最大変位、最大速度および最大加速度

	FINAS の解	NASTRAN 解
最大変位　［cm］	1.50218E+00	1.503568E+00
最大速度　［cm/sec］	8.10592E+02	8.157213E+02
最大加速度［cm/sec^2］	1.24707E+06	1.258620E+06

PNC N941 85-172



a) モード1　　b) モード2　　c) モード3

図 3.1.3-3　単純支持梁のモード図

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 3.1.3-5 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     MODAL RESPONSE ANALYSIS OF BEAM WITH MODAL DAMPING(MODE 1-3)
DYNAMIC   M    MR
CONTROL
     EIGENVALUE         3
MODEL
NODE
    1                      0.0                                  8               9
    9                    200.0
   10                      0.0       1.0
ELEMENT TYPE
    1     SBEAM2
CONNECTION
**ELOOP1      8    1    1    1    0
    1    1    1    1    1    2   10
**END1
GEOMETRY
    1    6      25.0                        52.083    52.083
MATERIAL
    1
          E          2.10E6
          RHO        8.1939E-6
BOUNDARY
    1
              1                    1    6
              2    9               3    5
FORCE
    1
              9                    2            1.0
DAMPING
     F1       3     0.02      0.12535   0.35101
TIME SERIES
    1
     F2       2            1.0
                 1.0       1.0
RESPONSE
     TIME        1.00  400
          FORC     1     -25.0    1
          BOUN     1       1.0
END MODEL
OUTPUT
OTIME2        1    4   40    4   60  340   40  360  400    4
NSET1        10    5    9
ESET1        20    1    8
$
PRINT SELECT
MODE      ALL
DISP         10    1
VELO         10    1
ACCE         10    1
ELFO         20         1
$
STRUCTUR PLOT
AXES      Z    X    Y
VIEW      0.0       0.0       0.0
PTITLE    DYNAMIC MODE
MPLOT
$
XYPLOT
PTITLE    HISTORY OF DISPLACEMENT
XTITLE    TIME(SEC)
YTITLE    DISPLACEMENT(CM)
```

```
CURVE          1              10MIDDLE
CURVE          2              10FREE END
FRAME      A4H
XDIVISION     10     0
YDIVISION            0
XRANGE            0.0        1.0
PLOT1      DISP2     5      DISP2     9                                    RTIME
$
PTITLE     HISTORY OF VELOCITY
YTITLE     VELOCITY(CM/SEC)
PLOT1      VELO2     5      VELO2     9                                    RTIME
$
PTITLE     HISTORY OF ACCELERATION
YTITLE     ACCELERATION(CM/SEC**2)
PLOT1      ACCE2     5      ACCE2     9                                    RTIME
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 3.1.3-6　解析結果のリスト（抜粋）

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1         2         3         4         5         6         7         8
                 1 ...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0
                 FINAS
                 TITLE     SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM
                 DYNAMIC   M    SR
                 CONTROL
                     EIGENVALUE          3
1    SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    2

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                        1         2         3         4         5         6         7         8
                 1 ...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0
            0-   MODEL
            1-   NODE
            2-       1                   0.0                                  9             9
            3-       9                 200.0
            4-      10                   0.0       1 0
            5-   ELEMENT TYPE
            6-       1     SBEAM2
            7-   CONNECTION
            8-   **ELOOP1      8    1    1    1    0
            9-       1    1    1    1    1    2   10
           10-   **END1
           11-   GEOMETRY
           12-       1    6      25.0                        52.083    52.083
           13-   MATERIAL
           14-       1
           15-             E          2.10E8
           16-             RHO        8.19394E-0
           17-   BOUNDARY
           18-       1
           19-                 1                   1
           20-                 1                   3    5
           21-                 2    9              3    5
           22-       2
           23-                 1    9    8         2
           24-   SPECTRUM
           25-             1
           26-             1    2
           27-                    0.0       0.1      1.12       1.0      1.12
           28-   RESPONSE
           29-         TIME
           30-             BOUN     1       1.0        2       1.0
           31-   END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID     1
        POISSON RATIO IS MISSING
1    SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    3

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1         2         3         4         5         6         7         8
                 1 ...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0...  ...0
                 OUTPUT
                 STRUCTURE PLOT
                 AXES          Z    X    Y
                 VIEW            0.0       0.0       0.0
                 PTITLE    DYNAMIC MODE
                 MPLOT
                 END OUTPUT
                 END FINAS
1    SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    4

                                C O N T R O L   D A T A   D E S C R I P T I O N

     --------------
      CONTROL DATA
     --------------

        EIGEN VALUE
            NUMBER OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS ..... ..      3
            MAXIMUM NUMBER OF EIGENVALUE PROBLEM ITERATION ...     15
            TOLERANCE FOR JUDGEMENT OF ITERATION  ...........     0.100E-05

1    SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    5

                                M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

     ------------------
      NODAL COORDINATE
     ------------------

        NUMBER OF NODAL POINTS . . .      10

        NODE              X1            X2            X3

          1          0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00
```

2	25.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
3	50.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
4	75.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
5	100.000	0.000000E+00	0.000000E+00
6	125.000	0.000000E+00	0.000000E+00
7	150.000	0.000000E+00	0.000000E+00
8	175.000	0.000000E+00	0.000000E+00
9	200.000	0.000000E+00	0.000000E+00
10	0.000000E+00	1.00000	0.000000E+00

MAXIMUM	NODE- 9	NODE- 10	NODE- 1	NODE-
VALUE	200.000	1.00000	0.000000E+00	

MINIMUM	NODE- 1	NODE- 1	NODE- 1	NODE-
VALUE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	

ELEMENT TYPE

TYPE	NAME	SWC- 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	SBEAM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ELEMENT CONNECTION

NUMBER OF ELEMENTS ... 8

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES		
1	1	1	1	1	2	10
2	1	1	1	2	3	10
3	1	1	1	3	4	10
4	1	1	1	4	5	10
5	1	1	1	5	6	10
6	1	1	1	6	7	10
7	1	1	1	7	8	10
8	1	1	1	8	9	10

1 SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 6

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

ELEMENT GEOMETRY

GEOMETRY	GEOM-1	GEOM-2	GEOM-3	GEOM-4	GEOM-5	GEOM-6	GEOM-7	GEOM-8
1	25.00	0.0000E+00	0.0000E+00	52.08	52.08	0.0000E+00		

MATERIAL PROPERTY

IDENTIFICATION NUMBER === 1

	VALUE
E	0.210000E+07
RHO	0.819394E-05

BOUNDARY CONDITION

IDENTIFICATION NUMBER === 1

NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP
1	1		0.0000E+00	1	3		0.0000E+00	1	4		0.0000E+00
1	5		0.0000E+00	2	3		0.0000E+00	2	4		0.0000E+00
2	5		0.0000E+00	3	3		0.0000E+00	3	4		0.0000E+00
3	5		0.0000E+00	4	3		0.0000E+00	4	4		0.0000E+00
4	5		0.0000E+00	5	3		0.0000E+00	5	4		0.0000E+00
5	5		0.0000E+00	6	3		0.0000E+00	6	4		0.0000E+00
6	5		0.0000E+00	7	3		0.0000E+00	7	4		0.0000E+00
7	5		0.0000E+00	8	3		0.0000E+00	8	4		0.0000E+00
8	5		0.0000E+00	9	3		0.0000E+00	9	4		0.0000E+00
9	5		0.0000E+00								

IDENTIFICATION NUMBER === 2

NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP
1	2		0.0000E+00	9	2		0.0000E+00				

1 SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 7

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

```
---------
SPECTRUM
---------

TYPE = 1

SCALE  =   1.000        SCALEX =   1.000        SCALEY =   1.000        SCALEZ =   1.000

DAMPING CONSTANT =  0.0000E+00

      PERIOD        VALUE              PERIOD        VALUE              PERIOD        VALUE

     0.1000        1.120               1.000        1.120

---------
RESPONSE
---------

TIME AT SOLUTION END =   0.0000E+00
NUMBER OF DIVISION IN EACH TIME SERIES DATA =      1     SUB-DIVISION IN EACH TIME INCREMENT =      0

                          IDENT  * FACTOR     *  ITSER        IDENT  * FACTOR     *  ITSER

            BOUNDARY          1     1.00                        2     1.00
1   SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     8


                                  R E A L   E I G E N V A L U E S

                     MODE        EIGENVALUE      FREQUENCY        PERIOD

                       1        3.249025E+04    2.868778E+01    3.485807E-02
                       2        5.182985E+05    1.148905E+02    8.719111E-03
                       3        2.627599E+09    2.578881E+02    3.876148E-03
0

                P A R T I C I P A T I O N   F A C T O R   A N D   E F F E C T I V E   M A S S

  MODE NUM                          D1          D2          D3          D4          D5          D6
0       1   PARTICIPATION FACTOR   1.00125E-16  1.78088E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -3.46845E-18
                EFFECTIVE MASS     1.00250E-32  3.17157E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   1.20371E-35
                          RATIO    5.27743E-14  9.29999E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   0.00000E+00
0       2   PARTICIPATION FACTOR  -1.19157E-12  -8.98403E-14  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -1.17981E-16
                EFFECTIVE MASS     1.41884E-24  4.87774E-27  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   1.39148E-32
                          RATIO    7.47444E-06  1.43015E-25  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   0.00000E+00
0       3   PARTICIPATION FACTOR  -4.35842E-10  4.88987E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -2.35509E-14
                EFFECTIVE MASS     1.89958E-19  2.39089E-03  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   5.54831E-28
                          RATIO    9.99992E-01  7.01006E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   0.00000E+00
0
          TOTAL EFFECTIVE MASS     1.89960E-19  3.41065E-02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   5.54845E-28
1   SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     9


        P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0       PLOT  1.   MODE SHAPE
                   AXES ..... ..... ..... ..... +Z, +X, +Y      VIEW ANGLE ..... .....    0.00,     0.00,     0.00
                   SCALE FACTOR , ..... .....  5.492E-01      FRAME SIZE ..... .....  210.2 ,    297.3
0       PLOT  2.   MODE SHAPE
                   AXES ..... ..... ..... ..... +Z, +X, +Y      VIEW ANGLE ..... .....    0.00,     0.00,     0.00
                   SCALE FACTOR ..... .....  5.492E-01      FRAME SIZE ..... .....  210.2 ,    297.3
0       PLOT  3.   MODE SHAPE
                   AXES ..... ..... ..... ..... +Z, +X, +Y      VIEW ANGLE ..... .....    0.00,     0.00,     0.00
                   SCALE FACTOR ..... .....  5.492E-01      FRAME SIZE ..... .....  210.2 ,    297.3
0*** USER WARNING MESSAGE 1311, ACTUAL PERIOD (T=   3.486E-02) IS OUT OF RANGE OF GIVEN SPECTOR DATA.
        EXTRAPOLATION MAY RESULT IN ABSURD VALUE.
0*** USER WARNING MESSAGE 1311, ACTUAL PERIOD (T=   3.719E-03) IS OUT OF RANGE OF GIVEN SPECTOR DATA.
        EXTRAPOLATION MAY RESULT IN ABSURD VALUE.
0*** USER WARNING MESSAGE 1311, ACTUAL PERIOD (T=   3.876E-03) IS OUT OF RANGE OF GIVEN SPECTOR DATA.
        EXTRAPOLATION MAY RESULT IN ABSURD VALUE
0

                                  M A X I M U M   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R
0     POINT-ID          D1          D2          D3          D4          D5          D6

            1        0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.83596E-02
            2        1.64233E-09  8.39784E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.13653E-02
            3        2.78202E-09  1.02170E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.00533E-02
            4        3.03397E-09  1.20554E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  1.86491E-02
            5        2.28091E-09  1.44490E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.73782E-09
            6        6.76759E-10  1.20554E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  1.86491E-02
            7        1.18551E-09  1.02170E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.00533E-02
            8        2.66407E-09  8.39784E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.13653E-02
            9        3.22451E-09  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.83596E-02
1   SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    10


                                  M A X I M U M   V E L O C I T Y   V E C T O R
0     POINT-ID          V1          V2          V3          V4          V5          V6

            1        0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  2.85003E+01
```

```
            2        2.60220E-06   5.81183E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.17668E+01
            3        4.51059E-06   4.73274E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   2.09599E+01
            4        4.91803E-06   3.31969E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   2.70521E+01
            5        3.68442E-06   0.69311E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   4.43798E-06
            6        1.09701E-06   3.31969E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   2.70521E+01
            7        1.92170E-06   4.73274E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   2.09599E+01
            8        4.31843E-06   5.81183E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.17668E+01
            9        5.22868E-06   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   2.95003E+01
0

                              M A X I M U M   A C C E L E R A T I O N   V E C T O R
0     POINT-ID          A1            A2            A3            A4            A5            A6

            1        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   4.73955E+04
            2        4.31540E-03   9.29281E+05   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.81473E+04
            3        7.31161E-03   7.11938E+05   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   3.35137E+04
            4        7.97208E-03   3.87120E+05   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   4.37837E+04
            5        5.93998E-03   1.00669E+06   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   7.10330E-03
            6        1.77824E-03   3.87120E+05   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   4.37836E+04
            7        3.11506E-03   7.11938E+05   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   3.35137E+04
            8        7.00011E-03   9.29281E+05   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.81473E+04
            9        8.47271E-03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   4.73955E+04
0

                              M A X I M U M   R E A C T I O N   F O R C E
0     POINT-ID          R1            R2            R3            R4            R5            R6

            1        3.44890E-03   3.56510E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            9        0.00000E+00   3.56510E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1     SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    11


                              M A X I M U M   E L E M E N T   F O R C E
0     ELM.ID            F1            F2            F3            F4            F5            F6
0        1    BEGIN   3.44890E-03   3.56510E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   4.73387E+03
                END   3.44890E-03   3.56510E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   9.38131E+04
0        2    BEGIN   2.39480E-03   9.59526E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   9.74149E+04
                END   2.39480E-03   9.59526E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   8.03009E+04
0        3    BEGIN   5.27842E-04   4.16272E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   7.40657E+04
                END   5.27842E-04   4.16272E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   4.94404E+04
0        4    BEGIN   1.62406E-03   2.35351E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   5.59739E+04
                END   1.62406E-03   2.35351E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.09140E+05
0        5    BEGIN   3.32810E-03   2.35351E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.09140E+05
                END   3.32810E-03   2.35351E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   5.59739E+04
0        6    BEGIN   3.91077E-03   4.16272E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   4.94404E+04
                END   3.91077E-03   4.16272E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   7.40655E+04
0        7    BEGIN   3.10497E-03   9.59528E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   8.03010E+04
                END   3.10497E-03   9.59528E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   9.74149E+04
0        8    BEGIN   1.17691E-03   3.56510E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   9.35130E+04
                END   1.17691E-03   3.56510E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   4.73383E+03
1     SPECTRUM RESPONSE OF A SIMPLE SUPPORTED BEAM                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    12


0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0     ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . DYNAMIC M   SR
0         NUMBER OF TIME STEPS . . . . . . . . .        0          ( FROM     0 TO     0 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .        8
+                                                                   (        8*SBEAM2  )
0         NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .      10
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .       24
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .        5
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .        4.0
0
      EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         EIGENVALUE EXTRACTION . . . . . . . . .      0.0          ( 25.00 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) . .     0.1          ( 75.00 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .     0.1 SECONDS
0
      STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .    22 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . . .    0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

3.2 直接積分法

3.2.1 片持ち梁の時刻歴応答解析

(1) 問題

長さ 200cm、断面積 25cm^2、断面 2 次モーメント 52.083cm^4 の単純支持梁の自由端に衝撃荷重を加える場合につき、直接積分法により減衰を考慮した時刻歴応答解析を行なう。材料定数は弾性係数 2.1×10^6 kg/cm^2 質量密度 8.1939×10^{-6} kg・sec^2/cm^4 である。減衰特性は比例減衰とし、定数は式（3.2.1-1）において α_m=0.0、α_k=6.0 $\times10^{-4}$ とする。

$$[C] = \Sigma\,\alpha_m\,[m] + \Sigma\,\alpha_k\,[k] \qquad (3.2.1\text{-}1)$$

〔C〕：減衰マトリックス
〔m〕：要素の質量マトリックス
〔k〕：要素の剛性マトリックス

また、負荷条件は図 3.2.1-2 に示すものとする。

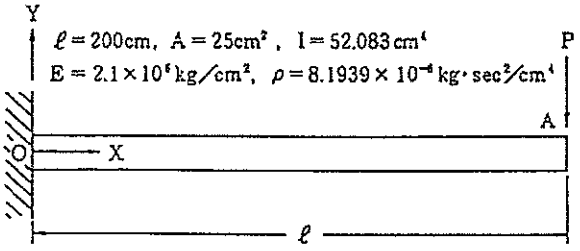


図 3.2.1-1　片持ち梁

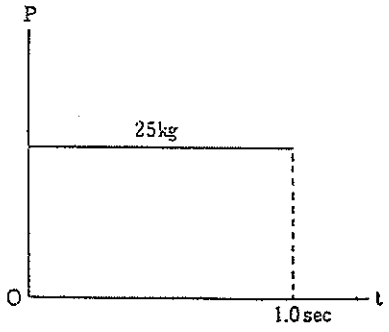


図 3.2.1-2　負 荷 条 件

(2) 有限要素モデルと解析条件

3 次元弾性梁要素 SBEAM2 を用いて図 3.2.1-3 に示す有限要素モデルを作成する。荷重は節点 9 の-y 方向に負荷し、時間増分は 2.5×10^{-3} 秒/ステップとする。質量マトリックスは整合質量マトリックスを用い、境界条件は表 3.2.1-1 に示すものを適用する。

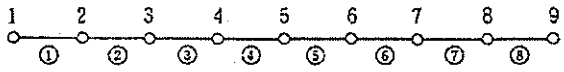


図 3.2.1-3 有限要素モデル

表 3.2.1-1 境 界 条 件

節点番号	拘束自由度
1	u_x、u_y、u_z、θ_x、θ_y、θ_z
2～9	u_z、θ_x、θ_y

(3) 解析結果

はりの自由端における y 方向変位の代表時刻での値を NASTRAN の解と比較して表 3.2.1-2 に示す。時間積分のスキームはいずれのプログラムも Newmark の β 法を使用している。また、自由端と中間点における y 方向変位の時刻歴を図 3.2.1-4 に、固定端における z 軸回りの反力つまり固定端モーメントの時刻歴を図 3.2.1-5 にそれぞれ示す。

表 3.2.1-2 自由端の y 方向変位

時 刻	U_y [mm]	
t [sec]	FINAS の解	NASTRAN 解
0.05	-1.16343E+00	-1.163386E+00
0.15	-1.09898E+00	-1.098520E+00
0.25	-1.03139E+00	-1.035046E+00
0.35	-9.72408E-01	-9.745234E-01
0.45	-9.14149E-01	-9.178171E-01
0.55	-8.60372E-01	-8.655497E-01
0.65	-8.11550E-01	-8.180951E-01
0.75	-7.67921E-01	-7.756224E-01
0.85	-7.29529E-01	-7.381368E-01
0.95	-6.96268E-01	-7.055122E-01

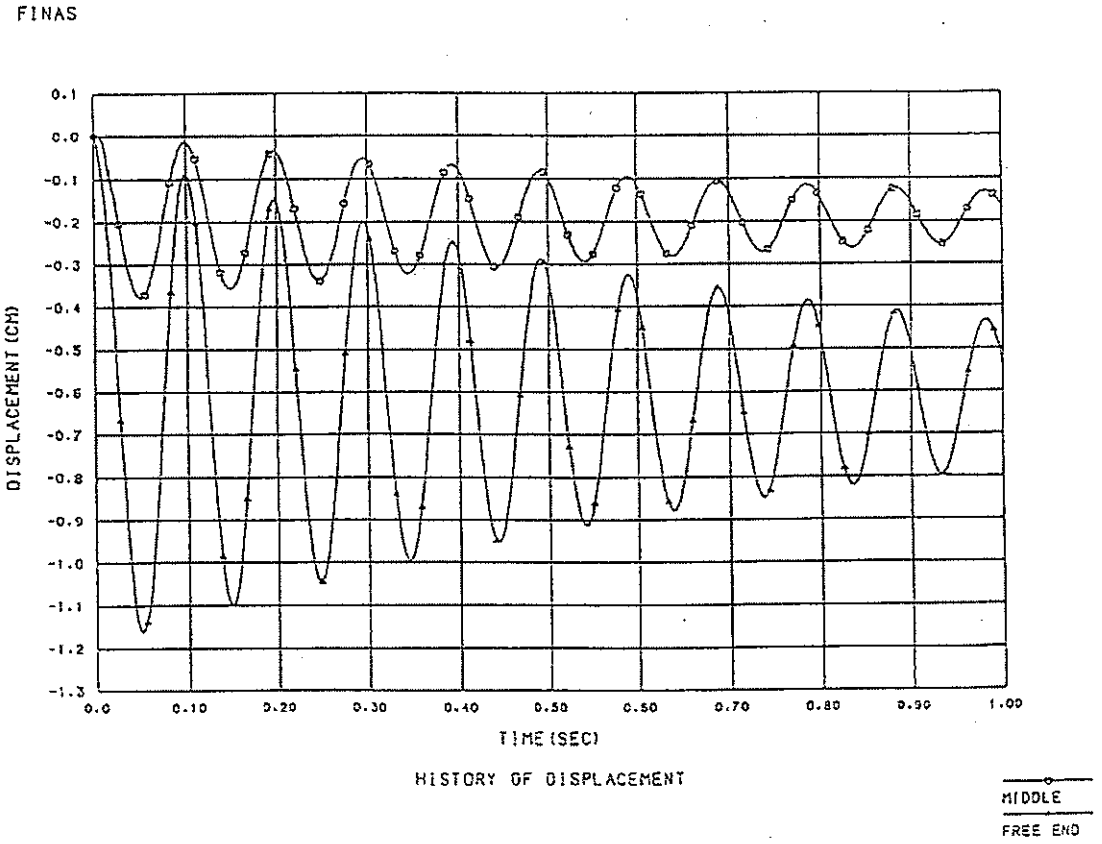


図 3.2.1-4　自由端と中間点における y 方向変位の時刻歴

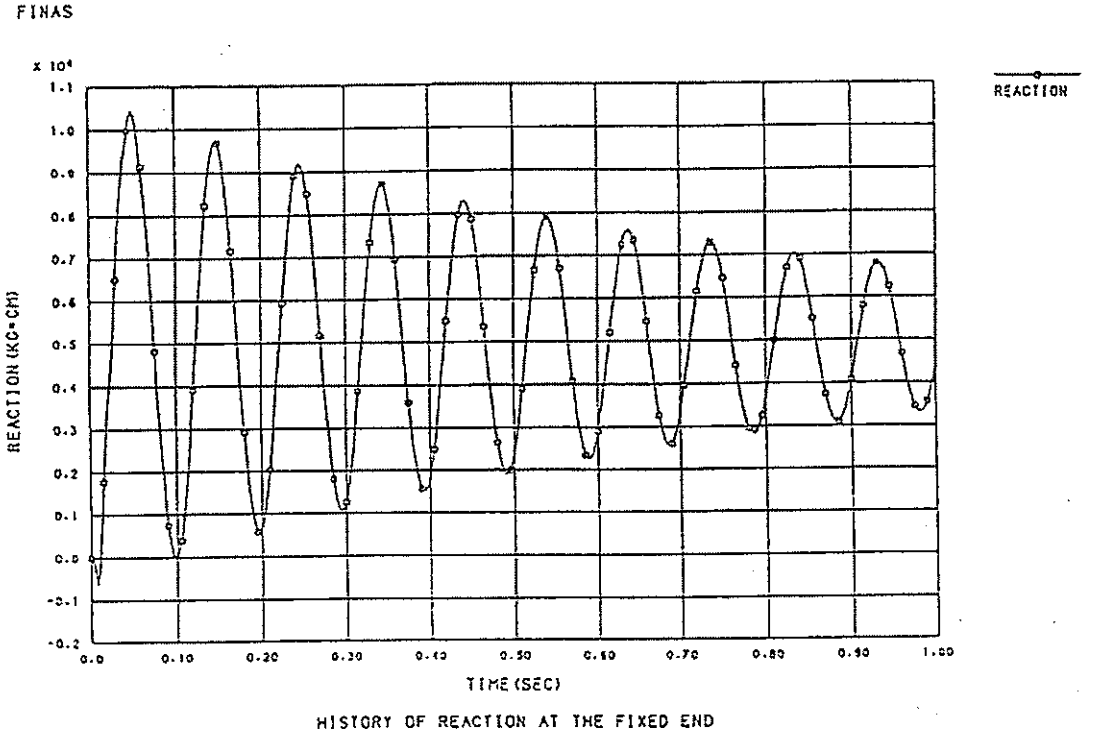


図 3.2.1-5　固定端における z 軸回りのモーメントの時刻歴

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 3.2.1-3 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING
DYNAMIC   LD
MODEL
NODE
    1                     0.0                                   8              9
    9                   200.0
   10                     0.0       1.0
ELEMENT TYPE
    1     SBEAM2
CONNECTION
**ELOOP1      8    1    1    1    0
    1    1    1    1    1    2   10
**END1
GEOMETRY
    1    6      25.0                        52.083    52.083
MATERIAL
    1
          E         2.10E6
          RHO       8.1939E-6
BOUNDARY
    1
              1                   1    6
              2    9              3    5
FORCE
    1
              9                   2          1.0
DAMPING
     F2                     1       0.0    6.0E-4
TIME SERIES
    1
     F2       2            1.0
                -1.0      -1.0
RESPONSE
     TIME     1.0     400
          FORC     1      25.0    1
          BOUN     1       1.0
END MODEL
OUTPUT
OTIME2        1    4   40    4   60  400   20
NSET1         1    5    9
NSET1         2    1
ESET1         1    1    8
$
PRINT SELECT
DISP          1    1
VELO          1    1
ACCE          1    1
REAC          2    1
ELFO          1         1
$
XYPLOT
PTITLE    HISTORY OF DISPLACEMENT
XTITLE    TIME(SEC)
YTITLE    DISPLACEMENT(CM)
CURVE         1              10MIDDLE
CURVE         2              10FREE END
FRAME     A4H
XDIVISION    10    0
YDIVISION          0
XRANGE           0.0       1.0
PLOT1     DISP2    5     DISP2    9                                  RTIME
```

```
$
PTITLE    HISTORY OF VELOCITY
YTITLE    VELOCITY(CM/SEC)
PLOT1     VELO2    5     VELO2    9                                  RTIME
$
PTITLE    HISTORY OF ACCELERATION
YTITLE    ACCELERATION(CM/SEC**2)
PLOT1     ACCE2    5     ACCE2    9                                  RTIME
$
PTITLE    HISTORY OF REACTION AT THE FIXED END
CURVE         1              5REACTION
YTITLE    REACTION(KG*CM)
PLOT1     REAC6    1                                                 RTIME
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 3.2.1-4　解析結果のリスト（抜粋）

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1...:...0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                 FINAS
                 TITLE     DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING
                 DYNAMIC   LD
1    DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                  FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    2

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1...:...0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
            0-   MODEL
            1-   NODE
            2-       1                   0.0                                  8                 9
            3-       9                  200.0
            4-      10                   0.0       1.0
            5-   ELEMENT TYPE
            6-       1     SBEAM2
            7-   CONNECTION
            8-   **ELOCP1      8    1    1    1    0
            9-       1    1    1    1    1    2   10
           10-   **END1
           11-   GEOMETRY
           12-       1    6      25.0                        52.083    52.083
           13-   MATERIAL
           14-       1
           15-             E         2.1050
           16-             RHO       9.1939E-6
           17-   BOUNDARY
           18-       1
           19-                 1                   1    6
           20-                 2    9              3    5
           21-   FORCE
           22-       1
           23-                 9                   2          1.0
           24-   DAMPING
           25-       F2                    1       0.0    6.0E-4
           26-   TIME SERIES
           27-       1
           28-       F2        2          1.0
           29-                  -1.0      -1.0
           30-   RESPONSE
           31-       TIME      1.0      400
           32-             FORC      1      25.0    1
           33-             BCUN      1       1.0
           34-   END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID     1
        POISSON RATIO IS MISSING
1    DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                  FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    3

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1...:...0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                 OUTPUT
                 OTIME2        1    4   40    4   60  400   20
                 NSET1         1    5    9
                 NSET1         2    1
                 ESET1         1    1    8
                 $
                 PRINT SELECT
                 DISP          1    1
                 VELO          1    1
                 ACCE          1    1
                 REAC          2    1
                 ELFO          1         1
                 $
                 XYPLOT
                 PTITLE    HISTORY OF DISPLACEMENT
                 XTITLE    TIME(SEC)
                 YTITLE    DISPLACEMENT(CM)
                 CURVE         1              10MIDDLE
                 CURVE         2              10FREE END
                 FRAME     A4H
                 XDIVISION    10    0
                 YDIVISION          0
                 XRANGE           0.0       1.0
                 PLOT1     DISP2    5     DISP2    9                                  RTIME
                 $
                 PTITLE    HISTORY OF VELOCITY
                 YTITLE    VELOCITY(CM/SEC)
                 PLOT1     VELO2    5     VELO2    9                                  RTIME
                 $
                 PTITLE    HISTORY OF ACCELERATION
                 YTITLE    ACCELERATION(CM/SEC**2)
                 PLOT1     ACCE2    5     ACCE2    9                                  RTIME
                 $
                 PTITLE    HISTORY OF REACTION AT THE FIXED END
                 CURVE         1              5REACTION
```

```
YTITLE    REACTION(KG+CM)
PLOT1     REAC6    1                                        RTIME
END OUTPUT
END FINAS
```

1 DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 4

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

NODAL COORDINATE

NUMBER OF NODAL POINTS . . . 10

NODE	X1	X2	X3
1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	25.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
3	50.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
4	75.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
5	100.000	0.000000E+00	0.000000E+00
6	125.000	0.000000E+00	0.000000E+00
7	150.000	0.000000E+00	0.000000E+00
8	175.000	0.000000E+00	0.000000E+00
9	200.000	0.000000E+00	0.000000E+00
10	0.000000E+00	1.00000	0.000000E+00

MAXIMUM	NODE- 9	NODE- 10	NODE- 1	NODE-
VALUE	200.000	1.00000	0.000000E+00	
MINIMUM	NODE- 1	NODE- 1	NODE- 1	NODE-
VALUE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	

ELEMENT TYPE

TYPE	NAME	SWC- 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	SBEAM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ELEMENT CONNECTION

NUMBER OF ELEMENTS . . . 8

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES		
1	1	1	1	1	2	10
2	1	1	1	2	3	10
3	1	1	1	3	4	10
4	1	1	1	4	5	10
5	1	1	1	5	6	10
6	1	1	1	6	7	10
7	1	1	1	7	8	10
8	1	1	1	8	9	10

1 DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING FINAS VERSION 13.0 02/25/99 PAGE 5

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

ELEMENT GEOMETRY

GEOMETRY	GEOM-1	GEOM-2	GEOM-3	GEOM-4	GEOM-5	GEOM-6	GEOM-7	GEOM-8
1	25.00	0.0000E+00	0.0000E+00	52.08	52.08	0.0000E+00		

MATERIAL PROPERTY

IDENTIFICATION NUMBER == 1

	VALUE
E	0.210000E+07
RHO	0.818390E-05

BOUNDARY CONDITION

IDENTIFICATION NUMBER == 1

NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP
1	1		0.0000E+00	1	2		0.0000E+00	1	3		0.0000E+00
1	4		0.0000E+00	1	5		0.0000E+00	1	6		0.0000E+00
2	3		0.0000E+00	2	4		0.0000E+00	2	5		0.0000E+00
3	3		0.0000E+00	3	4		0.0000E+00	3	5		0.0000E+00

```
          4     3        0.0000E+00        4     4        0.0000E+00        4     5        0.0000E+00
          5     3        0.0000E+00        5     4        0.0000E+00        5     5        0.0000E+00
          6     3        0.0000E+00        6     4        0.0000E+00        6     5        0.0000E+00
          7     3        0.0000E+00        7     4        0.0000E+00        7     5        0.0000E+00
          8     3        0.0000E+00        8     4        0.0000E+00        8     5        0.0000E+00
          9     3        0.0000E+00        9     4        0.0000E+00        9     5        0.0000E+00

 -------
 FORCE
 -------

 IDENTIFICATION NUMBER ===      1

        NODE        COORD        F1          F2          F3          F4          F5          F6          F7

          9                 0.000000E+00  1.00000     0.000000E+00  0.000000E+00

1   DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    6

                                    M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

 ---------
 DAMPING
 ---------

 PROPORTIONAL DAMPING

ALFA =   0.0000E+00     BETA =   0.6000E-03

 ------------------
 TIME SERIES DATA
 ------------------

 IDENTIFICATION NUMBER =    1     NUMBER OF DATA =    2

        TIME        VALUE            TIME        VALUE            TIME        VALUE            TIME        VALUE

      0.0000E+00   -1.000            1.000       -1.000

 ----------
 RESPONSE
 ----------

 TIME AT SOLUTION END =    1.000
 NUMBER OF DIVISION IN EACH TIME SERIES DATA =    400     SUB-DIVISION IN EACH TIME INCREMENT =      1

                          IDENT  * FACTOR      *   ITSER        IDENT  * FACTOR      *   ITSER

              DOUNDARY          1     1.00
              FORCE             1     25.0              1
1   DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    7

                                D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM      4 )
                                                                                         TIME   1.0000E-02
0    POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          5        0.00000E+00   -1.37495E-02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -5.52484E-04
          9        0.00000E+00   -1.18841E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -1.34516E-03
0

                                V E L O C I T Y   V E C T O R                            ( STEP NUM      4 )
                                                                                         TIME   1.0000E-02
0    POINT-ID          V1            V2            V3            V4            V5            V6

          5        0.00000E+00   -7.06054E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -1.13320E-01
          9        0.00000E+00   -1.98104E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -1.39832E-01
0

                                A C C E L E R A T I O N   V E C T O R                    ( STEP NUM      4 )
                                                                                         TIME   1.0000E-02
0    POINT-ID          A1            A2            A3            A4            A5            A6

          5        0.00000E+00   -1.67612E+03   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   9.03878E+00
          9        0.00000E+00   -2.79378E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   5.85612E+01
0

                                D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( STEP NUM      8 )
                                                                                         TIME   2.0000E-02
0    POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          5        0.00000E+00   -1.20310E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -2.14570E-03
          9        0.00000E+00   -3.85312E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -2.93077E-03
1   DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    8

                                V E L O C I T Y   V E C T O R                            ( STEP NUM      8 )
                                                                                         TIME   2.0000E-02
0    POINT-ID          V1            V2            V3            V4            V5            V6
```

```
                                                                                  TIME   8.5000E-01
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          5          0.00000E+00   -2.31218E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -4.12642E-03
          9          0.00000E+00   -7.29528E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -5.38739E-03
0

                                 V E L O C I T Y   V E C T O R                                ( STEP NUM.   340 )
                                                                                  TIME   8.5000E-01
0     POINT-ID          V1            V2            V3            V4            V5            V6

          5          0.00000E+00    3.74822E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   6.42001E-02
          9          0.00000E+00    1.10400E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   7.59811E-02
0

                                 A C C E L E R A T I O N   V E C T O R                        ( STEP NUM.   340 )
                                                                                  TIME   8.5000E-01
0     POINT-ID          A1            A2            A3            A4            A5            A6

          5          0.00000E+00    1.58827E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   2.70408E+00
          9          0.00000E+00    4.79457E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   7.16172E+00
0

                                 D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                        ( STEP NUM.   360 )
                                                                                  TIME   9.0000E-01
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          5          0.00000E+00   -1.55596E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -2.83114E-03
          9          0.00000E+00   -5.06788E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -3.86432E-03
1   DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    26

                                 V E L O C I T Y   V E C T O R                                ( STEP NUM.   360 )
                                                                                  TIME   9.0000E-01
0     POINT-ID          V1            V2            V3            V4            V5            V6

          5          0.00000E+00   -3.66832E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -6.27971E-02
          9          0.00000E+00   -1.07966E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -7.43295E-02
0

                                 A C C E L E R A T I O N   V E C T O R                        ( STEP NUM.   360 )
                                                                                  TIME   9.0000E-01
0     POINT-ID          A1            A2            A3            A4            A5            A6

          5          0.00000E+00   -1.34711E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -2.31867E+00
          9          0.00000E+00   -3.85702E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.07437E+00
0

                                 D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                        ( STEP NUM.   380 )
                                                                                  TIME   9.5000E-01
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          5          0.00000E+00   -2.19927E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -3.93300E-03
          9          0.00000E+00   -6.90267E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -5.16847E-03
0

                                 V E L O C I T Y   V E C T O R                                ( STEP NUM.   380 )
                                                                                  TIME   9.5000E-01
0     POINT-ID          V1            V2            V3            V4            V5            V6

          5          0.00000E+00    3.58781E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   6.11066E-02
          9          0.00000E+00    1.05080E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   7.23204E-02
1   DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    27

                                 A C C E L E R A T I O N   V E C T O R                        ( STEP NUM.   380 )
                                                                                  TIME   9.5000E-01
0     POINT-ID          A1            A2            A3            A4            A5            A6

          5          0.00000E+00    1.12724E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   1.92356E+00
          9          0.00000E+00    3.42575E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   5.98365E+00
0

                                 D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                        ( STEP NUM.   400 )
                                                                                  TIME   1.0000E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          5          0.00000E+00   -1.66043E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -3.01008E-03
          9          0.00000E+00   -5.37559E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -4.07612E-03
0

                                 V E L O C I T Y   V E C T O R                                ( STEP NUM.   400 )
                                                                                  TIME   1.0000E+00
0     POINT-ID          V1            V2            V3            V4            V5            V6

          5          0.00000E+00   -3.45473E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -5.91728E-02
          9          0.00000E+00   -1.01758E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   -7.00394E-02
0

                                 A C C E L E R A T I O N   V E C T O R                        ( STEP NUM.   400 )
                                                                                  TIME   1.0000E+00
0     POINT-ID          A1            A2            A3            A4            A5            A6
```

```
                END    0.00000E+00  -2.22208E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -1.13785E+01
1   DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    41

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   220 )
                                                                                                TIME   5.5000E-01
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -4.15847E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -7.41139E+03
                END   0.00000E+00  -4.15847E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -8.37177E+03
0       8   BEGIN   0.00000E+00  -2.75239E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -8.77809E+02
                END   0.00000E+00  -2.75239E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   1.02813E+01
0

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   240 )
                                                                                                TIME   6.0000E-01
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -1.00714E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -2.82942E+03
                END   0.00000E+00  -1.00714E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -2.57764E+03
0       8   BEGIN   0.00000E+00  -2.27358E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -5.77621E+02
                END   0.00000E+00  -2.27358E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -9.25781E+00
0

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   260 )
                                                                                                TIME   6.5000E-01
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -3.83569E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -6.84206E+03
                END   0.00000E+00  -3.83569E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -5.93313E+03
0       8   BEGIN   0.00000E+00  -2.70234E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -6.87402E+02
                END   0.00000E+00  -2.70234E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   8.30488E+00
1   DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    42

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   280 )
                                                                                                TIME   7.0000E-01
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -1.31287E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -3.27395E+03
                END   0.00000E+00  -1.31287E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -2.94574E+03
0       8   BEGIN   0.00000E+00  -2.31885E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -5.87334E+02
                END   0.00000E+00  -2.31885E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -7.38928E+00
0

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   300 )
                                                                                                TIME   7.5000E-01
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -3.54724E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -6.52284E+03
                END   0.00000E+00  -3.54724E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -5.83583E+03
0       8   BEGIN   0.00000E+00  -2.85884E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -6.58180E+02
                END   0.00000E+00  -2.85884E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   6.48438E+00
0

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   320 )
                                                                                                TIME   8.0000E-01
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -1.59399E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -3.88815E+03
                END   0.00000E+00  -1.59399E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -3.27215E+03
0       8   BEGIN   0.00000E+00  -2.38089E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -5.95930E+02
                END   0.00000E+00  -2.38089E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -5.87188E+00
1   DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    43

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   340 )
                                                                                                TIME   8.5000E-01
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -3.29340E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -6.15358E+03
                END   0.00000E+00  -3.29340E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -5.33023E+03
0       8   BEGIN   0.00000E+00  -2.62007E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -6.50158E+02
                END   0.00000E+00  -2.62007E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   4.87500E+00
0

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   360 )
                                                                                                TIME   9.0000E-01
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -1.92072E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -4.01235E+03
                END   0.00000E+00  -1.92072E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -3.55717E+03
0       8   BEGIN   0.00000E+00  -2.39702E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -0.03477E+02
                END   0.00000E+00  -2.39702E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -4.20313E+00
0

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   380 )
                                                                                                TIME   9.5000E-01
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -3.07349E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -5.83384E+03
                END   0.00000E+00  -3.07349E-01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -5.08547E+03
0       8   BEGIN   0.00000E+00  -2.58682E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -6.43211E+02
                END   0.00000E+00  -2.58682E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00   3.50938E+00
1   DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    44

                                   E L E M E N T   F O R C E                                    ( STEP NUM.   400 )
                                                                                                TIME   1.0000E+00
0   ELM. ID              F1           F2           F3           F4           F5           F6
0       1   BEGIN   0.00000E+00  -2.02417E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -4.30816E+03
                END   0.00000E+00  -2.02417E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  -3.80212E+03
```

```
0        8    BEGIN     0.00000E+00  -2.42803E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -6.09953E+02
                END     0.00000E+00  -2.42803E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -2.90025E+00
1    DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    45


      X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT   1.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    1.      HISTORY OF DISPLACEMENT
0                  CURVE  1. DISP2    ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-3.79882E-01  AT X= 5.00000E-02    YMAX(ALL DATA)= 1.28293E-03  AT X= 5.00000E-03
0                  CURVE  2. DISP2    ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-1.16343E+00  AT X= 5.00000E-02    YMAX(ALL DATA)=-8.06883E-03  AT X= 2.50000E-03
0      PLOT   2.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    2.      HISTORY OF VELOCITY
0                  CURVE  1. VELO2    ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-1.31586E+01  AT X= 3.00000E-02    YMAX(ALL DATA)= 1.19228E+01  AT X= 7.50000E-02
0                  CURVE  2. VELO2    ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-3.84530E+01  AT X= 2.25000E-02    YMAX(ALL DATA)= 3.43489E+01  AT X= 7.50000E-02
0      PLOT   3    TYPE 1    COMMAND NUMBER    3.      HISTORY OF ACCELERATION
0                  CURVE  1. ACCE2    ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-1.88033E+03  AT X= 7.50000E-03    YMAX(ALL DATA)= 9.75179E+02  AT X= 5.25000E-02
0                  CURVE  2. ACCE2    ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-5.18405E+03  AT X= 2.50000E-03    YMAX(ALL DATA)= 2.63441E+03  AT X= 4.50000E-02
0      PLOT   4.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    4.      HISTORY OF REACTION AT THE FIXED END
0                  CURVE  1. REACG    ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-5.42036E+02  AT X= 7.50000E-03    YMAX(ALL DATA)= 1.04138E+04  AT X= 5.00000E-02
1    DIRECT INTEGRATION ANALYSIS OF A BEAM WITH DAMPING                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    46


0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . DYNAMIC LD
0        NUMBER OF TIME STEPS . . . . . . . . . .      400          ( FROM     1 TO   400 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .        8
+                                                                   (        B*SBEAM2  )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .      10
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .       24
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS   . .        5
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS   . .        3.0
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . . .      0.1          ( 41.18 % )
0        TIME STEP INTEGRATION . . . . . . . . . .     0.1          ( 41.18 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .       0.0          ( 17.65 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .      0.3 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .      38 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .        0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

3.2.2 初期変位のあるばね質量系の自由振動解析

(1) 問題

図3.2.2-1に示す減衰のある1自由度のばね質量系の一端に荷重を静かに負荷し、次に瞬時に荷重を解放した時の自由振動について解析を行なう。構造の特性はばね定数0.5 kg/mm、減衰定数は2.14×10^{-3} kg・sec/mm、集中質量5.1020×10^{-4} kg・sec^2/mmとし、最初に負荷する荷重はばねを引張る方向に5 kgとする。

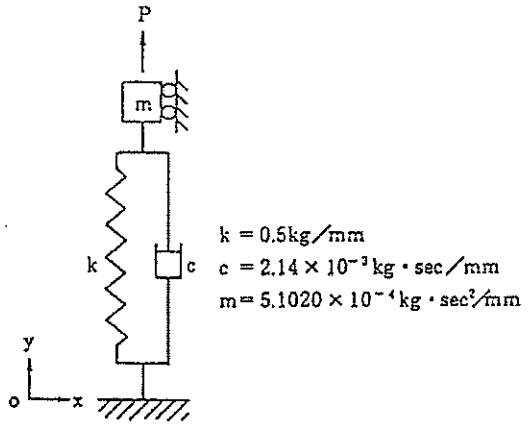


図3.2.2-1 減衰のある1自由度ばね質量系モデル

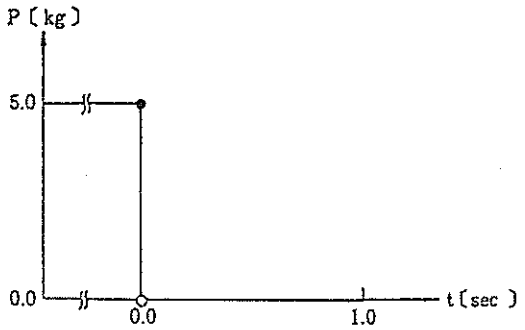


図3.2.2-2 負荷条件

(2) 有限要素モデルと解析条件

3次元ばね減衰要素LCOMB2を使用した有限要素モデルを図3.2.2-3に示す。図では便宜上、要素は長さを持つように書かれているが、実際の有限要素モデルでは、節点1と2の座標を同一にし、長さを持たない要素を作成する。

解析は初期条件を求める静的解析とその結果を使用する直接積分法による動的解析の2回に分けて行なうが、動的解析は静的解析のリスタートテープを使用したリスタート計算として実施する。負荷は静的解析で節点の1のy方向に与え、動的解析では無負荷とする。境界条件は2つの解析で同一であり、表3.2.2-1に示すもの

を使用する。動的解析における集中質量は節点1のy方向に付加し、初期条件は変位について静的解析の結果をリスタートテープから読み込み、初期速度はすべて零とする。また、時間増分は4.0×10^{-3}秒/ステップを用いる。

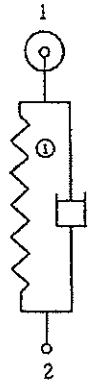


図3.2.2-3　有限要素モデル

表3.2.2-1　境界条件

節点番号	拘束自由度
1	u_x、u_z、θ_x、θ_y、θ_z
2	u_x、u_y、u_z、θ_x、θ_y、θ_z

(3) 理解論

減衰のある1自由度ばね質量系の自由振動の運動方程式は次式で与えられる。[8)]

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \tag{3.2.2-1}$$

ここで

$$\alpha = \frac{c}{2m}\ , \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

とおくと、式（3.2.2-1）は次のようになる。

$$\ddot{u} + 2\alpha\dot{u} + \omega^2 u = 0 \tag{3.2.2-2}$$

式（3.2.2-2）の一般解は次式で与えられる。

$$u(t) = e^{-\alpha t}(c_1 \cos\omega_d t + c_2 \sin\omega_d t) \tag{3.2.2-3}$$

ここで、ω_dは減衰固有円振動数であり、次式で表わされる。

$$\omega_d = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2} \tag{3.2.2-4}$$

初期条件は解析条件により次のように与えられる。

$$u(0) = u_0, \quad \dot{u}(0) = 0 \tag{3.2.2-5}$$

式（3.2.2-5）より式（3.2.2-3）の係数C_1とC_2は次のようになる。

$$C_1 = u_0, \quad C_2 = \frac{\alpha u_0}{\omega_d} \tag{3.2.2-6}$$

したがって、式（3.2.2-3）は次式に書き換えることができる。

$$u(t) = e^{-\alpha t}(u_0 \cos\omega_d t + \frac{\alpha u_0}{\omega_d}\sin\omega_d t) \tag{3.2.2-7}$$

また、減衰振動の周期は τ_d および対数減衰率 δ は次式で与えられる。

$$\tau_d = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 - \alpha^2}}$$

(3.2.2-8)

$$\delta = \ln\left(\frac{u_{\max}(i)}{u_{\max}(i+1)}\right) = \alpha\tau_d$$

ここで、$u_{\max(i)}$ は i 番目の周期の最大振幅である。

(4) 解析結果

FINAS の解を理論解と比較して表 3.2.2-2～3.2.2-4 に示す。表 3.2.2-2 は各周期における最大振幅とその時刻である。表 3.2.2-3 と表 3.2.2-4 はそれぞれ表 3.2.2-2 から求めた減衰振動の周期と対数減衰率である。また、節点 1 における y 方向変位の時刻歴を図 3.2.2-4 に示す。

表 3.2.2-2　各周期の最大振幅と時刻

周期	FINAS の解		理論解	
番号	最大振幅[mm]	時 刻 [sec]	最大振幅[mm]	時 刻 [sec]
1	1.00000E+01	0.0	10.0	0.0
2	6.55150E+00	2.1400E-01	6.55815	0.201160
3	4.30045E+00	4.0400E-01	4.30093	0.402320
4	2.82027E+00	6.0800E-01	2.82062	0.603480
5	1.85423E+00	8.0800E-01	1.84980	0.804640

表 3.2.2-3　減衰振動の周期

	FINAS の解	理論解
$(\tau_d)_{1-2}$	2.0400E-01	0.201160
$(\tau_d)_{2-3}$	2.0000E-01	0.201160
$(\tau_d)_{3-4}$	2.0400E-01	0.201160
$(\tau_d)_{4-5}$	2.0000E-02	0.201160

表 3.2.2-4　対数減衰率

	FINAS の解	理論解
δ_{1-2}	0.42289	0.42188
δ_{2-3}	0.42097	0.42188
δ_{3-4}	0.42189	0.42188
δ_{4-5}	0.41936	0.42188

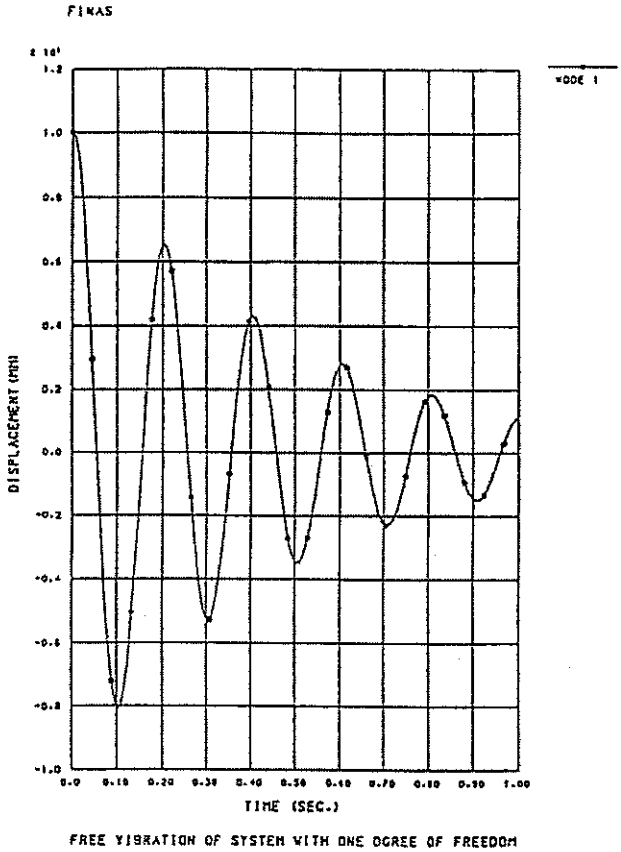


図 3. 2. 2-4　節点 1 の y 方向変位の時刻歴

(5) 入力データ

表 3.2.2-5　初期条件を求める静的解析の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
STATIC    E
SAVE
TITLE     FREE VIBRATION OF SYSTEM WITH ONE DEGREE OF FREEDOM
SUBTITLE  STATIC ANALYSIS
MODEL
NODE
    1
    2
ELEMENT TYPE
    1     LCOMB2
CONNECTION
    1    1    1          1    2
GEOMETRY
    1    7       0.5   2.14E-3       0.0       0.0       0.0       1.0       0.0
BOUNDARY
    1
              1                   1
              1                   3    6
              2                   1    6
FORCE
    1
              1                   2     5.0
HISTORY
INTERVAL      1
          BOUN     1 1.0
          FORC     1 1.0
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 3.2.2-6　初期条件を静的解析のリスタートテープから読込む動的解析の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1.       0         0         0         0         0         0         0         0
FINAS
DYNAMIC   LD
RESTART
TITLE     FREE VIBRATION OF SYSTEM WITH ONE DEGREE OF FREEDOM
SUBTITLE  LINEAR TRANSIENT ANALYSIS (RESTART FROM STATIC ANALYSIS)
MODEL
ADD MASS
              1                   2       5.102E-4
BOUNDARY
    1
              1                   1
              1                   3    6
              2                   1    6
FORCE
    1
              1                   2    2       1.0
TIME SERIES
    1
     F2       2     1.0
          0.0       0.0
RESPONSE
     TIME 1.0          250
          FORC     1       1.0    1
          BOUN     1       1.0
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
NSET1         1    1
DISP          1
XYPLOT
PTITLE    FREE VIBRATION OF SYSTEM WITH ONE DGREE OF FREEDOM
XTITLE    TIME (SEC.)
YTITLE    DISPLACEMENT(MM)
XRANGE          0.0       1.0
YRANGE        -10.0      12.0
XDIVISION    10    0
YDIVISION    11    0
CURVE         1         1   10 NODE 1
PLOT1     DISP2    1                                                  RTIME
END OUTPUT
END FINAS
1.        1         2         3         4         5         6         7         8
          0         0         0         0         0         0         0         0
```

3.3 流体・構造連成解析

3.3.1 円筒タンクのスロッシング固有値解析

(1) 問題

図 3.3.1-1 に示すような半径 10670mm、高さ 15240mm の水を満たした円筒平底タンクの固有値解析を行なう。円筒タンク部の弾性係数は 1.62×10^{4}kg/mm^2、ポアソン比は 0.3、質量密度は 8.26×10^{-10}kg・sec^2/mm^3、板厚は 100.0mm とする。また、流体部の質量密度は 1.0×10^{-10}kg・sec^2/mm^3 および重力加速度は 9800mm/sec^2 を用いる。

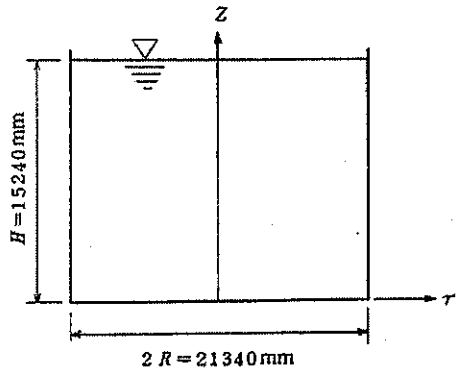


図 3.3.1-1 円筒平底タンク

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 3.3.1-2 のように有限要素モデルは円筒タンク、流体部を軸対称構造として取扱い基本的には半径方向、高さ方向をそれぞれ 10 分割する。流体部は 4 節点四辺形軸対称調和級数流体要素 LNQAX4、自由表面は 2 節点軸対称調和級数自由表面要素 SNLAX2、円筒タンクのシェル部は 2 節点軸対称調和級数円錐台シェル要素 NCONC2、流体と構造が接する部分には 2 節点軸対称調和級数流体構造境界要素 INLAX2 を用いる。境界条件はタンク底部を完全拘束およびタンク底部中央点の圧力を拘束する。

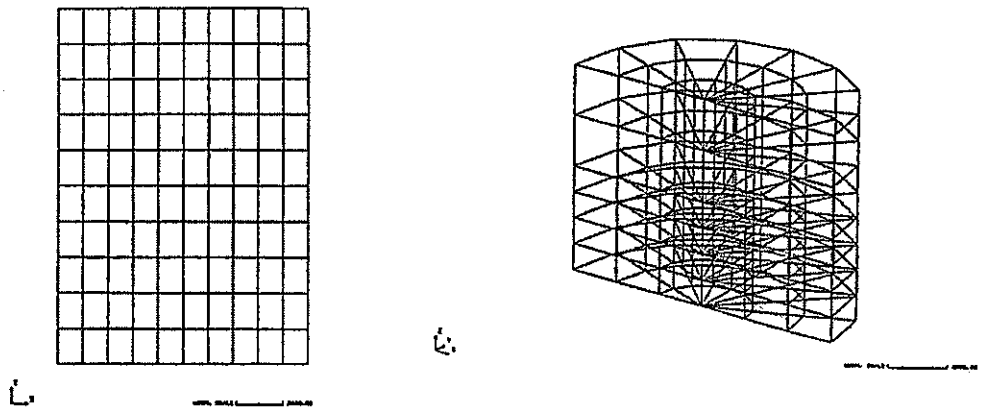


図 3.3.1-2 有限要素モデル

(3) 理論解

速度ポテンシャル理論によるスロッシング固有周期は次のように与えられる。

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\varepsilon_i \frac{g}{R}\tanh(\frac{\varepsilon_i H}{R})} \qquad (3.3.1\text{-}1)$$

ここで、R、H、g はそれぞれ円筒タンクの半径、高さおよび重力加速度を表す。また、ε_i は $J_1(\varepsilon_i)=0$ の正根、J_1 は 1 次第 1 種ベッセル関数であり、逆対称モードで周方向 1 次モードの場合は次式で与えられる。

$$\varepsilon_1=1.8412、\ \varepsilon_2=5.3314、\ \varepsilon_3=8.5363 \qquad (3.3.1\text{-}2)$$

また、Housner 理論によるスロッシング固有周期は次のように与えられる。

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{R}Ks\tanh(\frac{H}{R}Ks)} \qquad (3.3.1\text{-}3)$$

ここで、円筒タンクの場合は Ks は次の値をもつ。

$$Ks = \sqrt{27/8} \qquad (3.3.1\text{-}4)$$

(4) 解析結果

自由表面の逆対称モードでのスロッシング固有周期は表 3.3.1-1 に示される。また、図 3.3.1-3 では各モードでの自由表面スロッシングモード、図 3.3.1-4 では変形および圧力分布を示す。

表 3.3.1-1　解析結果

モード	ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ理論	Housner 理論	FINAS
1	0.2059	0.2057	0.2063
2	0.3522		0.3578
3	0.4456		0.4647

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 3.3.1-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM 0/0
FINAS
TITLE     VP735-1        SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION
SUBTITLE  GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL(10X10)
DIAG      4/1
NOPRINT   DESCR
CONTROL
     NONAXCASE      SYM      1
     EIGENVALUE        10
DYNAMIC   M
MODEL
NODE
**NLOOP1     11  100           1524.0
    1                                                          10            11
   11                 10670.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1     LNQAX4
    2     SNLAX2
    3     INLAX2
    4     NCONC2
GEOMETRY
    1    1  100.0
    2    1  9800.0
MATERIAL
    1
          E              1.62E4
          NU             0.3
          RHO          8.26E-10
    2
          RHO          1.00E-10
CONNECTION
    1    1         2    1    2  101  102                      10    1   10  100
  101    2    2    2 1001 1002                                10    1
  201    3              11  111                                10  100
  301    4    1    1   11  111                                10  100
BOUNDARY
   10
             11                   1    4
           1001                   7    8
RESPONSE
     TIME
          BOUN    10
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
NSET2          1 1001 1011
MODE           1
STRUCTURE PLOT
OMIT      0
IPLOT
MPLOT
CPLOT                PMODE
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 3.3.1-3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM 0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                  1.. .....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                  FINAS
                  TITLE     VP735-1        SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION
                  SUBTITLE  GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL(10X10)
                  DIAG      4/1
                  NOPRINT   DESCR
                  CONTROL
                      NONAXCASE      SYM      1
                      EIGENVALUE        10
                  DYNAMIC   M
1     VP735-1     SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION                   FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
      GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL(10X10)

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                  1.. .....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
            0-    MODEL
            1-    NODE
            2-    **NLOOP1     11  100          1524.0
            3-       1                                                  10            11
            4-      11                10670.0
            5-    **END1
            6-    ELEMENT TYPE
            7-       1     LNQAX4
            8-       2     SHLAX2
            9-       3     INLAX2
           10-       4     NCONC2
           11-    GEOMETRY
           12-       1    1  100.0
           13-       2    1  9900.0
           14-    MATERIAL
           15-       1
           16-             E            1.62E4
           17-             NU           0.3
           18-             RHO        8.26E-10
           19-       2
           20-             RHO        1.00E-10
           21-    CONNECTION
           22-       1    1        2    1    2  101  102                  10    1   10  100
           23-     101    2    2    2 1001 1002                           10    1
           24-     201    3             11  111                           10  100
           25-     301    4    1    1   11  111                           10  100
           26-    BOUNDARY
           27-      10
           28-               11                  1    4
           29-              1001                 7    8
           30-    RESPONSE
           31-        TIME
           32-             BOUH    10
           33-    END MODEL
C*** USER WARNING MESSAGE  4801,   MATERIAL ID     2
        ELASTIC MODULAS IS MISSING
C*** USER WARNING MESSAGE  4802,   MATERIAL ID     2
        POISSON RATIO IS MISSING
1     VP735-1     SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION                   FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
      GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL(10X10)

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
C                        1        2        3        4        5        6        7        8
                  1.. .....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                  OUTPUT
                  PRINT SELECT
                  NSET2          1 1001 1011
                  MODE           1
                  STRUCTURE PLOT
                  OMIT      0
                  IPLOT
                  MPLOT
                  CPLOT                PMODE
                  END OUTPUT
                  END FINAS
1     VP735-1     SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION                   FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    4
      GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL(10X10)

        P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0       PLOT   1    UNDEFORMED SHAPE
                      AXES ..... ..... ..+Z. +X. +Y      VIEW ANGLE   .        0.00.      0.00.      0.00
                      SCALE FACTOR        . . . 1.112E-02     FRAME SIZE .   .    210.2 .    297.3
0

                                  R E A L   E I G E N V A L U E S

                          MODE          EIGENVALUE      FREQUENCY        PERIOD
```

1	1.680171E+02	2.032869E-01	4.847330E+00
2	5.054305E+00	3.576097E-01	2.794790E+00
3	8.528181E+00	4.647265E-01	2.151803E+00
4	1.201044E+01	6.851780E-01	1.789354E+00
5	1.784879E+01	8.688172E-01	1.495624E+00
6	2.400217E+01	7.797321E-01	1.282492E+00
7	3.182615E+01	8.992769E-01	1.112005E+00
8	4.114892E+01	1.020938E+00	9.794915E-01
9	5.006311E+01	1.126105E+00	8.880164E-01
10	5.524139E+01	1.182912E+00	8.453715E-01

0

P A R T I C I P A T I O N F A C T O R A N D E F F E C T I V E M A S S

MODE NUM.		D1	D2	D3	D4	D5	D6	FREE-SURFACE
0 1	PARTICIPATION FACTOR	1.28748E+01	-8.55724E-05	-3.20825E-04	3.38910E-03			-9.87642E+00
	EFFECTIVE MASS	1.65758E+02	7.32264E-09	1.02928E-07	1.13509E-05			9.75437E+01
	RATIO	9.51881E-01	1.50912E-01	1.80350E-01	3.03628E-02			9.51889E-01
0 2	PARTICIPATION FACTOR	2.32970E+00	-5.67134E-05	-2.03717E-04	3.05849E-03			1.23847E+00
	EFFECTIVE MASS	5.42749E+00	3.21641E-09	4.15004E-08	9.34218E-06			1.53381E+00
	RATIO	3.11715E-02	6.62987E-02	7.27166E-02	2.49897E-02			1.54396E-02
0 3	PARTICIPATION FACTOR	-1.17245E+00	5.09813E-05	1.77772E-04	-3.35827E-03			4.43772E-01
	EFFECTIVE MASS	1.37465E+00	2.59809E-09	3.16028E-08	1.13452E-05			1.96934E-01
	RATIO	7.89498E-03	5.35645E-02	5.53741E-02	3.03477E-02			1.96236E-03
0 4	PARTICIPATION FACTOR	7.59587E-01	-5.02425E-05	-1.72124E-04	3.62841E-03			2.18950E-01
	EFFECTIVE MASS	5.77094E-01	2.52431E-09	2.95265E-08	1.48587E-05			4.78391E-02
	RATIO	3.31441E-03	5.20234E-02	5.19113E-02	3.92059E-02			4.82562E-04
0 5	PARTICIPATION FACTOR	5.60961E-01	-5.28064E-05	-1.78927E-04	4.48880E-03			-1.18154E-01
	EFFECTIVE MASS	3.14677E-01	2.78851E-09	3.19760E-08	1.99694E-05			1.39603E-02
	RATIO	1.80728E-03	5.74682E-02	5.60333E-02	5.34143E-02			1.40526E-04

1 VP735-1 SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 5
GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL (10X10)

P A R T I C I P A T I O N F A C T O R A N D E F F E C T I V E M A S S

MODE NUM.		D1	D2	D3	D4	D5	D6	FREE-SURFACE
0 6	PARTICIPATION FACTOR	4.50841E-01	-5.93652E-05	-1.98072E-04	5.34096E-03			6.71211E-02
	EFFECTIVE MASS	2.03258E-01	3.40850E-09	3.84442E-08	2.85259E-05			4.50525E-03
	RATIO	1.16738E-03	7.02042E-02	6.73916E-02	7.63049E-02			4.53505E-05
0 7	PARTICIPATION FACTOR	-3.85649E-01	6.69120E-05	2.23518E-04	-6.48671E-03			3.76858E-02
	EFFECTIVE MASS	1.48725E-01	4.47729E-09	4.99605E-08	4.20775E-05			1.43532E-03
	RATIO	8.54165E-04	9.22722E-02	8.75403E-02	1.12554E-01			1.44481E-05
0 8	PARTICIPATION FACTOR	-3.46910E-01	7.79857E-05	2.59440E-04	-7.87078E-03			-2.14174E-02
	EFFECTIVE MASS	1.20347E-01	6.07865E-09	6.73092E-08	6.19492E-05			4.58709E-04
	RATIO	6.91183E-04	1.25275E-01	1.17938E-01	1.65710E-01			4.61740E-06
0 9	PARTICIPATION FACTOR	-3.28081E-01	8.94201E-05	2.96857E-04	-9.25849E-03			1.13492E-02
	EFFECTIVE MASS	1.08329E-01	7.99598E-09	8.81244E-08	8.57196E-05			1.28805E-04
	RATIO	6.10874E-04	1.64788E-01	1.54411E-01	2.29294E-01			1.29657E-06
0 10	PARTICIPATION FACTOR	-2.97318E-01	9.00738E-05	2.98729E-04	-9.42895E-03			-4.16938E-03
	EFFECTIVE MASS	8.83966E-02	8.11329E-09	8.92391E-08	8.69052E-05			1.75510E-05
	RATIO	5.07699E-04	1.87209E-01	1.56364E-01	2.37816E-01			1.76670E-07
0								
	TOTAL EFFECTIVE MASS	1.74117E+02	4.85226E-08	5.70715E-07	3.73941E-04			9.93429E+01

0

R E A L E I G E N V E C T O R (MODE NUM. 1)
MAXIMUM NORM = 1.16775E-01

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1011	2.22125E-04	-3.03873E-05	-1.17296E-04	-1.06569E-07		

1 VP735-1 SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 6
GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL (10X10)

R E A L E I G E N V E C T O R (MODE NUM. 1)
MAXIMUM NORM = 1.16775E-01

0 POINT-ID	P	ETA
1001	0.00000E+00	0.00000E+00
1002	-9.23302E-08	-1.59296E-01
1003	-1.82032E-07	-3.12097E-01
1004	-2.67041E-07	-4.57831E-01
1005	-3.45257E-07	-5.91929E-01
1006	-4.14755E-07	-7.11081E-01
1007	-4.73849E-07	-8.12396E-01
1008	-5.21141E-07	-8.93475E-01
1009	-5.55557E-07	-9.52481E-01
1010	-5.76382E-07	-9.88184E-01
1011	-5.83274E-07	-1.00000E+00

0

R E A L E I G E N V E C T O R (MODE NUM. 2)
MAXIMUM NORM = 2.91000E-01

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1011	9.07505E-05	-8.61574E-08	-3.23534E-05	-8.30911E-06		

0

R E A L E I G E N V E C T O R (MODE NUM. 2)
MAXIMUM NORM = 2.91000E-01

0 POINT-ID	P	ETA
1001	0.00000E+00	0.00000E+00
1002	8.93371E-08	4.80752E-01
1003	1.58002E-07	8.14989E-01
1004	1.93994E-07	1.00000E+00
1005	1.91026E-07	9.85220E-01

```
        1006        1.51993E-07    7.83896E-01
        1007        8.72220E-08    4.49843E-01
        1008        1.23943E-06    6.39230E-02
        1009       -5.53827E-08   -2.85530E-01
        1010       -1.01509E-07   -5.23527E-01
        1011       -1.17384E-07   -6.05404E-01
1   VP735-1      SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    7
    GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL(10X10)

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM    3 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  4.98218E-01
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
        1011       -5.86450E-05   4.59842E-06   1.69791E-05   4.80954E-08
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM    3 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  4.98218E-01
0     POINT-ID          P             ETA
        1001        0.00000E+00   0.00000E+00
        1002        8.01134E-06   6.97001E-01
        1003        1.14940E-07   1.00000E+00
        1004        9.30386E-08   8.09453E-01
        1005        3.10615E-09   2.70240E-01
        1006       -3.41745E-08  -2.97325E-01
        1007       -6.74062E-08  -5.86448E-01
        1008       -5.47754E-08  -4.76558E-01
        1009       -1.00803E-08  -8.77001E-02
        1010        3.56344E-08   3.10026E-01
        1011        5.40056E-08   4.69858E-01
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM    4 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  6.60226E-01
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
        1011        5.17361E-05  -3.44837E-06  -1.26014E-05  -4.55218E-08
1   VP735-1      SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    8
    GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL(10X10)

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM    4 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  6.60226E-01
0     POINT-ID          P             ETA
        1001        0.00000E+00   0.00000E+00
        1002        7.73872E-08   9.95803E-01
        1003        7.77134E-08   1.00000E+00
        1004        1.49082E-08   1.91809E-01
        1005       -4.39194E-08  -5.63860E-01
        1006       -4.41826E-08  -5.68533E-01
        1007        2.67840E-09   3.44852E-02
        1008        3.93571E-08   5.06439E-01
        1009        2.74994E-08   3.53856E-01
        1010       -1.37750E-08  -1.77282E-01
        1011       -3.51221E-08  -4.51944E-01
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM    5 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  1.04430E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
        1011        3.84486E-05  -2.30029E-06  -9.35833E-08  -3.58329E-08
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM    5 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  1.04430E+00
0     POINT-ID          P             ETA
        1001        0.00000E+00   0.00000E+00
        1002       -5.55279E-08  -1.00000E+00
        1003       -2.89137E-08  -5.20707E-01
        1004        2.45753E-08   4.42575E-01
        1005        2.59453E-08   4.85447E-01
        1006       -1.37221E-08  -2.47120E-01
        1007       -2.38553E-08  -4.29610E-01
        1008        6.87645E-09   1.23838E-01
        1009        2.20139E-08   3.96448E-01
        1010       -1.74435E-09  -3.14140E-02
        1011       -2.00311E-08  -3.60740E-01
1   VP735-1      SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    9
    GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL(10X10)

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM    6 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  1.45648E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
        1011        3.31049E-05  -1.82802E-06  -8.81405E-08  -3.21055E-08
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM    6 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  1.45648E+00
0     POINT-ID          P             ETA
        1001        0.00000E+00   0.00000E+00
        1002        4.08296E-08   1.00000E+00
        1003        1.21652E-09   2.97949E-02
        1004       -2.40873E-08  -5.89457E-01
        1005        6.87176E-09   1.68303E-01
        1006        1.82556E-08   3.98133E-01
        1007       -1.15513E-08  -2.82015E-01
```

```
                         AXES ..................+Z, +X, +Y     VIEW ANGLE ......     0.00,      0.00,      0.00
                         SCALE FACTOR .......... 1.112E-02    FRAME SIZE ......    210.2 ,    297.3
                         CONTOUR VALUES ........ 1) -4.210E-08     2) -3.360E-08     3) -2.550E-08     4) -1.720E-08
                                                 5) -8.900E-09     6) -6.000E-10     7)  7.700E-09     8)  1.600E-08
                                                 9)  2.430E-08    10)  3.260E-08
0      PLOT  20.   CONTOUR OF PRESSURE MODE
                         AXES ..................+Z, +X, +Y     VIEW ANGLE ......     0.00,      0.00,      0.00
                         SCALE FACTOR .......... 1.112E-02    FRAME SIZE ......    210.2 ,    297.3
                         CONTOUR VALUES ........ 1) -3.170E-08     2) -2.490E-08     3) -1.810E-08     4) -1.130E-08
                                                 5) -4.500E-09     6)  2.300E-09     7)  9.100E-09     8)  1.590E-08
                                                 9)  2.270E-08    10)  2.950E-08
0      PLOT  21.   CONTOUR OF PRESSURE MODE
                         AXES ..................+Z, +X, +Y     VIEW ANGLE ......     0.00,      0.00,      0.00
                         SCALE FACTOR .......... 1.112E-02    FRAME SIZE ......    210.2 ,    297.3
                         CONTOUR VALUES ........ 1) -1.810E-08     2) -1.250E-08     3) -8.900E-09     4) -5.300E-09
                                                 5) -1.700E-09     6)  1.900E-09     7)  5.500E-09     8)  9.100E-09
                                                 9)  1.270E-08    10)  1.630E-08
1   VP735-1       SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION                   FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    16
    GROUND SUPPORTED CYCULER TANK AXI-SYMMETRIC MODEL(10X10)

0                   F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE ......................   DYNAMIC M
0        NUMBER OF TIME STEPS ...............       0          ( FROM     0 TO     0 )
0        NUMBER OF ELEMENTS .................     130
                                                               (     100*LNDAX4  )
                                                               (      10*SNLAX2  )
                                                               (      10*INLAX2  )
                                                               (      10*NCONC2  )
0        NUMBER OF NODES ....................     121
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS .........     170
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS ...      13
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS ...      11.8
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION .........     0.0          ( 11.11 % )
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION ..     0.0          ( 11.11 % )
0        EIGENVALUE EXTRACTION ..............     0.0          ( 11.11 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.)..   0.1          ( 66.67 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME ...............     0.2 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK .......      55 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE ....       0 BLOCKS
                              ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

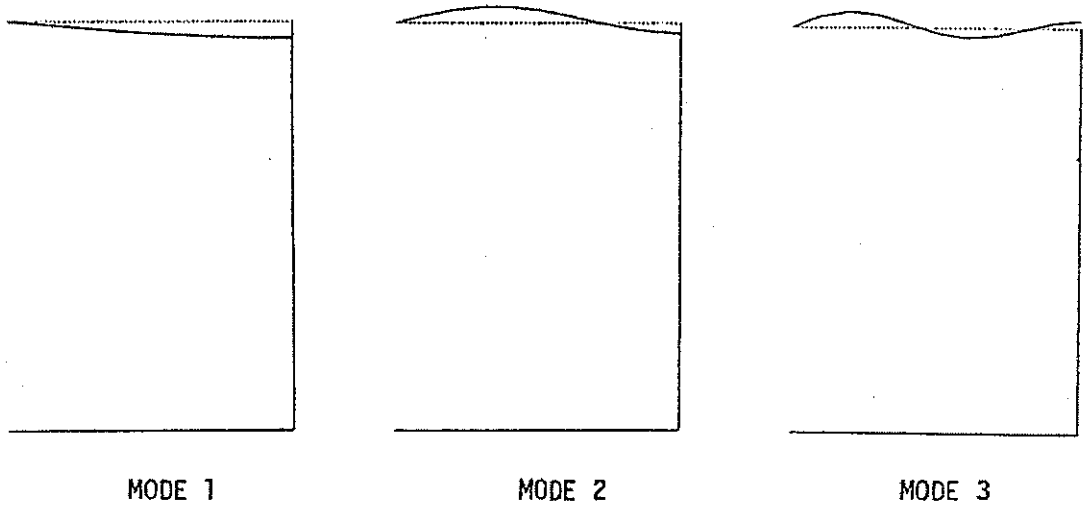
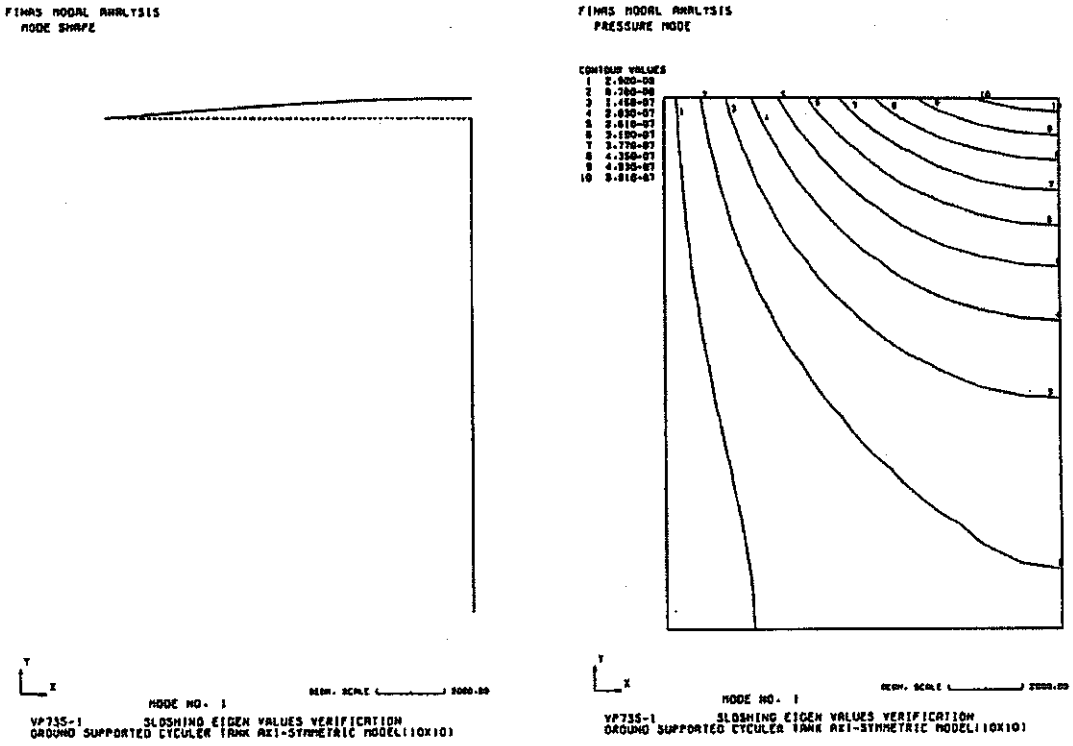
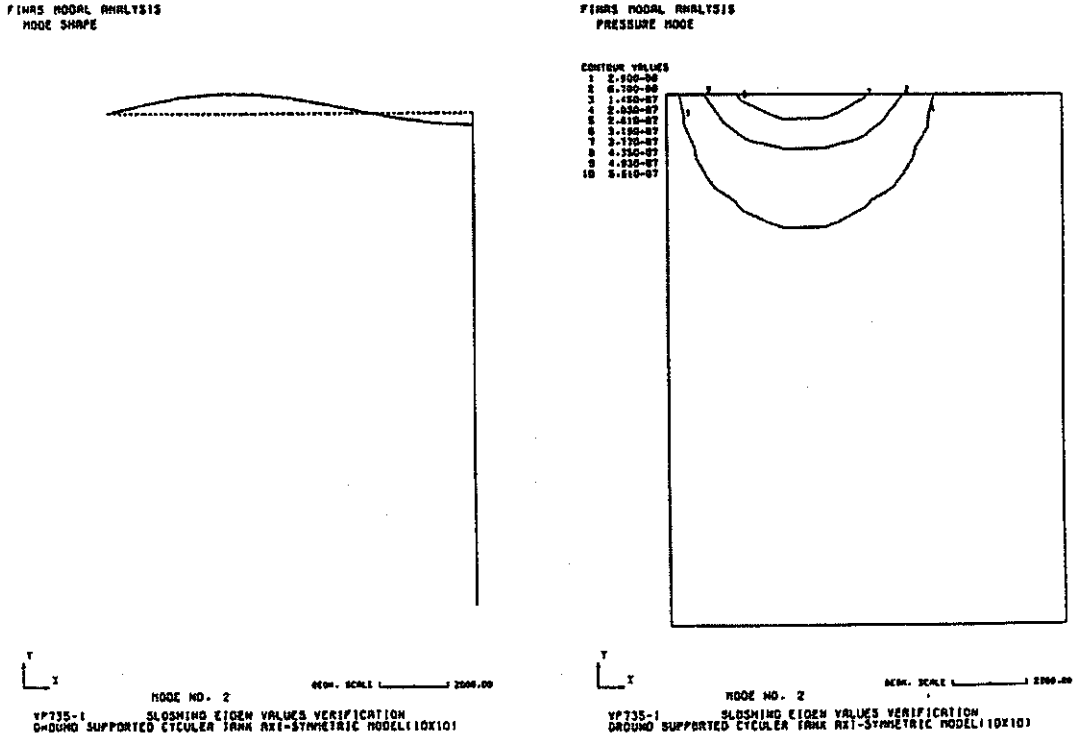


図 3. 3. 1-3　自由表面でのスロッシングモード



2.062663E-01 Hz



3.578011E-01 Hz

図 3.3.1-4　各モードにおける固有モード（変形および圧力分布）

3.3.2 矩形タンクのスロッシング固有値解析

(1) 問題

図 3.3.2-1 に示すような幅 508mm、高さ 508mm、奥行き単位幅の水を満たし矩形タンクの固有値解析を行なう。矩形タンク部の弾性係数は 1.62×10^{4}kg/mm^2、ポアソン比は 0.3、質量密度は 8.26×10^{-10}kg・sec^2/mm^3、板厚は 10mm とする。また、流体部の質量密度は 1.0×10^{-10}kg・sec^2/mm^3 および重力加速度は 9800mm/sec^2 を用いる。

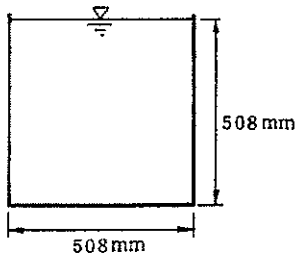


図 3.3.2-1 矩形タンク

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 3.3.2-2 のように有限要素モデルは矩形タンク、流体部を基本的には横方向、縦方向をそれぞれ 20 分割する。流体部は 8 節点六面体流体要素 LHEX8、自由表面は 4 節点四辺形自由表面要素 SQFAC4、矩形タンクのシェル部は 4 節点四辺形平板シェル要素 QFLA4R、流体と構造が接する部分には 4 節点四辺形流体構造境界要素 IQFAC4 を用いる。境界条件はタンク底部を完全拘束およびタンク底部中央点の圧力を拘束する。

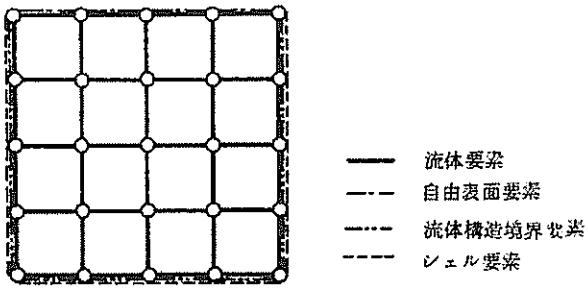


図 3.3.2-2 有限要素モデル

(3) 理論解

速度ポテンシャル理論によるスロッシング固有周期は次のように与えられる。

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{B}Kn\tanh(\frac{KnH}{B})} \qquad (3.3.2\text{-}1)$$

ここで、B、H、g はそれぞれタンクの幅、高さおよび重力加速度を表す。また、n をモード次数とすれば Kn は次のように与えられる。

$$Kn=2n\pi \quad (\text{対称モード}) \qquad (3.3.2\text{-}2)$$

$$Kn=(2n-1)n \quad (\text{逆対称モード}) \qquad (3.3.2\text{-}3)$$

また、Housner 理論によるスロッシング固有周期は次のように与えられる。

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{B}Ks\tanh(\frac{H}{B}Ks)} \qquad (3.3.2\text{-}4)$$

ここで、矩形タンクの場合は Ks は次の値をもつ。

$$Ks = \sqrt{5/2} \qquad (3.3.2\text{-}5)$$

(4) 解析結果

自由表面の逆対称モードでのスロッシング固有周期は表 3.3.2-1 に示される。また、図 3.3.1-3 では自由表面スロッシングモードを示す。

表 3.3.2-1　解析結果

モード	ﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ理論	Housner 理論	FINAS
1	1.237	1.241	1.238
2	2.146		2.166
3	2.771		2.843

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 3.3.2-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1.......0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM 0/0
FINAS
TITLE     VP734-6        SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)
SUBTITLE  TALL TANK TYPE
DIAG      4/1
NOPRINT   DESCR
CONTROL
     EIGENVALUE          8   50                                        2 2 2
DYNAMIC   M
MODEL
NODE
**NLOOP2      210000                        -10.0
**NLOOP1     21  100            25.4
    1                                                          20              21
   21                  508.0
**END1
**END2
ELEMENT TYPE
    1     LHEX8                              0
    2     SQFAC4
    3     IQFAC4
    4     QFLA4R
GEOMETRY
    1    1  10.0
    2    1  9800.0
MATERIAL
    1
          E              1.62E5
          NU             0.3
          RHO          8.26E-10
    2
          E              1.001
          RHO          1.00E-10
CONNECTION
    1    1         2    1    21000110002  101  1021010110102   20    1   20  100
 1001    2    2    2 2001 20021200112002                       20    1
 2001    3              110001  10110101                       20  100
 3001    3              1    21000110002                       20    1
 4001    3             21  1211002110121                       20  100
 5001    4    1    1    110001  10110101                       20  100
 6001    4    1    1    1    21000110002                       20    1
 7001    4    1    1   21  1211002110121                       20  100
BOUNDARY
   10
              1   21              1    6
          1000110021              1    6
            101 2001  100         3    4
          1010112001  100         3    4
            121 2021  100         3    4
          1012112021  100         3    4
           2011                   7    8
          12011                   7    8
RESPONSE
     TIME
          BOUN    10
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
NSET2         1 2001 2021
MODE          1
END OUTPUT
END FINAS
1 ....1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 3.3.2-3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM 0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                  1.....0.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0
                  FINAS
                  TITLE     VP734-6        SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)
                  SUBTITLE  TALL TANK TYPE
                  DIAG      4/1
                  NOPRINT   DESCR
                  CONTROL
                      EIGENVALUE        8   50                                  2 2 2
                  DYNAMIC   M
1   VP734-6       SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)                FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2
    TALL TANK TYPE

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                  1.....0.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0
            0-    MODEL
            1-    MODE
            2-    **NLOOP2      210000                    -10.0
            3-    **NLOOP1     21  100          25.4
            4-       1                                                  20            21
            5-      21                 506.0
            6-    **END1
            7-    **END2
            8-    ELEMENT TYPE
            9-       1     LHEX8                        0
           10-       2     SCFAC4
           11-       3     ICFAC4
           12-       4     QPLA4R
           13-    GEOMETRY
           14-       1     1  10.0
           15-       2     1  9800.0
           16-    MATERIAL
           17-       1
           18-             E            1.62E5
           19-             NU           0.3
           20-             RHO         8.26E-10
           21-       2
           22-             E            1.001
           23-             RHO         1.00E-10
           24-    CONNECTION
           25-       1     1        2    1    21000110002  101  1021010110102   20    1   20  100
           26-    1001     2    2    2 2001 20021200112002                      20    1
           27-    2001     3              110001  10110101                      20  100
           28-    3001     3              1    21000110002                      20    1
           29-    4001     3             21  1211002110121                      20  100
           30-    5001     4    1    1    110001  10110101                      20  100
           31-    6001     4    1    1    1    21000110002                      20    1
           32-    7001     4    1    1   21  1211002110121                      20  100
           33-    BOUNDARY
           34-      10
           35-                 1   21              1    8
           36-             1000110021              1    6
           37-               101 2001  100         3    4
           38-             1010112001  100         3    4
           39-               121 2021  100         3    4
           40-             1012112021  100         3    4
           41-              2011                   7    8
           42-             12011                   7    8
           43-    RESPONSE
           44-        TIME
           45-             BOUN    10
           46-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID     2
        POISSON RATIO IS MISSING
1   VP734-6       SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)                FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3
    TALL TANK TYPE

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                  1.....0.......0.......0.......0.......0.......0.......0.......0
                  OUTPUT
                  PRINT SELECT
                  NSET2         1 2001 2021
                  MODE          1
                  END OUTPUT
                  END FINAS
1   VP734-6       SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)                FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    4
    TALL TANK TYPE

0*** SYSTEM WARNING MESSAGE 1144. LOSS OF SIGNIFICANCE DETECTED DURING THE SUBSPACE ITERATION.
        ITERATION NUMBER =     1. EIGEN NUMBER =    12
0

                  TRACE OF ITERATIONS IN A GENERALIZED EIGENVALUE PROBLEM
0   ITERATION     ERROR          LAMBDA-1       LAMBDA-2       LAMBDA-3       LAMBDA-4       LAMBDA-5       LAMBDA-6
```

```
          1    1.00000E+00   1.7520042E+01  6.0904346E+01  1.5941939E+02  1.9759990E+02  3.1347755E+02  3.5492103E+02
                             5.7925385E+02  7.8584995E+02  2.1173737E+03  3.1920258E+04  7.3749037E+04  1.5955437E+05
                             2.2097823E+05  6.0385578E+05  7.9937704E+05  4.7777340E+06  2.1928175E+07  1.1911835E+08
          2    8.71345E-01   1.7520522E+01  6.0588827E+01  1.5879334E+02  1.8524838E+02  2.9733998E+02  3.1917814E+02
                             4.5117481E+02  4.7019022E+02  6.3200389E+02  6.5809039E+02  8.9823563E+02  9.9221202E+02
                             1.6915691E+03  2.1338156E+03  1.7989758E+04  6.4523024E+04  2.6814105E+05  2.7385464E+05
          3    5.05538E-04   1.7520522E+01  6.0588827E+01  1.5879317E+02  1.8524838E+02  2.9732817E+02  3.1917728E+02
                             4.5107324E+02  4.6995359E+02  6.2958090E+02  6.4727750E+02  8.4842393E+02  8.8354865E+02
                             1.1053703E+03  1.2398710E+03  1.5490279E+03  1.7245989E+03  6.5415922E+03  1.0014506E+04
          4    9.87930E-08   1.7520522E+01  6.0588827E+01  1.5879317E+02  1.8524836E+02  2.9732814E+02  3.1917728E+02
                             4.5107216E+02  4.6994893E+02  6.2988592E+02  6.4940416E+02  8.4814447E+02  8.6222892E+02
                             1.1031871E+03  1.1540353E+03  1.4828347E+03  1.5747225E+03  1.8431470E+03  9.6347079E+03
          5    2.85413E-07   1.7520522E+01  6.0588827E+01  1.5879317E+02  1.8524838E+02  2.9732814E+02  3.1917728E+02
                             4.5107209E+02  4.6994830E+02  6.2987992E+02  6.4934011E+02  8.4414545E+02  8.5819481E+02
                             1.1018204E+03  1.1166281E+03  1.4067544E+03  1.4917418E+03  1.7539649E+03  9.9090420E+03
0
```

REAL EIGENVALUES

MODE	EIGENVALUE	FREQUENCY	PERIOD
1	1.752052E+01	6.661632E-01	1.501089E+00
2	6.058683E+01	1.238823E+00	8.072180E-01
3	1.587932E+02	2.005562E+00	4.986134E-01
4	1.852484E+02	2.166194E+00	4.616392E-01
5	2.973281E+02	2.744348E+00	3.643855E-01
6	3.191773E+02	2.843388E+00	3.518932E-01
7	4.510721E+02	3.380205E+00	2.958400E-01
8	4.699488E+02	3.450209E+00	2.898375E-01

```
0** VERIFICATION OF EIGENVALUES ARE DONE DUE TO THE FLAG OF EIGENVALUE CARD **

    RELATIVE ERROR FOR EACH EIGEN PAIR

   2.0343E-09   2.5293E-09   7.1661E-08   1.2978E-09   3.5587E-08   1.7362E-07   5.8563E-05   1.4440E-05
0THE LONEST    8 EIGENVALUES ARE FOUND
1    VP734-8        SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     5
     TALL TANK TYPE
```

PARTICIPATION FACTOR AND EFFECTIVE MASS

	MODE NUM.		D1	D2	D3	D4	D5	D6	FREE-SURFACE
0	1	PARTICIPATION FACTOR	-1.28531E-09	-1.16410E-23	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.57457E-17	2.79972E-15	1.60632E-02
		EFFECTIVE MASS	1.60100E-18	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	4.32250E-33	7.83284E-30	2.58027E-04
		RATIO	2.33184E-14	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	6.53500E-16	9.57608E-01
0	2	PARTICIPATION FACTOR	8.08427E-03	1.98314E-24	0.00000E+00	0.00000E+00	1.84725E-17	-8.68207E-08	8.44592E-10
		EFFECTIVE MASS	9.53554E-05	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.71344E-34	4.43832E-15	4.15498E-16
		RATIO	9.51806E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.73693E-01	1.60844E-15
0	3	PARTICIPATION FACTOR	1.34263E-09	1.25758E-23	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.10725E-14	-3.00015E-14	7.18523E-04
		EFFECTIVE MASS	1.80265E-18	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.22589E-28	1.29011E-27	5.16275E-07
		RATIO	2.62554E-14	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.09128E-13	1.99607E-03
0	4	PARTICIPATION FACTOR	1.58734E-03	1.82294E-24	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.92280E-16	-5.51240E-08	-5.22837E-10
		EFFECTIVE MASS	2.51884E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.69715E-32	3.03868E-15	2.73359E-18
		RATIO	3.66984E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.55845E-01	1.05688E-15
0	5	PARTICIPATION FACTOR	-1.42718E-09	-1.36663E-23	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.68023E-13	1.60466E-13	2.93739E-04
		EFFECTIVE MASS	2.03684E-18	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	5.89860E-25	2.57558E-28	8.05075E-09
		RATIO	2.96684E-14	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.16856E-12	3.11266E-04
0	6	PARTICIPATION FACTOR	-7.51760E-04	-1.65434E-24	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.65514E-13	4.82775E-08	-4.06839E-10
		EFFECTIVE MASS	5.65144E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.73948E-26	2.33072E-15	2.19810E-19
		RATIO	8.23127E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.86239E-01	8.49852E-16
0	7	PARTICIPATION FACTOR	1.94084E-09	-8.34619E-24	0.00000E+00	0.00000E+00	8.00710E-12	-1.86509E-12	-1.47670E-04
		EFFECTIVE MASS	3.76698E-18	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	8.11276E-23	2.83952E-24	2.18035E-08
		RATIO	5.48528E-14	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.38078E-10	8.43104E-05
0	8	PARTICIPATION FACTOR	4.66854E-04	1.60050E-24	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.54325E-11	-4.54889E-08	-4.36969E-10
		EFFECTIVE MASS	2.17853E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	2.38163E-22	2.06924E-15	1.00842E-19
		RATIO	3.17448E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.74223E-01	7.38237E-16
0									
		TOTAL EFFECTIVE MASS	6.86581E-05	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.19908E-22	1.18769E-14	2.58948E-04

```
1    VP734-8        SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     6
     TALL TANK TYPE
```

REAL EIGENVECTOR

(MODE NUM. 1)
MAXIMUM NORM = 7.05192E+01

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
2001	5.27152E-04	-2.58672E-21	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.77332E-12	-1.39395E-08
2021	-5.27152E-04	-3.50399E-21	0.00000E+00	0.00000E+00	6.76608E-12	1.39395E-08

0

REAL EIGENVECTOR

(MODE NUM. 1)
MAXIMUM NORM = 7.05192E+01

0 POINT-ID	P	ETA
2001	5.59344E-08	1.00000E+00
2002	5.57209E-08	9.98182E-01
2003	5.50755E-08	9.84545E-01
2004	5.39745E-08	9.64880E-01
2005	5.23717E-08	9.36300E-01
2006	5.01868E-08	8.97243E-01
2007	4.72759E-08	8.45203E-01
2008	4.33707E-08	7.75384E-01
2009	3.78146E-08	6.76052E-01
2010	2.95653E-08	5.28571E-01
2011	0.00000E+00	0.00000E+00
2012	2.95653E-08	5.28571E-01

```
        2013        3.78146E-08    6.76052E-01
        2014        4.33707E-08    7.75384E-01
        2015        4.72759E-08    8.45203E-01
        2016        5.01888E-08    8.97243E-01
        2017        5.23717E-08    9.36306E-01
        2018        5.39745E-08    9.64960E-01
        2019        5.50755E-08    9.84645E-01
        2020        5.57209E-08    9.96182E-01
        2021        5.59344E-08    1.00000E+00
1   VP734-6      SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    7
    TALL TANK TYPE

                          R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM   2 )
                                                                          MAXIMUM NORM =  1.56331E+02
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
        2001        3.10084E-04   -1.52436E-21   0.00000E+00   0.00000E+00   -6.74198E-12   -8.48645E-07
        2021        3.10084E-04    2.12877E-21   0.00000E+00   0.00000E+00   -6.73771E-12   -8.48645E-07
0

                          R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM   2 )
                                                                          MAXIMUM NORM =  1.56331E+02
0     POINT-ID          P             ETA
        2001        1.61751E-08    1.00000E+00
        2002        1.59752E-08    9.87642E-01
        2003        1.53821E-08    9.50974E-01
        2004        1.44104E-08    8.90899E-01
        2005        1.30840E-08    8.08897E-01
        2006        1.14356E-08    7.06985E-01
        2007        9.50569E-09    5.87873E-01
        2008        7.34186E-09    4.53898E-01
        2009        4.99732E-09    3.08951E-01
        2010        2.52979E-09    1.56400E-01
        2011        0.00000E+00    0.00000E+00
        2012       -2.52979E-09   -1.56400E-01
        2013       -4.99732E-09   -3.08951E-01
        2014       -7.34185E-09   -4.53897E-01
        2015       -9.50569E-09   -5.87873E-01
        2016       -1.14356E-08   -7.06985E-01
        2017       -1.30840E-08   -8.08896E-01
        2018       -1.44104E-08   -8.90899E-01
        2019       -1.53821E-08   -9.50974E-01
        2020       -1.59752E-08   -9.87642E-01
        2021       -1.61751E-08   -1.00000E+00
1   VP734-6      SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    8
    TALL TANK TYPE

                          R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM   3 )
                                                                          MAXIMUM NORM =  2.72198E+02
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
        2001       -1.40531E-04    7.02517E-22   0.00000E+00   0.00000E+00    6.41148E-12    4.05443E-07
        2021        1.40532E-04    1.01334E-21   0.00000E+00   0.00000E+00   -6.72088E-12   -4.05444E-07
0

                          R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM   3 )
                                                                          MAXIMUM NORM =  2.72198E+02
0     POINT-ID          P             ETA
        2001       -6.17154E-09   -9.99998E-01
        2002       -5.68778E-09   -9.21613E-01
        2003       -4.31678E-09   -6.99465E-01
        2004       -2.28424E-09   -3.70125E-01
        2005        7.40168E-11    1.19930E-02
        2006        2.38514E-09    3.83233E-01
        2007        4.19975E-09    6.80502E-01
        2008        5.24779E-09    8.50319E-01
        2009        5.26377E-09    8.52910E-01
        2010        4.10447E-09    6.65063E-01
        2011        0.00000E+00    0.00000E+00
        2012        4.10447E-09    6.65063E-01
        2013        5.26378E-09    8.52910E-01
        2014        5.24780E-09    8.50320E-01
        2015        4.19976E-09    6.80503E-01
        2016        2.38515E-09    3.83234E-01
        2017        7.40238E-11    1.19945E-02
        2018       -2.28424E-09   -3.70124E-01
        2019       -4.31678E-09   -6.99465E-01
        2020       -5.68778E-09   -9.21614E-01
        2021       -6.17155E-09   -1.00000E+00
1   VP734-6      SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    9
    TALL TANK TYPE

                          R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM   4 )
                                                                          MAXIMUM NORM =  2.77872E+02
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
        2001        1.44327E-04   -7.18250E-22   0.00000E+00   0.00000E+00   -6.67484E-12   -4.10013E-07
        2021        1.44327E-04    1.02502E-21   0.00000E+00   0.00000E+00   -6.66090E-12   -4.10012E-07
0

                          R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM   4 )
                                                                          MAXIMUM NORM =  2.77872E+02
0     POINT-ID          P             ETA
        2001        5.29020E-09    1.00000E+00
        2002        4.71318E-09    8.90927E-01
        2003        3.10870E-09    5.87635E-01
```

```
        2021        -5.81032E-05   -4.31172E-22   0.00000E+00   0.00000E+00   3.33924E-11   1.73759E-07
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM.   7 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  4.80046E+02
0     POINT-ID          P            ETA
        2001        2.16430E-09   9.96369E-01
        2002        1.05919E-09   4.87387E-01
        2003       -1.12031E-09  -5.15496E-01
        2004       -2.13579E-09  -9.83228E-01
        2005       -9.41837E-10  -4.33362E-01
        2006        1.23834E-09   5.69917E-01
        2007        2.17269E-09   1.00000E+00
        2008        9.13163E-10   4.20419E-01
        2009       -1.22148E-09  -5.62340E-01
        2010       -1.98198E-09  -9.12190E-01
        2011        0.00000E+00   0.00000E+00
        2012       -1.98208E-09  -9.12299E-01
        2013       -1.22138E-09  -5.62193E-01
        2014        9.13079E-10   4.20312E-01
        2015        2.17269E-09   9.99975E-01
        2016        1.23347E-09   5.70116E-01
        2017       -9.42025E-10  -4.33685E-01
        2018       -2.13561E-09  -9.82917E-01
        2019       -1.12046E-09  -5.15768E-01
        2020        1.05929E-09   4.87601E-01
        2021        2.16423E-09   9.96101E-01
1   VP734-6       SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)              FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    13
    TALL TANK TYPE

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM.   8 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  4.80499E+02
0     POINT-ID          D1           D2           D3           D4           D5           D6
        2001        6.88701E-05  -3.43226E-22   0.00000E+00   0.00000E+00  -3.75348E-10  -1.99969E-07
        2021        6.88727E-05   4.97251E-22   0.00000E+00   0.00000E+00   1.17958E-10  -1.99962E-07
0

                                  R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM.   8 )
                                                                                  MAXIMUM NORM =  4.80499E+02
0     POINT-ID          P            ETA
        2001        2.08478E-09   9.99488E-01
        2002        8.46240E-10   4.53798E-01
        2003       -1.22579E-09  -5.87822E-01
        2004       -2.05935E-09  -9.87533E-01
        2005       -6.44189E-10  -3.08919E-01
        2006        1.47438E-09   7.07027E-01
        2007        1.98289E-09   9.50873E-01
        2008        3.26068E-10   1.56384E-01
        2009       -1.68684E-09  -8.08910E-01
        2010       -1.85773E-09  -8.90854E-01
        2011        0.00000E+00   0.00000E+00
        2012        1.85772E-09   8.90844E-01
        2013        1.68684E-09   8.08914E-01
        2014       -3.26067E-10  -1.56369E-01
        2015       -1.99287E-09  -9.50863E-01
        2016       -1.47437E-09  -7.07021E-01
        2017        6.44175E-10   3.08907E-01
        2018        2.05934E-09   9.87535E-01
        2019        1.22578E-09   5.87809E-01
        2020       -9.46222E-10  -4.53739E-01
        2021       -2.08480E-09  -9.99829E-01
1   VP734-6       SLOSHING EIGEN VALUES VERIFICATION(20X20)              FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    14
    TALL TANK TYPE

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . DYNAMIC M
0       NUMBER OF TIME STEPS . . . . . . . . . .        0          ( FROM    0 TO    0 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .      540
+                                                                  (     400*LHEX8   )
                                                                  (      20*SQFAC4  )
                                                                  (      60*IQFAC4  )
                                                                  (      60*QFLA4R  )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .      882
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .     1240
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .       48
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .     42.6
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . . .      0.1          ( 10.96 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . . .     0.1          ( 12.33 % )
0       STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . . .      0.1          (  8.85 % )
0       ACTIVE COLUMN OPTIMIZATION . . . . . . .      0.1          (  9.59 % )
0       EIGENVALUE EXTRACTION . . . . . . . . .       0.3          ( 24.66 % )
0       MATRIX REDUCTION FOR F.S.I. . . . . . .       0.4          ( 31.51 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) . .      0.1          (  4.11 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .      1.2 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .      850 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . . .       0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

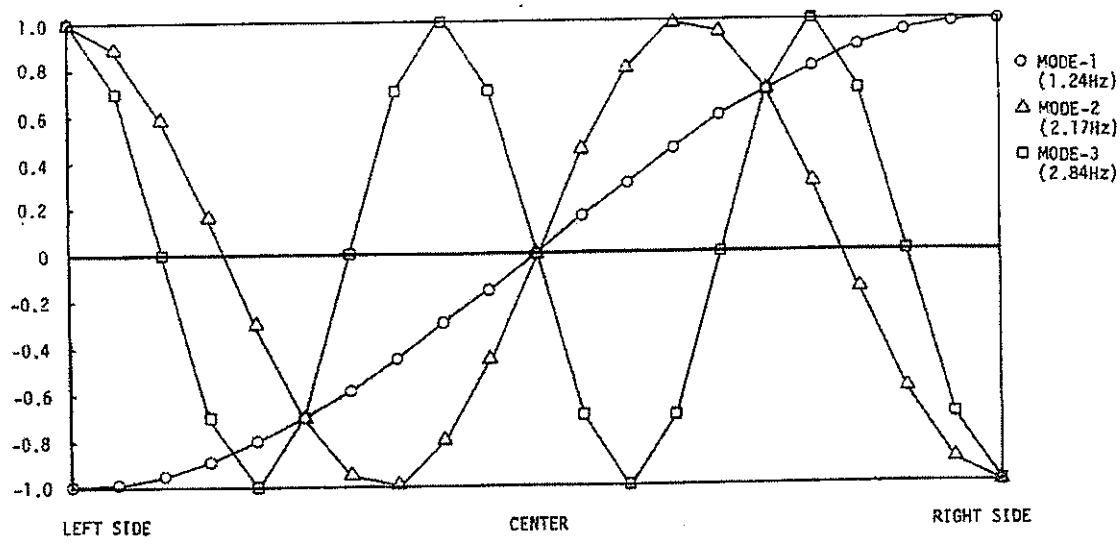


図 3. 3. 2-3　自由表面でのスロッシングモード

3.4 周波数応答解析

3.4.1 減衰のある1自由度系の周波数応答解析

(1) 問題

バネと減衰が考慮された構造を図 3.4.1-1 に示すような有限要素モデルで取り扱いその要素の一端に周期荷重が作用する場合の周波数応答解析を行なう。要素の長さは単位長さとして構造特性のバネ定数は 200lb/in、質量は 0.5lb/sec²/in、減衰定数 10lb/sec²/in を用いる。

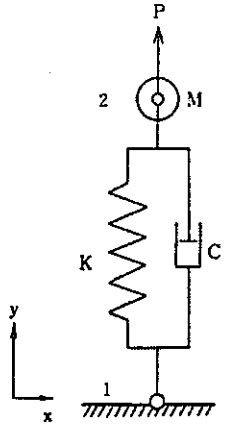


図 3.4.1-1 有限要素モデル

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 3.4.1-1 のように有限要素モデルは 3 次元バネ減衰要素を用いる。境界条件として節点 1 を完全拘束、節点 2 は y 方向自由度以外をすべて拘束する。負荷条件は節点 2 の y 方向に $P \cdot e^{i\omega t}$ を与える。ここで、P は集中荷重、ω は円振動数、f は周期を表し次の値とする。

$$P=200\ (\mathrm{lb}),\quad \omega=2\pi f\ (\mathrm{rad/sec}),\quad f=3\ (\mathrm{Hz}) \qquad (3.4.1\text{-}1)$$

(3) 理論解

減衰のある 1 自由度系の運動方程式は次式で与えられる。

$$m\ddot{u}+c\dot{u}+ku=p \qquad (3.4.1\text{-}2)$$

ここで、m、c、kはそれぞれ質量、減衰、剛性を表す。また、$m\ddot{u}+c\dot{u}+ku=p$はそれぞれ変位、速度、加速度を表す。

周期的荷重は次式で与えられるとする。

$$P = Pe^{i(wt+\varphi)} \tag{3.4.1-3}$$

式(3.4.1-3)が式(3.4.1-2)作用する場合の変位は次式で与えられる。

$$u = \tilde{u}e^{i(wt+\varphi)} \tag{3.4.1-4}$$

この場合、速度、加速度はそれぞれ次式らで示される。

$$\dot{u} = i\omega\ \tilde{u}e\ \cdot e \tag{3.4.1-5}$$

$$\ddot{u} = -\omega\ \tilde{u}e\ \cdot e \tag{3.4.1-6}$$

式(3.4.1-3)から式(3.4.1-6)を式(3.4.1-2)に代入し、共通項$e^{i\omega t}$を省略すると次のようになる。

$$(-\omega^2 m + i\omega\ c + k)\tilde{u} = P \tag{3.4.1-7}$$

これを$\tilde{u}$について複素数演算で解けばよい。

(4) 解析結果

節点2における周波数応答変位と位相角を表3.4.1-1に示す。

表3.4.1-1　応答変位と位相角

	変位(in)	位相角(deg)
FINASの解	1.05365E+00	-83.2388
理論解	1.05365	-83.2388

(5)　入力データと解析結果のリスト

表 3.4.1-2　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM   0/0
FINAS
TITLE     VP745   -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM
SUBTITLE     DAMPING FACTOR:  C = 10
DYNAMIC   FR
DIAG      51/1
FIN
MODEL
NODE
    1
    2
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2
ELEMENT TYPE
    1     LCOMB2
GEOMETRY
    1    7 200.      10.       0.        0.        0.        1.        0.
MATERIAL
    1
          E         0.0
          NU        0.0
ADD MASS
              2                   2     0.5
BOUNDARY
    1
              1                   1    6
              2                   1
              2                   3    6
FORCE
    1
              2                   2    2      1.0
FREQUENCY
        13    0
                1.00      1.25      1.50      1.57      2.00      2.25      2.50
                2.75      3.00      3.25      3.50      3.75      4.00
AMPLITUDE
    1
         2    0
                1.00     200.0       0.0      4.00     200.0       0.0
RESPONSE
          FORC     1       1.0    1
          BOUN     1
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
DISP      ALL
ELFO      ALL
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 3.4.1-3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM  0/0
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1.......0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                FINAS
                TITLE     VP745   -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM
                SUBTITLE     DAMPING FACTOR:  C = 10
                DYNAMIC   FR
                DIAG      51/1
                FIN
1   VP745   -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                 FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2
      DAMPING FACTOR:  C = 10

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1.......0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
            0-  MODEL
            1-  NODE
            2-      1
            3-      2
            4-  CONNECTION
            5-      1    1    1    1    1    2
            6-  ELEMENT TYPE
            7-      1     LCOMB2
            8-  GEOMETRY
            9-      1    7 200.      10        0.        0.        0.        1.        0.
           10-  MATERIAL
           11-      1
           12-            E         0.0
           13-            NU        0.0
           14-  ADD MASS
           15-                2                   2     0.5
           16-  BOUNDARY
           17-      1
           18-                1                   1    6
           19-                2                   1
           20-                2                   3    6
           21-  FORCE
           22-      1
           23-                2                   2    2     1.0
           24-  FREQUENCY
           25-           13    0
           26-                  1.00      1.25      1.50      1.57      2.00      2.25      2.50
           27-                  2.75      3.00      3.25      3.50      3.75      4.00
           28-  AMPLITUDE
           29-      1
           30-            2    0
           31-                  1.00     200.0       0.0      4.00     200.0       0.0
           32-  RESPONSE
           33-            FORC     1       1.0     1
           34-            BOUN     1
           35-  END MODEL
C*** USER WARNING MESSAGE  4807.   MATERIAL ID     1
        DENSITY IS MISSING
C*** USER WARNING MESSAGE  2333.  CARD NUMBER      5.  DATA GROUP NAME- CONNECTION
        MATERIAL ID NOT REQUIRED
1   VP745   -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                 FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3
      DAMPING FACTOR:  C = 10

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1.......0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                OUTPUT
                PRINT SELECT
                DISP      ALL
                ELFC      ALL
                END OUTPUT
                END FINAS
1   VP745   -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                 FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    4
      DAMPING FACTOR:  C = 10

                                D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM.     1 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE(DEGREE))                          FREQUENCY   1.0000E+00
0     POINT-ID          D1          D2          D3          D4          D5          D6

            1        0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                     0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
            2        0.00000E+00  1.04788E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                     0.00000E+00 -1.92186E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0

                                D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM.     2 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE(DEGREE))                          FREQUENCY   1.2500E+00
0     POINT-ID          D1          D2          D3          D4          D5          D6

            1        0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                     0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
            2        0.00000E+00  1.07238E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
```

```
                    0.00000E+00   -2.48054E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM     3 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                        FREQUENCY   1.5000E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   1.09947E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   -3.12057E+01  0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1     VP745  -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE     5
      DAMPING FACTOR:  C = 10

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM     4 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                        FREQUENCY   1.5700E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   1.10708E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   -3.30982E+01  0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM     5 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                        FREQUENCY   2.0000E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   1.14627E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   -4.60730E+01  0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM     6 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                        FREQUENCY   2.2500E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   1.15470E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   -5.47071E+01  0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1     VP745  -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE     6
      DAMPING FACTOR:  C = 10

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM     7 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                        FREQUENCY   2.5000E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   1.14433E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   -5.39950E+01  0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM     8 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                        FREQUENCY   2.7500E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   1.11083E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   -7.38403E+01  0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM     9 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                        FREQUENCY   3.0000E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   1.05365E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   -8.32388E+01  0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1     VP745  -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE     7
      DAMPING FACTOR:  C = 10

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM    10 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                        FREQUENCY   3.2500E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   9.78569E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   -9.23823E+01  0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM    11 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                        FREQUENCY   3.5000E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   8.93456E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
```

```
                    0.00000E+00   -1.00764E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM.    12 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  3.7500E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   8.08245E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00  -1.08225E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   VP745   -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    8
    DAMPING FACTOR:  C = 10

                                  D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                    ( FREQ NUM.    13 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  4.0000E+00
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          1         0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          2         0.00000E+00   7.22717E-01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                    0.00000E+00  -1.14743E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  E L E M E N T   F O R C E                                ( FREQ NUM.     1 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  1.0000E+00
0     ELM. ID           F1            F2            F3            F4            F5            F6
0         1   BEGIN   2.09537E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -1.92168E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                END   2.09537E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -1.92168E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  E L E M E N T   F O R C E                                ( FREQ NUM.     2 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  1.2500E+00
0     ELM. ID           F1            F2            F3            F4            F5            F6
0         1   BEGIN   2.14478E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -2.49054E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                END   2.14478E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -2.49054E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   VP745   -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    9
    DAMPING FACTOR:  C = 10

                                  E L E M E N T   F O R C E                                ( FREQ NUM.     3 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  1.5000E+00
0     ELM. ID           F1            F2            F3            F4            F5            F6
0         1   BEGIN   2.19893E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -3.12057E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                END   2.19893E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -3.12057E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  E L E M E N T   F O R C E                                ( FREQ NUM.     4 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  1.5700E+00
0     ELM. ID           F1            F2            F3            F4            F5            F6
0         1   BEGIN   2.21416E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -3.30962E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                END   2.21416E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -3.30962E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  E L E M E N T   F O R C E                                ( FREQ NUM.     5 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  2.0000E+00
0     ELM. ID           F1            F2            F3            F4            F5            F6
0         1   BEGIN   2.29254E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -4.60730E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                END   2.29254E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -4.60730E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   VP745   -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98    PAGE   10
    DAMPING FACTOR:  C = 10

                                  E L E M E N T   F O R C E                                ( FREQ NUM.     6 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  2.2500E+00
0     ELM. ID           F1            F2            F3            F4            F5            F6
0         1   BEGIN   2.30940E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -5.47071E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                END   2.30940E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -5.47071E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  E L E M E N T   F O R C E                                ( FREQ NUM.     7 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  2.5000E+00
0     ELM. ID           F1            F2            F3            F4            F5            F6
0         1   BEGIN   2.28868E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -6.39950E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                END   2.28868E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
                     -6.39950E+01   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                  E L E M E N T   F O R C E                                ( FREQ NUM.     8 )
                                     (AMPLITUDE/PHASE (DEGREE))                          FREQUENCY  2.7500E+00
0     ELM. ID           F1            F2            F3            F4            F5            F6
0         1   BEGIN   2.22125E+02   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
```

```
                    -7.38403E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
              END    2.22125E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                    -7.38403E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
1   VP745  -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    11
    DAMPING FACTOR:  C = 10

                                   E L E M E N T   F O R C E                                  ( FREQ NUM.     9 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE(DEGREE))                              FREQUENCY   3.0000E+00
0     ELM. ID              F1          F2          F3          F4          F5          F6
0        1    BEGIN    2.10731E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -8.32338E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
              END    2.10731E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -8.32338E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0

                                   E L E M E N T   F O R C E                                  ( FREQ NUM.    10 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE(DEGREE))                              FREQUENCY   3.2500E+00
0     ELM. ID              F1          F2          F3          F4          F5          F6
0        1    BEGIN    1.85714E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -9.23823E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
              END    1.85714E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -9.23823E+01  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0

                                   E L E M E N T   F O R C E                                  ( FREQ NUM.    11 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE(DEGREE))                              FREQUENCY   3.5000E+00
0     ELM. ID              F1          F2          F3          F4          F5          F6
0        1    BEGIN    1.78691E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -1.00784E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
              END    1.78691E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -1.00784E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
1   VP745  -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    12
    DAMPING FACTOR:  C = 10

                                   E L E M E N T   F O R C E                                  ( FREQ NUM.    12 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE(DEGREE))                              FREQUENCY   3.7500E+00
0     ELM. ID              F1          F2          F3          F4          F5          F6
0        1    BEGIN    1.61249E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -1.08225E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
              END    1.61249E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -1.08225E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
0

                                   E L E M E N T   F O R C E                                  ( FREQ NUM.    13 )
                                      (AMPLITUDE/PHASE(DEGREE))                              FREQUENCY   4.0000E+00
0     ELM. ID              F1          F2          F3          F4          F5          F6
0        1    BEGIN    1.44543E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -1.14743E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
              END    1.44543E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
                      -1.14743E+02  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00  0.00000E+00
1   VP745  -  HARMONIC RESPONSE OF A DYNAMIC SYSTEM                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    13
    DAMPING FACTOR:  C = 10

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . .   DYNAMIC FR
0       NUMBER OF FREQUENCIES . . . . . .      13          ( FROM    1 TO    13 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . .      1
0                                                          (       14LCOMB2  )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . .       2
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . .      1
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . .    1
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . .    1.0
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . .    0.0         ( 25.00 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . . 0.0         ( 25.00 % )
0       STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . .    0.0         ( 25.00 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) .  0.0         ( 25.00 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . .    0.1 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . .    5 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . .   0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

4. 温 度 解 析

4.1 定常温度解析

4.1.1 円筒の定常温度解析

(1) 問題

内半径 100 mm、肉厚 10 mmの円筒の内部をナトリウムが流れ、ヒーターによる熱流束が外壁に与えられる場合についての定常温度解析を行なう。ナトリウムの温度は450℃であり、熱流束は 1.0×1.0^{-7}kcal/mm^2・sec である。また、円筒の熱伝導係数は 4.7×10^{-6}kcal/mm・sec・℃、ナトリウムと円筒内壁との境界における熱伝達係数は 4.3×10^{-6}kcal/mm^2・sec・℃とする。

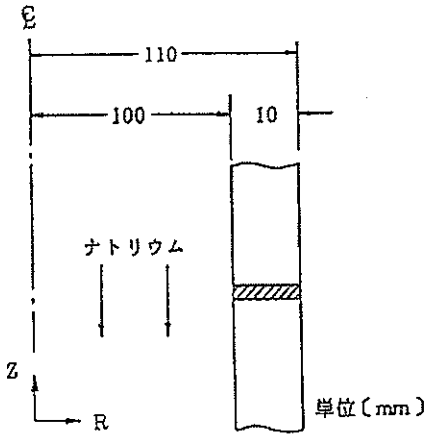


図 4.1.1-1 円　　筒

(2) 有限要素モデルと解析条件

熱伝導 4 節点四辺形軸対称要素 HQAX4 と熱伝達 2 節点軸対称要素 FLAX2 を用いて図 4.1.1-2 に示す有限要素モデルを作成する。境界条件は図 4.1.1-3 に従い、熱伝達条件を要素 11 に、熱流束を要素 5 の節点 6 と 16 から成る辺にそれぞれ与える。

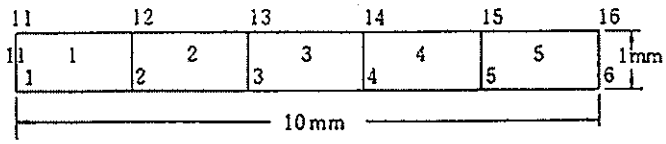


図 4.1.1-2　有限要素モデル

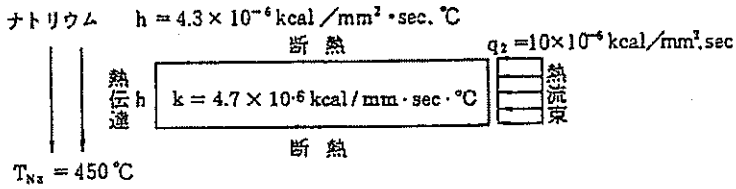


図 4.1.1-3　境 界 条 件

(3) 理解論

内半径をａ、外半径をｂとすると、断面内の温度分布と熱流束はそれぞれ次式で表わすことができる。[9)]

$$T = bq_2\left\{\frac{1}{ha} + \frac{1}{k}\ln\left(\frac{r}{a}\right)\right\} + T_{Na} \qquad (4.1.1\text{-}1)$$

$$q_r = -q_2\frac{b}{r} \qquad (4.1.1\text{-}2)$$

表 4.1.1-1　節 点 温 度

節点番号	温　度 [℃]	
	FAINAS の解	理論解
1、11	4.52558E+02	452.558
2、12	4.57192E+02	457.193
3、13	4.61737E+02	461.737
4、14	4.66195E+02	466.196
5、15	4.70570E+02	470.570
6、16	4.74864E+02	474.865

表 4.1.1-2　要素中心における熱流束

要素番号	熱流束 q_r[kcal/mm^2・sec]	
	FAINAS の解	理論解
1	-1.08911E-05	-1.08911×10^{-5}
2	-1.06796E-05	-1.06796×10^{-5}
3	-1.04762E-05	-1.04762×10^{-5}
4	-1.02804E-05	-1.02804×10^{-5}
5	-1.00917E-05	-1.00917×10^{-5}

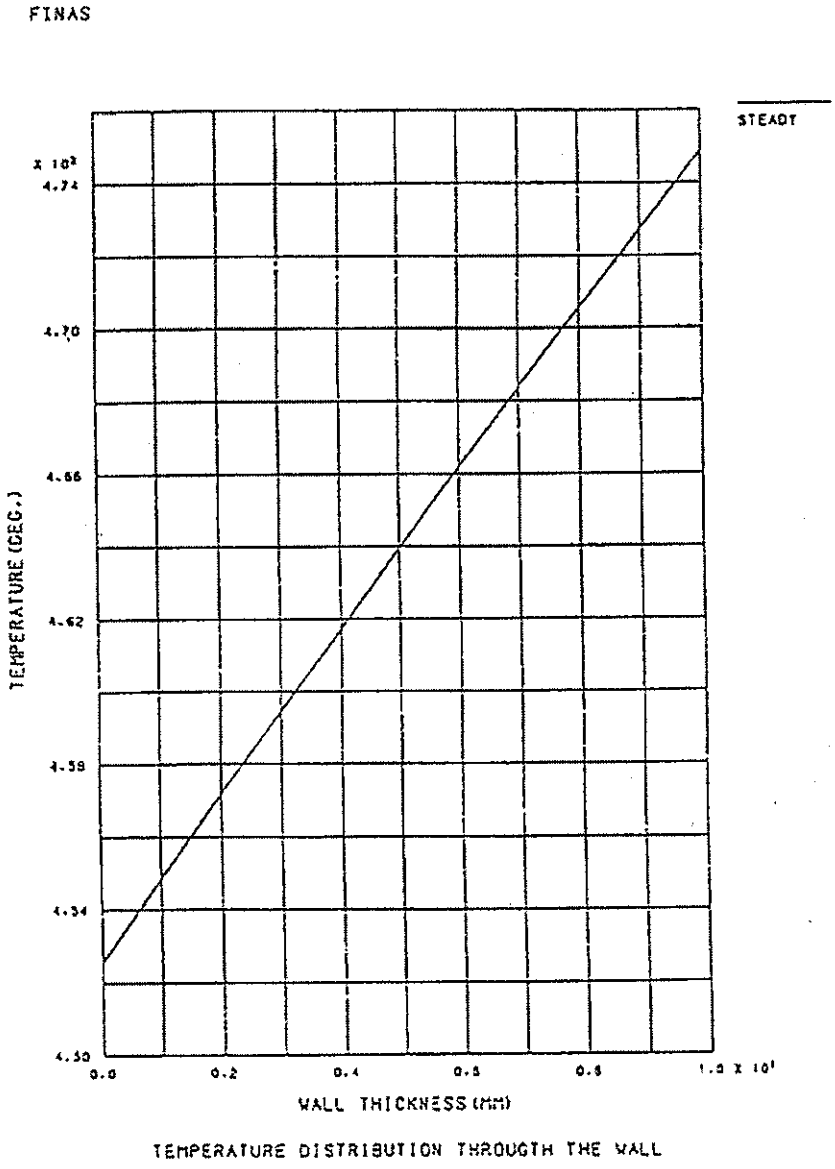


図 4.1.1-4　肉厚方向温度分布

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 4.1.1-3 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE
HEAT
MODEL
NODE
    1                   100.0       0.0                         5              6
    6                   110.0       0.0
   11                   100.0       1.0                         5             16
   16                   110.0       1.0
ELEMENT TYPE
    1     HQAX4
    2     FLAX2
CONNECTION
    1    1         1    1    2   11   12                         5
   11    2         1    1   11
MATERIAL
    1
          K             4.70E-6
FILM COEFFICIENT
    1         4.3E-6
CONVECTION
    1
             11                       1.0       1.0
HEAT INPUT
    1
         1    5              3              10.0E-6   10.0E-6
HISTORY
INTERVAL
          CONV      1     450.0
          HEAT      1       1.0
END MODEL
OUTPUT
STRUCTURE PLOT
PTITLE    FEM MODEL
IPLOT               BOTH
$
XYPLOY
PTITLE    TEMPERATURE DISTRIBUTION THROUGTH THE WALL
XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
YTITLE    TEMPERATURE(DEG.)
NLIST2        1    1    6
CURVE         1         0     STEADY
PLOT2     TEMP NLIST    1    1
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 4.1.1-4　解析結果のリスト

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                1 .....0.  . . ....0.........0.... . 0.....  . .  .0. . ....0 ..... ..0.... . .0
                FINAS
                TITLE     STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE
                HEAT
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE                   FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    2

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                1 ..... 0.  : . 0    . .0 ..    0      ..0. .. : . . 0. ..... 0. . . . . .0
           0-   MODEL
           1-   NODE
           2-      1                   100.0      0.0                     5            6
           3-      6                   110.0      0.0
           4-     11                   100.0      1.0                     5           16
           5-     16                   110.0      1.0
           6-   ELEMENT TYPE
           7-      1     HOAX4
           8-      2     FLAX2
           9-   CONNECTION
          10-.     1     1        1    1    2   11   12                   5
          11-    11     2        1    1   11
          12-   MATERIAL
          13-      1
          14-            K           4.70E-6
          15-   FILM COEFFICIENT
          16-      1          4.3E-6
          17-   CONVECTION
          18-      1
          19-            11                      1.0       1.0
          20-   HEAT INPUT
          21-      1
          22-      1     5            3            10.0E-6   10.0E-6
          23-   HISTORY
          24-   INTERVAL
          25-            CONV     1     450.0
          26-            HEAT     1       1.0
          27-   END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4601.   MATERIAL ID     1
        SPECIFIC HEAT DATA IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4902.   MATERIAL ID     1
        DENSITY IS MISSING
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE                   FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    3

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                1 . : . .0.  . . . . .0.  . . . . .0 . . . .0.  . . . . .0.  . . . . .0. . . . . .0
                OUTPUT
                STRUCTURE PLOT
                PTITLE    FEM MODEL
                :PLOT              BOTH
                $
                XYPLOY
                PTITLE    TEMPERATURE DISTRIBUTION THROUGTH THE WALL
                XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
                YTITLE    TEMPERATURE(DEG.C)
                NLISI2       1    1    8
                CURVE        1         0     STEADY
                PLOT2     TEMP NLIST    1    1
                END OUTPUT
                END FINAS
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE                   FINAS   VERSION 13.0   02/25/98      PAGE    4

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

     ----------------
     NODAL COORDINATE
     ----------------

        NUMBER OF NODAL POINTS .....     12

        NODE            X1            X2

          1         100.000      0.000000E+00
          2         102.000      0.000000E+00
          3         104.000      0.000000E+00
          4         106.000      0.000000E+00
          5         108.000      0.000000E+00
          6         110.000      0.000000E+00
          *
         11         100.000       1.00000
         12         102.000       1.00000
         13         104.000       1.00000
         14         106.000       1.00000
         15         108.000       1.00000
         16         110.000       1.00000
```

```
MAXIMUM      NODE-    6    NODE-   11    NODE-
  VALUE        110.000       1.00000

MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-
  VALUE        100.000       0.000000E+00

-------------
ELEMENT TYPE
-------------

  TYPE        NAME                    SRC- 1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
    1        HQAX4                         0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
    2        FLAX2                         0     0     0     0     0     0     0     0     0     0

--------------------
ELEMENT CONNECTION
--------------------

NUMBER OF ELEMENTS ..      6

ELEMENT          TYPE   GEOM    MAT              NODES

    1              1             1             1     2    11    12
    2              1             1             2     3    12    13
    3              1             1             3     4    13    14
    4              1             1             4     5    14    15
    5              1             1             5     6    15    16
    *
   11              2             1             1    11

1   STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    5

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

--------------------
MATERIAL PROPERTY
--------------------

IDENTIFICATION NUMBER ===      1

   ANISOTROPY OF CONDUCTIVITY  ......  ISOTROPIC

                  VALUE
   K           0.470000E-05

-----------------
FILM COEFFICIENT
-----------------

IDENTIFICATION NUMBER ===      1

                  VALUE
   H           0.430000E-05

-----------
HEAT INPUT
-----------

IDENTIFICATION NUMBER ===      1

      ELEMENT   TYPE  PARAM       P1            P2            P3            P4            P5            P6            P7

          5       1      3  0.100000E-04  0.100000E-04  0.000000E+00  0.000000E+00

------------
CONVECTION
------------

IDENTIFICATION NUMBER ===      1

      ELEMENT   TYPE  PARAM       P1            P2            P3            P4

         11                  1.00000       1.00000       0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00

-------------
LOAD HISTORY
-------------

    NUM                      IDENT  * FACTOR                          INCREMENT          TOTAL

     1       HEAT INPUT        1    1.0000        REAL     TIME       0.0000E+00    0.0000E+00
             CONVECTION        1    450.00
1   STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98     PAGE    6


   P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT   1.   UNDEFORMED SHAPE
                  AXES . . . . ............ +Z, +X, +Y      VIEW ANGLE .......      0.00,      0.00,      0.00
```

```
                    SCALE FACTOR ........ ... 1.186E+01      FRAME SIZE ...... .    210.2 .    297.3
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE                                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     7

                                  N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                          ( STEP NUM.    1 )
0      POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

             1     4.52558E+02
             2     4.57193E+02
             3     4.61737E+02
             4     4.68195E+02
             5     4.70570E+02
             8     4.74864E+02
            11     4.52558E+02
            12     4.57193E+02
            13     4.61737E+02
            14     4.68195E+02
            15     4.70570E+02
            16     4.74864E+02
0

                                          H E A T   F L U X                                                  ( STEP NUM.    1 )
0 ELM. ID-POINT              F1            F2            F3
0      1 -  5   HT. FLUX   -1.08911E-05   0.00000E+00
0      2 -  5   HT. FLUX   -1.08786E-05   4.00746E-19
0      3 -  5   HT. FLUX   -1.04762E-05   1.33582E-19
0      4 -  5   HT. FLUX   -1.02804E-05   0.00000E+00
0      5 -  5   HT. FLUX   -1.00917E-05  -2.67164E-19
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE                                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     8

                                          H E A T   F L O W                                                  ( STEP NUM.    1 )
0 ELM. ID                    Q
0     11         HT. FLOW   -6.91150E-03
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE                                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     9


       X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0       PLOT   2.   TYPE 2    COMMAND NUMBER    1.      TEMPERATURE DISTRIBUTION THROUGTH THE WALL
0                   CURVE  1.  TEMP     ALONG NLIST          1
                              YMIN(ALL DATA)= 4.52558E+02  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 4.74864E+02  AT X= 1.00000E+01
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A PIPE                                FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    10


0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . . HEAT
0         NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . . .          1          ( FROM     1 TO     1 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .              5
+                                                                        (       5*HOAX4    )
                                                                        (       1*FLAX2    )
0         NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .            12
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .             12
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .            4
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . .            3.2
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         COMPUTATION OF HEAT FLOW AND FLUX . . .        0.0          ( 33.33 % )
0         ACTIVE COLUMN OPTIMIZATION . . . . . . .       0.0          ( 33.33 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) .         0.0          ( 33.33 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .       0.1 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .          6 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . . .         0 BLOCKS
                                  ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

4.1.2 無限板の定常温度解析

(1) 問題

板厚 100 mmの無限板の両面にそれぞれ 300℃と 30℃の規定温度を与える場合について定常温度解析を行なう。ここで熱伝導係数は温度依存とし、式（4.1.2-1）で与えられるものとする。

$$k = k_0 (1 + a T)$$
$$k_0 = 4.0 \times 10^{-5}\ \mathrm{kcal/mm \cdot hr \cdot ℃} \qquad (4.1.2\text{-}1)$$
$$a = 0.0022 ℃^{-1}$$

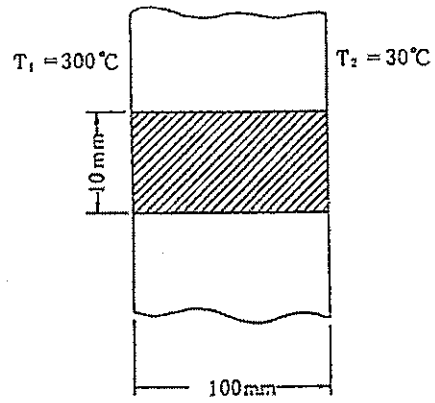


図 4.1.2-1　無限板の断面

(2) 有限要素モデルと解析条件

熱伝導 8 節点四辺形平面要素 HQMEM8 を用いて図 4.1.2-2 に示す有限要素モデルを作成する。境界条件は図 4.1.2-3 に従い、節点 1、11、21 に 300℃、節点 5、15、25 に 30℃の規定温度を与える。また、材料の温度依存性を考慮して予測子－修正子法による繰返しを 2 回行なう。

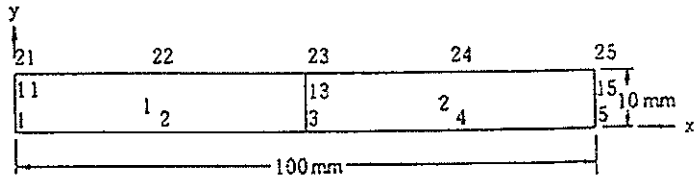


図 4.1.2-2　有限要素モデル

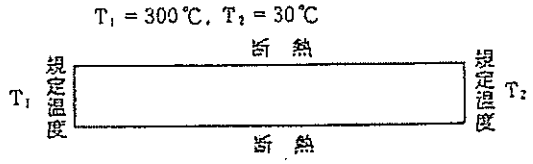


図 4.1.2-3 境 界 条 件

(3) 理解論

無限板の両表面の位置をそれぞれX＝0、X＝1とし、その規定温度とT_1、T_2とすると、断面内の温度は式（4.1.2-1）のaを用いて次式で表わすことができる。[9]

$$\frac{x}{l}=\frac{2(T_1-T)+a(T_1^2-T^2)}{2(T_1-T_2)+a(T_1^2-T_2^2)} \qquad (4.1.2\text{-}2)$$

(4) 解析結果

各節点の温度を表4.1.2-1に、断面内温度分布を図4.1.2-4に示す。

表 4.1.2-1 節 点 温 度

節点番号	FAINASの解	理論解
1、11、21	3.00000E+02	300.0
2、22	2.42395E+02	242.376
3、13、23	1.79591E+02	179.538
4、24	1.09787E+02	109.744
5、15、25	3.00000E+01	30.0

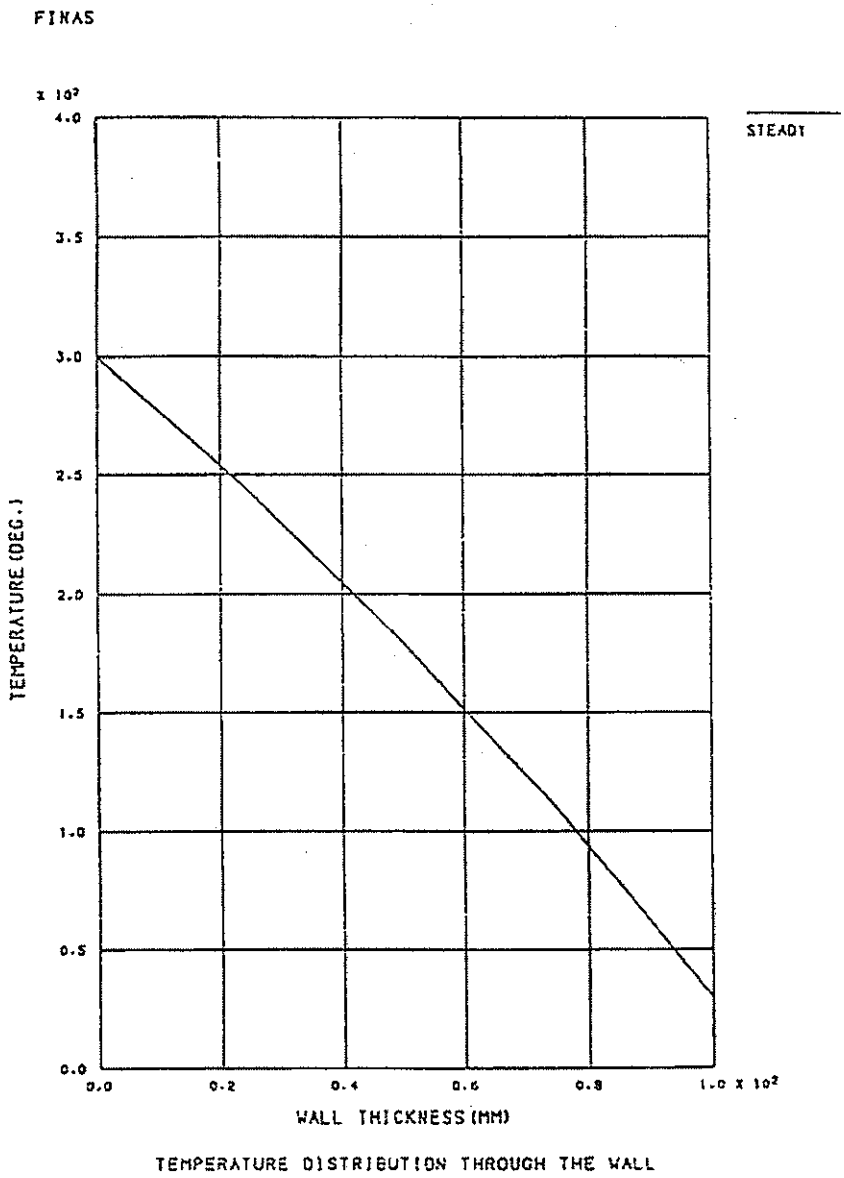


図 4.1.2-4　断面内温度分布

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 4.1.2-2　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL(TEMP. DEPEND. MATERIAL)
HEAT
CONTROL
     HEAT SOLVE              2
MODEL
NODE
**NLOOP1      2   20       0.0      10.0
    1                      0.0       0.0                        4              5
    5                    100.0       0.0
**END1
   11                      0.0       5.0                        2         2   15
   15                    100.0       5.0
ELEMENT TYPE
   10     HQMEM8
CONNECTION
    1   10   20   30    1    2    3   11   13   21   22   23    2    2
GEOMETRY
   20    1       1.0
MATERIAL
   30
          K         F2        1
              4.0E-5    8.8E-8
SPECIFIED TEMPERATURE
   40
              1   21   10     300.0
              5   25   10     30.0
HISTORY
INTERVAL
          SPEC    40
END MODEL
OUTPUT
STRUCTURE PLOT
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
IPLOT               BOTH
$
XYPLOY
PTITLE    TEMPERATURE DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
YTITLE    TEMPERATURE(DEG.)
NLIST2        1    1    5
XDIVISION     5    0
YDIVISION     8    0
YRANGE           0.0     400.0
CURVE         1         0     STEADY
PLOT2     TEMP NLIST    1    1
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 4.1.2-3　解析結果のリスト

```
1                                                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    1

                                  A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                          1         2         3         4         5         6         7         8
                  1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                  FINAS
                  TITLE     STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL(TEMP. DEPEND. MATERIAL)
                  HEAT
                  CONTROL
                       HEAT SOLVE              2
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL(TEMP. DEPEND. MATERIAL)      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    2

                                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                          1         2         3         4         5         6         7         8
                  1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
            0-    MODEL
            1-    NODE
            2-    **NLOOP1      2   20       0.0      10.0
            3-       1                      0.0       0.0                    4              5
            4-       5                    100.0       0.0
            5-    **END1
            6-      11                      0.0       5.0                    2         2   15
            7-      15                    100.0       5.0
            8-    ELEMENT TYPE
            9-      10     HOMEM8
           10-    CONNECTION
           11-       1   10   20   30    1    2    3   11   13   21   22   23    2    2
           12-    GEOMETRY
           13-      20    1        1.0
           14-    MATERIAL
           15-      30
           16-              K          F2        1
           17-                  4.0E-5    8.9E-8
           18-    SPECIFIED TEMPERATURE
           19-      40
           20-                  1   21   10     300.0
           21-                  5   25   10     30.0
           22-    HISTORY
           23-    INTERVAL
           24-              SPEC    40
           25-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4901,   MATERIAL ID    30
        SPECIFIC HEAT DATA IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4902,   MATERIAL ID    30
        DENSITY IS MISSING
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL(TEMP. DEPEND. MATERIAL)      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    3

                                  O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                          1         2         3         4         5         6         7         8
                  1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                  OUTPUT
                  STRUCTURE PLOT
                  PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
                  IPLOT              BOTH
                  $
                  XYPLOY
                  PTITLE    TEMPERATURE DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
                  XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
                  YTITLE    TEMPERATURE(DEG.)
                  NLIST2        1    1    5
                  XDIVISION     5    0
                  YDIVISION     8    0
                  YRANGE          0.0      400.0
                  CURVE         1          0     STEADY
                  PLOT2     TEMP NLIST    1    1
                  END OUTPUT
                  END FINAS
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL(TEMP. DEPEND. MATERIAL)      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    4

                                          C O N T R O L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    ---------------
     CONTROL DATA
    ---------------

        TEMPERATURE UNIT IS CENTIGRADE          OFFSET TEMPERATURE = 2.7315E+02

        SELECT NONLINEAR ITERATING OPTION       ITERATION NUMBER ..    2

1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL(TEMP. DEPEND. MATERIAL)      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    5

                                          M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    ----------------
     NODAL COORDINATE
    ----------------

       NUMBER OF NODAL POINTS ....      13
```

NODE	X1	X2	X3
1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	25.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
3	50.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
4	75.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
5	100.000	0.000000E+00	0.000000E+00
*			
11	0.000000E+00	5.00000	0.000000E+00
*			
13	50.0000	5.00000	0.000000E+00
*			
15	100.000	5.00000	0.000000E+00
*			
21	0.000000E+00	10.0000	0.000000E+00
22	25.0000	10.0000	0.000000E+00
23	50.0000	10.0000	0.000000E+00
24	75.0000	10.0000	0.000000E+00
25	100.000	10.0000	0.000000E+00

MAXIMUM	NODE- 5	NODE- 21	NODE- 1	NODE-
VALUE	100.000	10.0000	0.000000E+00	
MINIMUM	NODE- 1	NODE- 1	NODE- 1	NODE-
VALUE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	

ELEMENT TYPE

TYPE	NAME	SBC- 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	HQMEMB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ELEMENT CONNECTION

NUMBER OF ELEMENTS ... 2

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES							
1	10	20	30	1	2	3	11	13	21	22	23
2	10	20	30	3	4	5	13	15	23	24	25

1 STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL (TEMP. DEPEND. MATERIAL) FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 6

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

ELEMENT GEOMETRY

GEOMETRY	GEOM-1	GEOM-2	GEOM-3	GEOM-4	GEOM-5	GEOM-6	GEOM-7	GEOM-8
20	1.000							

MATERIAL PROPERTY

IDENTIFICATION NUMBER ==== 30

ANISOTROPY OF CONDUCTIVITY . . . ISOTROPIC

	T**0	T**1	T**2	T**3	T**4	T**5	T**6	T**7
K	0.400000E-04	0.880000E-07						

SPECIFIED TEMPERATURE

IDENTIFICATION NUMBER ==== 40

NODE	DOF	TEMP	NODE	DOF	TEMP	NODE	DOF	TEMP
1	1	300.0	11	1	300.0	21	1	300.0
5	1	30.00	15	1	30.00	25	1	30.00

LOAD HISTORY

NUM		IDENT	* FACTOR		INCREMENT	TOTAL
1	SPECIFIED	40	1.0000	REAL TIME	0.0000E+00	0.0000E+00

1 STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL (TEMP. DEPEND. MATERIAL) FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 7

P L O T T E R I N F O R M A T I O N

```
0       PLOT   1.   UNDEFORMED SHAPE
                    AXES ..... .. .... .. ..+X, +Y, +Z      VIEW ANGLE .....        0.00,     23.17,    -34.27
                    SCALE FACTOR .... ..... 1.837E+00      FRAME SIZE . ....      210.2 ,    297.3
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL(TEMP. DEPEND. MATERIAL)      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    8

                                    N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                    ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

            1      3.00000E+02
            2      2.42395E+02
            3      1.79591E+02
            4      1.09787E+02
            5      3.00000E+01
           11      3.00000E+02
           13      1.79591E+02
           15      3.00000E+01
           21      3.00000E+02
           22      2.42395E+02
           23      1.79591E+02
           24      1.09787E+02
           25      3.00000E+01
0

                                        H E A T   F L U X                                          ( STEP NUM.   1 )
0 ELM. ID-POINT              F1            F2            F3
0     1 -  5   HT.FLUX    1.47696E-04  -4.35782E-19
0     2 -  5   HT.FLUX    1.48577E-04  -9.82181E-20
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL(TEMP. DEPEND. MATERIAL)      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    9


       X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0       PLOT   2.   TYPE 2    COMMAND NUMBER    1.      TEMPERATURE DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
0                   CURVE  1, TEMP     ALONG NLIST          1
                            YMIN(ALL DATA)= 3.00000E+01  AT X= 1.00000E+02    YMAX(ALL DATA)= 3.00000E+02  AT X= 0.00000E+00
1    STEADY STATE HEAT TRANSFER ANALYSIS OF A WALL(TEMP. DEPEND. MATERIAL)      FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE   10


0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . HEAT
0         NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .        1          ( FROM     1 TO     1 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .        2
+                                                                    (       2*HOMEMB  )
0         NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .       13
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .        7
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          5
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          3.4
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         ACTIVE COLUMN OPTIMIZATION . . .          0.0          ( 33.33 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) .    0.0          ( 66.67 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . .        0.1 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . .          14 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . .        0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

4.1.3 輻射を含む定常熱伝導解析

(1) 問題

図 4.1.3-1 に示すようなレンガ壁、ステンレス鋼壁からなる 2 重構造において、一方が大気に接しているレンガ壁とステンレス鋼壁間の輻射を考慮した定常熱伝導解析を行なう。レンガ壁は幅 0.2m、高さ 1.0m および板厚 1.0m とし、熱伝導係数は 0.5kcal/m·hr·℃を用い、レンガ壁とステンレス鋼壁のすき間は 1.0mとする。

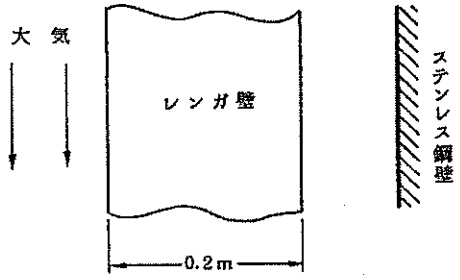


図 4.1.3-1　2 重構造

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 4.1.3-2 のように有限要素モデルはとしてはレンガ壁を熱伝導 4 節点四辺形要素 HQMEM4、レンガ壁の大気と接する部分を熱伝達 2 節点辺要素 FLIN2、レンガ壁とステンレス鋼壁との間を輻射リンク要素 RLINK2 を用いる。境界条件として大気と接している部分は熱伝達境界を与え、雰囲気温度は 20℃および熱伝達係数は 25kcal/m^2·hr·℃とする。また、レンガ壁とステンレス鋼との間に輻射境界を与え、レンガ壁面およびステンレス鋼壁面の輻射率はそれぞれ 0.75、0.07、ステファン・ボルツマン定数は 4.88x10^{-8}kcal/m^2·hr·° K^4、レンガ壁とステンレス鋼壁との間の形態係数は 1.0、ステンレス鋼壁面の温度は 500℃とする。なお、レンガ壁の上面、下面は断熱条件とする。

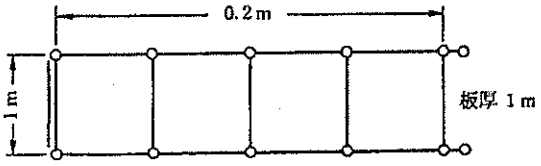


図 4.1.3-2　有限要素モデル

輻射面間の反射を考慮した輻射による熱の流れは次式で与えられる。

$$Q=\frac{A_1\sigma(T_0^4-T_w^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1}-1+\frac{1}{F_{12}}+(\frac{1}{\varepsilon_2}-1)\frac{A_1}{A_2}} \qquad (4.1.3\text{-}1)$$

ここで、A_1、ε_1、F_{12}はレンガ壁面の面積、輻射率、形態係数A_2、ε_2はステンレス鋼壁面の面積、輻射率、σはステファン・ボルツマン定数、T_0、T_wはレンガ壁およびステンレス壁面の温度を表す。それぞれの壁面の面積が 1.0m²、レンガ壁面の形態係数が 1.0 より式(4.1.3-1)は次式のように書き換えることができる。

$$Q=\frac{A_1\sigma(T_0^4-T_w^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1} \qquad (4.1.3\text{-}2)$$

一方、FINAS では輻射による熱の流れは次式で求められる。

$$Q=A\sigma\varepsilon F(T_0^4-T_w^4) \qquad (4.1.3\text{-}3)$$

したがって、式(4.1.3-2)と式(4.1.3-3)が等しいことから、FINAS の輻射リンク要素のデータとしてAは 1.0m²、F は 1.0、σは 4.88x10⁻⁸kcal/m²·hr·° K⁴、εは次式の値を用いる。

$$\varepsilon=\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1}=0.0684039 \qquad (4.1.3\text{-}4)$$

(3) 理論解

熱伝達面、レンガ壁内部および輻射面における熱の流れについて次式が成立する。

$$Q=Ah(T-T_\infty)=\frac{k(T-T_0)}{l}=A\sigma\varepsilon F(T_0^4-T_w^4) \qquad (4.1.3\text{-}5)$$

なお、h、kは熱伝達係数、熱伝導係数、Tはレンガ壁内部の温度、T_∞は雰囲気温度、lはレンガ壁の幅を表す。

(4) 解析結果

レンガ壁面における温度、熱流量をそれぞれ表 4.1.3-1 と表 4.1.3-2 に示す。

表 4.1.3-1　レンガ壁面の温度（℃）

	面の位置	FINAS の解	理論解
温　度	熱伝達面	4.89810E+01	48.9820
	輻射面	3.38791E+02	338.817

表 4.1.3-1　レンガ壁面の熱流量（kcal/sec）

	面の位置	FINAS の解	理論解
熱流量	熱伝達面	-7.24536E+02	-724.588
	輻射面	-7.24667E+02	-724.588

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 4.1.3-3 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
NOPRINT   DESCR
TITLE     VP523
SUBTITLE  STEADY STATE HEAT TRANSFER WITH RADIATION
HEAT
CONTROL
     HEAT SOLV              6
MODEL
NODE
    1                     0.0       0.0                       4              5
    5                    0.20       0.0
    6                    0.20       0.0
   11                     0.0       1.0                       4             15
   15                    0.20       1.0
   16                    0.20       1.0
ELEMENT TYPE
    1     HQMEM4
    2     FLIN2
    3     RLINK2
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2   11   12                      4
   11    2    2    1    1   11
   21    3    3         5    6                                2   10
GEOMETRY
    1    1       1.0
    2    1       1.0
    3    4       0.5   4.88E-8 0.0684039       1.0
MATERIAL
    1
         K                0.5
FILM COEFFICIENT
    1           25.0
SPECIFIED TEMPERATURE
    1
             6   16   10            1.0
CONVECTION
    1
            11                     1.0       1.0
HISTORY
INTERVAL
         CONV     1      20.0
         SPEC     1     500.0
END MODEL
OUTPUT
STRUCTURE PLOT
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
IPLOT              BOTH
XYPLOT
PTITLE    TEMPERATURE DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
XTITLE    THICKNESS(MM)
XDIVISION     6    0
YDIVISION          0
NLIST2        1    1    5
PLOT2     TEMP NLIST    1
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 4.1.3-4　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM    0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                  FINAS
                  NOPRINT   DESCR
                  TITLE     VP523
                  SUBTITLE  STEADY STATE HEAT TRANSFER WITH RADIATION
                  HEAT
                  CONTROL
                      HEAT SOLV              6
1     VP523                                                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2
      STEADY STATE HEAT TRANSFER WITH RADIATION

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
            0-    MODEL
            1-    NODE
            2-       1                    0.0       0.0                    4              5
            3-       5                   0.20       0.0
            4-       6                   0.20       0.0
            5-      11                    0.0       1.0                    4             15
            6-      15                   0.20       1.0
            7-      16                   0.20       1.0
            8-    ELEMENT TYPE
            9-       1     HQMEM4
           10-       2     FLIN2
           11-       3     RLINK2
           12-    CONNECTION
           13-       1    1    1    1    1    2   11   12                    4
           14-      11    2    2    1    1   11
           15-      21    3    3         5    6                             2   10
           16-    GEOMETRY
           17-       1    1        1.0
           18-       2    1        1.0
           19-       3    4        0.5   4.89E-9 0.0684039        1.0
           20-    MATERIAL
           21-       1
           22-            K                0.5
           23-    FILM COEFFICIENT
           24-       1            25.0
           25-    SPECIFIED TEMPERATURE
           26-       1
           27-                 6   16   10            1.0
           28-    CONVECTION
           29-       1
           30-                11                      1.0       1.0
           31-    HISTORY
           32-    INTERVAL
           33-            CONV     1      20.0
           34-            SPEC     1     500.0
           35-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4901.   MATERIAL ID     1
        SPECIFIC HEAT DATA IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4902.   MATERIAL ID     1
        DENSITY IS MISSING
1     VP523                                                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3
      STEADY STATE HEAT TRANSFER WITH RADIATION

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
                  OUTPUT
                  STRUCTURE PLOT
                  PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
                  IPLOT              BOTH
                  XYPLOT
                  PTITLE    TEMPERATURE DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
                  XTITLE    THICKNESS(MM)
                  XDIVISION     6    0
                  YDIVISION          0
                  NLIST2        1    1    5
                  PLOT2     TEMP NLIST    1
                  END OUTPUT
                  END FINAS
1     VP523                                                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    4
      STEADY STATE HEAT TRANSFER WITH RADIATION


        P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0       PLOT   1.   UNDEFORMED SHAPE
                      AXES ........ ..........+X, +Y, +Z      VIEW ANGLE . .....      0.00,     23.17,    -34.27
                      SCALE FACTOR ..... .. ... 1.263E+02      FRAME SIZE .......    210.2 ,    297.3
1     VP523                                                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    5
      STEADY STATE HEAT TRANSFER WITH RADIATION
```

```
                                    N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                    ( STEP NUM    1 )
0      POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

             1     4.89810E+01
             2     1.21434E+02
             3     1.93886E+02
             4     2.66339E+02
             5     3.38792E+02
             6     5.00000E+02
            11     4.89810E+01
            12     1.21434E+02
            13     1.93886E+02
            14     2.66339E+02
            15     3.38792E+02
            16     5.00000E+02
0

                                          H E A T   F L U X                                        ( STEP NUM    1 )
0 ELM ID-POINT              F1            F2            F3
0     1 -  5   HT.FLUX   -7.24526E+02   3.55271E-14
0     2 -  5   HT.FLUX   -7.24526E+02   9.23706E-14
0     3 -  5   HT.FLUX   -7.24526E+02   7.10543E-14
0     4 -  5   HT.FLUX   -7.24526E+02   4.28326E-14
0

                                          H E A T   F L O W                                        ( STEP NUM    1 )
0 ELM ID                    Q
0    11        HT.FLOW   -7.24526E+02
0    21        HT.FLOW   -3.62333E+02
0    22        HT.FLOW   -3.62333E+02
1    VP523                                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     6
     STEADY STATE HEAT TRANSFER WITH RADIATION


       X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0       PLOT   2.   TYPE 2    COMMAND NUMBER    1.       TEMPERATURE DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
0                   CURVE  1.  TEMP      ALONG NLIST          1
                              YMIN(ALL DATA)= 4.89810E+01  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 3.38792E+02  AT X= 2.00000E-01
1    VP523                                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     7
     STEADY STATE HEAT TRANSFER WITH RADIATION

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . .  . . . . . . . . . . . HEAT
0         NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .          1          ( FROM     1 TO     1 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .            7
+                                                                       (       4=HGMEM4  )
                                                                       (       1=FLIN2   )
                                                                       (       2=RLINK2  )
0         NUMBER OF NODES  . . .        . . .              12
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .           10
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .            4
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .            3.1
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .        0.1          ( 75.00 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) . .       0.0          ( 25.00 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME   . . . . . . .           0.1 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .          15 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .          0 BLOCKS
                              ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

4.1.4 熱伝導係数の直交異方性を考慮した定常温度解析

(1) 問題

図 4.1.4-1 に示すような内径 20mm、外形 40mm、高さ 20mm の仮想な軸対称構造において中央から幅 2mm の部分を積層構造として取り扱う。その積層構造部の熱伝導係数は直交異方性、他の部分は等方性として定常熱伝導解析を行なう。それぞれの構造部で用いる熱伝導係数は表 4.1.4-1 に示す。

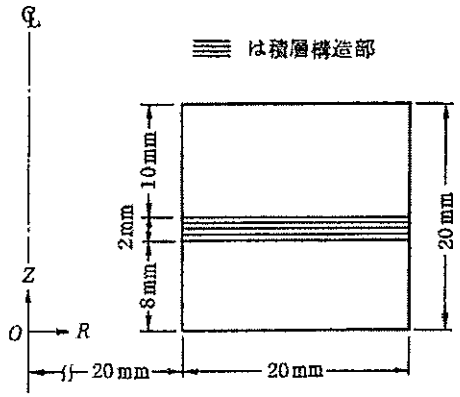


図 4.1.4-1 積層構造からなる軸対称構造

表 4.1.4-1 熱伝導係数(kcal/mm sec℃)

	成 分	450℃	500℃	550℃
積層構造部	K_R	4.86×10^{-6}	5.02×10^{-6}	5.18×10^{-6}
	K_Z	4.86×10^{-7}	5.02×10^{-7}	5.18×10^{-7}
他の構造部	K_R, K_Z	4.86×10^{-6}	5.02×10^{-6}	5.18×10^{-6}

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 4.1.4-2 のように有限要素モデルは熱伝導 4 節点四辺形要素 HQAX4 を用いて、半径方向 10、軸方向 10 の等分割で行なう。境界条件は構造の周辺に沿い 450℃、断面中心の点に 550℃の規定温度をそれぞれ与える。

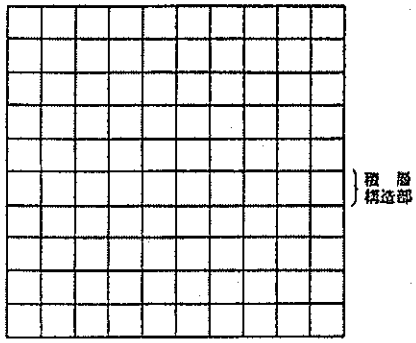


図 4.1.4-2　有限要素モデル

(3) 解析結果

図 4.1.4-3 の A-A´、B-B´断面に沿う温度分布を汎用構造解析コード ANSYS の解と比較して表 4.1.4-2 と表 4.1.4-3 に示す。

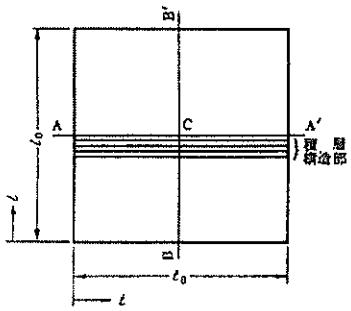


図 4.1.4-3　温度分布表示断面

表 4.1.4-2　A-A´断面に沿う温度分布

t/t_0		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
T [℃]	FINAS	450.0	458.9	468.5	480.6	499.3	550.0
	ANSYS	450.0	458.8	468.1	480.1	498.7	550.0
t/t_0		0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
T [℃]	FINAS	496.1	476.7	465.1	456.8	450.0	
	ANSYS	495.5	476.3	464.8	456.6	450.0	

表 4.1.4-3　B-B´断面に沿う温度分布

l/l_0		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
T	FINAS	450.0	451.7	453.5	455.6	453.0	550.0
[℃]	ANSYS	450.0	451.7	453.4	455.5	453.8	550.0
l/l_0		0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
T	FINAS	493.3	477.6	466.3	457.6	450.0	
[℃]	ANSYS	493.6	477.1	465.9	457.4	450.0	

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 4.1.4-4　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    O/O
FINAS
HEAT
NOPRINT   DES
TITLE     VP-524
SUBTITLE  TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM
CONTROL
     HEAT SOLVE              3
MODEL
$    VP-524
$    TWO DIMENSIONAL OTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM
NODE
**NLOOP1      11   20       0.0       2.0
    1                     20.0       0.0                        10              11
   11                     40.0       0.0
**END1
ELENENT TYPE
    1     HQAX4
CONNECTION
    1     1         1   21    1   22    2                        10          4   20
   41     1         2   81   82  101  102                        10
   51     1         1  101  102  121  122                        10          5   20
MATERIAL
    1
          K         F3        3
               450.0   4.86E-6     500.0   5.02E-6     550.0   5.18E-6
    2
          KXX       F3        3
               450.0   4.86E-6     500.0   5.02E-6     550.0   5.18E-6
          KYY       F3        3
               450.0   4.86E-7     500.0   5.02E-7     550.0   5.18E-7
SPECIFIED TEMPERATURE
    1
             1   11    1          450.0
           201  211    1          450.0
            21  181   20          450.0
            31  191   20          450.0
           106                    550.0
HISTORY
INTERVAL
          SPEC      1       1.0
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 4.1.4-5　解析結果のリスト

```
1      S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

     SYSTEM   0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.......0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                 FINAS
                 HEAT
                 NOPRINT   DES
                 TITLE     VP-524
                 SUBTITLE  TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM
                 CONTROL
                     HEAT SOLVE              3
1    VP-524                                                        FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
     TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.......0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
            0-   MODEL
                 $    VP-524
                 $    TWO DIMENSIONAL OTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM
            1-   NODE
            2-   **NLOOP1     11   20       0.0       2.0
            3-       1                    20.0       0.0                    10            11
            4-      11                    40.0       0.0
            5-   **END1
            6-   ELEMENT TYPE
            7-       1     NQAX4
            8-   CONNECTION
            9-       1     1         1   21    1   22    2                    10         4   20
           10-      41     1         2   81   82  101  102                    10
           11-      51     1         1  101  102  121  122                    10         5   20
           12-   MATERIAL
           13-       1
           14-             K         F3        3
           15-                  450.0   4.86E-6     500.0   5.02E-6     550.0.  5.18E-6
           16-       2
           17-             KXX       F3        3
           18-                  450.0   4.86E-6     500.0   5.02E-6     550.0   5.18E-6
           19-             KYY       F3        3
           20-                  450.0   4.86E-7     500.0   5.02E-7     550.0   5.18E-7
           21-   SPECIFIED TEMPERATURE
           22-       1
           23-                 1   11    1          450.0
           24-               201  211    1          450.0
           25-                21  181   20          450.0
           26-                31  191   20          450.0
           27-               100                    550.0
           28-   HISTORY
           29-   INTERVAL
           30-             SPEC     1        1.0
           31-   END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4901.   MATERIAL ID     1
         SPECIFIC HEAT DATA IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4902.   MATERIAL ID     1
         DENSITY IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4901.   MATERIAL ID     2
         SPECIFIC HEAT DATA IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4902.   MATERIAL ID     2
         DENSITY IS MISSING
1    VP-524                                                        FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
     TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM

                                  N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                  ( STEP NUM   1 )
0      POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

             1    4.50000E+02          86    4.53073E+02         171    4.50000E+02
             2    4.50000E+02          87    4.60240E+02         181    4.50000E+02
             3    4.50000E+02          88    4.57572E+02         182    4.52392E+02
             4    4.50000E+02          89    4.54867E+02         183    4.54533E+02
             5    4.50000E+02          90    4.52339E+02         184    4.56286E+02
             6    4.50000E+02          91    4.50000E+02         185    4.57413E+02
             7    4.50000E+02         101    4.50000E+02         186    4.57840E+02
             8    4.50000E+02         102    4.58977E+02         187    4.56930E+02
             9    4.50000E+02         103    4.68513E+02         188    4.55498E+02
            10    4.50000E+02         104    4.80630E+02         189    4.53894E+02
            11    4.50000E+02         105    4.99301E+02         190    4.51815E+02
            21    4.50000E+02         106    5.50000E+02         191    4.50000E+02
            22    4.50859E+02         107    4.98144E+02         201    4.50000E+02
            23    4.51183E+02         108    4.76768E+02         202    4.50000E+02
            24    4.51530E+02         109    4.65104E+02         203    4.50000E+02
            25    4.51701E+02         110    4.56819E+02         204    4.50000E+02
            26    4.51715E+02         111    4.50000E+02         205    4.50000E+02
            27    4.51590E+02         121    4.50000E+02         206    4.50000E+02
            28    4.51341E+02         122    4.58409E+02         207    4.50000E+02
            29    4.50964E+02         123    4.87241E+02         208    4.50000E+02
            30    4.50500E+02         124    4.77545E+02         209    4.50000E+02
            31    4.50000E+02         125    4.91325E+02         210    4.50000E+02
            41    4.50000E+02         126    4.94322E+02         211    4.50000E+02
```

```
          42    4.51397E+02          127    4.88867E+02
          43    4.52530E+02          128    4.74085E+02
          44    4.53239E+02          129    4.84054E+02
          45    4.53568E+02          130    4.56432E+02
          46    4.53528E+02          131    4.50000E+02
          47    4.53335E+02          141    4.50000E+02
          48    4.52926E+02          142    4.56913E+02
          49    4.52061E+02          143    4.63718E+02
          50    4.51052E+02          144    4.70709E+02
          51    4.50000E+02          145    4.75995E+02
          61    4.50000E+02          146    4.77689E+02
          62    4.52213E+02          147    4.74313E+02
          63    4.54146E+02          148    4.69101E+02
          64    4.55813E+02          149    4.61187E+02
          65    4.55518E+02          150    4.55249E+02
          66    4.55668E+02          151    4.50000E+02
          67    4.55157E+02          161    4.50000E+02
          68    4.54901E+02          162    4.54757E+02
          69    4.53376E+02          163    4.59194E+02
          70    4.51976E+02          164    4.63968E+02
          71    4.50000E+02          165    4.65712E+02
          81    4.50000E+02          166    4.66307E+02
          82    4.53081E+02          167    4.64691E+02
          83    4.55972E+02          168    4.61416E+02
          84    4.58670E+02          169    4.57495E+02
          85    4.60955E+02          170    4.53611E+02
1    VP-524                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    4
     TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM

                                        H E A T   F L U X                    ( STEP NUM    1 )
0 ELM. ID-POINT              F1            F2            F3
0     1 -  5   HT. FLUX   -8.00527E-07  -8.00527E-07
0     2 -  5   HT. FLUX   -6.37635E-07  -2.23900E-06
0     3 -  5   HT. FLUX   -4.28372E-07  -3.30542E-06
0     4 -  5   HT. FLUX   -2.01080E-07  -3.93519E-06
0     5 -  5   HT. FLUX   -1.63319E-08  -4.15272E-06
0     6 -  5   HT. FLUX    1.51797E-07  -4.01718E-06
0     7 -  5   HT. FLUX    3.02885E-07  -3.56216E-06
0     8 -  5   HT. FLUX    4.57962E-07  -2.80088E-06
0     9 -  5   HT. FLUX    5.63972E-07  -1.77652E-06
0    10 -  5   HT. FLUX    6.07230E-07  -6.07230E-07
0    11 -  5   HT. FLUX   -2.48600E-06  -8.84578E-07
0    12 -  5   HT. FLUX   -2.02916E-06  -2.52233E-06
0    13 -  5   HT. FLUX   -1.29230E-06  -3.71063E-06
0    14 -  5   HT. FLUX   -6.01375E-07  -4.34520E-06
0    15 -  5   HT. FLUX    3.08902E-06  -4.48072E-06
0    16 -  5   HT. FLUX    3.59003E-07  -4.33181E-06
0    17 -  5   HT. FLUX    9.19889E-07  -3.93209E-06
0    18 -  5   HT. FLUX    1.39169E-06  -3.14322E-06
0    19 -  5   HT. FLUX    1.79057E-06  -2.00489E-06
0    20 -  5   HT. FLUX    1.88581E-06  -6.71135E-07
0    21 -  5   HT. FLUX   -4.37574E-06  -1.00430E-06
0    22 -  5   HT. FLUX   -3.74423E-06  -2.97271E-06
0    23 -  5   HT. FLUX   -2.65060E-06  -4.85977E-06
0    24 -  5   HT. FLUX   -2.85343E-07  -5.26798E-06
0    25 -  5   HT. FLUX   -1.35067E-07  -4.98208E-06
1    VP-524                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    5
     TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM

                                        H E A T   F L U X                    ( STEP NUM    1 )
0 ELM. ID-POINT              F1            F2            F3
0    26 -  5   HT. FLUX    8.59320E-07  -4.82598E-06
0    27 -  5   HT. FLUX    9.29352E-07  -4.74493E-06
0    28 -  5   HT. FLUX    2.78817E-06  -4.12908E-06
0    29 -  5   HT. FLUX    3.28409E-06  -2.38583E-06
0    30 -  5   HT. FLUX    3.31956E-06  -7.62224E-07
0    31 -  5   HT. FLUX   -6.43798E-06  -1.05845E-06
0    32 -  5   HT. FLUX   -5.87024E-06  -3.28255E-06
0    33 -  5   HT. FLUX   -5.07941E-06  -5.95689E-06
0    34 -  5   HT. FLUX   -2.67505E-06  -1.00723E-05
0    35 -  5   HT. FLUX    9.43340E-06  -3.46776E-06
0    36 -  5   HT. FLUX   -8.11863E-06  -3.03545E-06
0    37 -  5   HT. FLUX    3.58828E-06  -9.48517E-06
0    38 -  5   HT. FLUX    5.15410E-06  -5.07277E-06
0    39 -  5   HT. FLUX    5.14866E-06  -2.61623E-06
0    40 -  5   HT. FLUX    4.88489E-06  -8.02138E-07
0    41 -  5   HT. FLUX   -1.45905E-05  -7.17775E-07
0    42 -  5   HT. FLUX   -1.51893E-05  -2.25357E-06
0    43 -  5   HT. FLUX   -1.61687E-05  -4.23600E-06
0    44 -  5   HT. FLUX   -2.58788E-05  -7.44743E-06
0    45 -  5   HT. FLUX   -5.34213E-05  -1.98778E-05
0    46 -  5   HT. FLUX    5.82173E-05  -1.85629E-05
0    47 -  5   HT. FLUX    2.71580E-05  -6.79701E-06
0    48 -  5   HT. FLUX    1.78390E-05  -3.61038E-06
0    49 -  5   HT. FLUX    1.32018E-05  -1.78656E-06
0    50 -  5   HT. FLUX    1.11426E-05  -5.45077E-07
1    VP-524                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    6
     TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM

                                        H E A T   F L U X                    ( STEP NUM    1 )
0 ELM. ID-POINT              F1            F2            F3
0    51 -  5   HT. FLUX   -2.12562E-05   6.19400E-07
0    52 -  5   HT. FLUX   -2.24395E-05   2.18187E-06
```

```
0    53 -  5   HT. FLUX   -2. 78625E-05   5. 37593E-06
0    54 -  5   HT. FLUX   -4. 03933E-05   1. 37693E-05
0    55 -  5   HT. FLUX   -6. 77847E-05   8. 03301E-05
0    56 -  5   HT. FLUX    7. 50354E-05   7. 98285E-05
0    57 -  5   HT. FLUX    4. 21549E-05   1. 28444E-05
0    58 -  5   HT. FLUX    2. 87184E-05   4. 60902E-06
0    59 -  5   HT. FLUX    1. 94756E-05   1. 74436E-06
0    60 -  5   HT. FLUX    1. 81339E-05   4. 70603E-07
0    61 -  5   HT. FLUX   -1. 87364E-05   1. 89544E-06
0    62 -  5   HT. FLUX   -1. 90711E-05   5. 21908E-06
0    63 -  5   HT. FLUX   -2. 12870E-05   1. 27508E-05
0    64 -  5   HT. FLUX   -2. 36050E-05   2. 74446E-05
0    65 -  5   HT. FLUX   -5. 83040E-06   3. 97291E-05
0    66 -  5   HT. FLUX    1. 12187E-05   3. 84882E-05
0    67 -  5   HT. FLUX    2. 57016E-05   2. 51385E-05
0    68 -  5   HT. FLUX    2. 08034E-05   1. 08885E-05
0    69 -  5   HT. FLUX    1. 65897E-05   4. 98280E-06
0    70 -  5   HT. FLUX    1. 42195E-05   1. 43963E-06
0    71 -  5   HT. FLUX   -1. 42056E-05   2. 62506E-06
0    72 -  5   HT. FLUX   -1. 37373E-05   9. 16316E-06
0    73 -  5   HT. FLUX   -1. 33222E-05   1. 49210E-05
0    74 -  5   HT. FLUX   -9. 75571E-06   2. 20505E-05
0    75 -  5   HT. FLUX   -2. 81636E-06   2. 68930E-05
1    VP-524                                                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/99     PAGE    7
     TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM

                                        H E A T   F L U X                                  ( STEP NUM   1 )
0 ELM ID-POINT              F1              F2              F3
0    76 -  5   HT. FLUX    6. 14812E-05   2. 58671E-05
0    77 -  5   HT. FLUX    1. 18574E-05   2. 00363E-05
0    78 -  5   HT. FLUX    1. 32080E-05   1. 27094E-05
0    79 -  5   HT. FLUX    1. 19878E-05   6. 50581E-06
0    80 -  5   HT. FLUX    1. 07807E-05   1. 99330E-06
0    81 -  5   HT. FLUX   -8. 52512E-06   2. 87684E-06
0    82 -  5   HT. FLUX   -8. 02073E-06   9. 58559E-06
0    83 -  5   HT. FLUX   -6. 83391E-06   1. 39645E-05
0    84 -  5   HT. FLUX   -4. 60301E-06   1. 84375E-05
0    85 -  5   HT. FLUX   -1. 00771E-06   2. 07725E-05
0    86 -  5   HT. FLUX    2. 84797E-06   2. 01094E-05
0    87 -  5   HT. FLUX    5. 75450E-06   1. 67250E-05
0    88 -  5   HT. FLUX    6. 95817E-06   1. 18618E-05
0    89 -  5   HT. FLUX    7. 02115E-06   8. 81847E-06
0    90 -  5   HT. FLUX    6. 59859E-06   2. 18384E-06
0    91 -  5   HT. FLUX   -2. 90687E-06   2. 90687E-06
0    92 -  5   HT. FLUX   -2. 60493E-06   8. 42900E-06
0    93 -  5   HT. FLUX   -2. 14544E-06   1. 31604E-05
0    94 -  5   HT. FLUX   -1. 35994E-06   1. 68931E-05
0    95 -  5   HT. FLUX   -2. 77624E-07   1. 83346E-05
0    96 -  5   HT. FLUX    6. 65860E-07   1. 77449E-05
0    97 -  5   HT. FLUX    1. 74220E-05   1. 51309E-05
0    98 -  5   HT. FLUX    2. 19565E-06   1. 11650E-05
0    99 -  5   HT. FLUX    2. 26503E-06   6. 69934E-06
0   100 -  5   HT. FLUX    2. 20606E-06   2. 20606E-06
1    VP-524                                                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/99     PAGE    8
     TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC HEAT FLOW PROBLEM

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . . . HEAT
0         NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . . .      1          ( FROM    1 TO    1 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . . .    100
*                                                                  :    100=NDAX4   !
0         NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . . .   121
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . . .     90
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . . .     11
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . . . .      9.8
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . . . .     0.1          ( 60.00 % )
0         MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . . . .    0.0          ( 20.00 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) . . . .   0.0          ( 20.00 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . . . .   0.1 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . . .    30 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . . . .    0 BLOCKS
                                  ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

4.2 非定常温度解析

4.2.1 コールド／ホットショックを受ける円筒の非定常温度解析

(1) 問題

外壁をヒーターで被われた内半径 100 mm、肉厚 10 mmの円筒が内部を流れるナトリウムの急激な温度変化を受ける場合について非定常温度解析を行なう。ヒーターから与えられる熱流束は 10×10^{-6}kcal/mm^2・sec であり、ナトリウム温度の時間履歴は図 4.2.1-2 に示すものとする。材料は SUS304 であり、その材料定数を表 4.2.1-1 に、ナトリウムと内壁との境界の熱伝達係数を表 4.2.1-2 に示す。

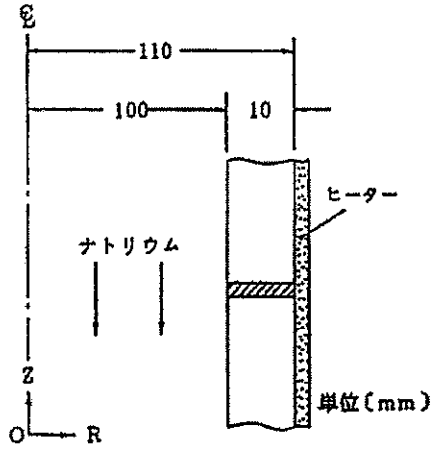


図 4.2.1-1 ヒーターで被われた円筒

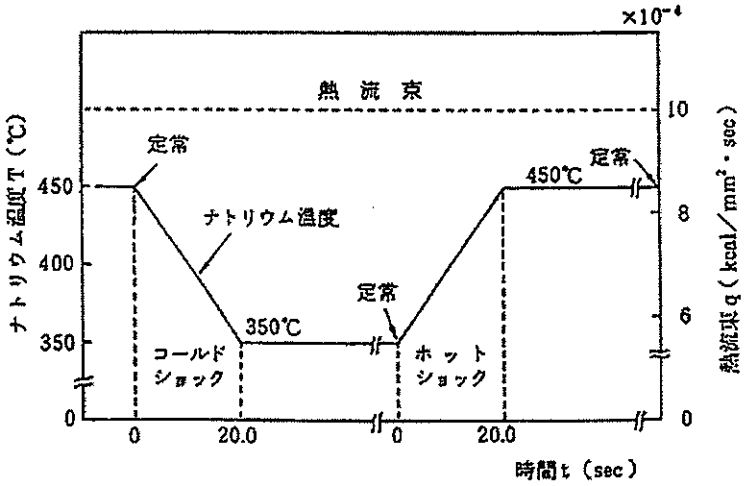


図 4.2.1-2 ナトリウム温度と熱流束の時間履歴

表 4.2.1-1　材料定数

温　度 T [℃]	熱伝導係数 k [kcal/mm・sec・℃]	比　熱 C [kcal/kg・℃]	密　度 ρ [kg/mm³]
300.0	4.37×10^{-6}	0.129	7.90×10^{-6}
350.0	4.53×10^{-6}	0.131	7.88×10^{-6}
400.0	4.70×10^{-6}	0.132	7.86×10^{-6}
450.0	4.86×10^{-6}	0.133	7.83×10^{-6}
500.0	5.02×10^{-6}	0.134	7.81×10^{-6}
550.0	5.18×10^{-6}	0.136	7.79×10^{-6}
600.0	5.34×10^{-6}	0.138	7.76×10^{-6}

表 4.2.1-2　熱伝達係数

温　度　T [℃]	300.0	400.0	500.0	500.0
熱伝達係数 h[kcal/mm²・sec・℃]	4.5×10^{-6}	4.3×10^{-6}	4.1×10^{-6}	3.9×10^{-6}

(2) 有限要素モデルと解析条件

熱伝導 4 節点四辺形軸対称要素 HQAX4 と熱伝達 2 節点軸対称要素 FLAX2 を用いて図 4.2.1-3 に示す有限要素モデルを作成する。境界条件は図 4.2.1-4 に従い、熱伝達条件を要素 11 に、熱流束を要素 6 の節点 7 と 17 からなる辺にそれぞれ与える。

非定常温度解析はコールドショックとホットショック開始後それぞれ40秒まで行ない、その後で各ショック後の定常温度解析を行なう。また、コールドショック開始前にも定常温度解析を行なうが、ここでは材料の温度依存性を考慮して計算を 3 回行なう。なお、非定常温度解析における時間増分は 2.0 秒／ステップとする。

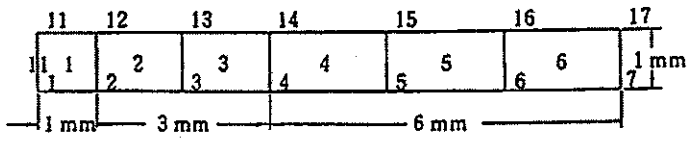


図 4.2.1-3　有限要素モデル

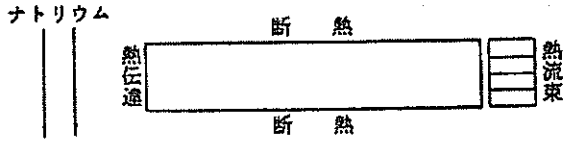


図 4.2.1-4　境 界 条 件

(3) 解析結果

表 4.2.1-3 に内外表面における節点温度を示し、代表節点における温度の時間履歴を図 4.2.1-5 に、代表時間での断面内温度分布を図 4.2.1-6 にそれぞれ示す。

表 4.2.1-3　節 点 温 度

	時　刻	位　置	温　度　T [℃]	
			FAINAS の解	ANSYS の解
コールドショック	20 秒後	内表面	3.62958E+02	362.95
		外表面	4.31331E+02	431.34
	40 秒後	内表面	3.54053E+02	354.03
		外表面	3.85409E+02	385.54
	定　常	内表面	3.52500E+02	352.50
		外表面	3.75284E+02	375.29
ホットショック	20 秒後	内表面	4.41667E+02	441.64
		外表面	4.17638E+02	417.96
	40 秒後	内表面	4.50999E+02	451.02
		外表面	4.64392E+02	464.36
	定　常	内表面	4.52611E+02	452.62
		外表面	4.74091E+02	474.10

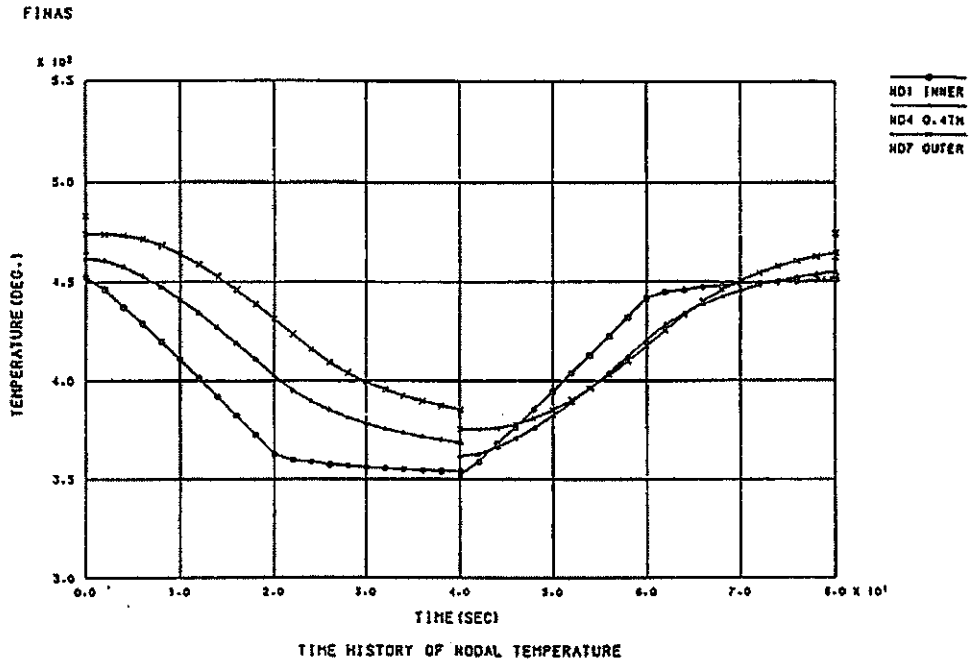


図 4. 2. 1-5　節点温度の時間履歴

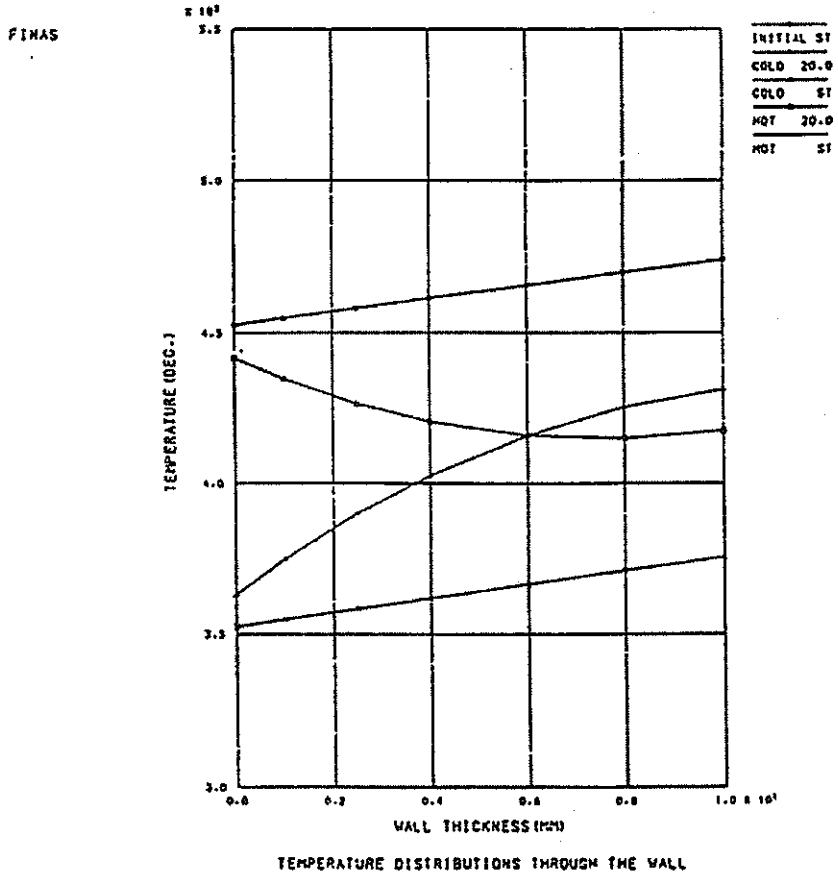


図 4.2.1-6　断面内温度分布

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 4.2.1-4 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE
HEAT
SAVE
MODEL
NODE PITCH
    1     1.0       2*1.5     3*2.0
NODE
    1                   100.0       0.0                       6    1         7
    7                   110.0       0.0
   11                   100.0       1.0                       6    1        17
   17                   110.0       1.0
ELEMENT TYPE
    1     HQAX4
    2     FLAX2
CONNECTION
    1    1        10    1    2   11   12                       6
   11    2        20    1   11
MATERIAL
   10
          K         F3        7
               300.0   4.37E-6     350.0   4.53E-6     400.0   4.70E-6
               450.0   4.86E-6     500.0   5.02E-6     550.0   5.18E-6
               600.0   5.34E-6
          C         F3        7
               300.0     0.129     350.0     0.131     400.0     0.132
               450.0     0.133     500.0     0.134     550.0     0.136
               600.0     0.138
          DENS      F3        7
               300.0   7.90E-6     350.0   7.88E-6     400.0   7.86E-6
               450.0   7.83E-6     500.0   7.81E-6     550.0   7.79E-6
               600.0   7.76E-6
FILM COEFFICIENT
   20     F3        4
               300.0    4.5E-6     400.0    4.3E-6     500.0    4.1E-6
               600.0    3.9E-6
CONVECTION
    1
             11                      1.0       1.0
HEAT INPUT
    1
         1    6              3              10.0E-6   10.0E-6
HISTORY
INTERVAL
          CONV      1     450.0
          HEAT      1       1.0
INTERVAL
INTERVAL
INTERVAL     10            20.0
          CONV      1    -100.0
INTERVAL     10            20.0
INTERVAL
INTERVAL     10            20.0
          CONV      1     100.0
INTERVAL     10            20.0
INTERVAL
END MODEL
OUTPUT
STRUCTURE PLOT
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
IPLOT               BOTH
$
```

```
XYPLOY
PTITLE    TEMPERATURE DISTRIBUTIONS THROUGH THE WALL
XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
YTITLE    TEMPERATURE(DEG.)
NLIST2        1    1    7
XDIVISION     5    0
YDIVISION     5    0
YRANGE         300.0     550.0
CURVE         1                INITIAL ST
CURVE         2                COLD  20.0
CURVE         3                COLD    ST
CURVE         4                HOT   20.0
CURVE         5                HOT     ST
PLOT2     TEMP NLIST    1    3          TEMP NLIST    1   13
          TEMP NLIST    1   24          TEMP NLIST    1   34
          TEMP NLIST    1   45
$
PTITLE    TIME HISTORY OF NODAL TEMPERATURE
XTITLE    TIME(SEC)
XRANGE           0.0       80.0
XDIVISION     8    0
CURVE         1                ND1 INNER
CURVE         2                ND4 0.4TH
CURVE         3                ND7 OUTER
FRAME     A4H
PLOT1     TEMP     1     TEMP     4     TEMP     7                    RTIME
$
POST TAPE
TEMP      ALL
$
PRINT SELECT
NSET2        10    1    7
ESET2        20    1    6        11
OTIME1       30    2    3   13   23   24   34   44   45
TEMP         10   30
ELM          20        30
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 4.2.1-5　解析結果のリスト（抜粋）

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 FINAS
                 TITLE     HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE
                 HEAT
                 SAVE
1   HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                 FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    2

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
           0-    MODEL
           1-    NODE PITCH
           2-       1     1.0       2*1.5     3*2.0
           3-    NODE
           4-       1                  100.0      0.0                      6    1         7
           5-       7                  110.0      0.0
           6-      11                  100.0      1.0                      6    1        17
           7-      17                  110.0      1.0
           8-    ELEMENT TYPE
           9-       1     HQAX4
          10-       2     FLAX2
          11-    CONNECTION
          12-       1    1        10    1    2   11   12                    6
          13-      11    2        20    1   11
          14-    MATERIAL
          15-      10
          16-            K         F3        7
          17-                 300.0   4.37E-6     350.0   4.53E-6     400.0   4.70E-6
          18-                 450.0   4.66E-6     500.0   5.02E-6     550.0   5.18E-6
          19-                 600.0   5.34E-6
          20-            C         F3        7
          21-                 300.0     0.129     350.0     0.131     400.0     0.132
          22-                 450.0     0.133     500.0     0.134     550.0     0.138
          23-                 600.0     0.138
          24-            DENS      F3        7
          25-                 300.0   7.90E-6     350.0   7.88E-6     400.0   7.86E-6
          26-                 450.0   7.83E-6     500.0   7.81E-6     550.0   7.79E-6
          27-                 600.0   7.76E-6
          28-    FILM COEFFICIENT
          29-      20     F3        4
          30-                 300.0    4.5E-6     400.0    4.3E-6     500.0    4.1E-6
          31-                 600.0    3.9E-6
          32-    CONVECTION
          33-       1
          34-               11                      1.0       1.0
          35-    HEAT INPUT
          36-       1
          37-            1    6             3              10.0E-6   10.0E-6
          38-    HISTORY
          39-    INTERVAL
          40-            CONV      1     450.0
          41-            HEAT      1       1.0
          42-    INTERVAL
          43-    INTERVAL
          44-    INTERVAL     10           20.0
          45-            CONV      1    -100.0
          46-    INTERVAL     10           20.0
          47-    INTERVAL
          48-    INTERVAL     10           20.0
          49-            CONV      1     100.0
1   HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                 FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    3

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
          50-    INTERVAL     10           20.0
          51-    INTERVAL
          52-    END MODEL
1   HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                 FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    4

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 OUTPUT
                 STRUCTURE PLOT
                 PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
                 IPLOT              BOTH
                 $
                 XYPLOY
                 PTITLE    TEMPERATURE DISTRIBUTIONS THROUGH THE WALL
                 XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
                 YTITLE    TEMPERATURE(DEG.)
                 NLIST2       1    1    7
                 XDIVISION    5    0
                 YDIVISION    5    0
```

```
YRANGE        300.0     550.0
CURVE         1              INITIAL ST
CURVE         2              COLD  20.0
CURVE         3              COLD   ST
CURVE         4              HOT   20.0
CURVE         5              HOT    ST
PLOT2     TEMP NLIST   1   3        TEMP NLIST   1   13
          TEMP NLIST   1   24       TEMP NLIST   1   34
          TEMP NLIST   1   45
$
PTITLE    TIME HISTORY OF NODAL TEMPERATURE
XTITLE    TIME(SEC)
XRANGE          0.0      80.0
XDIVISION     8   0
CURVE         1              ND1 INNER
CURVE         2              ND4 0.4TH
CURVE         3              ND7 OUTER
FRAME     A4H
PLOT1     TEMP     1     TEMP     4     TEMP     7                RTIME
$
POST TAPE
TEMP      ALL
$
PRINT SELECT
NSET2        10   1   7
ESET2        20   1   6       11
OTIME1       30   2   3   13   23   24   34   44   45
TEMP         10   30
ELM          20       30
END OUTPUT
END FINAS
```


M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

NODAL COORDINATE

NUMBER OF NODAL POINTS 14

NODE	X1	X2
1	100.000	0.000000E+00
2	101.000	0.000000E+00
3	102.500	0.000000E+00
4	104.000	0.000000E+00
5	106.000	0.000000E+00
6	108.000	0.000000E+00
7	110.000	0.000000E+00
*		
11	100.000	1.00000
12	101.000	1.00000
13	102.500	1.00000
14	104.000	1.00000
15	106.000	1.00000
16	108.000	1.00000
17	110.000	1.00000

MAXIMUM	NODE- 7	NODE- 11	NODE-
VALUE	110.000	1.00000	
MINIMUM	NODE- 1	NODE- 1	NODE-
VALUE	100.000	0.000000E+00	

ELEMENT TYPE

TYPE	NAME	SWC- 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	HQAX4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	FLAX2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ELEMENT CONNECTION

NUMBER OF ELEMENTS ... 7

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES			
1	1		10	1	2	11	12
2	1		10	2	3	12	13
3	1		10	3	4	13	14
4	1		10	4	5	14	15
5	1		10	5	6	15	16
6	1		10	6	7	16	17

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES	
* 11	2		20	1	11

MATERIAL PROPERTY

IDENTIFICATION NUMBER ==== 10

ANISOTROPY OF CONDUCTIVITY ..... ISOTROPIC

	TEMP	VALUE	TEMP	VALUE	TEMP	VALUE	TEMP	VALUE
K	300.000	0.437000E-05	350.000	0.453000E-05	400.000	0.470000E-05	450.000	0.488000E-05
	500.000	0.502000E-05	550.000	0.518000E-05	600.000	0.534000E-05		
C	300.000	0.129000	350.000	0.131000	400.000	0.132000	450.000	0.133000
	500.000	0.134000	550.000	0.136000	600.000	0.138000		
DENS	300.000	0.790000E-05	350.000	0.785000E-05	400.000	0.780000E-05	450.000	0.783000E-05
	500.000	0.781000E-05	550.000	0.779000E-05	600.000	0.776000E-05		

FILM COEFFICIENT

IDENTIFICATION NUMBER ==== 20

	TEMP	VALUE	TEMP	VALUE	TEMP	VALUE	TEMP	VALUE
H	300.000	0.450000E-05	400.000	0.430000E-05	500.000	0.410000E-05	600.000	0.390000E-05

HEAT INPUT

IDENTIFICATION NUMBER ==== 1

ELEMENT	TYPE	PARAM	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
6	1	3	0.100000E-04	0.100000E-04	0.000000E+00	0.000000E+00			

CONVECTION

IDENTIFICATION NUMBER ==== 1

ELEMENT	TYPE	PARAM	P1	P2	P3	P4	
11			1.00000	1.00000	0.000000E+00	0.000000E+00	400.000

1 HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE FINAS VERSION 13.0 02/23/99 PAGE 7

MODEL DATA DESCRIPTION

LOAD HISTORY

NUM		IDENT	* FACTOR			INCREMENT	TOTAL
1	HEAT INPUT	1	1.0000	REAL	TIME	0.0000E+00	0.0000E+00
	CONVECTION	1	450.00				
2				REAL	TIME	0.0000E+00	0.0000E+00
3				REAL	TIME	0.0000E+00	0.0000E+00
4	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	2.000
5	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	4.000
6	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	6.000
7	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	8.000
8	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	10.00
9	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	12.00
10	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	14.00
11	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	16.00
12	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	18.00
13	CONVECTION	1	-10.000	REAL	TIME	2.000	20.00
14				REAL	TIME	2.000	22.00
15				REAL	TIME	2.000	24.00

```
0     2 -  5   HT.FLUX   -1.08021E-05   1.38723E-19
0     3 -  5   HT.FLUX   -1.06353E-05   0.00000E+00
0     4 -  5   HT.FLUX   -1.04468E-05   0.00000E+00
0     5 -  5   HT.FLUX   -1.02392E-05  -1.39748E-19
0     6 -  5   HT.FLUX   -1.00393E-05  -1.40122E-19
0

                                    H E A T   F L O W                                  ( STEP NUM   2 )
0 ELM ID                  Q
0    11        HT.FLOW   -6.91074E-03
1    HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                  FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    11

                                 N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                  ( STEP NUM   3 )
0      POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

              1     4.52621E+02
              2     4.54867E+02
              3     4.58190E+02
              4     4.61457E+02
              5     4.65730E+02
              6     4.69911E+02
              7     4.74005E+02
0

                                    H E A T   F L U X                                  ( STEP NUM   3 )
0 ELM ID-POINT              F1            F2            F3
0     1 -  5   HT.FLUX   -1.09453E-05   0.00000E+00
0     2 -  5   HT.FLUX   -1.08108E-05   0.00000E+00
0     3 -  5   HT.FLUX   -1.06538E-05  -1.39023E-19
0     4 -  5   HT.FLUX   -1.04762E-05  -2.78732E-19
0     5 -  5   HT.FLUX   -1.02805E-05  -1.39750E-19
0     6 -  5   HT.FLUX   -1.00920E-05   1.40127E-19
0

                                    H E A T   F L O W                                  ( STEP NUM   3 )
0 ELM ID                  Q
0    11        HT.FLOW   -6.91150E-03
1    HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                  FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    12

                                 N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                  ( STEP NUM  13 )
                                                                                                REAL TIME  2.0000E+01
0      POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

              1     3.62959E+02
              2     3.74717E+02
              3     3.89998E+02
              4     4.02691E+02
              5     4.15987E+02
              6     4.25450E+02
              7     4.31332E+02
0

                                    H E A T   F L U X                                  ( STEP NUM  13 )
                                                                                                REAL TIME  2.0000E+01
0 ELM ID-POINT              F1            F2            F3
0     1 -  5   HT.FLUX   -5.40165E-05   5.22283E-19
0     2 -  5   HT.FLUX   -4.72710E-05  -9.23140E-19
0     3 -  5   HT.FLUX   -3.98853E-05   7.99373E-19
0     4 -  5   HT.FLUX   -3.14443E-05   0.00000E+00
0     5 -  5   HT.FLUX   -2.25525E-05  -1.76106E-18
0     6 -  5   HT.FLUX   -1.40890E-05   9.53149E-19
1    HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                  FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    13

                                    H E A T   F L O W                                  ( STEP NUM  13 )
                                                                                                REAL TIME  2.0000E+01
0 ELM ID                  Q
0    11        HT.FLOW   -3.57209E-02
0

                                 N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                  ( STEP NUM  23 )
                                                                                                REAL TIME  4.0000E+01
0      POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

              1     3.54056E+02
              2     3.57885E+02
              3     3.63445E+02
              4     3.68706E+02
              5     3.75093E+02
              6     3.80678E+02
              7     3.85411E+02
0

                                    H E A T   F L U X                                  ( STEP NUM  23 )
                                                                                                REAL TIME  4.0000E+01
0 ELM ID-POINT              F1            F2            F3
0     1 -  5   HT.FLUX   -1.74255E-05   7.75964E-19
0     2 -  5   HT.FLUX   -1.69258E-05  -9.08467E-19
0     3 -  5   HT.FLUX   -1.60801E-05   2.60606E-19
0     4 -  5   HT.FLUX   -1.47044E-05  -5.23486E-19
0     5 -  5   HT.FLUX   -1.29174E-05  -1.70879E-18
```

```
0     8 -  5   HT. FLUX   -9. 19969E-06   8. 35810E-19
1    HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                    FINAS   VERSION 13. 0    02/25/98      PAGE    17

                                        H E A T    F L O W                                        ( STEP NUM.  44 )
                                                                                                   REAL TIME  8. 0000E+01
0 ELM. ID                    Q
0    11         HT. FLOW   -2. 65588E-03
0

                                   N O D E    P O I N T    T E M P E R A T U R E                    ( STEP NUM.  45 )
                                                                                                   REAL TIME  8. 0000E+01
0      POINT-ID      TEMP            POINT-ID      TEMP            POINT-ID      TEMP            POINT-ID      TEMP

             1     4. 52620E+02
             2     4. 54870E+02
             3     4. 58201E+02
             4     4. 61480E+02
             5     4. 65773E+02
             6     4. 69979E+02
             7     4. 74098E+02
0

                                        H E A T    F L U X                                        ( STEP NUM.  45 )
                                                                                                   REAL TIME  8. 0000E+01
0 ELM. ID-POINT              F1            F2            F3
0     1 -  5   HT. FLUX   -1. 08818E-05  -4. 15410E-19
0     2 -  5   HT. FLUX   -1. 06398E-05  -1. 38724E-19
0     3 -  5   HT. FLUX   -1. 08835E-05  -1. 39024E-19
0     4 -  5   HT. FLUX   -1. 05269E-05   1. 39369E-19
0     5 -  5   HT. FLUX   -1. 03395E-05  -1. 39755E-19
0     6 -  5   HT. FLUX   -1. 01544E-05  -4. 20402E-19
1    HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                    FINAS   VERSION 13. 0    02/25/98      PAGE    18

                                        H E A T    F L O W                                        ( STEP NUM.  45 )
                                                                                                   REAL TIME  8. 0000E+01
0 ELM. ID                    Q
0    11         HT. FLOW   -8. 90685E-03
1    HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                    FINAS   VERSION 13. 0    02/25/98      PAGE    19


       X Y - P L O T T E R    I N F O R M A T I O N

0      PLOT   2.   TYPE 2    COMMAND NUMBER    1.      TEMPERATURE DISTRIBUTIONS THROUGH THE WALL
0                  CURVE  1.  TEMP      ALONG NLIST          1
                              YMIN (ALL DATA) = 4. 52621E+02  AT X= 0. 00000E+00    YMAX (ALL DATA) = 4. 74005E+02  AT X= 1. 00000E+01
0                  CURVE  2.  TEMP      ALONG NLIST          1
                              YMIN (ALL DATA) = 3. 62859E+02  AT X= 0. 00000E+00    YMAX (ALL DATA) = 4. 31332E+02  AT X= 1. 00000E+01
0                  CURVE  3.  TEMP      ALONG NLIST          1
                              YMIN (ALL DATA) = 3. 52502E+02  AT X= 0. 00000E+00    YMAX (ALL DATA) = 3. 75288E+02  AT X= 1. 00000E+01
0                  CURVE  4.  TEMP      ALONG NLIST          1
                              YMIN (ALL DATA) = 4. 15116E+02  AT X= 8. 00000E+00    YMAX (ALL DATA) = 4. 41673E+02  AT X= 0. 00000E+00
0                  CURVE  5.  TEMP      ALONG NLIST          1
                              YMIN (ALL DATA) = 4. 52620E+02  AT X= 0. 00000E+00    YMAX (ALL DATA) = 4. 74098E+02  AT X= 1. 00000E+01
0      PLOT   3.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    2.      TIME HISTORY OF NODAL TEMPERATURE
0                  CURVE  1.  TEMP      ALONG RTIME
                              YMIN (ALL DATA) = 3. 52502E+02  AT X= 4. 00000E+01    YMAX (ALL DATA) = 4. 52621E+02  AT X= 0. 00000E+00
0                  CURVE  2.  TEMP      ALONG RTIME
                              YMIN (ALL DATA) = 3. 61945E+02  AT X= 4. 00000E+01    YMAX (ALL DATA) = 4. 64809E+02  AT X= 0. 00000E+00
0                  CURVE  3.  TEMP      ALONG RTIME
                              YMIN (ALL DATA) = 3. 75288E+02  AT X= 4. 00000E+01    YMAX (ALL DATA) = 4. 82901E+02  AT X= 0. 00000E+00
1    HEAT TRASIENT ANALYSIS OF A PIPE                                    FINAS   VERSION 13. 0    02/25/98      PAGE    20


0                  F I N A S    E X E C U T I O N    S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . HEAT
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .      45          ( FROM    1 TO    45 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .       7
+                                                                   (       6*HQAX4    )
                                                                    (       1*FLAX2    )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .     14
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .      14
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         4
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         3. 2
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .      0. 1          ( 20. 00 % )
0        LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .     0. 1          ( 12. 00 % )
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .     0. 0          (  4. 00 % )
0        COMPUTATION OF HEAT FLOW AND FLUX . . .     0. 1          ( 12. 00 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC. ). .    0. 2          ( 52. 00 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .    0. 4 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      13 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .     28 BLOCKS
```

4.2.2　２重管の非定常温度解析

(1) 問題

肉厚 10 mm、内半径 250 mmと 260 mmの円管からなる 2 重管の内部を流れるナトリウムの温度が急激に降下する場合について非定常温度解析を行なう。2 つの円管の接触面における熱の移動を熱伝達で表わし、ここではその熱伝達係数をナトリウムと管面との境界における値の 100 分の 1 と仮定する。ナトリウムと管面との間の熱伝達係数は 2.78×10^{-6}kcal/mm ^{2}・sec・℃である。また、ナトリウム温度の変化を図 4.2.2-2 に、円管の材料定数を表 4.2.2-1 に示す。

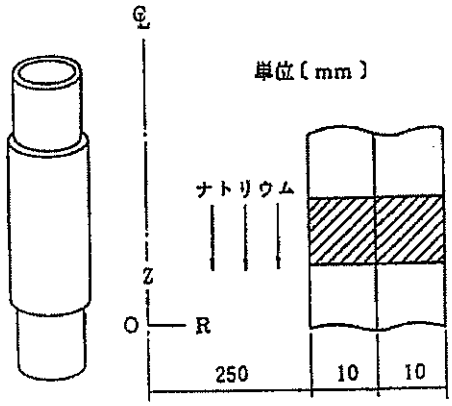


図 4.2.2-1　２重管

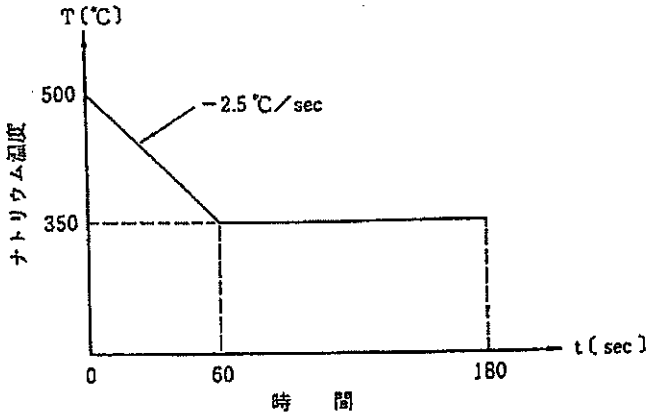


図 4.2.2-2　ナトリウム温度の変化

表 4.2.1-1　材料定数

熱伝導係数	k =4.86×10^{-6}kcal/mm・sec・℃
比　　熱	c =0.133 kcal/kg・℃
密　　度	ρ =7.83×10^{-6} kg/mm^3

(2) 有限要素モデルと解析条件

熱伝導4節点四辺形軸対称要素HQAX4と熱伝達2節点軸対称要素FLAX2、熱伝達リンク4節点四辺形軸対称要素CALINK4を用いて図4.2.2-3に示す有限要素モデルを作成する。FLAX2はナトリウムと円管との境界に使用し、CALINK4は2つの円管の接触面に使用する。境界条件は図4.2.2-4に従い、熱伝達条件を要素11に与える。

時間増分はコールドショック開始後120秒までは4秒/ステップであり、それ以後は6秒/ステップとする。なお、解析は180秒で打ち切るものとする。

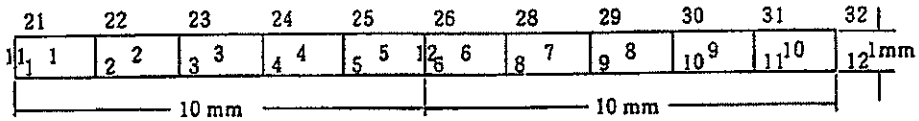


図4.2.2-3　有限要素モデル

$h_1 = 2.78 \times 10^{-6}$ kcal/mm² ・ sec ・ ℃

$h_2 = 2.78 \times 10^{-8}$ kcal/mm² ・ sec ・ ℃

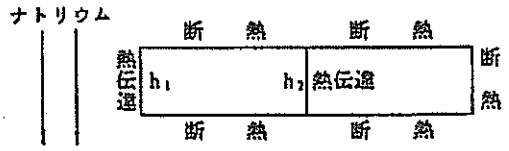


図4.2.2-4　境界条件

(3) 解析結果

コールドショック開始後60秒と180秒における2重管の内外表面と2つの管の接触面での温度をANSYSの解と併せて表4.2.2-2に示す。また、代表節点温度の時間履歴を図4.2.2 -5に、代表時間での断面内温度分布を図4.2.2-6にそれぞれ示す。

表4.2.2-2　内外表面と接触面における温度

時　刻	位　置		温　度　T[℃]	
			FINASの解	ANSYSの解
60秒	内管	内表面	3.60242E+02	360.23
		外表面	3.91901E+02	391.94
	外管	内表面	4.91684E+02	491.67
		外表面	4.94415E+02	494.40
180秒	内管	内表面	3.51053E+02	351.07
		外表面	3.56999E+02	357.00
	外管	内表面	4.56414E+02	456.42
		外表面	4.59250E+02	459.26

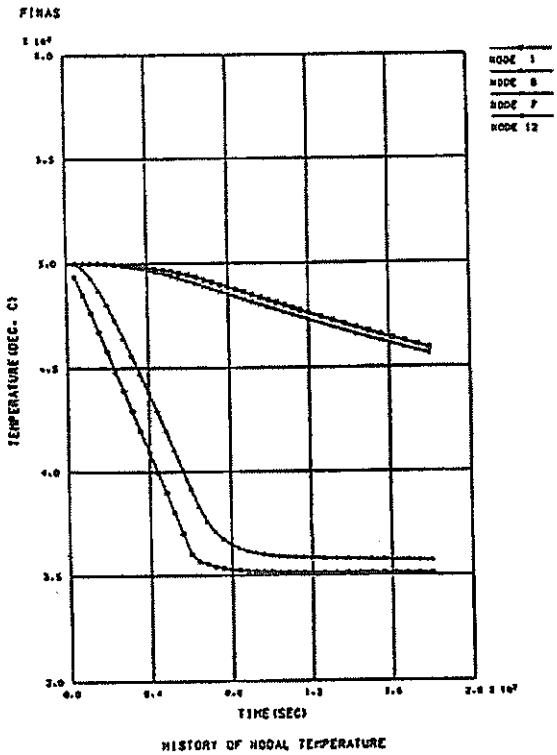


図 4. 2. 2-5　節点温度の時間履歴

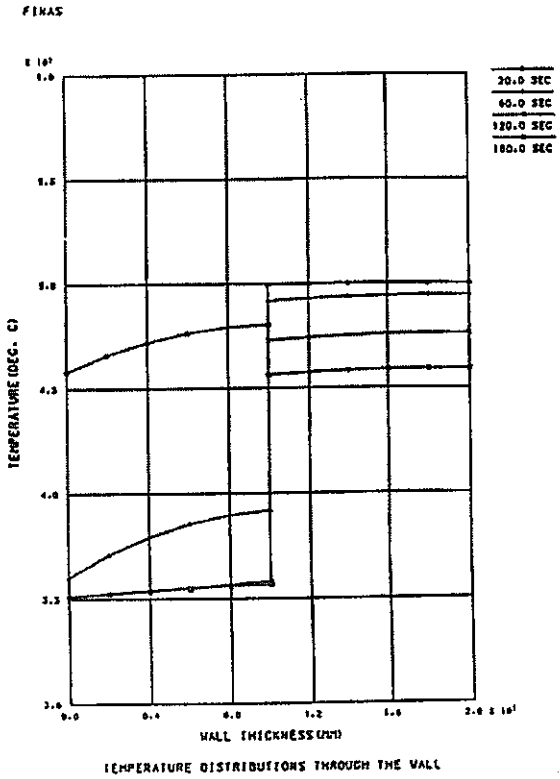


図 4. 2. 2-6　断面内温度分布

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 4.2.2-3 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE
HEAT
MODEL
NODE
**NLOOP1      2   20       0.0       1.0
    1                    250.0       0.0                       5                6
    6                    260.0       0.0
    7                    260.0       0.0                       5               12
   12                    270.0       0.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1     HQAX4
    2     FLAX2
    3     CALINK4
CONNECTION
    1    1         1    1    2   21   22                       5
    6    1         1    7    8   27   28                       5
   11    2         1    1   21
   12    3         2   26    6   27    7
MATERIAL
    1
          K         4.86E-6
          C         0.133
          DENS      7.83E-6
FILM COEFFICIENT
    1     2.78E-6
    2     2.78E-8
INITIAL TEMPERATURE
              1   12                500.0
             21   32                500.0
CONVECTION
    1
             11                       1.0       1.0
HISTORY
INTERVAL     15           60.0
          CONV     1    -150.0
INTERVAL     15           60.0
INTERVAL     10           60.0
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
OTIME1       10    5   15   30   40
NSET2        20    1    6         7   12
ESET1        30    1    5    6   10   11   12
TEMP         20   10
ELM          30        10
$
STRUCTURE PLOT
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
IPLOT                BOTH
$
XYPLOT
OTIME1        1    5   15   30   40
NLIST2       10    1    6         7   12
CURVE         1                20.0 SEC
CURVE         2                60.0 SEC
CURVE         3               120.0 SEC
CURVE         4               180.0 SEC
YRANGE         300.0     600.0
XDIVISION     5    0
YDIVISION     6    0
```

```
PTITLE     TEMPERATURE DISTRIBUTIONS THROUGH THE WALL
XTITLE     WALL THICKNESS(MM)
YTITLE     TEMPERATURE(DEG. C)
PLOT2      TEMP NLIST   10    5          TEMP NLIST   10   15
           TEMP NLIST   10   30          TEMP NLIST   10   40
CURVE          1                NODE  1
CURVE          2                NODE  6
CURVE          3                NODE  7
CURVE          4                NODE 12
XRANGE            0.0      200.0
PTITLE     HISTORY OF NODAL TEMPERATURE
XTITLE     TIME(SEC)
PLOT1      TEMP      1      TEMP      6      TEMP      7      TEMP     12      RTIME
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 4.2.2-4　解析結果のリスト

```
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                FINAS
                TITLE     HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE
                HEAT
1   HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE                         FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    2

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
          0-    MODEL
          1-    NODE
          2-    **NLOOP1      2   20       0.0       1.0
          3-       1                    250.0       0.0                   5             6
          4-       6                    260.0       0.0
          5-       7                    260.0       0.0                   5            12
          6-      12                    270.0       0.0
          7-    **END1
          8-    ELEMENT TYPE
          9-       1     HQAX4
         10-       2     FLAX2
         11-       3     CALINK4
         12-    CONNECTION
         13-       1    1         1    1    2   21   22                   5
         14-       6    1         1    7    8   27   28                   5
         15-      11    2         1    1   21
         16-      12    3         2   28    8   27    7
         17-    MATERIAL
         18-       1
         19-             K         4.86E-6
         20-             C         0.133
         21-             DENS      7.83E-6
         22-    FILM COEFFICIENT
         23-       1     2.78E-6
         24-       2     2.78E-6
         25-    INITIAL TEMPERATURE
         26-                1   12                500.0
         27-               21   32                500.0
         28-    CONVECTION
         29-       1
         30-               11                      1.0       1.0
         31-    HISTORY
         32-    INTERVAL     15          60.0
         33-             CONV     1    -150.0
         34-    INTERVAL     15          60.0
         35-    INTERVAL     10          60.0
         36-    END MODEL
1   HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE                         FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    3

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                OUTPUT
                PRINT SELECT
                OTIME1       10    5   15   30   40
                NSET2        20    1    6         7   12
                ESET1        30    1    5    8   10   11   12
                TEMP         20   10
                ELM          30        10
                $
                STRUCTURE PLOT
                PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
                IPLOT                BOTH
                $
                XYPLOT
                OTIME1        1    5   15   30   40
                NLIST2       10    1    6         7   12
                CURVE         1                20.0 SEC
                CURVE         2                60.0 SEC
                CURVE         3               120.0 SEC
                CURVE         4               180.0 SEC
                YRANGE         300.0     600.0
                XDIVISION     5    0
                YDIVISION     6    0
                PTITLE    TEMPERATURE DISTRIBUTIONS THROUGH THE WALL
                XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
                YTITLE    TEMPERATURE(DEG. C)
                PLOT2     TEMP NLIST   10    5          TEMP NLIST   10   15
                          TEMP NLIST   10   30          TEMP NLIST   10   40
                CURVE         1                NODE  1
                CURVE         2                NODE  6
                CURVE         3                NODE  7
                CURVE         4                NODE 12
                XRANGE           0.0     200.0
                PTITLE    HISTORY OF NODAL TEMPERATURE
                XTITLE    TIME(SEC)
                PLOT1     TEMP     1     TEMP     6     TEMP     7     TEMP    12     RTIME
```

END OUTPUT
END FINAS

1 HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 4

MODEL DATA DESCRIPTION

NODAL COORDINATE

NUMBER OF NODAL POINTS 24

NODE	X1	X2
1	250.000	0.000000E+00
2	252.000	0.000000E+00
3	254.000	0.000000E+00
4	256.000	0.000000E+00
5	258.000	0.000000E+00
6	260.000	0.000000E+00
7	260.000	0.000000E+00
8	262.000	0.000000E+00
9	264.000	0.000000E+00
10	266.000	0.000000E+00
11	268.000	0.000000E+00
12	270.000	0.000000E+00
*		
21	250.000	1.00000
22	252.000	1.00000
23	254.000	1.00000
24	256.000	1.00000
25	258.000	1.00000
26	260.000	1.00000
27	260.000	1.00000
28	262.000	1.00000
29	264.000	1.00000
30	266.000	1.00000
31	268.000	1.00000
32	270.000	1.00000

MAXIMUM	NODE- 12	NODE- 21	NODE-
VALUE	270.000	1.00000	
MINIMUM	NODE- 1	NODE- 1	NODE-
VALUE	250.000	0.000000E+00	

ELEMENT TYPE

TYPE	NAME	SNC- 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	HOAX4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	FLAX2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	GALINK4	2	4	10	1	0	0	0	0	0	0

1 HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 5

MODEL DATA DESCRIPTION

ELEMENT CONNECTION

NUMBER OF ELEMENTS ... 12

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES			
1	1		1	1	2	21	22
2	1		1	2	3	22	23
3	1		1	3	4	23	24
4	1		1	4	5	24	25
5	1		1	5	6	25	26
6	1		1	7	8	27	28
7	1		1	8	9	28	29
8	1		1	9	10	29	30
9	1		1	10	11	30	31
10	1		1	11	12	31	32
11	2		1	1	21		
12	3		2	26	6	27	7

MATERIAL PROPERTY

IDENTIFICATION NUMBER == 1

ANISOTROPY OF CONDUCTIVITY ..... ISOTROPIC

	VALUE
K	0.498000E-05

```
              1     3.60244E+02
              2     3.70815E+02
              3     3.79247E+02
              4     3.85546E+02
              5     3.89749E+02
              6     3.91902E+02
              7     4.91685E+02
              8     4.92697E+02
              9     4.93462E+02
             10     4.93997E+02
             11     4.94312E+02
             12     4.94416E+02
0

                                    H E A T   F L U X                                  ( STEP NUM  15 )
                                                                                        REAL TIME  6.0000E+01
0 ELM ID-POINT              F1          F2          F3
0     1 -  5   HT. FLUX   -2.58872E-05   2.78259E-19
0     5 -  5   HT. FLUX   -5.23209E-06   6.90648E-19
0     6 -  5   HT. FLUX   -2.45866E-06  -1.38130E-19
0    10 -  5   HT. FLUX   -2.52919E-07   5.52518E-19
1    HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    11

                                    H E A T   F L O W                                  ( STEP NUM  15 )
                                                                                        REAL TIME  6.0000E+01
0 ELM ID                    0
0    11        HT. FLOW   -4.47345E-02
0    12        HT. FLOW   -4.53165E-03
0

                                N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E            ( STEP NUM  30 )
                                                                                        REAL TIME  1.2000E+02
0     POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

              1     3.51253E+02
              2     3.52739E+02
              3     3.54156E+02
              4     3.55555E+02
              5     3.56925E+02
              6     3.58258E+02
              7     4.72930E+02
              8     4.74110E+02
              9     4.75027E+02
             10     4.75680E+02
             11     4.76071E+02
             12     4.76201E+02
0

                                    H E A T   F L U X                                  ( STEP NUM  30 )
                                                                                        REAL TIME  1.2000E+02
0 ELM ID-POINT              F1          F2          F3
0     1 -  5   HT. FLUX   -3.81052E-06  -2.78259E-19
0     5 -  5   HT. FLUX   -3.23514E-06  -1.38130E-19
0     6 -  5   HT. FLUX   -2.88753E-06  -4.14389E-19
0    10 -  5   HT. FLUX   -3.15646E-07  -6.90648E-19
1    HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    12

                                    H E A T   F L O W                                  ( STEP NUM  30 )
                                                                                        REAL TIME  1.2000E+02
0 ELM ID                    0
0    11        HT. FLOW   -5.47245E-03
0    12        HT. FLOW   -5.20791E-03
0

                                N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E            ( STEP NUM  40 )
                                                                                        REAL TIME  1.8000E+02
0     POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

              1     3.51058E+02
              2     3.52299E+02
              3     3.53495E+02
              4     3.54685E+02
              5     3.55855E+02
              6     3.57003E+02
              7     4.56417E+02
              8     4.57441E+02
              9     4.58235E+02
             10     4.58802E+02
             11     4.59141E+02
             12     4.59254E+02
0

                                    H E A T   F L U X                                  ( STEP NUM  40 )
                                                                                        REAL TIME  1.8000E+02
0 ELM ID-POINT              F1          F2          F3
0     1 -  5   HT. FLUX   -3.01387E-06   1.38130E-19
0     5 -  5   HT. FLUX   -2.78966E-06  -4.14389E-19
0     6 -  5   HT. FLUX   -2.48617E-06   2.78259E-19
0    10 -  5   HT. FLUX   -2.73789E-07  -2.78259E-19
1    HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE                    FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE    13
```

```
                                    H E A T   F L O W                                  ( STEP NUM   40 )
                                                                                        REAL TIME  1.8000E+02
0 ELM ID                  Q
0   11        HT.FLOW   -4.62136E-03
0   12        HT.FLOW   -4.51488E-03
1   HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE                                  FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    14


      X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT   2.   TYPE 2    COMMAND NUMBER    1.      TEMPERATURE DISTRIBUTIONS THROUGH THE WALL
0                  CURVE  1. TEMP      ALONG NLIST          10
                             YMIN(ALL DATA)= 4.58050E+02  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 4.99812E+02  AT X= 2.00000E+01
0                  CURVE  2. TEMP      ALONG NLIST          10
                             YMIN(ALL DATA)= 3.60244E+02  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 4.94416E+02  AT X= 2.00000E+01
0                  CURVE  3. TEMP      ALONG NLIST          10
                             YMIN(ALL DATA)= 3.51253E+02  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 4.76201E+02  AT X= 2.00000E+01
0                  CURVE  4. TEMP      ALONG NLIST          10
                             YMIN(ALL DATA)= 3.51058E+02  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 4.59254E+02  AT X= 2.00000E+01
0      PLOT   3.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    2.      HISTORY OF NODAL TEMPERATURE
0                  CURVE  1. TEMP      ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)= 3.51058E+02  AT X= 1.80000E+02    YMAX(ALL DATA)= 4.93689E+02  AT X= 4.00000E+00
0                  CURVE  2. TEMP      ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)= 3.57003E+02  AT X= 1.80000E+02    YMAX(ALL DATA)= 4.99564E+02  AT X= 4.00000E+00
0                  CURVE  3. TEMP      ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)= 4.56417E+02  AT X= 1.80000E+02    YMAX(ALL DATA)= 4.99993E+02  AT X= 4.00000E+00
0                  CURVE  4. TEMP      ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)= 4.59254E+02  AT X= 1.80000E+02    YMAX(ALL DATA)= 4.99999E+02  AT X= 4.00000E+00
1   HEAT TRANSIENT ANALYSIS OF A JACKET PIPE                                  FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    15


0                  F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . .  HEAT
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .       40          ( FROM     1 TO    40 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .       12
+                                                                   (      10*HQAX4   )
                                                                   (       1*FLAX2   )
                                                                   (       1*CALINK4 )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .       24
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .       24
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          4
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          3.3
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . . .      0.1          ( 20.00 % )
0        LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . . .     0.0          (  5.00 % )
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .       0.0          ( 15.00 % )
0        COMPUTATION OF HEAT FLOW AND FLUX . . .       0.1          ( 15.00 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .       0.1          ( 45.00 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .      0.3 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .       14 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .         0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

5．ユーティリティープログラムの使用例

5.1　温度解析と応力解析との連結

5.1.1 熱過度を受ける円筒の弾性熱応力解析

(1) 問題

内半径 100 mm、肉厚 10 mmの円筒が 1 次応力として 10 kg/mm^2 の軸方向分布荷重を受け、2 次応力として 4.2.1 項に示した熱過度を受ける場合について弾性解析を行なう。円筒の材料は SUS304 とし、その材料定数は FINAS に組み込まれている材料データライブラリ[6] を使用する。また、解析に用いる温度分布は初期設定、コールドショック後 20 秒、コールドショック後の定常およびホットショック後 20 秒におけるものとする。

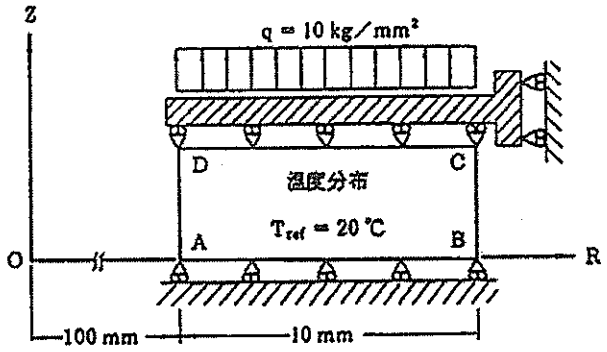


図 5.1.1-1　円　　筒

(2) 有限要素モデルと解析条件

4 節点四辺形軸対称要素 QAX4 を用いて図 5.1.1-2 に示す有限要素モデルを作成する。熱応力計算の基準温度は 20℃とし、温度解析の結果が納められているリスタートテープとユーティリティープログラム FNSEDIT のインターフェイス機能を利用して応力解析するステップの選択を行なう。応力解析と温度解析とのステップ番号の対応と負荷条件を表 5.1.1-1 に、境界条件を表 5.1.1-2 にそれぞれ示す。

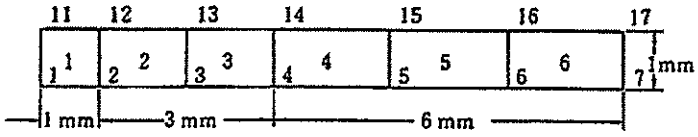


図 5.1.1-2　有限要素モデル

表 5.1.1-1　応力解析と温度解析のステップ番号の対応

ステップ番号	応力解析	1	2	3	4	5
	温度解析	—	3	13	24	34
荷重条件	機械荷重	軸　力 q = 10 kg/mm2				
	温度荷重	20℃一定	初期定常状態	コールドショック後 20 秒	ホットショック後定常状態	ホットショック後 20 秒

図 5.1.1-2　境 界 条 件

節点番号	自 由 度
1～7	$u_z = 0$
11～17	$u_{z11} = u_{z12} = \cdots = u_{z17}$

(3) 解析結果

各負荷条件における応力強さと軸方向応力の肉厚方向分布を図 5.1.1-3 と図 5.1.1-4 にそれぞれ示す。

PNC N941 85-172

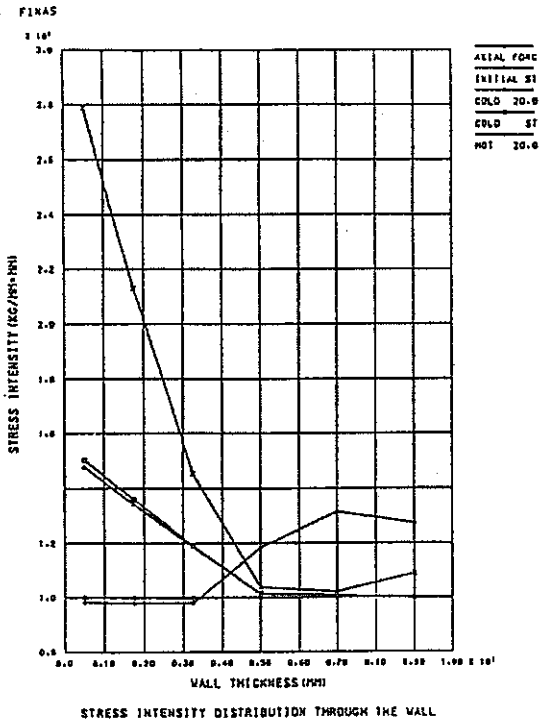


図 5.1.1-3　応力強さの肉厚方向分布

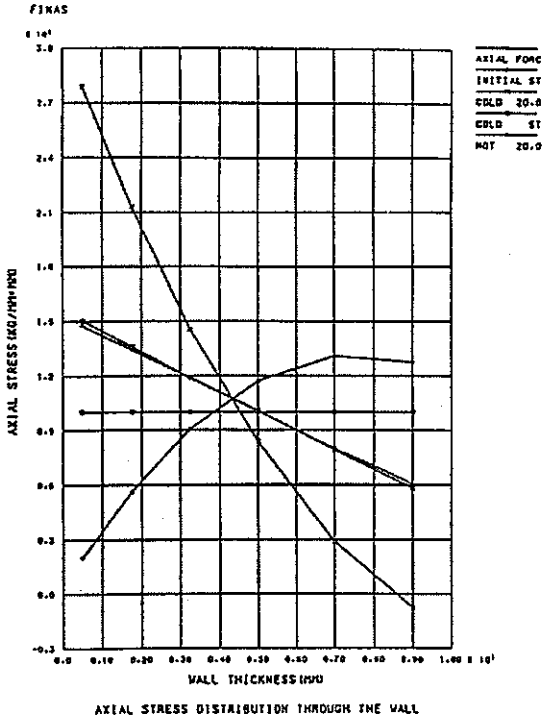


図 5.1.1-4　軸方向応力の肉厚方向分布

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 5.1.1-3　熱応力解析を行なうステップを選択する FNSEDIT の入力データイメージ

```
          1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SELECT TEMP
REF TEMP 20.0
ST1  3,13,24,34
END SELECT
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
          0         0         0         0         0         0         0         0
```

注）選択したステップの温度データは増分形でファイル FT21 に出力される。

表 5.1.1-4　ファイル TP21 から温度データを読み込む熱応力解析の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     THERMAL ELASTIC ANALYSIS OF A PIPE SUBJECTED TO THERMAL SHOCK
STATIC    TE
MODEL
NODE PITCH
    1     1.0       2*1.5     3*2.0
NODE
    1                   100.0       0.0                       6    1         7
    7                   110.0       0.0
   11                   100.0       1.0                       6    1        17
   17                   110.0       1.0
ELEMENT TYPE
    1     QAX4
CONNECTION
    1    1         1    1    2   11   12                      6
MATERIAL
    1    1 SUS304                                   3
          EPLAST LIB
TEMPERATURE
     REF  20.0
=READ     21
FORCE
    1
         1    1    6         4                -1.0      -1.0
BOUNDARY
    1
              1   7              2
FASTENING
    1
     F1       6   11    2    0   12    2    1
HISTORY
INTERVAL
          BOUN     1
          FAS      1
          FORC     1      10.0
INTERVAL
          BOUN     1
          FAS      1
          TEMP     1
INTERVAL
          BOUN     1
          FAS      1
          TEMP     2
INTERVAL
          BOUN     1
          FAS      1
          TEMP     3
INTERVAL
          BOUN     1
          FAS      1
          TEMP     4
END MODEL
OUTPUT
STRUCTURE PLOT
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
IPLOT               BOTH
$
XYPLOY
ELIST2       10    1    6
XVALU        20     0.5       1.75      3.25      5.0       7.0       9.0
XRANGE    0.0       10.0
XDIVISION    10    0
```

```
YDIVISION          0
CURVE        1                AXIAL FORC
CURVE        2                INITIAL ST
CURVE        3                COLD  20.0
CURVE        4                COLD    ST
CURVE        5                HOT   20.0
PTITLE    STRESS INTENSITY DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
YTITLE    STRESS INTENSITY(KG/MM*MM)
PLOT2     TRES ELIST   10    1XVALU   20TRES ELIST   10    2XVAL    20
          TRES ELIST   10    3XVALU   20TRES ELIST   10    4XVAL    20
          TRES ELIST   10    5XVALU   20
$
PTITLE    AXIAL STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
YTITLE    AXIAL STRESS(KG/MM*MM)
PLOT2     STRS2ELIST   10    1XVALU   20STRS2ELIST   10    2XVAL    20
          STRS2ELIST   10    3XVALU   20STRS2ELIST   10    4XVAL    20
          STRS2ELIST   10    5XVALU   20
$
PTITLE    HOOP STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
XTITLE    WALL THICKNESS(MM)
YTITLE    HOOP STRESS(KG/MM*MM)
PLOT2     STRS3ELIST   10    1XVALU   20STRS3ELIST   10    2XVAL    20
          STRS3ELIST   10    3XVALU   20STRS3ELIST   10    4XVAL    20
          STRS3ELIST   10    5XVALU   20
$
POST TAPE
IPSET2       10    4    6
ELM       ALL     10
$
PRINT SELECT
NSET2        10    1    7
IPSET2       10    4    6
DISP         10
ELM       ALL     10
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

5.2 リスタートテープの編集

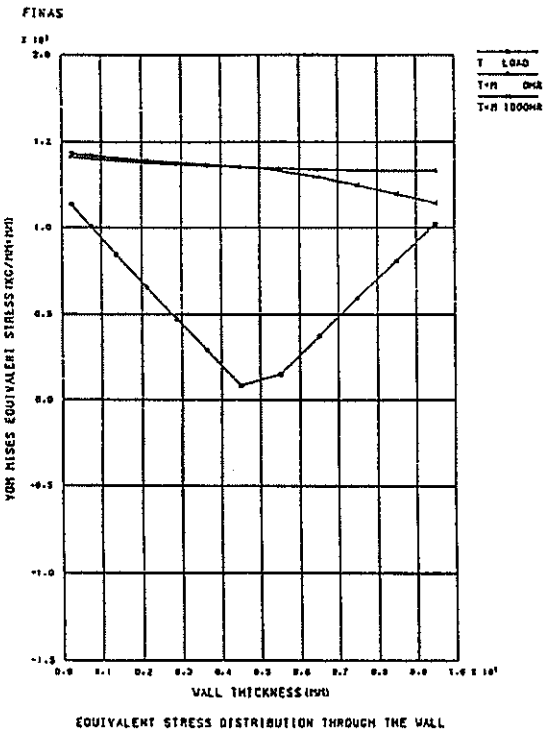
5.2.1 熱弾塑性クリープ解析におけるリスタートテープの編集とリスタートテープからの出力

(1) 問題

2.2.3 項の肉厚方向に温度分布のある円筒の熱塑性クリープ解析で作成した 2 本のリスタートテープを 1 本に編集し、プリント出力、ポストテープ出力およびプロット出力を行なう。

(2) 出力結果

編集後のリスタートテープを利用して作成した XY プロット図を図 5.2.1-1～5.2.1-4 に示す。図 5.2.1-1 は相当応力の肉厚分布、図 5.2.1-2 は 1000 時間保持後の相当クリープひずみの分布を表わす。図 5.2.1-3 と図 5.2.1-4 は内外表面にそれぞれ一番近い積分点における軸方向応力－ひずみ曲線と相当クリープひずみの時刻歴である。



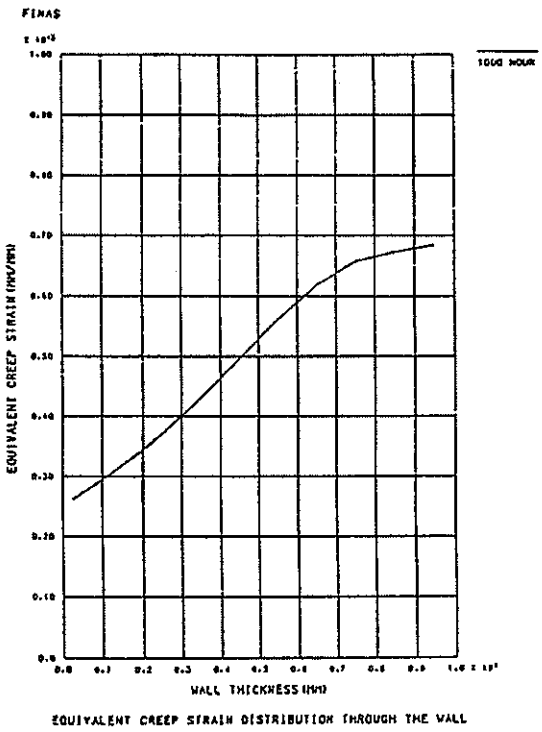


図 5.2.1-1 相当応力の肉厚方向分布　図 5.2.1-2 クリープひずみの肉厚方向分布

PNC N941 85-172

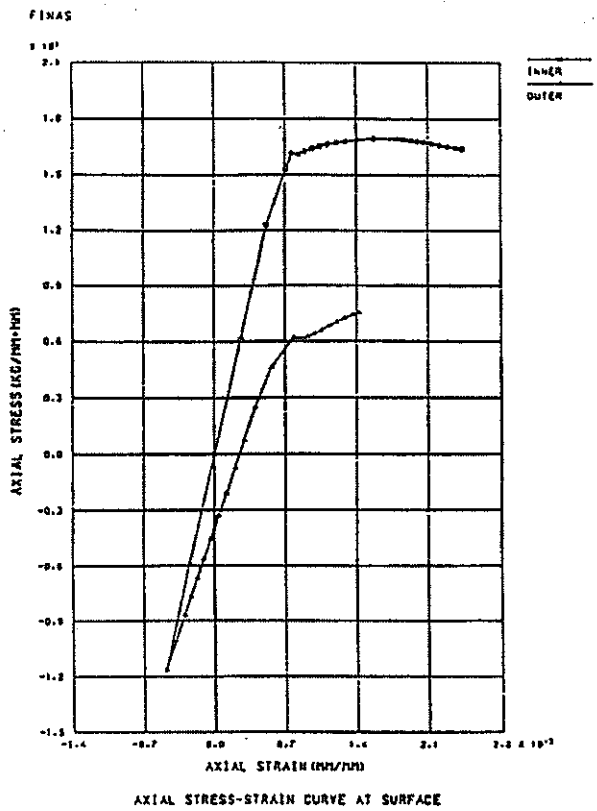


図 5. 2. 1-3　内外表面における軸方向応力ーひずみ曲線

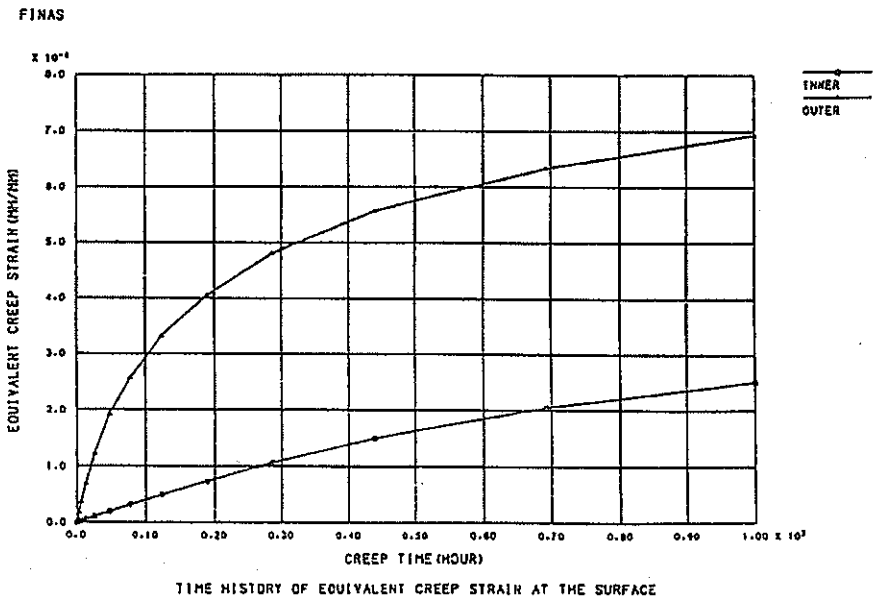


図 5. 2. 1-4　内外表面における相当クリープひずみの時刻歴

(3) 入力データ

表 5.2.1-1　リスタートテープの編集を行なう FNSEDIT の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
MERGE RESTART
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.2.1-2　リスタートテープから出力を行なう入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE      OUTPUT FROM RESTART TAPE
SUBTITLE   THERMAL ELASTIC-PLASTIC-CREEP ANALYSIS OF A PIPE
STATIC     TEPC
RESTART    X
OUTPUT
OTIME1       10    3   15   30
NSET1       100    1   13   21   33
IPSET1      200    4    5    6
$
PRINT SELECT
DISP        100   10
REAC        100   10
ELM        ALL    200   10
$
POST TAPE
ELM        ALL    200
$
STRUCTURE PLOT
PTITLE     NODE NUMBER
IPLOT                NODE
PTITLE     ELEMENT NUMBER
IPLOT                ELEMENT
$
XYPLOT
PTITLE     EQUIVALENT STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
XTITLE     WALL THICKNESS(MM)
YTITLE     VON MISES EQUIVALENT STRESS(KG/MM*MM)
ELIST2       30    1   12
XVALU        40     0.25      0.75      1.375     2.125     2.875     3.625
                    4.5       5.5       6.5       7.5       8.5       9.5
XRANGE     0.0       10.0
YRANGE     -15.0     20.0
XDIVISION     8    0
YDIVISION     7    0
CURVE         1                T   LOAD
CURVE         2                T+M    0HR
CURVE         3                T+M 1000HR
PLOT2      VMS  ELIST   30    3XVALU  40 VMS  ELIST   30   15XVALU   40
           VMS  ELIST   30   30XVALU  40
$
PTITLE     EQUIVALENT CREEP STRAIN DISTRIBUTION THROUGH THE WALL
YTITLE     EQUIVALENT CREEP STRAIN(MM/MM)
YRANGE     0.0       1.0E-3
YDIVISION    10    0
CURVE         1         0     1000 HOUR
PLOT2      EQEQ ELIST   30   30XVALU  40
$
PTITLE     AXIAL STRESS-STRAIN CURVE AT SURFACE
XTITLE     AXIAL STRAIN(MM/MM)
YTITLE     AXIAL STRESS(KG/MM*MM)
XRANGE     -1.0E-3   2.5E-3
YRANGE     -15.0     20.0
XDIVISION     5    0
CURVE         1                INNER
CURVE         2                OUTER
PLOT3      EEPC2    1    4STRS2    1    4EEPC2   12    6STRS2   12    6
$
PTITLE     TIME HISTORY OF EQUIVALENT CREEP STRAIN AT THE SURFACE
XTITLE     CREEP TIME(HOUR)
YTITLE     EQUIVALENT CREEP STRAIN(MM/MM)
FRAME      A4H
```

```
CURVE          1                INNER
CURVE          2                OUTER
XRANGE            0.0    1000.0
YRANGE            0.0    8.0E-4
XDIVISION    10     0
YDIVISION     8     0
PLOT1     ECEQ      1    4ECEQ    12    6                              CTIME
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

II. 応 用 編

1. 概　　要

応用編はより実際的な問題についてFINASをどのように適用していくかを習得することを意図している。本編の例題は中規模のモデルを取り扱っているが、各々代表的な問題であり、複雑な問題を解く場合の参考にすることができる。第 2 章で静的解析の例を、第 3 章で動的解析の例を、第 4 章で温度解析の例を、第 5 章でユーザーサブプログラムによる解析の例をそれぞれ説明する。

2. 静 的 解 析

2.1 線 形 解 析

2.1.1 パイプ結合部の弾性解析

(1) 問題

互いに直交する径の異なる 2 本のパイプからなる分岐管（ティー管）が内圧を受ける場合の弾性解析を行なう。[10] 材料定数は弾性係数 30.0×10^{6}psi、ポアソン比 0.3 である。構造に作用する負荷は内圧とパイプ端閉じの条件から生じる両端面における軸方向引張荷重であり、その大きさを図 2.1.1-2 に示す。

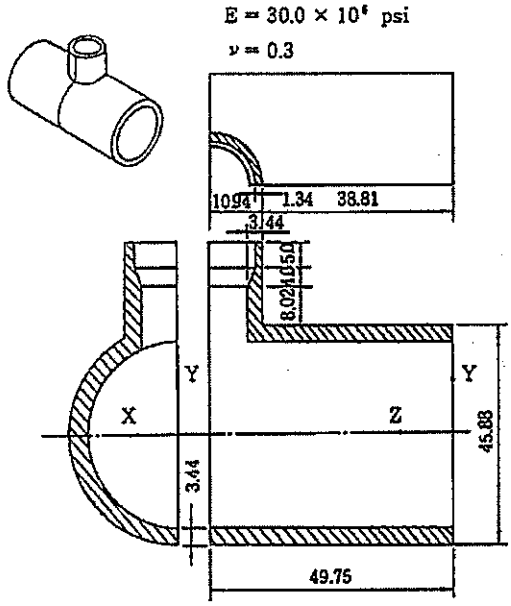


図 2.1.1-1 パイプ結合部

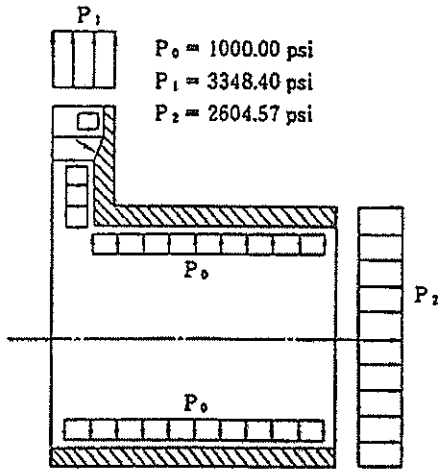


図 2.1.1-2　負 荷 条 件

(2) 有限要素モデルと解析条件

構造と負荷の対称性を考慮して 4 分の 1 モデルで解析を行なう。20 節点六面体要素 HEX20 を用いて作成した有限要素モデルを図 2.1.1-3 に示し、4 分の 1 モデルにおける対称条件を考慮した境界条件を図 2.1.1-4 に示す。

(3) 解析結果

パイプ結合部の内外表面における相当応力と応力強さの等高線分布を図 2.1.1-5～2.1.1-8 に示す。なお、参考までに図 2.1.1-9 に内表面の相当応力の分布に関し、ASKA の解[1] を示す。

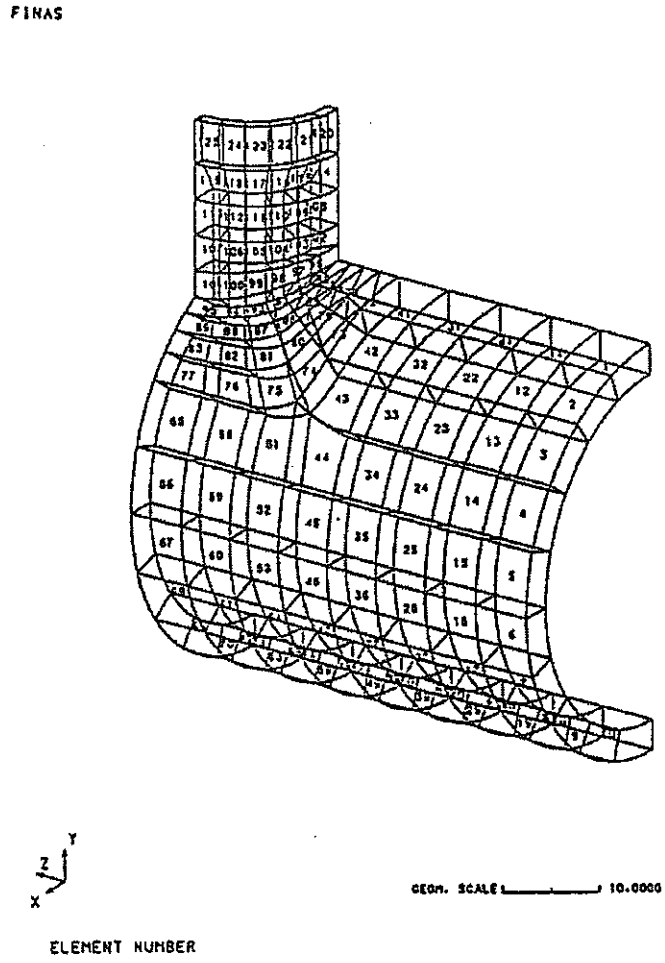


図 2. 1. 1-3　有限要素モデル

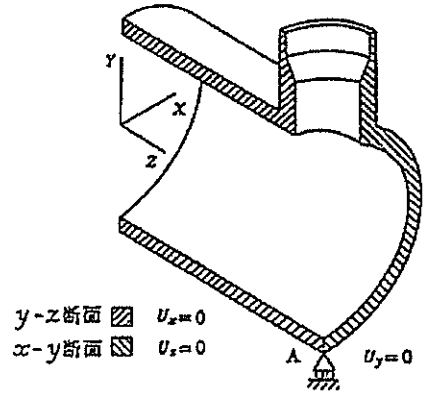


図 2. 1. 1-4　境 界 条 件

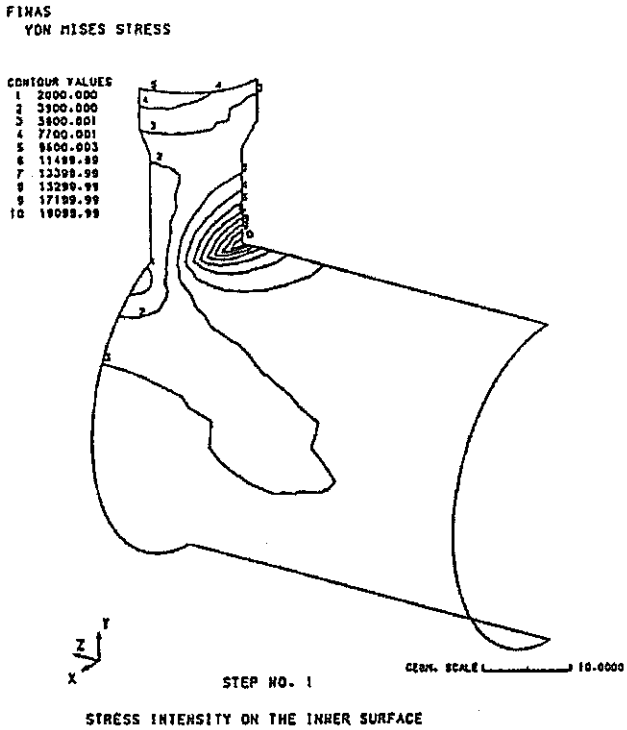


図 2.1.1-5 内表面における相当応力の分布

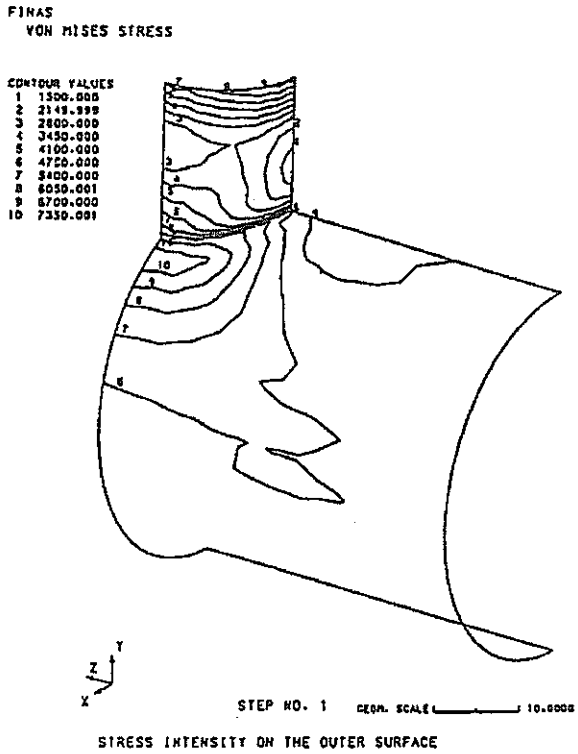


図 2.1.1-6 外表面における相当応力の分布

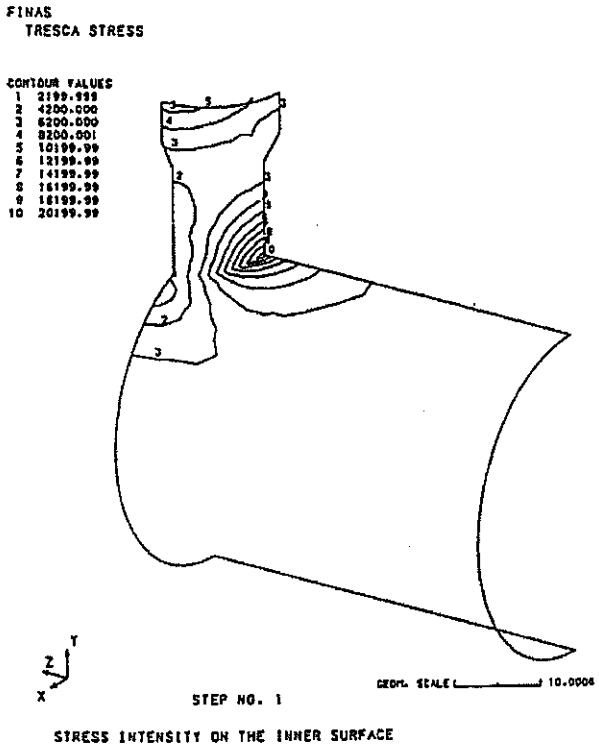


図 2.1.1-7 内表面における応力強さの分布

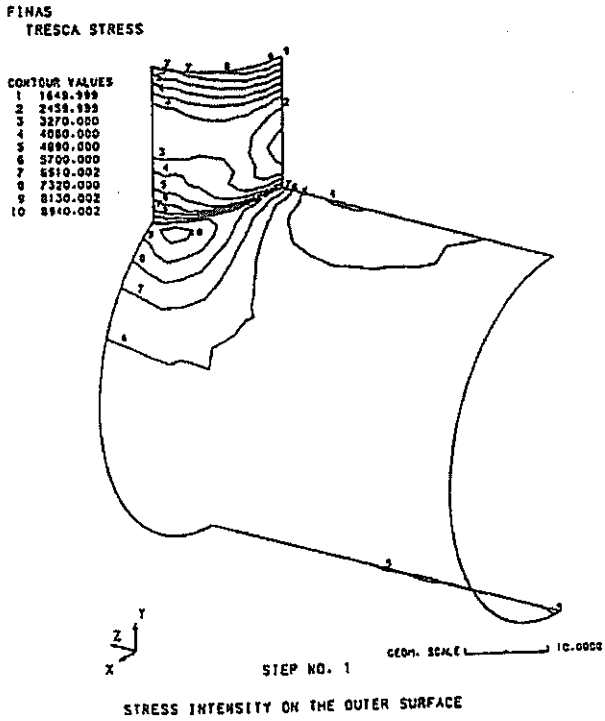


図 2.1.1-8 外表面における応力強さの分布

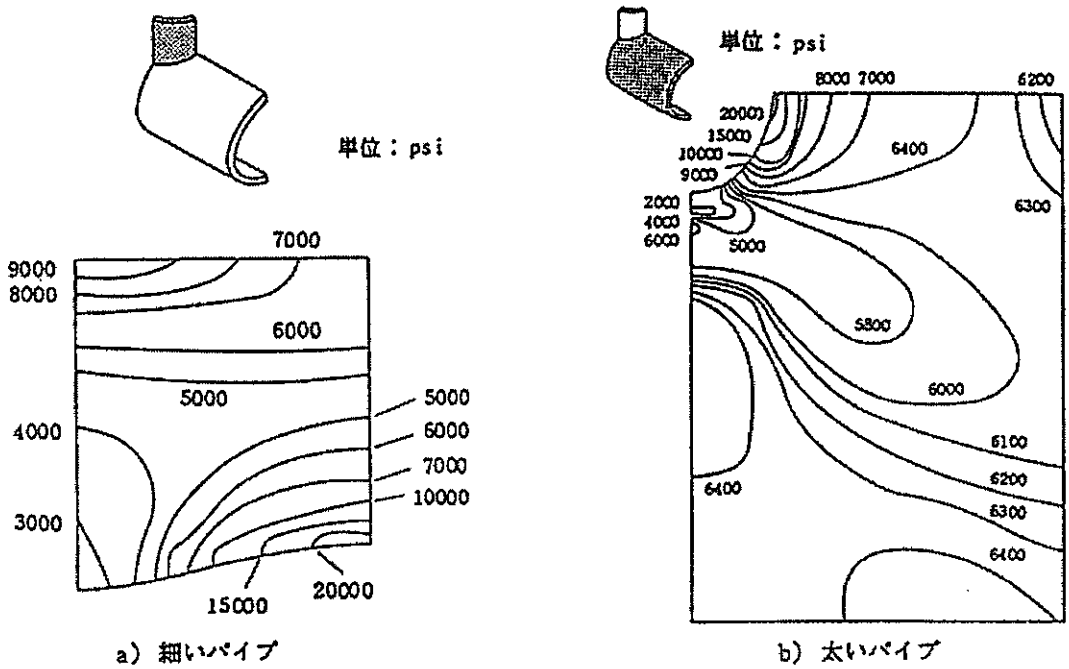


図 2.1.1-9　ASKA における内表面での相当応力の分布

(4) 入力データ

表 2.1.1-1　節点座標をファイル FT21 から読み込む入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     ELASTIC ANALYSIS OF A PIPE JUNCTION
STATIC    E
MODEL
ELEMENT TYPE
    1     HEX20
CONNECTION
**ELOOP1       5   10  126  126  126  126  126  126  126  126                  20
                       126  126  126  126  126  126  126  126
                       126  126  126  126
    1    1          1    7    8    9    4    6    1    2    3   10    6
                        70   72   64   66  133  134  135  130
                       132  127  128  129
**END1
**ELOOP1       3    7   90   90   90   90   90   90   90   90                  20
                        90   90   90   90   90   90   90   90
                        90   90   90   90
   51    1          1  655  656  657  652  654  649  650  651    7    6
                       700  702  694  696  745  746  747  742
                       744  739  740  741
**END1
   72    1          1  637  638  639  634  636  631  632  633    3    6
                       970  972  964  966 1009 1010 1011 1006
                      1008 1003 1004 1005
**ELOOP1       3    1   90   90   90   90   90   90   90   90                  20
                         6    6    6    6    6    6    6    6
                         6    6    6    6
   75    1          1  739  740  741  694  696  649  650  651
                       988  990  982  984 1027 1026 1029 1024
                      1026 1021 1022 1023
**END1
**ELOOP1       8    6   78   78   78   78   78   78   78   78                  20
                        78   78   78   78   78   78   78   78
                        78   78   78   78
   78    1          1 1009 1010 1011 1006 1008 1003 1004 1005    6    6
                      1048 1050 1042 1044 1087 1088 1089 1084
                      1086 1081 1082 1083
**END1
$     NODE DATA READ FROM FILE FT21
=READ        21
$
MATERIAL
    1
          E            30.0E+06
          NU            0.3
BOUNDARY
    1
              1  631   63          1    1
              2  632   63          1    1
              3  633   63          1    1
            964 1627   39          1    1
            965 1628   39          1    1
            966 1629   39          1    1
             61  691   63          1    1
             62  692   63          1    1
             63  693   63          1    1
            736  961   45          1    1
            737  962   45          1    1
            738  963   45          1    1
            919  963    1          3    3
           1000 1663   39          3    3
           1001 1664   39          3    3
```

```
          1002 1665   39          3    3
           963                     2    2
FORCE
    1
        1    1  125    1    3    1    8    1000.0    1000.0    1000.0    1000.0
                                             1000.0    1000.0    1000.0    1000.0
        1    1   10    1    1    1    8   -2604.57  -2604.57  -2604.57  -2604.57
                                            -2604.57  -2604.57  -2604.57  -2604.57
        1  120  125    1    6    1    8   -3348.40  -3348.40  -3348.40  -3348.40
                                            -3348.40  -3348.40  -3348.40  -3348.40
HISTORY
INTERVAL      1
          BOUN      1
          FORC      1
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
ESET2        10   90  101
NSET2        10    1   61    3   64  631   63  964 1627   39  124  691   63
                 736  961   45  919  958    3 1000 1663   39 1630 1660    3
                1240 1270    3
NSET2        20    3   63    3   66  633   63  966 1629   39  126  639   63
                 738  963   45  921  960    3 1002 1665   39 1632 1662    3
                1242 1272    3
DISP         10             20
ELM          10  ALL
$
POST TAPE
DISP      ALL
REAC      ALL
ELM       ALL  ALL
$
STRUCTURE PLOT
ESET2        10    1   71
ESET2        20   72   95
ESET2        30   96  125
$ NODES ON THE INNER SURFACE
PESET2       10    1   61    3   64  124    6  127  187    3  190  250    6
                 253  313    3  316  376    6  379  439    3  442  502    6
                 505  565    3  568  628    6  631  691    3  694  736    6
                 739  781    3  784  826    6  829  871    3  874  916    6
                 919  961    3  964 1000    6 1003 1039    3 1042 1078    6
                1081 1117    3 1120 1156    6 1159 1195    3 1198 1234    6
                1237 1273    3 1276 1312    6 1315 1351    3 1354 1390    6
                1393 1429    3 1432 1468    6 1471 1507    3 1510 1546    6
                1549 1585    3 1588 1624    6 1627 1663    3
$ NODES ON THE OUTER SURFACE
PESET2       20    3   63    3   66  126    6  129  189    3  192  252    6
                 255  315    3  318  378    6  381  441    3  444  504    6
                 507  567    3  570  630    6  633  693    3  696  738    6
                 741  783    3  786  828    6  831  873    3  876  918    6
                 921  963    3  966 1002    6 1005 1041    3 1044 1080    6
                1083 1119    3 1122 1158    6 1161 1197    3 1200 1236    6
                1239 1275    3 1278 1314    6 1317 1353    3 1356 1392    6
                1395 1431    3 1434 1470    6 1473 1509    3 1512 1548    6
                1551 1587    3 1590 1626    6 1629 1665    3
AXES         X    -Z    Y
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL OF A PIPE JUNCTION
IPLOT
PTITLE    ELEMENT NUMBER
IPLOT               ELEMENTS
PTITLE    NODE NUMBER
IPLOT        10     NODE
IPLOT        20     NODE
```

```
IPLOT        30      NODE
$
PTITLE    EQUIVALENT STRESS ON THE INNER SURFACE
CPLOT       -10      VMS
PTITLE    EQUIVALENT STRESS ON THE OUTER SURFACE
CPLOT       -20      VMS
$
PTITLE    STRESS INTENSITY ON THE INNER SURFACE
CPLOT       -10      TRES
PTITLE    STRESS INTENSITY ON THE OUTER SURFACE
CPLOT       -20      TRES
$
PTITLE    DEFORMED SHAPE OF A PIPE JUNCTION
DPLOT
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.1.1-2　ファイル FT21 上の節点座標

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
NODE
    1                0.0       0.1950E+020.0
    2                0.0       0.2122E+020.0
    3                0.0       0.2294E+020.0
    4                0.3050E+010.1926E+020.0
    5                0.3320E+010.2096E+020.0
    6                0.3589E+010.2266E+020.0
    7                0.6026E+010.1855E+020.0
    8                0.6557E+010.2018E+020.0
    9                0.7089E+010.2182E+020.0
   10                0.8853E+010.1737E+020.0
   11                0.9634E+010.1891E+020.0
   12                0.1041E+020.2044E+020.0
   13                0.1146E+020.1578E+020.0
   14                0.1247E+020.1717E+020.0
   15                0.1348E+020.1856E+020.0
   16                0.1379E+020.1379E+020.0
   17                0.1500E+020.1500E+020.0
   18                0.1622E+020.1622E+020.0
   19                0.1578E+020.1146E+020.0
   20                0.1717E+020.1247E+020.0
   21                0.1856E+020.1348E+020.0
   22                0.1737E+020.8853E+010.0
   23                0.1891E+020.9634E+010.0
   24                0.2044E+020.1041E+020.0
   25                0.1855E+020.6026E+010.0
   26                0.2018E+020.6557E+010.0
   27                0.2182E+020.7089E+010.0
   28                0.1926E+020.3050E+010.0
   29                0.2096E+020.3320E+010.0
   30                0.2266E+020.3589E+010.0
   31                0.1950E+020.8756E-090.0
   32                0.2122E+020.9529E-090.0
   33                0.2294E+020.1030E-080.0
   34                0.1926E+02-.3050E+010.0
   35                0.2096E+02-.3320E+010.0
   36                0.2266E+02-.3589E+010.0
   37                0.1855E+02-.6026E+010.0
   38                0.2018E+02-.6557E+010.0
   39                0.2182E+02-.7089E+010.0
   40                0.1737E+02-.8853E+010.0
   41                0.1891E+02-.9634E+010.0



 1651                0.8314E+010.4006E+020.4495E+02
 1652                0.8894E+010.4006E+020.4462E+02
 1653                0.9474E+010.4006E+020.4428E+02
 1654                0.8869E+010.4006E+020.4608E+02
 1655                0.9488E+010.4006E+020.4582E+02
 1656                0.1011E+020.4006E+020.4556E+02
 1657                0.9273E+010.4006E+020.4727E+02
 1658                0.9920E+010.4006E+020.4709E+02
 1659                0.1057E+020.4006E+020.4692E+02
 1660                0.9518E+010.4006E+020.4850E+02
 1661                0.1018E+020.4006E+020.4841E+02
 1662                0.1085E+020.4006E+020.4832E+02
 1663                0.9600E+010.4006E+020.4975E+02
 1664                0.1027E+020.4006E+020.4975E+02
 1665                0.1094E+020.4006E+020.4975E+02
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.1.2 面内曲げモーメントを受ける直管付きエルボの弾性解析

(1) 問題

図 2.1.2-1 に示す直管付きエルボの一端を固定し、剛体を取り付けた他端に面内曲げモーメントを負荷する場合の弾性解析を行なう。材料は SUSU304 であり、弾性係数は 21.7×10³ksi、ポアソン比 0.309 を用いる。また、負荷するモーメントは 7458lb・in である。

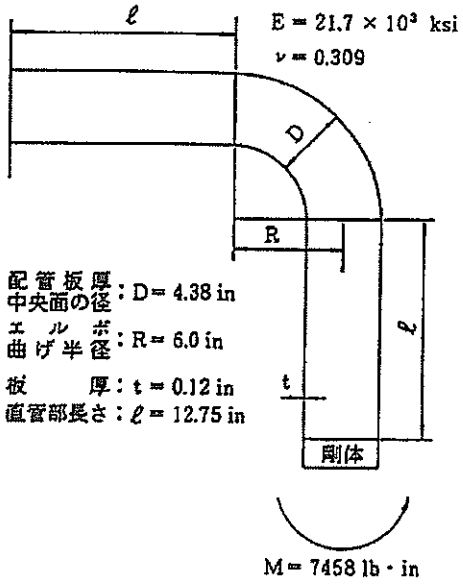


図 2.1.2-1 直管付きエルボ

(2) 有限要素モデルと解析条件

構造と負荷の対称性を考慮して、半断面についてモデル化を行なう。6 節点配管要素 ELBOW6R による、円周方向 27 分割、管長手方向 9 分割の有限要素モデルを図 2.1.2-2 に示す。表 2.1.2-1 は ELBOW6R の節点自由度について示したものであるが、半断面で解析する場合の対称条件は、エルボ節点では対称面で波形が逆対称となる cosϕ、sin2ϕ、cos3ϕ、sin4ϕ、cos5ϕ、sin6ϕに対する自由度 u_3、u_4、u_7、u_8、u_{11}、u_{12}を拘束し、シェル節点では対称面内の節点において、円周方向変位 v、管長手方向軸回り回転θi を拘束する。また、荷重端に剛体が取り付けられている条件は、変形後も円形断面を保持するものとして、エルボ節点の自由度のうち管長手方向の並進量 u_1、面内回転に対応する u_2以外の自由度 u_3、u_4、…、u_{12}を拘束する。シェル節点については、変形が微小であるとして、断面が変形前の円形を保持するために、次の条件を荷重端に与える。

$$v_i = -w_{1001} \mathrm{COS}\,\phi\, i$$

$$w_i = -w_{1001} \mathrm{SIN}\,\phi\, i \qquad (2.1.2\text{-}1)$$
$$\theta^i_l = 0$$
$$\theta^i_s = (u2/r)\,\mathrm{SIN}\,\phi\, i$$

ここで、w_{1001}、r はそれぞれ節点 1001 の半径方向変位、板厚中央面の半径を表わし、添字 i は節点 i における値であることを表わす。

FINAS

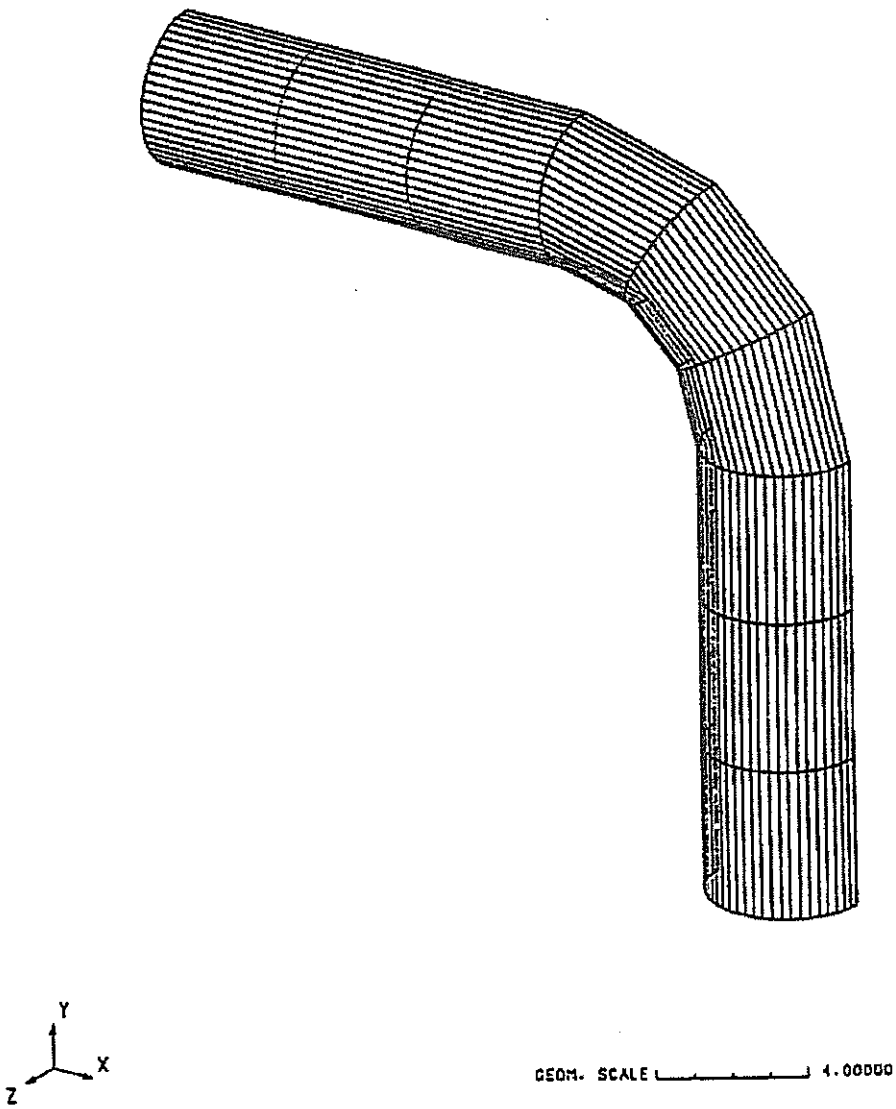


図 2.1.2-2　有限要素モデル

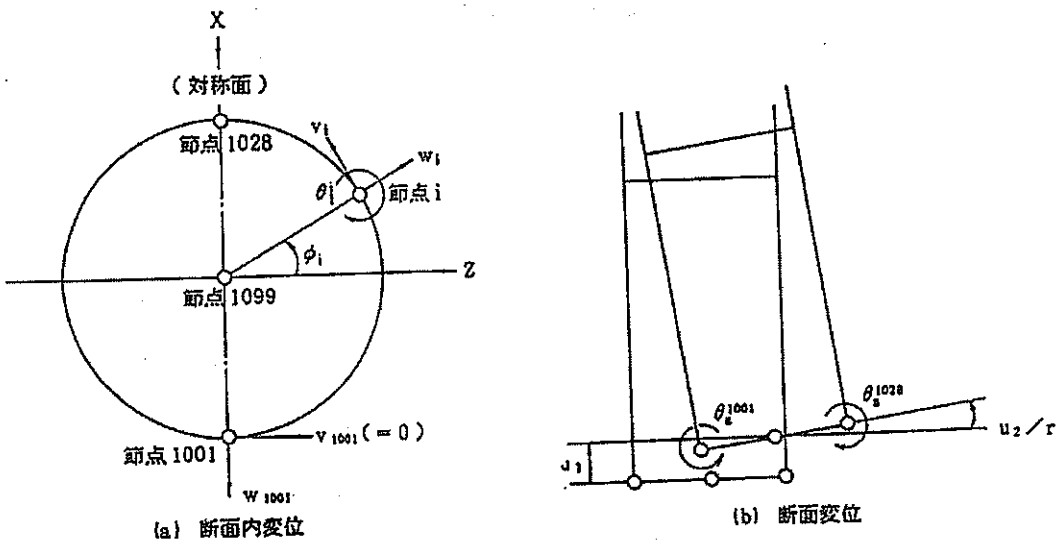


図 2.1.2-3　荷重端の変位

表 2.1.2-1　ELBOW6R 要素の節点自由度

節　点	自由度	説　　明
エルボ節点	u_1	管長手方向並進量
	u_2	面内回転に対応
	u_3	面外回転に対応
	u_4	$u = u_1 + \sum_k^6 \{u_{2k}\sin(k\phi) + u_{2k-1}\cos(k\phi)\}$
	u_5	
	⋮	u ：管長手方向変位
	u_{13}	ϕ ：円周方向の位置を表わす角度
シェル節点	u	円周方向変位
	W	半径方向変位
	θ_1	管長手方向軸回り回転
	θ_s	断面の円周方向接線回りの回転　（円周方向断面）

表 2.1.2-2　梁要素と ELBOW6R の荷重入力の対比

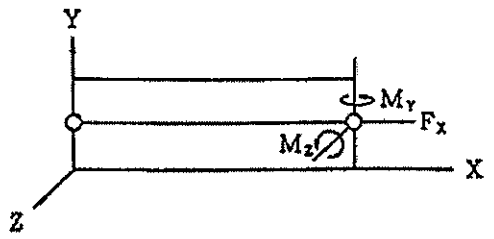
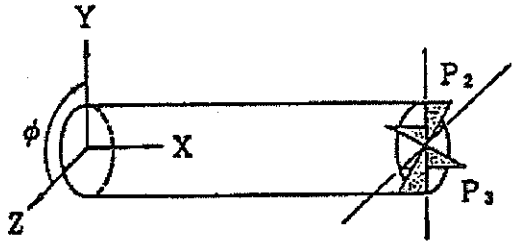
梁　要　素	ELBOW6R（エルボ節点）
Fx ： 軸力 My： Y軸回り（面外）モーメント Mz： Z軸回り（面内）モーメント	P_1= Fx P_2= -Mz/r　ただし、r は断面平均半径 P_3=My/r
	

表 2.1.2-2 は梁要素と ELBOW6R 要素における荷重入力を対比したものである。はり要素が XY 面内にあり、ELBOW6R の円周方向の位置を表わす角度 φ を表中に示すように定めるとすると、面内曲げモーメント Mz、面外曲げモーメント My を与える場合には、エルボ節点の 2、3 番目の自由度にそれぞれ-Mz/r、My/r を入力し、その他の剪断力 Fy、Fz、ねじりモーメント Mx を与える場合には、断面内のシェル節点の 1、2 番目の自由度に力を割り振って入力する。したがって、図 2.1.2-1 に示す面内曲げモーメント 7458 lb･in を与えるには、節点 1099 の 2 番目の自由度に次の値を入力すればよい。

$$P = -7458 \ / \ 2.19 \ / \ 2 = -1702.7397 \ \mathrm{lb} \qquad (2.1.2\text{-}2)$$

(3) 解析結果

周方向応力の内外表面における等高線分布を図 2.1.2-4 と図 2.1.2-5 に長手方向応力の等高線分布を図 2.1.2-6 と 2.1.2-7 にそれぞれ示し、周方向応力と長手方向応力のエルボ中央部における周方向分布を図 2.1.2-8 と図 2.1.2-9 に示す。

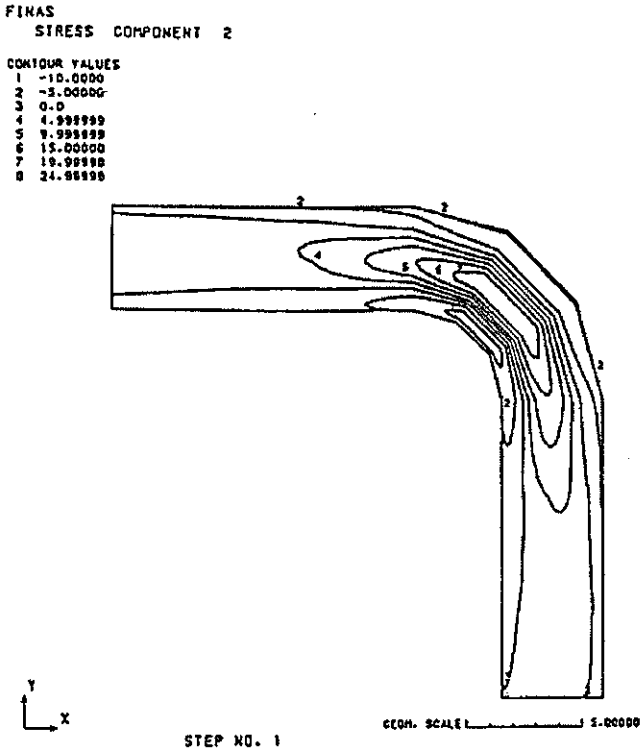


図 2.1.2-4　内表面における周方向応力

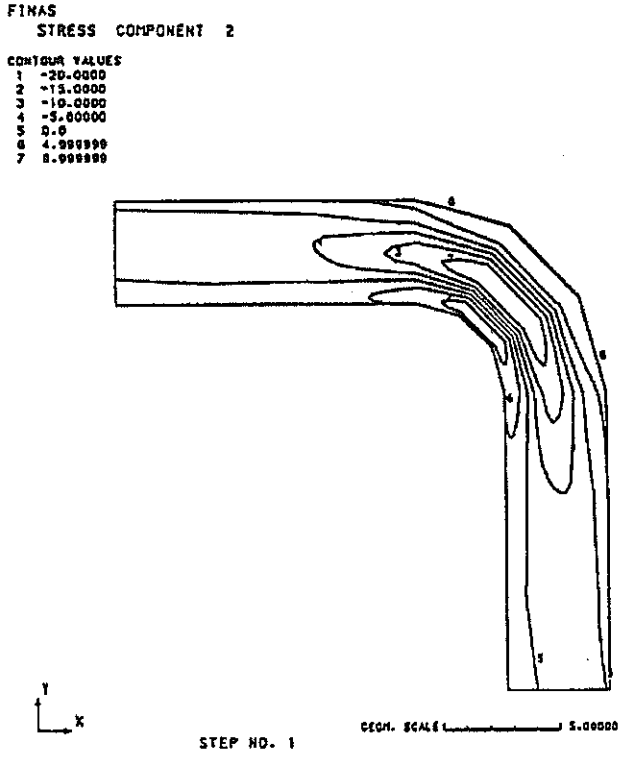


図 2.1.2-5　外表面における周方向応力

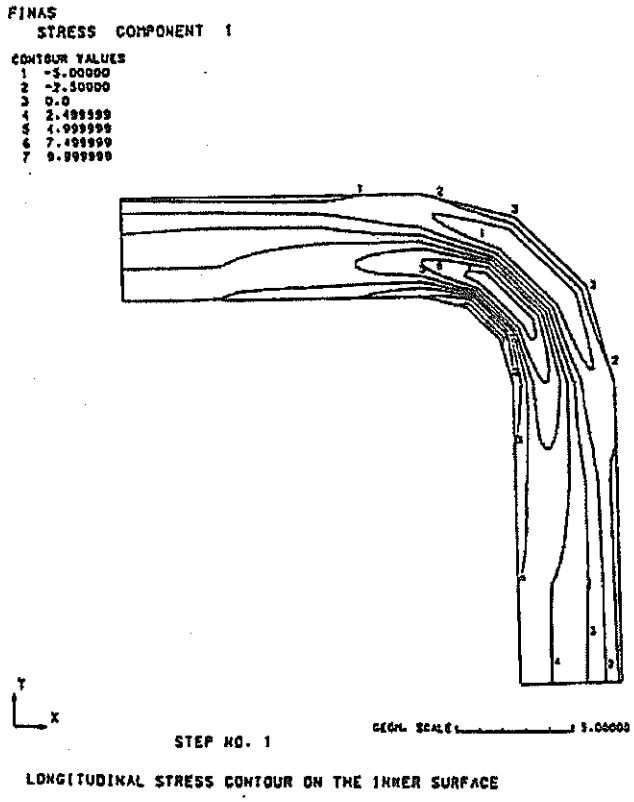


図 2. 1. 2-6　内表面における長手方向応力

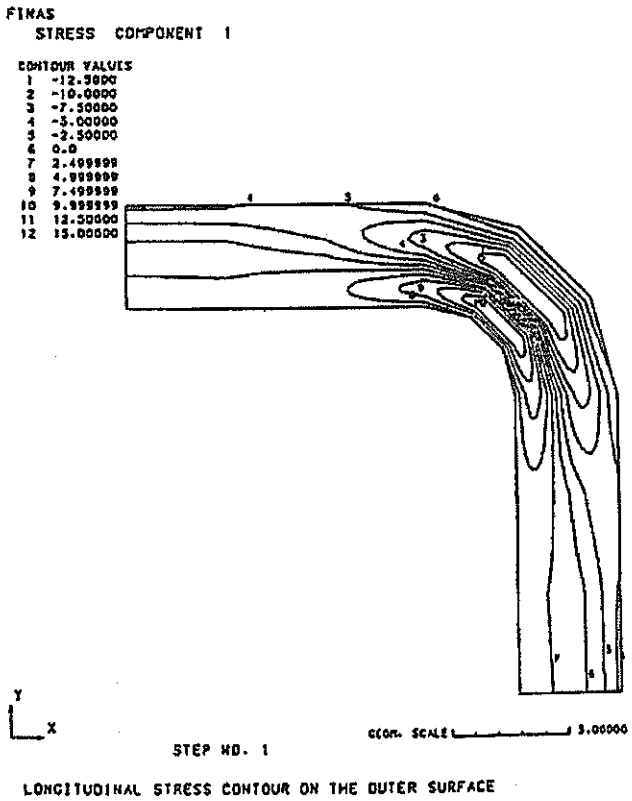
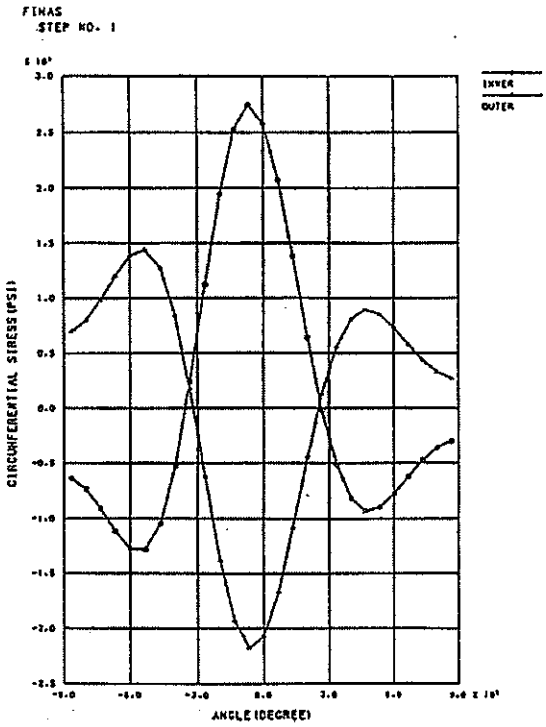


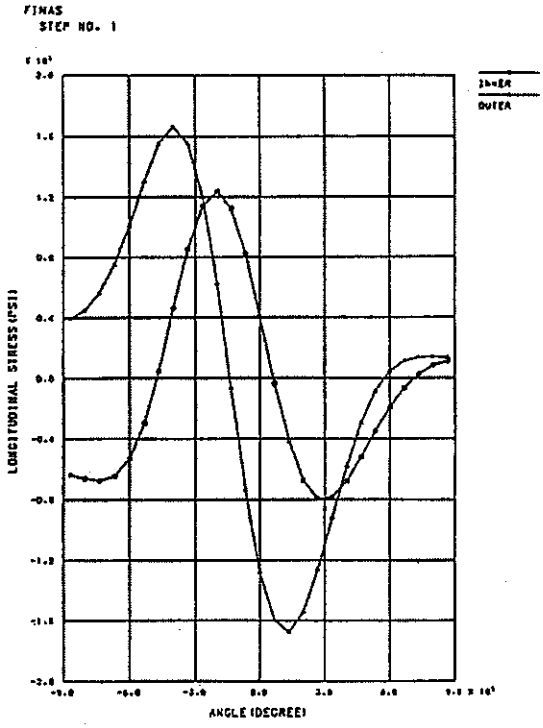
図 2. 1. 2-7　外表面における長手方向応力

PNC N941 85-172



CIRCUMFERENTIAL STRESS DISTRIBUTION AT THE MIDDLE OF ELBOW

図 2.1.2-8 ｴﾙﾎﾞ中央部における周方向応力の分布



LONGITUDINAL STRESS DISTRIBUTION AT THE MIDDLE OF ELBOW

図 2.1.2-9 ｴﾙﾎﾞ中央部における長手方向応力の分布

(4) 入力データ

表 2.1.2-3 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     ELBOW-PIPE ASSEMBLY SUBJECTED TO IN-PLANE BENDING MOMENT
NOPRINT   DESCR
STATIC    E
MODEL
COORDINATE SYSTEM
    1    2                 0.0       0.0       0.0       1.0       0.0       0.0
                           0.0       1.0       0.0
    2    2    1            6.0      90.0       0.0       6.0      90.0     100.0
                         100.0      90.0       0.0
    3    2    1            6.0      60.0       0.0       6.0      60.0     100.0
                         100.0      60.0       0.0
    4    2    1            6.0      30.0       0.0       6.0      30.0     100.0
                         100.0      30.0       0.0
    5    2    1            6.0       0.0       0.0       6.0       0.0     100.0
                         100.0       0.0       0.0
NODE
**NLOOP1      4  100                          -4.25
  101    2                2.19     -90.0      12.75              27         1  128
  128    2                2.19      90.0      12.75
  199    2                0.00       0.0      12.75
**END1
  501    3                2.19     -90.0                         27         1  528
  528    3                2.19      90.0
  599    3                0.00       0.0
  601    4                2.19     -90.0                         27         1  628
  628    4                2.19      90.0
  699    4                0.00       0.0
**NLOOP1      4  100                          -4.25
  701    5                2.19     -90.0       0.00              27         1  728
  728    5                2.19      90.0       0.00
  799    5                0.00       0.0       0.00
**END1
 9999                     0.00       0.0       0.00
ELEMENT TYPE
    1     ELBOW6R
CONNECTION
**ELOOP2      9  100  100  100  100  100  100  100
**ELOOP1     27    1    1    1         1    1
  101    1    1    1  101  102  199  201  202  299 9999
**END1
**END2
GEOMETRY
    1           0.12
MATERIAL
    1
          E             21.7E3
          NU             0.309
BOUNDARY
    1
            101  128              1    4
            199                   1   13
            201 1001  100         1
            201 1001  100         3
            228 1028  100         1
            228 1028  100         3
            299  999  100         3    4
            299  999  100         7    8
            299  999  100        11   12
           1002 1027              3
           1099                   3   13
FASTENING
```

```
1
 F3     1002     1                1
        1001     2-0.1160938
 F3     1002     2                1
        1001     2 0.9932382
 F3     1002     4                1
        1099     2-0.4535335
 F3     1003     1                1
        1001     2-0.2306165
 F3     1003     2                1
        1001     2 0.9730447
 F3     1003     4                1
        1099     2-0.4443127
 F3     1004     1                1
        1001     2-0.3420204
 F3     1004     2                1
        1001     2 0.9396925
 F3     1004     4                1
        1099     2-0.4290834
 F3     1005     1                1
        1001     2-0.4488000
 F3     1005     2                1
        1001     2 0.8936322
 F3     1005     4                1
        1099     2-0.4080513
 F3     1006     1                1
        1001     2-0.5495091
 F3     1006     2                1
        1001     2 0.8354877
 F3     1006     4                1
        1099     2-0.3815013
 F3     1007     1                1
        1001     2-0.6427877
 F3     1007     2                1
        1001     2 0.7660444
 F3     1007     4                1
        1099     2-0.3497920
 F3     1008     1                1
        1001     2-0.7273736
 F3     1008     2                1
        1001     2 0.6862417
 F3     1008     4                1
        1099     2-0.3133524
 F3     1009     1                1
        1001     2-0.8021231
 F3     1009     2                1
        1001     2 0.5971586
 F3     1009     4                1
        1099     2-0.2726752
 F3     1010     1                1
        1001     2-0.8660249
 F3     1010     2                1
        1001     2 0.5000007
 F3     1010     4                1
        1099     2-0.2283108
 F3     1011     1                1
        1001     2-0.9182160
 F3     1011     2                1
        1001     2 0.3960800
 F3     1011     4                1
        1099     2-0.1808584
 F3     1012     1                1
        1001     2-0.9579893
 F3     1012     2                1
```

```
        1001    2 0.2868038
F3      1012    4               1
        1099    2-0.1309606
F3      1013    1               1
        1001    2-0.9848076
F3      1013    2               1
        1001    2 0.1736491
F3      1013    4               1
        1099    2-0.0792918
F3      1014    1               1
        1001    2-0.9983081
F3      1014    2               1
        1001    2 0.0581451
F3      1014    4               1
        1099    2-0.0265503
F3      1015    1               1
        1001    2-0.9983082
F3      1015    2               1
        1001    2-0.0581442
F3      1015    4               1
        1099    2 0.0265499
F3      1016    1               1
        1001    2-0.9848079
F3      1016    2               1
        1001    2-0.1736472
F3      1016    4               1
        1099    2 0.0792909
F3      1017    1               1
        1001    2-0.9579896
F3      1017    2               1
        1001    2-0.2868029
F3      1017    4               1
        1099    2 0.1309602
F3      1018    1               1
        1001    2-0.9182163
F3      1018    2               1
        1001    2-0.3960791
F3      1018    4               1
        1099    2 0.1808581
F3      1019    1               1
        1001    2-0.8660259
F3      1019    2               1
        1001    2-0.4999991
F3      1019    4               1
        1099    2 0.2283101
F3      1020    1               1
        1001    2-0.8021240
F3      1020    2               1
        1001    2-0.5971575
F3      1020    4               1
        1099    2 0.2726747
F3      1021    1               1
        1001    2-0.7273742
F3      1021    2               1
        1001    2-0.6862411
F3      1021    4               1
        1099    2 0.3133521
F3      1022    1               1
        1001    2-0.6427885
F3      1022    2               1
        1001    2-0.7660437
F3      1022    4               1
        1099    2 0.3497917
F3      1023    1               1
```

```
            1001     2-0.5495102
      F3    1023     2                1
            1001     2-0.8354869
      F3    1023     4                1
            1099     2 0.3815010
      F3    1024     1                1
            1001     2-0.4488000
      F3    1024     2                1
            1001     2-0.8936322
      F3    1024     4                1
            1099     2 0.4080513
      F3    1025     1                1
            1001     2-0.3420213
      F3    1025     2                1
            1001     2-0.9396922
      F3    1025     4                1
            1099     2 0.4290832
      F3    1026     1                1
            1001     2-0.2306173
      F3    1026     2                1
            1001     2-0.9730445
      F3    1026     4                1
            1099     2 0.4443126
      F3    1027     1                1
            1001     2-0.1160938
      F3    1027     2                1
            1001     2-0.9932382
      F3    1027     4                1
            1099     2 0.4535335
      F3    1028     2                1
            1001     2-1.0000000
      F3    1028     4                1
            1099     2 0.4566211
FORCE
    1
            1099                                        -1.7027397
HISTORY
INTERVAL       1
          BOUN      1
          FAS       1
          FORC      1
END MODEL
OUTPUT
STRUCTURE PLOT
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
AXES          Z    X    Y
IPLOT
PTITLE    CIRCUMFERENTIAL STRESS CONTOUR ON THE INNER SURFACE
VIEW            0.0       0.0       0.0
CLEVEL        -10.0      -5.0       0.0       5.0      10.0      15.0      20.0
               25.0
CPLOT              STRS2  BOT       LCL
PTITLE    CIRCUMFERENTIAL STRESS CONTOUR ON THE OUTER SURFACE
CLEVEL        -20.0     -15.0     -10.0      -5.0       0.0       5.0      10.0
CPLOT              STRS2  TOP       LCL
PTITLE    LONGITUDINAL STRESS CONTOUR ON THE INNER SURFACE
CLEVEL         -5.0      -2.5       0.0       2.5       5.0       7.5      10.0
CPLOT              STRS1  BOT       LCL
PTITLE    LONGITUDINAL STRESS CONTOUR ON THE OUTER SURFACE
CLEVEL        -12.5     -10.0      -7.5      -5.0      -2.5       0.0       2.5
                5.0       7.5      10.0      12.5      15.0
CPLOT              STRS1  TOP       LCL
$
XYPLOT
```

```
ILIST          1  501  527          1
ILIST          2  501  527          9
XVALU          1          -86.67     -80.0     -73.33     -66.67     -60.0     -53.33
                          -46.67     -40.0     -33.33     -26.67     -20.0     -13.33
                           -6.67       0.0       6.67      13.33      20.0      26.67
                           33.33      40.0      46.67      53.33      60.0      66.67
                           73.33      80.0      86.67
PTITLE     CIRCUMFERENTIAL STRESS DISTRIBUTION AT THE MIDDLE OF ELBOW
XTITLE     ANGLE(DEGREE)
YTITLE     CIRCUNFERENTIAL STRESS(PSI)
XRANGE          -90.0      90.0
$YRANGE
XDIVISION      8     0
YDIVISION     10     0
CURVE          1                INNER
CURVE          2                OUTER
PLOT2      STRS2ILIST     1     XVALU     1STRS2ILIST     2     XVALU     1
$
PTITLE     LONGITUDINAL STRESS DISTRIBUTION AT THE MIDDLE OF ELBOW
YTITLE     LONGITUDINAL STRESS(PSI)
$YRANGE
YDIVISION     10     0
PLOT2      STRS1ILIST     1     XVALU     1STRS1ILIST     2     XVALU     1
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.1.3 多種の荷重を受ける配管の弾性解析

(1) 問題

直管、曲管およびバルブで請構成される図 2.1.3-1 に示す配管系が複数の負荷を受ける場合について弾性解析を行なう。[11] 直管および曲管は同一の外径と板厚を持ち、外径は 10.74in、板厚は 0.5in であり、曲管の曲げ半径は 15in である。バルブは直管と同様に取り扱うものとし、剛性が等価になる外径を 10.74in、板厚を 2.0in とする。この配管系はバネ、ハンガーおよびコンスタントフォースハンガーにより支持されており、バネ定数は 10^4lb/in、ハンガーの等価バネ定数は 10^5lb/in である。また、直管、曲管およびバルブの材料定数は弾性係数が 27.9×10^6lb/in^2、ポアソン比が 0.333 である。配管系は図 2.1.3-1 のC端で固定され、フォースハンガーの反力を含めて表 2.1.3-1 に示す負荷が与えられる。

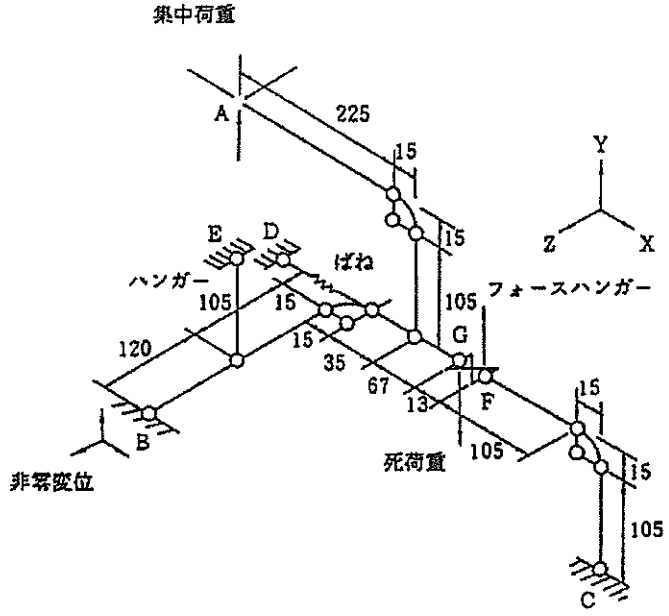


図 2.1.3-1 配 管 系

表 2.1.3-1 負 荷 条 件

強制変位	B点において	u_x = 0.2 in、u_y = 0.1 in u_z = 0.3 in
集中荷重	F点において G点において A点において	P_y = 1000 lb P_y = -200 lb P_x = 3000 lb、Py = 1000 lb P_z = 2000 lb
自　重	直管、曲管、バルブにおいて (-Y 方向)	W=6.61 lb/in

(2) 有限要素モデルと解析条件

直管、曲管およびバルブについては 2 節点配管要素 PIPE2、バネおよびハンガーについては 3 次元バネ減衰要素 LCOMB2 を用いて図 2.1.3-2 に示す有限要素モデルを作成する。境界条件は表 2.1.3-2 のものを使用し、負荷は表 2.1.3-1 に基づき表 2.1.3-2 のように分類して表 2.1.3-3 の荷重ケースを作成する。

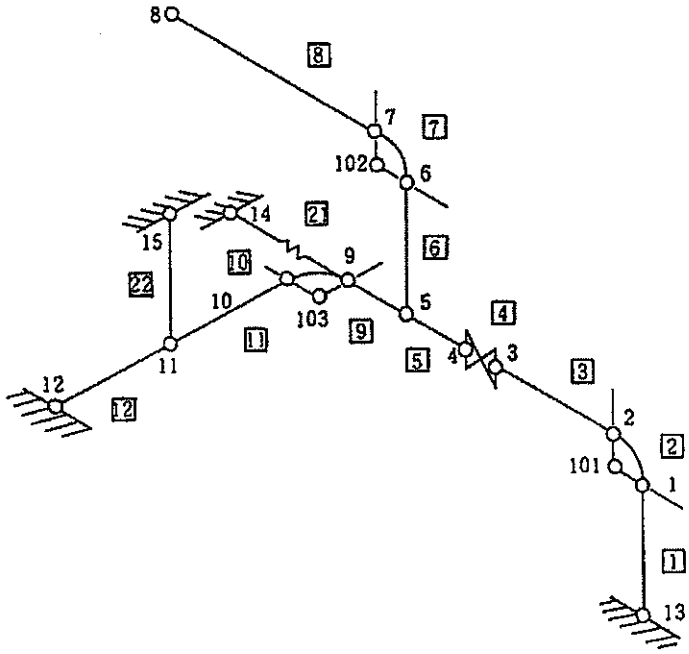


図 2.1.3-2　有限要素モデル

表 2.1.3-2 境 界 条 件

節点 13、14、15	$u_x = u_y = u_z = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$
節点 12	$\theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$ u_x、u_y、u_z は表 2.1.3-3 参照

表 2.1.3-3 負荷の分類

強制変位	節点 12 において	$u_x = 0.2$ in、$u_y = 0.1$ in $u_z = 0.3$ in
荷重 1	節点 3 において	$P_y = 1000$ lb
	節点 4 において	$P_y = -200$ lb
荷重 2	節点 8 において	$P_x = 3000$ lb、$P_y = 1000$ lb $P_z = 2000$ lb
荷重 3	要素 1～12 において自重（-Y 方向）6.61 lb/in	

注）荷重 1～3 では節点 12 において $u_x = u_y = u_z = 0$

表 2.1.3-4 荷重ケース

荷重ケース	強制変位	荷重 1	荷重 2	荷重 3
1	○			
2		○		
3			○	
4				○
5	○	○	○	○

(3) 解析結果

荷重ケース 5 について代表点での変位、支点反力および部材力を SAP IV の解と比較して表 2.1.3-5～表 2.1.3-7 にそれぞれ示す。

表 2.1.3-5　荷重ケース 5 における配管分岐点および荷重端の変位［in］

成分	配管分岐点（節点 5）		荷重端（節点 8）	
	FINAS	SAP IV	FINAS	SAP IV
u_x	7.95474×10^{-2}	7.95474×10^{-2}	8.32476×10^{-1}	8.32476×10^{-1}
u_y	2.44464×10^{-2}	2.44464×10^{-2}	2.53155	2.53155
u_z	1.67005×10^{-1}	1.67005×10^{-1}	7.43780	7.43779
θ_x	5.14404×10^{-3}	5.14404×10^{-3}	1.04102×10^{-2}	1.04102×10^{-2}
θ_y	3.59782×10^{-3}	3.59782×10^{-3}	3.02333×10^{-2}	3.02333×10^{-2}
θ_z	-3.21091×10^{-3}	-3.21091×10^{-3}	-1.14535×10^{-2}	-1.14535×10^{-2}

表 2.1.3-6　荷重ケース 5 における強制変位端および固定端の支点反力［lb］

成分	強制変位端（節点 12）		固定端（節点 13）	
	FINAS	SAP IV	FINAS	SAP IV
F_x	-160.631	-160.631	-2044.64	-2044.640
F_y	2961.95	2961.946	3216.14	3216.143
F_z	-3417.14	-3417.135	1417.14	1417.135
M_x	175574.0	175573.52	71589.9	71589.92
M_y	-10761.8	-10761.78	23597.1	23597.09
M_z	55093.7	55093.66	150230.0	150230.06

表 2.1.3-7　荷重ケース 5 における曲管および直管の部材力 [lb]

位置	成分	曲管（要素 2）		直管部（要素 12）	
		FINAS	SAP IV	FINAS	SAP IV
始点	F_x	-2522.09	-2522.093	-3417.14	-3417.135
	F_y	2044.64	2044.640	21687.5	2168.746
	F_z	1417.14	1417.135	160.631	160.631
	M_x	-23597.1	-23597.09	55093.7	55093.66
	M_y	77209.3	77209.03	-30037.5	-30037.51
	M_z	-64457.2	-64457.16	132268.0	132268.06
中点	F_x	-3174.10	-3174.104		
	F_y	-282.546	-282.546		
	F_z	1417.14	1417.135		
	M_x	-77506.9	-77506.93		
	M_y	52940.6	52940.55		
	M_z	-75289.0	-75288.97		
終点	F_x	-2044.64	-2044.640	-3417.14	-3417.135
	F_y	-2366.35	-2366.348	2961.95	2961.946
	F_z	1417.14	1417.135	160.631	160.631
	M_x	-98466.3	-98466.34	55093.7	55093.66
	M_y	-2340.06	-2340.06	-10761.8	-10761.78
	M_z	-58782.6	-58782.62	-175574.0	-175573.52

(4) 入力データ

表 2.1.3-8 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
STATIC    E    MLT
TITLE     MULTI-LOADING FOR PIPE NETWORK
MODEL
NODE
    1                     0.0      105.0       0.0
    2                   -15.0      120.0       0.0
    3                  -120.0      120.0       0.0
    4                  -133.0      120.0       0.0
    5                  -200.0      120.0       0.0
    6                  -200.0      225.0       0.0
    7                  -215.0      240.0       0.0
    8                  -440.0      240.0       0.0
    9                  -235.0      120.0       0.0
   10                  -250.0      120.0      15.0
   11                  -250.0      120.0     120.0
   12                  -250.0      120.0     240.0
   13                     0.0        0.0       0.0
   14                  -236.0      120.0       0.0
   15                  -250.0      121.0     120.0
  101                   -15.0      105.0       0.0
  102                  -215.0      225.0       0.0
  103                  -235.0      120.0      15.0
ELEMENT TYPE
    1     PIPE2
    2     LCOMB2
CONNECTION
    1    1    2    1   13    1
    2    1    1    1    1    2  101
    3    1    2    1    2    3
    4    1    3    1    3    4
    5    1    2    1    4    5
    6    1    2    1    5    6
    7    1    1    1    6    7  102
    8    1    2    1    7    8
    9    1    2    1    5    9
   10    1    1    1    9   10  103
   11    1    2    1   10   11
   12    1    2    1   11   12
   21    2    4         9   14
   22    2    5        11   15
GEOMETRY
    1    5      15.0     10.74       0.5
    2    5               10.74       0.5
    3    5               10.74       2.0
    4    7     1.0E4       0.0       0.0       0.0
    5    7     1.0E5       0.0       0.0       0.0
MATERIAL
    1
          E              27.9E6
          NU              0.333
BOUNDARY
    1
             12                    1            0.2
             12                    2            0.1
             12                    3            0.3
             12                    4    6
             13   15               1    6
FORCE
    1
              3                    1    3                1000.0
              4                    1    3                -200.0
```

```
    2
              8                    1    3    3000.0    1000.0    2000.0
    3
         6    1   12         2                -6.61
MULTICASE
LOADING              1
          BOUN       1
LOADING              2
          BOUN       1        0.0
          FORC       1
LOADING              3
          BOUN       1        0.0
          FORC       2
LOADING              4
          BOUN       1        0.0
          FORC       3
COMBINATION          5
          LOAD       1                   2                   3
                     4
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.2 非線形解析

2.2.1 円筒の熱ラチェッティング解析

(1) 問題

内径 185mm、肉厚 15mm の 304 ステンレス鋼製無限円筒に一定内圧下で肉厚方向に直線分布の温度変化が繰り返し加えられる場合について弾塑性熱ラチェッティング解析を行なう。[12] 内圧は 1.1352 kg/mm² であり、熱負荷は図 2.2.1-2 に示す温度変化が 5 回繰り返されるものとする。材料定数は温度依存であり表 2.2.1-1 のものを用いる。

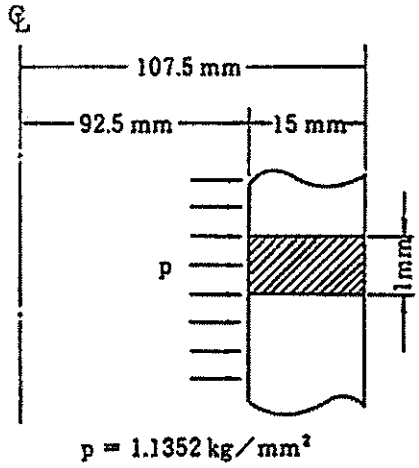


図 2.2.1-1 無 限 円 筒

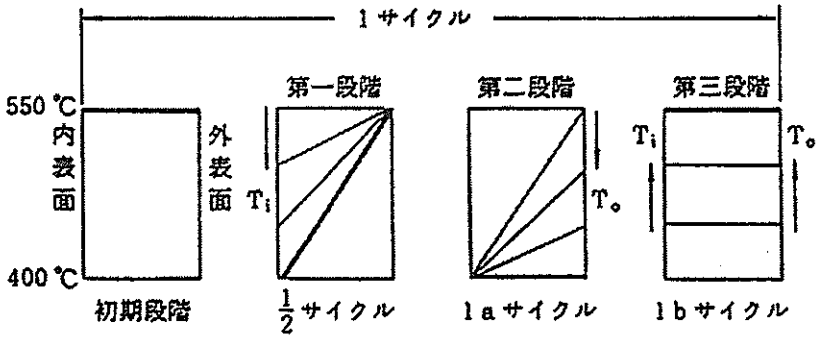


図 2.2.1-2 温 度 変 化

表 2.2.1-1 材 料 定 数

温　度	350	400	450	500	550	600
E [kg / mm ^{2}]	1.762×10^4	1.714×10^4	1.665×10^4	1.616×10^4	1.568×10^4	1.519×10^4
ι	0.292	0.295	0.299	0.302	0.306	0.309
α [1/℃]	1.09×10^{-5}	1.94×10^{-5}	1.98×10^{-5}	2.02×10^{-5}	2.06×10^{-5}	2.09×10^{-5}
σ_r [kg/mm^2]	15.49	14.90	14.33	13.76	13.20	12.65
H' [kg/mm^2]	395.85	383.25	370.95	358.65	346.50	334.65

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 2.2.1-1 の斜線部について図 2.2.1-3 に示す有限要素モデルを作成する。使用する要素は 4 節点四辺形軸対称要素 QAX4 である。負荷は内圧と熱負荷の他に内圧に対応する軸力 30514.46 kgを図 2.2.1-4 のＤＣ面に与える。塑性硬化則は移動硬化則を用いる。

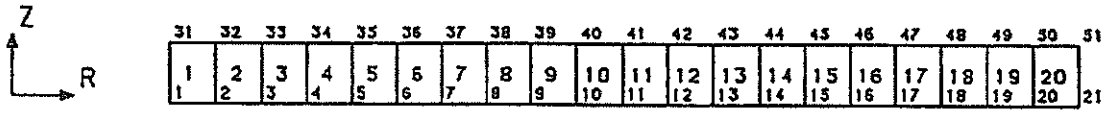


図 2.2.1-3 有限要素モデル

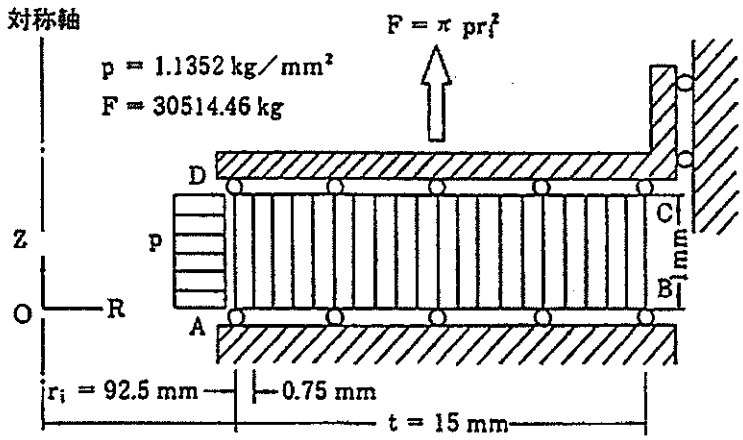


表 2.2.1-4 境 界 条 件

(3) 解析結果

5サイクル終了時における累積ひずみをEPICC報告書[12]の解と比較して表2.2.1-2に示し、各サイクル終了時における相当塑性ひずみを表2.2.1-3に示す。また、肉厚方向の軸方向応力の分布を図2.2.1-5と図2.2.1-6に、周方向応力の分布を図2.2.1-7と図2.2.1-8にそれぞれ示し、内側要素中心における軸方向と周方向応力・ひずみ曲線を図2.2.1-9と図2.2.1-10に示す。

表2.2.1-2　5サイクル終了時における累積ひずみ

プログラム	周方向ひずみ ε_θ^{ep} [%]		軸方向ひずみ ε_z^{ep} [%]
	内側要素	外側要素	
FINAS	0.134	0.0987	0.0387
TEPICC-4	0.141	0.105	0.040

表2.2.1-3　各サイクル終了時における相当塑性ひずみ

サイクル	$\bar{\varepsilon}^p$ [%]		$\Delta\bar{\varepsilon}^p = \bar{\varepsilon}_i^p - \bar{\varepsilon}_{i-1}^p$ [%]	
	内側要素	外側要素	内側要素	外側要素
1 b	0.2498	0.02047		
2 b	0.2543	0.02551	0.0045	0.00504
3 b	0.2583	0.02863	0.0040	0.00312
4 b	0.2617	0.03184	0.0034	0.00321
5 b	0.2650	0.03563	0.0033	0.00379

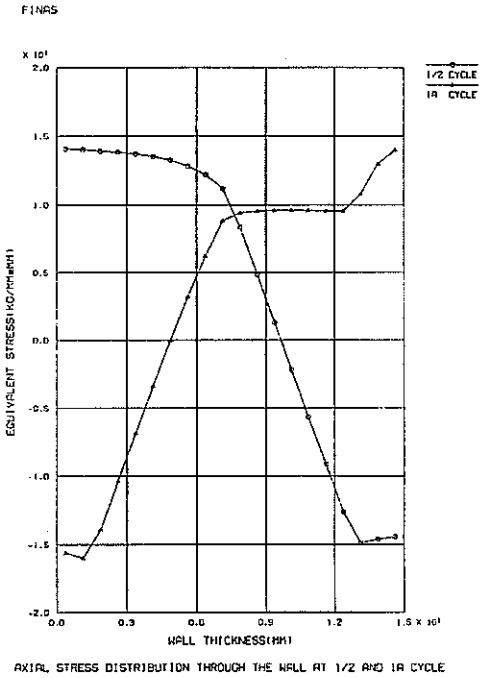


図 2. 2. 1-5　1/2 ｻｲｸﾙおよび 1a ｻｲｸﾙにおける軸方向応力の分布

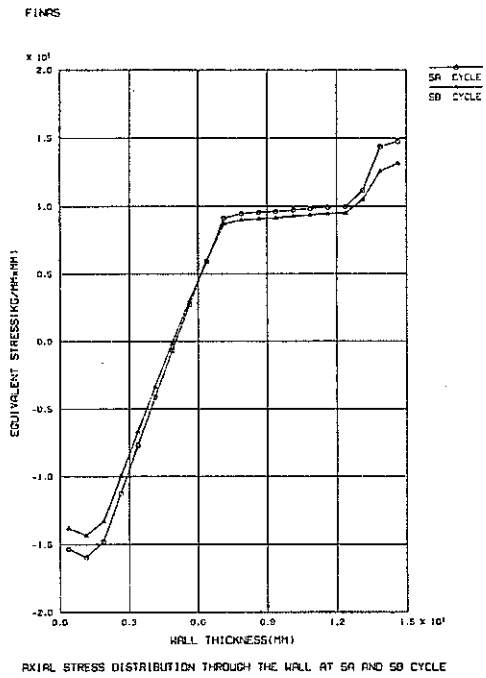


図 2. 2. 1-6　5a ｻｲｸﾙにおよび 5b ｻｲｸﾙにおける軸方向応力の分布

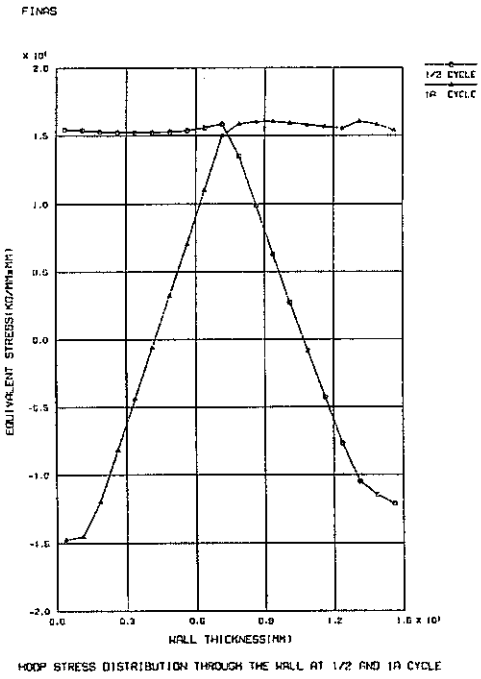


図 2. 2. 1-7　1/2 ｻｲｸﾙおよび 1a ｻｲｸﾙにおける周方向応力の分布

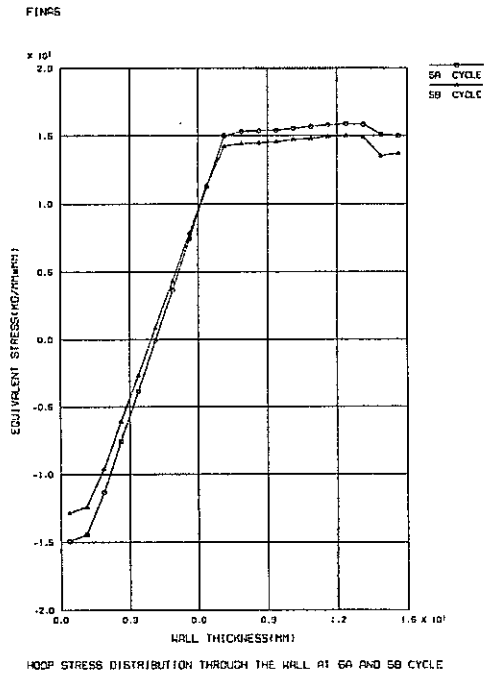


図 2. 2. 1-8　5a ｻｲｸﾙにおよび 5b ｻｲｸﾙにおける周方向応力の分布

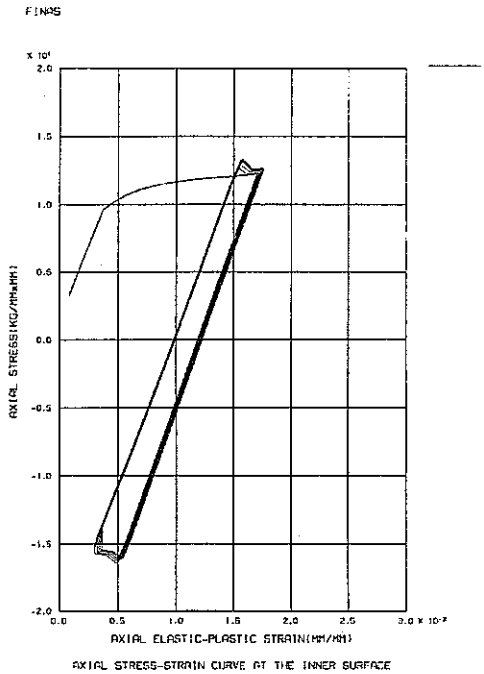


図 2. 2. 1-9　内側要素中心における軸方向応力・ひずみ曲線

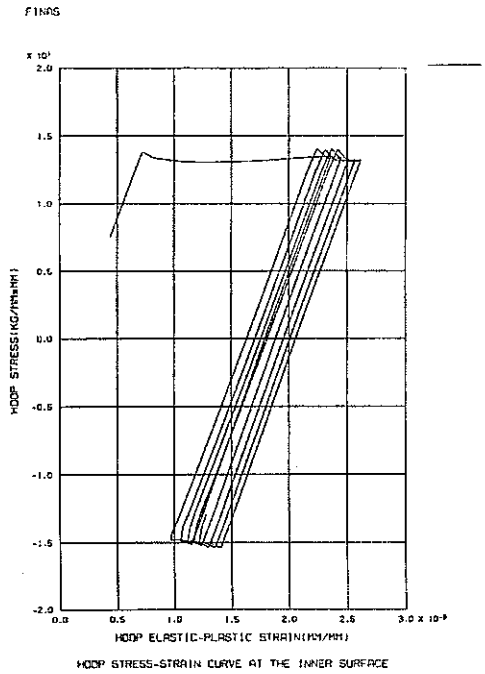


図 2. 2. 1-10　内側要素中心における周方向応力・ひずみ曲線

(4) 入力データ

表 2.2.1-4 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     THERMAL RATCHETTING ANALYSIS OF A THICK CYLINDRICAL MODEL
STATIC    TEP
SAVE
MODEL
NODE
**NLOOP1      2   30       0.0       1.0
    1                     92.5       0.0                       20              21
   21                    107.5       0.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1     QAX4
CONNECTION
    1    1         1    1    2   31   32                       20
MATERIAL
    1                   1    1    2
          E         F5        6
               350.0   1.762E4     400.0   1.714E4     450.0   1.665E4
               500.0   1.616E4     550.0   1.568E4     600.0   1.519E4
          NU        F5        6
               350.0     0.292     400.0     0.295     450.0     0.299
               500.0     0.302     550.0     0.306     600.0     0.309
          SIGY      F5        6
               350.0     15.49     400.0     14.90     450.0     14.33
               500.0     13.76     550.0     13.20     600.0     12.65
          ALPHA     F5        6
               350.0   1.90E-5     400.0   1.94E-5     450.0   1.98E-5
               500.0   2.02E-5     550.0   2.06E-5     600.0   2.09E-5
          C         F5        6
               350.0     263.9     400.0     255.5     450.0     247.3
               500.0     239.1     550.0     231.0     600.0     223.1
BOUNDARY
    1
              1   21              2
FASTENING
    1
     F2      21    2   31   32   33   34   35   36   37   38   39   40   41   42
                      43   44   45   46   47   48   49   50   51
TEMPERATURE
     REF       550.0
    1
              1   31   30          -150.0
              2   32   30          -142.5
              3   33   30          -135.0
              4   34   30          -127.5
              5   35   30          -120.0
              6   36   30          -112.5
              7   37   30          -105.0
              8   38   30           -97.5
              9   39   30           -90.0
             10   40   30           -82.5
             11   41   30           -75.0
             12   42   30           -67.5
             13   43   30           -60.0
             14   44   30           -52.5
             15   45   30           -45.0
             16   46   30           -37.5
             17   47   30           -30.0
             18   48   30           -22.5
             19   49   30           -15.0
             20   50   30            -7.5
             21   51   30             0.0
```

```
    2
              1   31   30          0.0
              2   32   30         -7.5
              3   33   30        -15.0
              4   34   30        -22.5
              5   35   30        -30.0
              6   36   30        -37.5
              7   37   30        -45.0
              8   38   30        -52.5
              9   39   30        -60.0
             10   40   30        -67.5
             11   41   30        -75.0
             12   42   30        -82.5
             13   43   30        -90.0
             14   44   30        -97.5
             15   45   30       -105.0
             16   46   30       -112.5
             17   47   30       -120.0
             18   48   30       -127.5
             19   49   30       -135.0
             20   50   30       -142.5
             21   51   30       -150.0
    3
              1   21             150.0
             31   51             150.0
FORCE
    1
         1    1              2    1    2       1.0       1.0
    2
             41                   1    2       0.0       1.0
HISTORY
INTERVAL      1
          BOUN     1
          FAS      1
          FORC     1    1.1352        2  30514.46
**ILOOP1    5
INTERVAL     15
          BOUN     1
          FAS      1
          TEMP     1
INTERVAL      1
          BOUN     1
          FAS      1
INTERVAL     15
          BOUN     1
          FAS      1
          TEMP     2
INTERVAL      1
          BOUN     1
          FAS      1
INTERVAL     10
          BOUN     1
          FAS      1
          TEMP     3
INTERVAL      1
          BOUN     1
          FAS      1
**END1
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
OTIME2        1    1             17  189   43   33  205   43   44  216   43
NSET1         1   31   51                                                51
ESET1         1    1   20
```

```
ESET2          2    2   19
IPSET2         1    4    6
DISP           1    1
REAC       NONE
ELM            1    1    1    2         1
$
STRUCTURE PLOT
PTITLE     FINITE ELEMENT MODEL
IPLOT                BOTH
$
XYPLOT
ELIST2         1    1   20
XVALU          1     0.375     1.125     1.875     2.625     3.375     4.125
                     4.875     5.625     6.375     7.125     7.875     8.625
                     9.375    10.125    10.875    11.625    12.375    13.125
                    13.875    14.625
PTITLE     EQUIVALENT STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL AT 1/2 AND 1A CYCLE
XTITLE     WALL THICKNESS(MM)
YTITLE     EQUIVALENT STRESS(KG/MM*MM)
XRANGE           0.0      15.0
YRANGE           0.0      20.0
XDIVISION      6    0
YDIVISION      8    0
CURVE          1                1/2 CYCLE
CURVE          2                1A  CYCLE
PLOT2      VMS  ELIST    1   17XVALU    1VMS  ELIST    1   33XVALU    1
$
PTITLE     EQUIVALENT STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL AT 5A AND 5B CYCLE
CURVE          1                5A  CYCLE
CURVE          2                5B  CYCLE
PLOT2      VMS  ELIST    1  205XVALU    1VMS  ELIST    1  216XVALU    1
$
PTITLE     AXIAL STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL AT 1/2 AND 1A CYCLE
YRANGE         -20.0      20.0
CURVE          1                1/2 CYCLE
CURVE          2                1A  CYCLE
PLOT2      STRS2ELIST    1   17XVALU    1STRS2ELIST    1   33XVALU    1
$
PTITLE     AXIAL STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL AT 5A AND 5B CYCLE
CURVE          1                5A  CYCLE
CURVE          2                5B  CYCLE
PLOT2      STRS2ELIST    1  205XVALU    1STRS2ELIST    1  216XVALU    1
$
PTITLE     HOOP STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL AT 1/2 AND 1A CYCLE
CURVE          1                1/2 CYCLE
CURVE          2                1A  CYCLE
PLOT2      STRS3ELIST    1   17XVALU    1STRS3ELIST    1   33XVALU    1
$
PTITLE     HOOP STRESS DISTRIBUTION THROUGH THE WALL AT 5A AND 5B CYCLE
CURVE          1                5A  CYCLE
CURVE          2                5B  CYCLE
PLOT2      STRS3ELIST    1  205XVALU    1STRS3ELIST    1  216XVALU    1
$
PTITLE     AXIAL STRESS-STRAIN CURVE AT THE INNER SURFACE
XTITLE     AXIAL ELASTIC-PLASTIC STRAIN(MM/MM)
YTITLE     AXIAL STRESS(KG/MM*MM)
XRANGE           0.0    3.0E-3
CURVE          1         0
PLOT3      EEP2     1    4STRS2    1    4
$
PTITLE     HOOP STRESS-STRAIN CURVE AT THE INNER SURFACE
XTITLE     HOOP ELASTIC-PLASTIC STRAIN(MM/MM)
YTITLE     HOOP STRESS(KG/MM*MM)
PLOT3      EEP3     1    4STRS3    1    4
```

```
$
PTITLE     AXIAL STRESS-STRAIN CURVE AT THE OUTER SURFACE
XTITLE     AXIAL ELASTIC-PLASTIC STRAIN(MM/MM)
YTITLE     AXIAL STRESS(KG/MM*MM)
XRANGE        -1.5E-3     1.5E-3
PLOT3      EEP2     20     6STRS2    20     6
$
PTITLE     HOOP STRESS-STRAIN CURVE AT THE OUTER SURFACE
XTITLE     HOOP ELASTIC-PLASTIC STRAIN(MM/MM)
YTITLE     HOOP STRESS(KG/MM*MM)
PLOT3      EEP3     20     6STRS3    20     6
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.2.2 面内荷重を受ける多孔板の弾塑性解析

(1) 問題

円孔半径 9mm、ピッチ 20mm の多孔板（リガメント）に内面荷重が作用する平面問題について弾塑性解析を行なう。[12] 負荷は図 2.2.2-2 の U_1 に規定変位を与え、P_1 と U_2 を未知量、P_2 を零とする。負荷する規定変位の量は、応力最大の点が降伏応力に達する時の規定変位 U_Y の 10 倍までとし、材料定数は表 2.2.2-1 に示す値を用いる。

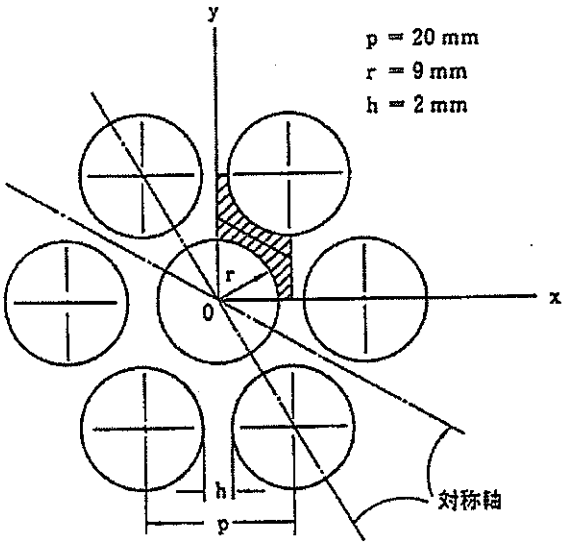


図 2.2.2-1　多 孔 板

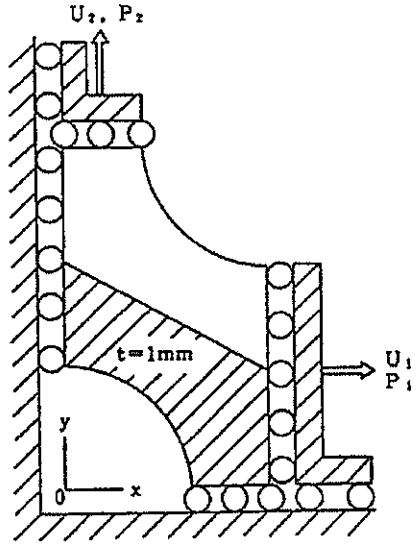


図 2.2.2-2　平面部分モデル

表 2.2.2-1　材 料 定 数

弾性係数	E	[kg/mm²]	2.11×10^4
ポアソン比		ν	0.3
降伏応力	σ_Y	[kg/mm²]	42.2
降伏ひずみ	ε_Y	[mm/mm]	2.0×10^{-3}
加工硬化係数	H'	[kg/mm²]	2.34×10^3

(2) 有限要素モデルと解析条件

平面問題モデルの対称性を考慮して図 2.2.2-2 の斜線部について図 2.2.2-3 に示す有限要素モデルを作成する。図 2.2.2-3 において EH は P_1 の値を知るために取り付けた剛な棒であり、弾性係数を 10×10^{10} kg/mm^2、降伏応力を 1.0×10^3 kg/mm^2 と仮定する。使用する有限要素はリガメントに対しては 4 節点四辺形平面応力要素 QMEM4D2、棒に対しては 3 次元棒要素 ROD2 である。

図 2.2.2-3 において、モデルの対称性より DF に沿う X 方向変位は同一であり、O' 点の X 方向変位は DF に沿う X 方向変位の 2 分の 1 である。また、AF に沿う節点の変位が O'に関し点対称となる挙動を示すための条件を与える。棒 EH は上記の通り剛性が非常に高いので、FD に沿い U_1 の変位を与えるためには H 点に規定変位 U_1 を負荷すればよい。なお、塑性硬化則は等方硬化則を使用する。

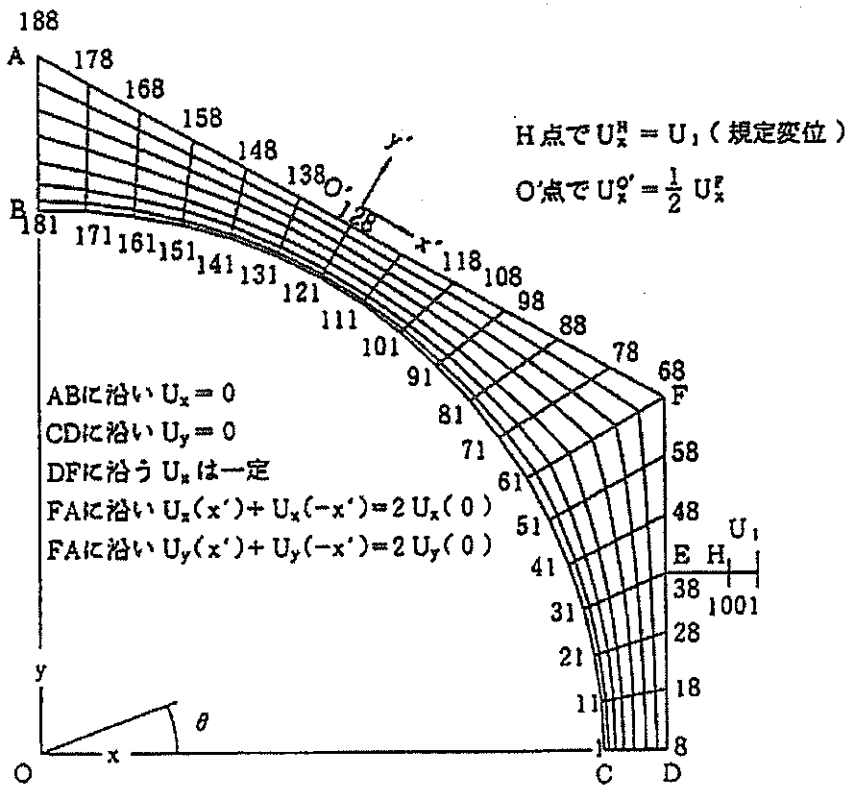


図 2.2.2-3　有限要素モデルと境界条件

(3) 解析結果

変位 U_1 とそれに等価な荷重 P_1 の関係を表 2.2.2-2 に、無次元化した平均応力と平均ひずみを表 2.2.2-3 に EPICC 報告書[12]の解と比較してそれぞれ示す。また、塑性ひずみの進展の様子を図 2.2.2-4 に、最終状態における主応力のベクトル表示を図 2.2.2-5 に、孔に沿う相当応力の分布を図 2.2.2-6 に示す。ここで各図表における λ_r は最大応力が降伏応力に達する時の規定変位 U_Y に対する U_1 の比を表わしている。

表 2.2.2-2 変位と荷重

λ_r *)	FINAS の解			EPIC の解（EPICC の報告書）		
	U_1[mm]	U_2[mm]	P_1[kg]	U_1[mm]	U_2[mm]	P_1[kg]
1	1.651×10^{-2}	-1.921×10^{-2}	30.13	1.63×10^{-2}	-1.90×10^{-2}	30.26
2	3.302	-3.791	49.05	3.26	-3.77	48.78
3	4.953	-5.576	57.18	4.89	-5.58	57.17
4	6.604	-7.327	62.15	6.52	-7.38	62.47
5	8.255	-9.092	66.30	8.15	-9.16	67.02
6	9.906	-10.863	70.10	9.79	-11.00	71.07
7	11.557	-12.655	73.74	11.42	-12.85	74.94
8	13.208	-14.456	77.21	13.05	-14.73	78.64
9	14.859	-16.262	80.62	14.68	-16.63	82.30
10	16.510	-18.079	83.98	16.31	-18.53	85.91

*) $\lambda r=U_1/U_r$

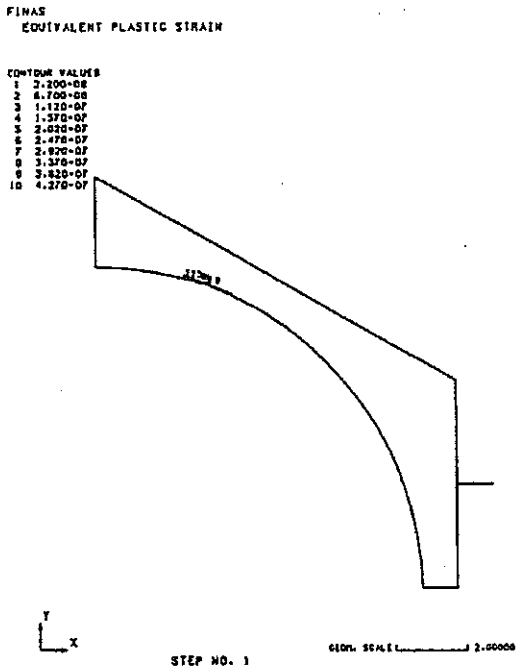
表 2.2.2-3　無次元化した平均応力と平均ひずみ

λr	FINAS の解						EPIC の解（EPICC の報告書）					
	応 力	全ひずみ		塑性ひずみ		F^p_{yy}	応 力	全ひずみ		塑性ひずみ		F^p_{yy}
	ρ^*_{xx}	F^*_{xx}	F^*_{yy}	F^p_{xx}	F^p_{yy}	F^p_{xx}	ρ^*_{xx}	F^*_{xx}	F^*_{yy}	F^p_{xx}	F^p_{yy}	F^p_{xx}
1	4.12×10^{-2}	0.83	-0.55	0	0	—	4.14×10^{-2}	0.82	-0.55	0	0	—
2	6.71	1.65	-1.09	0.31	-0.19	0.62	6.67	1.63	-1.09	0.32	-1.20	0.65
3	7.82	2.48	-1.61	0.91	-0.56	0.61	7.82	2.45	-1.61	0.91	-0.57	0.63
4	8.50	3.30	-2.12	1.60	-0.97	0.61	8.55	3.26	-2.13	1.58	-1.00	0.63
5	9.07	4.13	-2.62	2.31	-1.40	0.61	9.17	4.08	-2.64	2.27	-1.43	0.63
6	9.59	4.95	-3.14	3.03	-1.85	0.61	9.72	4.89	-3.18	2.98	-1.89	0.63
7	10.09	5.78	-3.65	3.76	-2.30	0.61	10.25	5.71	-3.71	3.69	-2.35	0.64
8	10.56	6.60	-4.17	4.49	-2.75	0.61	10.76	6.53	-4.25	4.41	-2.83	0.64
9	11.03	7.43	-4.69	5.22	-3.21	0.61	11.26	7.34	-4.80	5.12	-3.31	0.65
10	11.49	8.26	-5.22	5.95	-3.67	0.62	11.75	8.16	-5.35	5.84	-3.79	0.65

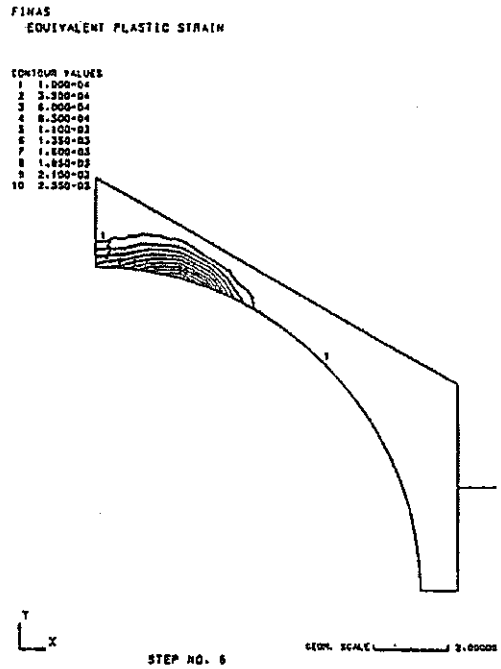
$$\lambda_\Gamma = \frac{U_1}{U_Y},\quad \rho^*_{XX} = \frac{P_1}{\sigma_Y}\cdot\frac{2}{tp\sqrt{3}},\quad F^*_{XX} = \frac{U_1}{\varepsilon_Y}\cdot\frac{2}{p},\quad F^*_{YY} = \frac{U_2}{\varepsilon_Y}\cdot\frac{2}{p\sqrt{3}}$$

$$F^e_{XX} = P_1\times\left(\frac{F^*_{XX}}{P_1}\right)_{\lambda\Gamma=1},\quad F^e_{YY} = P_1\times\left(\frac{F^*_{YY}}{P_1}\right)_{\lambda\Gamma=1}$$

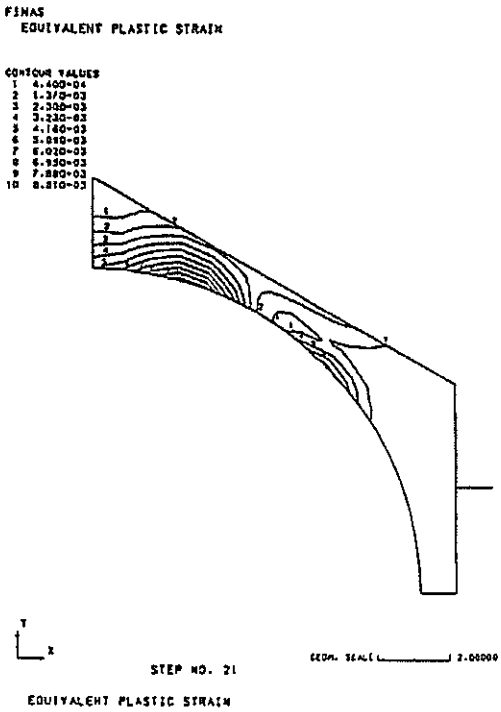
$$F^P_{XX} = F^*_{XX} - F^e_{XX},\quad F^P_{YY} = F^*_{YY} - F^e_{YY}$$



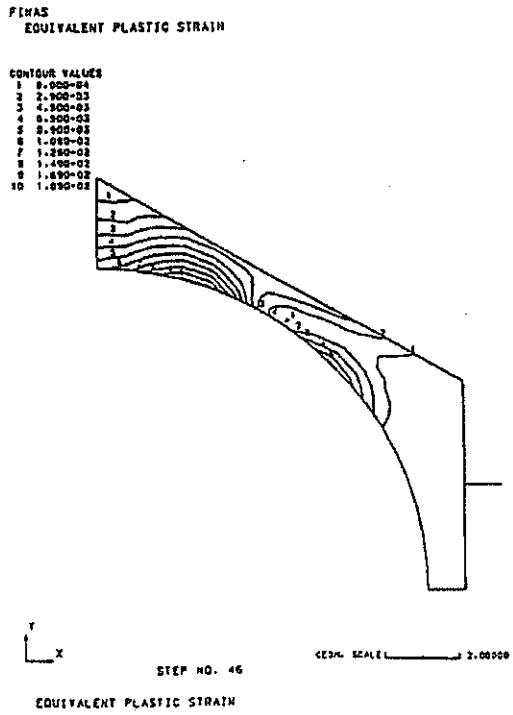
a) λr=1



b) λr=2



c) λr=5



d) λr=10

図 2.2.2-4　塑性域の進展

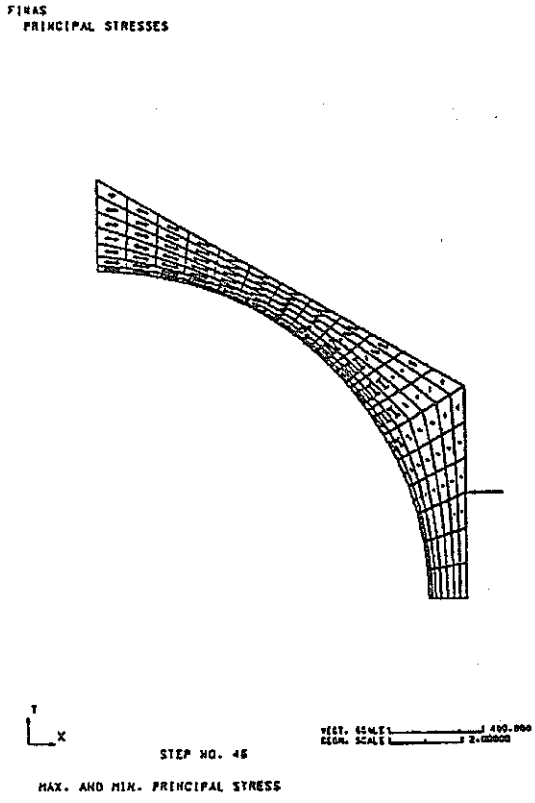


図 2.2.2-5　最終状態における主応力

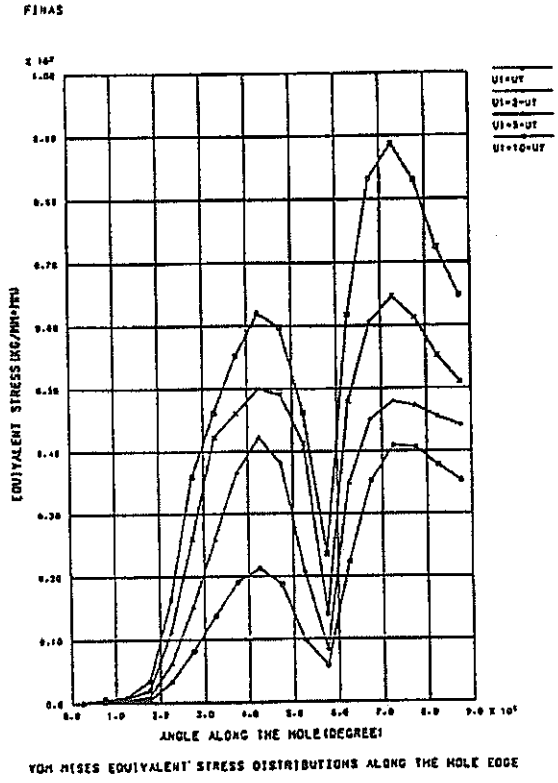


図 2.2.2-6　孔に沿う相当応力分布

(4) 入力データ

表 2.2.2-4 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF LIGAMENT SUBJECTED TO IN-PLANE LOAD
STATIC    EP
SAVE
MODEL
NODE PITCH
    1          1*0.4     1*0.6     1*0.8     4*1.0
NODE
    1                  9.00000   0.00000                        7    1    1    8
    8                 10.00000   0.00000
   11                  8.96575    .78440                        7    1    1   18
   18                 10.00000    .96667
   21                  8.86327   1.56283                        7    1    1   28
   28                 10.00000   1.93333
   31                  8.69333   2.32937                        7    1    1   38
   38                 10.00000   2.90000
   41                  8.45723   3.07818                        7    1    1   48
   48                 10.00000   3.86667
   51                  8.15677   3.80356                        7    1    1   58
   58                 10.00000   4.83333
   61                  7.79423   4.50000                        7    1    1   68
   68                 10.00000   5.80000
   71                  7.37237   5.16219                        7    1    1   78
   78                  9.16667   6.27500
   81                  6.89440   5.78509                        7    1    1   88
   88                  8.33333   6.75000
   91                  6.36396   6.36396                        7    1    1   98
   98                  7.50000   7.22500
  101                  5.78509   6.89440                        7    1    1  108
  108                  6.66667   7.70000
  111                  5.16219   7.37237                        7    1    1  118
  118                  5.83333   8.17500
  121                  4.50000   7.79423                        7    1    1  128
  128                  5.00000   8.65000
  131                  3.80356   8.15677                        7    1    1  138
  138                  4.16667   9.12500
  141                  3.07818   8.45723                        7    1    1  148
  148                  3.33333   9.60000
  151                  2.32937   8.69333                        7    1    1  158
  158                  2.50000  10.07500
  161                  1.56283   8.86327                        7    1    1  168
  168                  1.66667  10.55000
  171                   .78440   8.96575                        7    1    1  178
  178                   .83333  11.02500
  181                  0.00000   9.00000                        7    1    1  188
  188                  0.00000  11.50000
 1001                     11.0       2.9       0.0
ELEMENT TYPE
    1     QMEM4
    2     ROD2
CONNECTION
**ELOOP1      18   10   10   10   10   10
    1    1    1    1    1    2   11   12                        7    1
**END1
 1001    2    2    2   38 1001
GEOMETRY
    1    1        1.0
    2    1        1.0
MATERIAL
    1                   1    1    1
          E             2.11E4
```

```
          NU                0.3
          SIGY             42.2
          HDASH          2.34E3
    2                    1    1     1
          E              1.0E10
          SIGY           1000.0
          HDASH             1.0
BOUNDARY
    1
              1    8     1          2              0.0
            181  188     1          1              0.0
             38                     3              0.0
           1001                     1              1.0
           1001                     2     3        0.0
FASTENING
    1
     F3       8    1        0.0     1
             68    1        1.0
     F3      18    1        0.0     1
             68    1        1.0
     F3      28    1        0.0     1
             68    1        1.0
     F3      38    1        0.0     1
             68    1        1.0
     F3      48    1        0.0     1
             68    1        1.0
     F3      58    1        0.0     1
             68    1        1.0
     F3     128    1        0.0     1
             68    1        0.5
     F3     138    1        0.0     2
             68    1        1.0   118     1       -1.0
     F3     148    1        0.0     2
             68    1        1.0   108     1       -1.0
     F3     158    1        0.0     2
             68    1        1.0    98     1       -1.0
     F3     168    1        0.0     2
             68    1        1.0    88     1       -1.0
     F3     178    1        0.0     2
             68    1        1.0    78     1       -1.0
     F3     138    2        0.0     2
            128    2        2.0   118     2       -1.0
     F3     148    2        0.0     2
            128    2        2.0   108     2       -1.0
     F3     158    2        0.0     2
            128    2        2.0    98     2       -1.0
     F3     168    2        0.0     2
            128    2        2.0    88     2       -1.0
     F3     178    2        0.0     2
            128    2        2.0    78     2       -1.0
     F3     188    2        0.0     2
            128    2        2.0    68     2       -1.0
HISTORY
INTERVAL      1
          BOUN      1 0.01651
          FAS       1
**ILOOP1      9
INTERVAL      5
          BOUN      1 0.01651
          FAS       1
**END1
END MODEL
OUTPUT
OTIME2        1    1   46    5
```

```
OTIME1          2    1   46
NSET2           1    1    8        11  171   10   18  178   10  181  188
                  1001
NSET2           2    1    8       181  188      1001
ESET2           1    1  171   10
ESET1           2 1001
IPSET1          1    1    3    5
$
PRINT SELECT
DISP            1    1
REAC            2    1
ELM             1    1    1    2         1
$
XYPLOT
XVALU           1     2.5       7.5       12.5      17.5      22.5      27.5
                     32.5      37.5       42.5      47.5      52.5      57.5
                     62.5      67.5       72.5      77.5      82.5      87.5
ELIST2          1    1  171   10
CURVE           1                U1=UY
CURVE           2                U1=2*UY
CURVE           3                U1=5*UY
CURVE           4                U1=10*UY
PTITLE     VON MISES EQUIVALENT STRESS DISTRIBUTIONS ALONG THE HOLE EDGE
XTITLE     ANGLE ALONG THE HOLE(DEGREE)
YTITLE     EQUIVALENT STRESS(KG/MM*MM)
XRANGE           0.0      90.0
YRANGE           0.0     100.0
XDIVISION      9    0
YDIVISION     10    0
PLOT2      VMS  ELIST    1    1XVALU    1VMS  ELIST    1    6XVALU    1
           VMS  ELIST    1   21XVALU    1VMS  ELIST    1   46XVALU    1
PTITLE     EQUIVALENT PLASTIC STRAIN DISTRIBUTIONS ALONG THE HOLE EDGE
YTITLE     EQUIVALENT PLASTIC STRAIN(MM/MM)
YRANGE           0.0    2.5E-2
PLOT2      EPEQ ELIST    1    1XVALU    1EPEQ ELIST    1    6XVALU    1
           EPEQ ELIST    1   21XVALU    1EPEQ ELIST    1   46XVALU    1
$
STRUCTURE PLOT
AXES            Z    X    Y
VIEW             0.0       0.0       0.0
$
PTITLE     NODE NUMBER
IPLOT                NODES
$
PTITLE     ELEMENT NUMBER
IPLOT                ELEMENTS
$
PTITLE     DEFORMATION FIG.
DPLOT               2
$
PTITLE     VON MISES EQUIVALENT STRESS
CPLOT               2VMS
$
PTITLE     EQUIVALENT PLASTIC STRAIN
CPLOT               1EPEQ
$
PTITLE     MAX. AND MIN. PRINCIPAL STRESS
VPLOT               2PRIN*
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.2.3 梁の弾塑性クリープ解析

(1) 問題

1100° F の高温状態において図 2.2.3-1 に示す幅 1in、高さ 2in、長さ 26in、有効長 24in の単純支持はりの中央に上下両方向から交互に荷重を与え、それぞれの負荷状態で長時間の保持を行なう。[13] 荷重の符号は上面に負荷する下向きが正であり、下面に負荷する上向きが負である。荷重履歴は図 2.2.3-2 に示すとおりである。材料は SUS 304 であり、1100° F における材料データは表 2.2.3-1、表 2.2.3-2、図 2.2.3-3 に示すもの[14] を使用する。

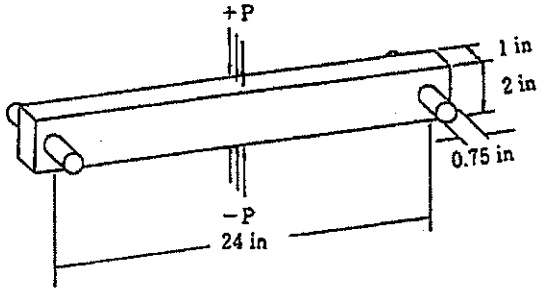


図 2.2.3-1　単純支持梁

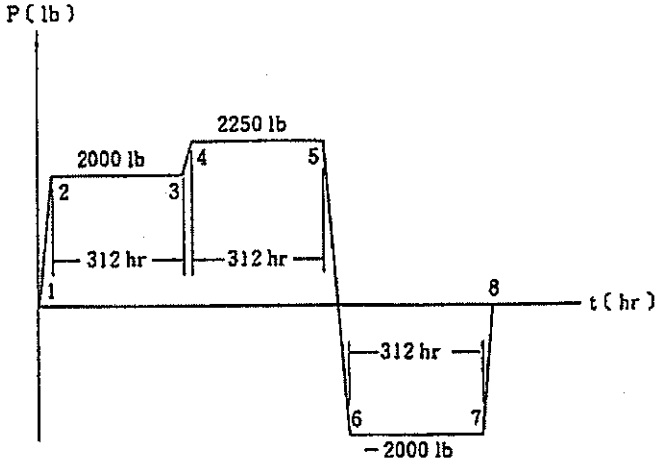


図 2.2.3-2　荷 重 履 歴

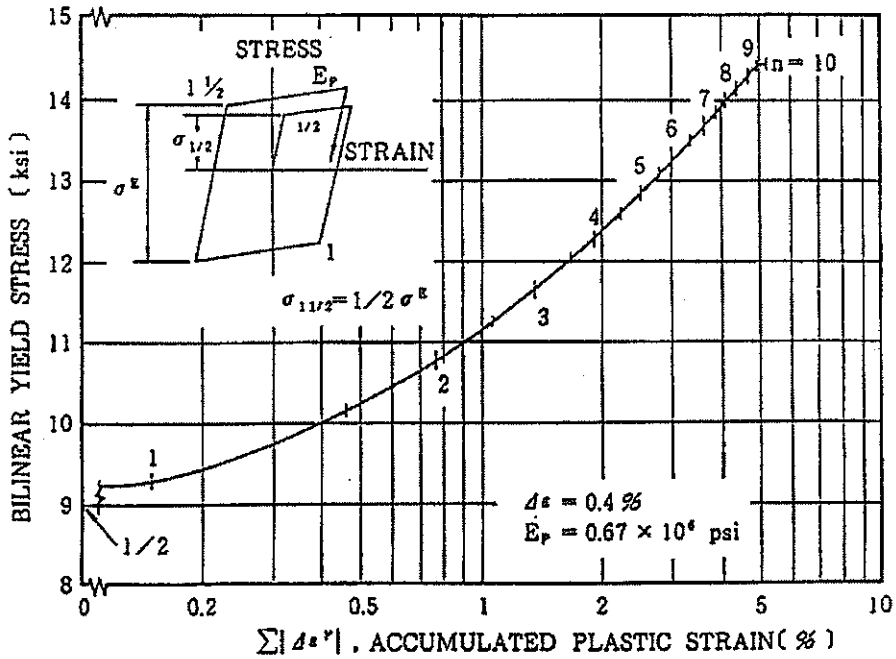


図 2.2.3-3　累積塑性ひずみと降伏応力（1100° F）

表 2.2.3-1　材 料 定 数（1100° F）

弾 性 係 数	E=21.7×10^6 psi
ポアソン比	ν=0.3
初期降伏応力	σ_Y= 9.0×10^3 psi
降伏後の応力・ひずみ関係の勾配	Ep=0.67×10^6 psi
累積塑性ひずみと降伏応力の関係	図 2.2.3-3 参照
クリープデータ	図 2.2.3-2 参照

表 2.2.3-2　1100° F におけるクリープデータ

応力 (ksi)	時間 (hr) 1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10,000
1	0.00006	0.00010	0.00022	0.00040	0.00060	0.00067	0.00078	0.00098	0.00150	0.00200	0.00250	0.00320	0.00370
2	0.00018	0.00032	0.00065	0.00100	0.00140	0.00170	0.00210	0.00270	0.00400	0.00470	0.00550	0.00700	0.00800
3	0.00036	0.00070	0.00120	0.00182	0.00250	0.00300	0.00355	0.00450	0.00700	0.00830	0.01000	0.01200	0.01400
4	0.00060	0.00115	0.00187	0.00280	0.00400	0.00475	0.00575	0.00750	0.01000	0.01250	0.01500	0.01900	0.02150
5	0.00095	0.00173	0.00275	0.00410	0.00570	0.00700	0.00830	0.01010	0.01500	0.01870	0.02250	0.02750	0.03150
6	0.00140	0.00250	0.00400	0.00575	0.00775	0.00980	0.01200	0.01600	0.02220	0.02750	0.03200	0.03950	0.04500
7	0.00210	0.00355	0.00550	0.00800	0.01070	0.01375	0.01700	0.02250	0.03100	0.03800	0.04700	0.05800	0.06700
8	0.00290	0.00485	0.00785	0.01070	0.01450	0.01950	0.02400	0.03100	0.04300	0.05300	0.06800	0.08900	0.10500
9	0.00400	0.00650	0.01000	0.01400	0.01900	0.02650	0.03300	0.04350	0.06000	0.07500	0.10100	0.14000	0.16500
10	0.00515	0.00830	0.01300	0.01815	0.02400	0.03600	0.04700	0.06000	0.08300	0.10700	0.14000	0.21500	0.29000
11	0.00650	0.01035	0.01650	0.02300	0.03150	0.04900	0.06500	0.08500	0.12000	0.15300	0.19500	0.31250	0.50000
12	0.00750	0.01240	0.02000	0.02900	0.04200	0.06500	0.08800	0.11500	0.16500	0.21000	0.27000	0.43750	0.68000
13	0.00910	0.01475	0.02450	0.03600	0.05400	0.08500	0.11700	0.15500	0.22000	0.28500	0.37200	0.57500	0.90000
14	0.01150	0.01720	0.02800	0.04200	0.06750	0.10750	0.15200	0.20250	0.29500	0.38000	0.49400	0.75500	1.16500
15	0.01355	0.01965	0.03350	0.05300	0.08500	0.13350	0.19100	0.25950	0.38000	0.49300	0.62500	0.98500	1.48000
16	0.01515	0.02220	0.03800	0.06100	0.10300	0.16500	0.24200	0.32250	0.48000	0.62500	0.80000	1.25000	1.90000
17	0.01700	0.02450	0.04500	0.07200	0.11600	0.20250	0.29800	0.39400	0.60000	0.80000	1.04500	1.60000	2.50000
18	0.02500	0.03500	0.05600	0.08600	0.14000	0.24000	0.35500	0.51000	0.77500	1.05000	1.40000	2.20000	3.50000
19	0.02800	0.04200	0.08000	0.12300	0.19000	0.30000	0.45000	0.65000	0.99000	1.40000	2.00000	2.97500	
20	0.03200	0.05000	0.09500	0.16000	0.24000	0.38500	0.57500	0.82000	1.27500	1.95000	3.00000		
21	0.03600	0.06000	0.12200	0.20000	0.31000	0.49000	0.71000	1.02500	1.67500	2.70000			
22	0.04000	0.07700	0.15500	0.25000	0.39000	0.62000	0.88500	1.31000	2.25000				
23	0.05000	0.09500	0.19500	0.31000	0.48000	0.77500	1.11100	1.68500	3.00000				
24	0.06500	0.12000	0.23500	0.38000	0.60000	0.95500	1.40000	2.17500					
25	0.08000	0.15000	0.29000	0.47000	0.72500	1.20000	1.77500	2.80000					
26	0.09000	0.17700	0.35000	0.57500	0.90000	1.51000	2.25000	3.50000					
27	0.11500	0.22000	0.42300	0.70000	1.10000	1.90000	2.80000						
28	0.14500	0.26000	0.50000	0.85000	1.35500	2.34000	3.42000						
29	0.18000	0.32500	0.61500	1.03500	1.68000	2.87500							
30	0.22500	0.40000	0.77000	1.25500	2.07500	3.42500							
31	0.28000	0.50500	0.95000	1.54500	2.55000								
32	0.35000	0.63200	1.25000	1.90000	3.06500								
33	0.43500	0.80000	1.57500	2.31000									
34	0.53500	0.98000	1.92500	2.80000									
35	0.65500	1.21500	2.31000	3.32500									

(2) 有限要素モデルと解析条件

構造と負荷と対称性を考慮して、8 節点四辺形平面応力要素 QMEM8 を用いて図 2.2.3-4 に示す 2 分の 1 有限要素モデルを作成する。要素分割ははり中央部を細かくし、細かい部分と粗い部分の境界に断面保持の条件を FASTENING データにより与える。荷重は節点 1 と 9 に図 2.2.3-2 に示した値の 2 分の 1 を負荷し、境界条件は節点 1～9 に対称条件を、節点 145 に単純支持条件を与える。塑性硬化則は組み合せ硬化則と移動硬化則を使用し、塑性に関するデータは図 2.2.3-3 と表 2.2.3-1 を基に作成した表 2.2.3-3 と表 2.2.3-4 に示すものを用いる。また、クリープについては応力反転を考慮したひずみ硬化則を採用し、クリープデータはサブプログラム XCREEP により与える。

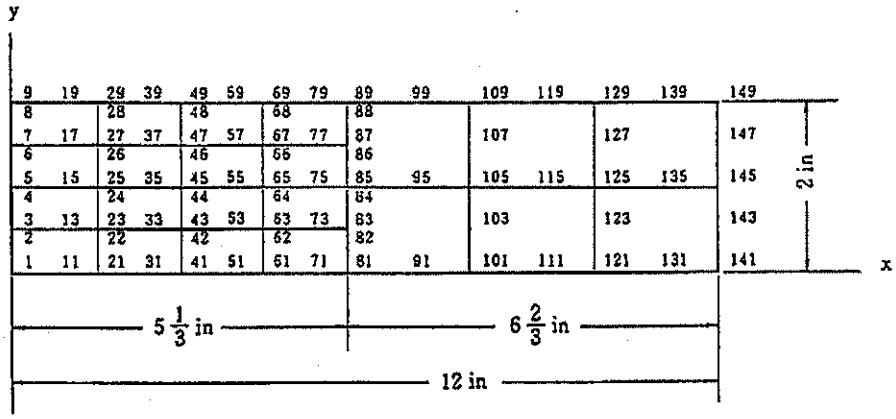


図 2.2.3-4　有限要素モデル

表 2.2.3-3　塑性に関する材料データ

	組み合せ硬化則	移動硬化則
初期降伏応力　σ_Y[psi]	9.0×10^3	9.0×10^3
加工硬化係数（移動硬化分）H'_k(psi)	471×10^3	691.5×10^3
降伏面の拡大率　Hi[psi]	表 2.2.3-4 参照	

備考

$H'=(EE_p)/(E-E_p)=691\times10^3$psi

$H'_k=H'-Hi=471\times10^3$psi　（組合せ硬化則）

$H'=691.5\times10^3$psi　（移動硬化則）

表 2.2.3-4　降伏面の拡大率

累積相当塑性ひずみ	Hi [psi]
$0.0 \leqq \varepsilon < 0.002$	220×10^3
$0.002 \leqq \varepsilon < 0.004$	280×10^3
$0.004 \leqq \varepsilon < 0.007$	213×10^3
$0.007 \leqq \varepsilon < 0.01$	163×10^3
$0.01 \leqq \varepsilon < 0.02$	122×10^3
$0.02 \leqq \varepsilon$	68×10^3

$$\bar{\varepsilon}^p = \sum\sqrt{\frac{2}{3}\Delta\varepsilon_{ij}^p\Delta\varepsilon_{ij}^p}$$

(3) 解析結果

梁中央の中央面における時間に依存しない変位と荷重の関係を図 2.2.3-5 に示し、時間に依存する変位の時間履歴を図 2.2.3-6 に示す。両図には ORNL の実験結果[13] と Corum ほかの解析結果[15]を併せて示すが、Corum ほかによる解析は 3 節点三角要素を使用して行われたものである。図 2.2.3-7 に組み合せ硬化則と移動硬化則における残留変形の比較を示す。

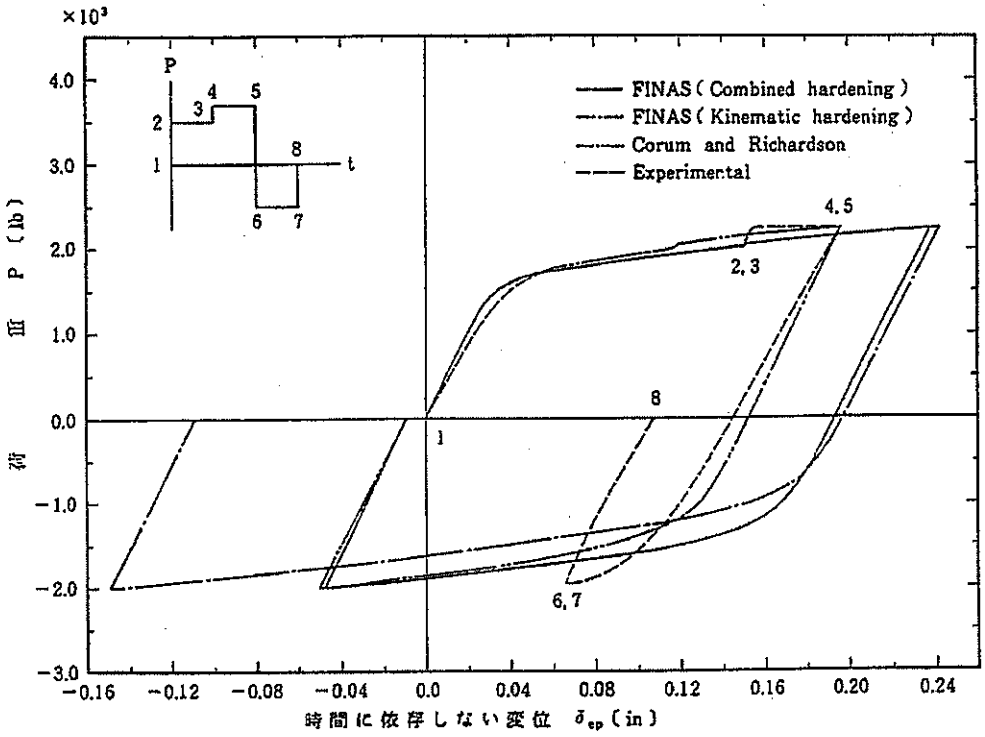


図 2.2.3-5 時間に依存しない変位と荷重の関係

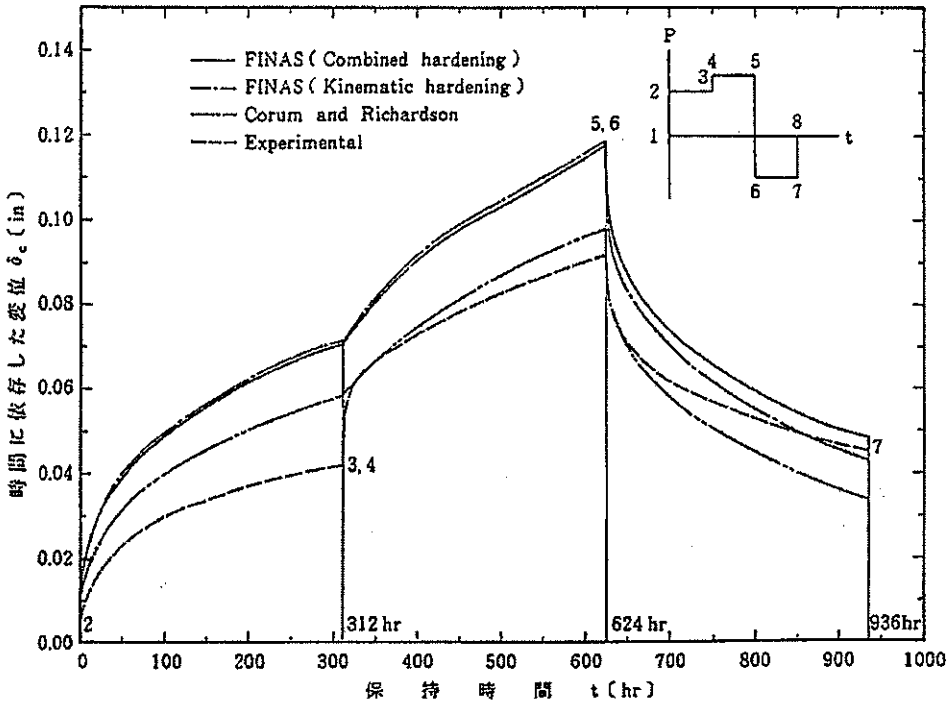
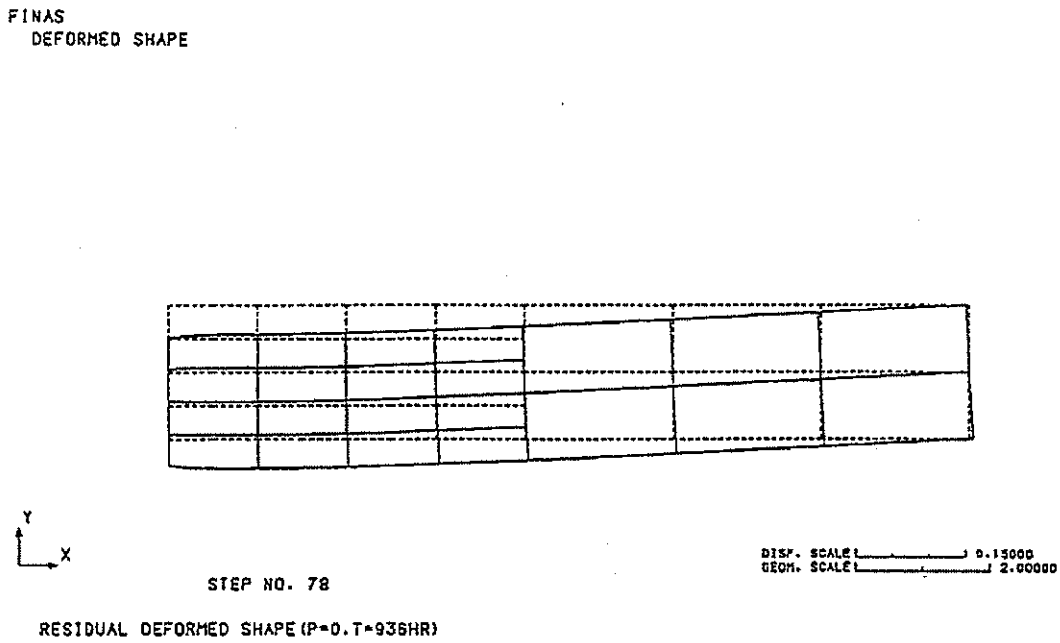
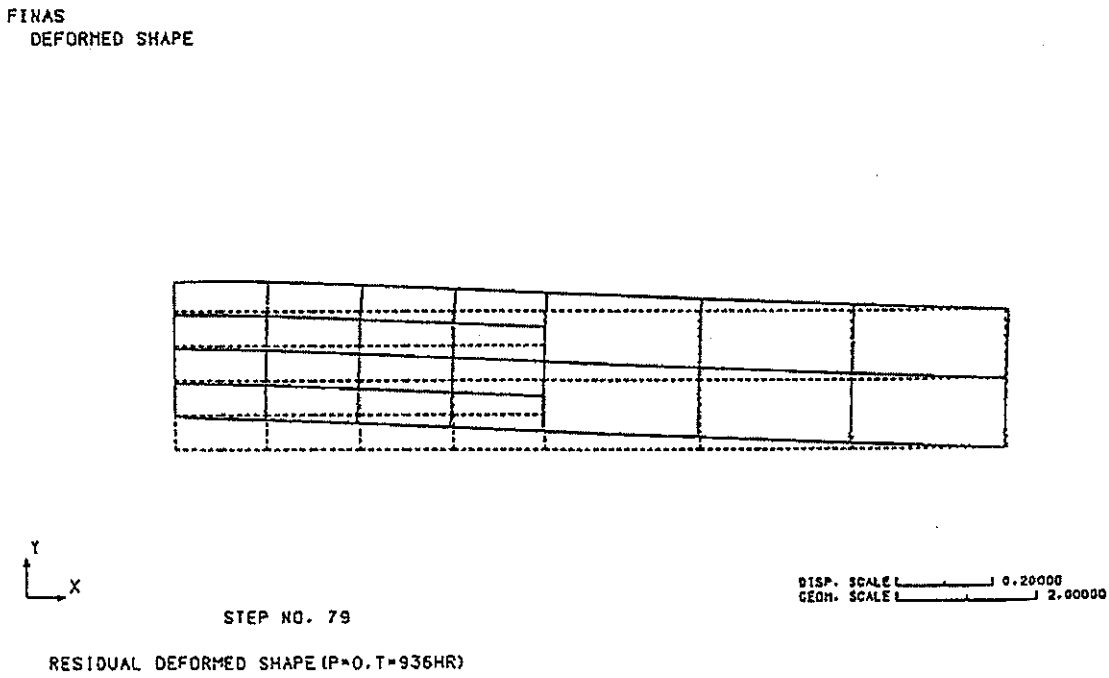


図 2. 2. 3-6　時間に依存した変位の時間履歴



a) 組み合せ硬化則



b) 移動硬化則

図 2.2.3-7 残 留 変 形

(4) 入力データ

表 2.2.3-5 サブプログラム XCREEP

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      SUBROUTINE   XCREEP(IELM, IGP, TIME, T, FLX, SIGB, EPSCB, DTIME,
     *                 DT, DFLX, DEPSCB)
C
C**** DIMENSION OF STRESS MUST BE P S I
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
C
      DIMENSION      TAB1 (35, 3), TAB2 (35, 3), TAB3 (35, 3), TAB4 (35, 3), TAB5 (35)
     *               , ETAB (35, 13), TTAB (13), TABL (13), NDATA (36)
C
      EQUIVALENCE    (ETAB(1,  1), TAB1 (1, 1))
      EQUIVALENCE    (ETAB(1,  4), TAB2 (1, 1))
      EQUIVALENCE    (ETAB(1,  7), TAB3 (1, 1))
      EQUIVALENCE    (ETAB(1, 10), TAB4 (1, 1))
      EQUIVALENCE    (ETAB(1, 13), TAB5 (1))
C
      DATA TAB1/0.00006, 0.00018, 0.00036, 0.00060, 0.00095, 0.00140, 0.00210,
     *          0.00290, 0.00400, 0.00515, 0.00650, 0.00750, 0.00910, 0.01150,
     *          0.01355, 0.01515, 0.01700, 0.02500, 0.02800, 0.03200, 0.03600,
     *          0.04000, 0.05000, 0.06500, 0.08000, 0.09000, 0.11500, 0.14500,
     *          0.18000, 0.22500, 0.28000, 0.35000, 0.43500, 0.53500, 0.65500,
     *          0.00010, 0.00032, 0.00070, 0.00115, 0.00173, 0.00250, 0.00355,
     *          0.00485, 0.00650, 0.00830, 0.01035, 0.01240, 0.01475, 0.01720,
     *          0.01965, 0.02220, 0.02450, 0.03500, 0.04200, 0.05000, 0.06000,
     *          0.07700, 0.09500, 0.12000, 0.15000, 0.17700, 0.22000, 0.26000,
     *          0.32500, 0.40000, 0.50500, 0.63200, 0.80000, 0.98000, 1.21500,
     *          0.00022, 0.00065, 0.00120, 0.00187, 0.00275, 0.00400, 0.00550,
     *          0.00765, 0.01000, 0.01300, 0.01650, 0.02000, 0.02450, 0.02800,
     *          0.03350, 0.03800, 0.04500, 0.05600, 0.08000, 0.09500, 0.12200,
     *          0.15500, 0.19500, 0.23500, 0.29000, 0.35000, 0.42300, 0.50000,
     *          0.61500, 0.77000, 0.98000, 1.25000, 1.57500, 1.92500, 2.31000/
      DATA TAB2/0.00040, 0.00100, 0.00182, 0.00280, 0.00410, 0.00575, 0.00800,
     *          0.01070, 0.01400, 0.01815, 0.02300, 0.02900, 0.03600, 0.04200,
     *          0.05300, 0.06100, 0.07200, 0.08600, 0.12500, 0.16000, 0.20000,
     *          0.25000, 0.31000, 0.38000, 0.47000, 0.57500, 0.70000, 0.85000,
     *          1.03500, 1.25500, 1.54500, 1.90000, 2.31000, 2.80000, 3.32500,
     *          0.00060, 0.00140, 0.00250, 0.00400, 0.00570, 0.00775, 0.01070,
     *          0.01450, 0.01900, 0.02400, 0.03150, 0.04200, 0.05400, 0.06750,
     *          0.08500, 0.10300, 0.11600, 0.14000, 0.19000, 0.24000, 0.31000,
     *          0.39000, 0.48000, 0.60000, 0.72500, 0.90000, 1.10000, 1.35500,
     *          1.68000, 2.07500, 2.55000, 3.06500, 0.0    , 0.0    , 0.0    ,
     *          0.00067, 0.00170, 0.00300, 0.00475, 0.00700, 0.00980, 0.01375,
     *          0.01950, 0.02650, 0.03600, 0.04900, 0.06500, 0.08500, 0.10750,
     *          0.13350, 0.16500, 0.20250, 0.24000, 0.30000, 0.38500, 0.49000,
     *          0.62000, 0.77500, 0.95500, 1.20000, 1.51000, 1.90000, 2.34000,
     *          2.87500, 3.42500, 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    /
      DATA TAB3/0.00078, 0.00210, 0.00355, 0.00575, 0.00830, 0.01200, 0.01700,
     *          0.02400, 0.03300, 0.04700, 0.06500, 0.08900, 0.11700, 0.15200,
     *          0.19100, 0.24200, 0.29800, 0.35500, 0.45000, 0.57500, 0.71000,
     *          0.88500, 1.11100, 1.40000, 1.77500, 2.25000, 2.80000, 3.42000,
     *          0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    ,
     *          0.00098, 0.00270, 0.00450, 0.00750, 0.01010, 0.01600, 0.02250,
     *          0.03100, 0.04350, 0.06000, 0.08500, 0.11500, 0.15500, 0.20250,
     *          0.25950, 0.32250, 0.39400, 0.51000, 0.65000, 0.82000, 1.02500,
     *          1.31000, 1.68500, 2.17500, 2.80000, 3.50000, 0.0    , 0.0    ,
     *          0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    ,
     *          0.00150, 0.00400, 0.00700, 0.01000, 0.01500, 0.02220, 0.03100,
     *          0.04300, 0.06000, 0.08300, 0.12000, 0.16500, 0.22000, 0.29500,
     *          0.38000, 0.48000, 0.60000, 0.77500, 0.99000, 1.27500, 1.67500,
     *          2.25000, 3.00000, 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    ,
     *          0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    , 0.0    /
      DATA TAB4/0.00200, 0.00470, 0.00830, 0.01250, 0.01870, 0.02750, 0.03800,
```

```
     *          0.05300, 0.07500, 0.10700, 0.15300, 0.21000, 0.28500, 0.38000,
     *          0.49300, 0.62500, 0.80000, 1.05000, 1.40000, 1.95000, 2.70000,
     *          0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,
     *          0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,
     *          0.00250, 0.00550, 0.01000, 0.01500, 0.02250, 0.03200, 0.04700,
     *          0.06800, 0.10100, 0.14000, 0.19500, 0.27000, 0.37200, 0.49400,
     *          0.62500, 0.80000, 1.04500, 1.40000, 2.00000, 3.00000, 0.0     ,
     *          0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,
     *          0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,
     *          0.00320, 0.00700, 0.01200, 0.01900, 0.02750, 0.03950, 0.05800,
     *          0.08900, 0.14000, 0.21500, 0.31250, 0.43750, 0.57500, 0.75500,
     *          0.98500, 1.25000, 1.60000, 2.20000, 2.97500, 0.0     ,0.0     ,
     *          0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,
     *          0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     /
      DATA TAB5/0.00370, 0.00800, 0.01400, 0.02150, 0.03150, 0.04500, 0.06700,
     *          0.10500, 0.16500, 0.29000, 0.50000, 0.68000, 0.90000, 1.16500,
     *          1.48000, 1.90000, 2.50000, 3.50000, 0.0     ,0.0     ,0.0     ,
     *          0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,
     *          0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     ,0.0     /
C
      DATA NDATA/18*13, 12, 11, 10, 2*9, 3*8, 2*7, 2*6, 2*5, 4*4/
C
      DATA TTAB/1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 20.0, 50.0, 100.0, 200.0,
     *          500.0, 1000.0, 2000.0, 5000.0, 10000.0      /
C
      DATA NSD/35/
C
C
      DEPSCB = 0.0
      IF(DTIME.EQ.0.0)  RETURN
      SIGB=SIGB/1000.
C
      ISIG  = SIGB
      IF(ISIG.GT.NSD)  ISIG=NSD
      NUMD  = NDATA(ISIG+1)
      IF(ISIG.GE.0)  GO TO 10
      DEPSCB = 0.0
      GO TO 999
C
   10 IF(ISIG.GT.1)  GO TO 20
      DO 15  I=1,NUMD
      TABL(I) = ETAB(1, I)*SIGB
   15 CONTINUE
      GO TO 100
C
   20 IF(ISIG.LT.NSD)  GO TO 30
      DO 25  I=1,NUMD
      TABL(I) = ETAB(NSD, I)+(ETAB(NSD, I)-ETAB(NSD-1, I))*(SIGB-35.0)
   25 CONTINUE
      GO TO 100
C
   30 DO 35  I=1,NUMD
      TABL(I) = ETAB(ISIG, I)+(ETAB(ISIG+1, I)-ETAB(ISIG, I))*(SIGB-ISIG)
   35 CONTINUE
C
  100 EPSC  = EPSCB*100.0
      DO 105  I=1,NUMD
      IS    = I
      IF(EPSC.LT.TABL(I))  GO TO 110
  105 CONTINUE
C
      DEPSCB = (TABL(NUMD)-TABL(NUMD-1))/(TTAB(NUMD)-TTAB(NUMD-1))*DTIME
     *         *0.01
      GO TO 999
```

```
C
  110 IF(IS.NE.1)  GO TO 120
      CTIME = EPSC*TTAB(1)/TABL(1)
      GO TO 130
C
  120 CTIME = TTAB(IS-1)+(TTAB(IS)-TTAB(IS-1))/(TABL(IS)-TABL(IS-1))
     *        *(EPSC-TABL(IS-1))
C
  130 CTIM1 = CTIME+DTIME
      DO 135 I=1,NUMD
      IS    = I
      IF(CTIM1.LT.TTAB(I))  GO TO 140
  135 CONTINUE
      EPSC1 = TABL(NUMD)+(TABL(NUMD)-TABL(NUMD-1))/(TTAB(NUMD)
     *        -TTAB(NUMD-1))*(CTIM1-TTAB(NUMD))
      GO TO 160
C
  140 IF(IS.NE.1)  GO TO 150
      EPSC1 = TABL(1)*CTIM1/TTAB(1)
      GO TO 160
C
  150 EPSC1 = TABL(IS-1)+(TABL(IS)-TABL(IS-1))/(TTAB(IS)-TTAB(IS-1))
     *        *(CTIM1-TTAB(IS-1))
C
  160 DEPSCB = (EPSC1-EPSC)*0.01
C
      IF(DABS(DEPSCB).LE.1.0D-8)  DEPSCB=0.0
      IF(DEPSCB.GE.0.0)  GO TO 999
C
      WRITE(6,1000)  EPSCB,SIGB,DTIME,DEPSCB
 1000 FORMAT(10X,3E20.5,10X,E20.5)
C
      STOP
  999 SIGB=SIGB*1000.0
      RETURN
      END
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         D         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2. 2. 3-6　組み合せ硬化則の場合の入力データイメージ（1 回目の計算）

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     SIMPLY-SUPPORTED BEAM SUBJECTED TO TIME-VARYING LOADS(FIRST RUN)
SUBTITLE  COMBINED HARDENING
STATIC    EPC
CONTROL
     AUTO CREEP          2
                         1    4
SAVE
MODEL
NODE
**NLOOP1      9    1        0.0       0.25
    1                       0.0        0.0                          8        10   81
   81                5.33333333        0.0
**END1
**NLOOP1      5    2        0.0        0.5
  141                      12        0.0                           6       -10   81
**END1
ELEMENT TYPE
    1     QMEM8
CONNECTION
**ELOOP1      4   10   20   20   20   20   20   20   20   20
    1    1    1    1    1   11   21    2   22    3   13   23    4    2
**END1
**ELOOP1      3   10   20   20   20   20   20   20   20   20
   41    1    1    1   81   91  101   83  103   85   95  105    2    4
**END1
FASTENING
    1
     F3      82    1        0.0    2
             81    1      0.875   89    1      0.125
     F3      83    1        0.0    2
             81    1      0.750   89    1      0.250
     F3      84    1        0.0    2
             81    1      0.625   89    1      0.375
     F3      85    1        0.0    2
             81    1      0.500   89    1      0.500
     F3      86    1        0.0    2
             81    1      0.375   89    1      0.625
     F3      87    1        0.0    2
             81    1      0.250   89    1      0.750
     F3      88    1        0.0    2
             81    1      0.125   89    1      0.875
     F3      82    2        0.0    2
             81    2      0.875   89    2      0.125
     F3      83    2        0.0    2
             81    2      0.750   89    2      0.250
     F3      84    2        0.0    2
             81    2      0.625   89    2      0.375
     F3      85    2        0.0    2
             81    2      0.500   89    2      0.500
     F3      86    2        0.0    2
             81    2      0.375   89    2      0.625
     F3      87    2        0.0    2
             81    2      0.250   89    2      0.750
     F3      88    2        0.0    2
             81    2      0.125   89    2      0.875
GEOMETRY
    1    1 1.0
MATERIAL
    1                    1    1    3    1    3
          E              21.7E6
          NU                0.3
```

```
            SIGY            9.0E3
            HDASHC        0.471E6
            HDASH     F6        6
                  0.0   0.220E6     0.002   0.280E6     0.004   0.213E6
                0.007   0.163E6      0.01   0.122E6      0.02   0.068E6
            CREEP     F8        1
BOUNDARY
    1
              1    9                1     0.
            145                      2     0.
              1  149                 3     0.
FORCE
    1
              9                      2     1.0
STEP RATIO
    1     1.0        10*0.1
HISTORY
INTERVAL     11     1
            FORC     1   -1000.0
            BOUN     1
            FAS      1
INTERVAL    AUTO CREEP                312.0        0.2
            BOUN     1
            FAS      1
INTERVAL      5
            FORC     1    -125.0
            BOUN     1
            FAS      1
INTERVAL    AUTO CREEP                312.0        1.0
            BOUN     1
            FAS      1
END MODEL
OUTPUT
NSET1         1    1    5    9
NSET1         2    1    5    9  145
ESET2         1    1    4    3
IPSET1        1    1    4    7
$
PRINT SELECT
DISP          1
REAC          2
ELM           1    1
$
XYPLOT
PTITLE    BENDING STRESS-STRAIN CURVE AT IPNT 1 IN ELM 1
XTITLE    STRAIN(IN/IN)
YTITLE    BENDING STRESS(PSI)
CURVE         1                E+P+C STRN
PLOT3     EEPC1    1    1STRS1    1    1
PTITLE    BENDING STRESS-STRAIN CURVE AT IPNT 7 IN ELM 4
PLOT3     EEPC1    4    7STRS1    4    7
$
PTITLE    TIME HISTORY OF EQUIVALENT CREEP STRAIN
XTITLE    CREEP TIME(HOUR)
YTITLE    EQUIVALENT CREEP STRAIN(IN/IN)
CURVE         1                ELM1,IP1
CURVE         2                ELM4,IP7
PLOT1     ECEQ     1    1ECEQ     4    7                              CTIME
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.3-7　組み合せ硬化則の場合の入力データイメージ（2 回目の計算）

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     SIMPLY-SUPPORTED BEAM SUBJECTED TO TIME-VARYING LOADS(SECOND RUN)
SUBTITLE  COMBINED HARDENING
STATIC    EPC
NOPRINT   DESCR
RESTART
SAVE
MODEL
FORCE
    1
              9                    2     1.0
    2
              1                    2     1.0
STEP RATIO
    1     1.0       10*0.1
    2     10.0      1115.0    200.0     4*100.0   4*50.0    8*25.0
    3     1.0       99.0
HISTORY
INTERVAL     11     1
          FORC      1    -1000.0
          BOUN      1
          FAS       1
INTERVAL  AUTO CREEP                312.0       0.2
          BOUN      1
          FAS       1
INTERVAL      5
          FORC      1     -125.0
          BOUN      1
          FAS       1
INTERVAL  AUTO CREEP                312.0       1.0
          BOUN      1
          FAS       1
INTERVAL     19     2
          FORC      2     2125.0
          BOUN      1
          FAS       1
INTERVAL  AUTO CREEP                312.0       0.2
          BOUN      1
          FAS       1
INTERVAL      2     3
          BOUN      1
          FORC      1    -1000.0
          FAS       1
END MODEL
OUTPUT
NSET1         1     1     5     9
NSET1         2     1     5     9  145
ESET2         1     1     4     3
IPSET1        1     1     4     7
$
PRINT SELECT
DISP          1
READ          2
ELM           1     1
$
XYPLOT
PTITLE    BENDING STRESS-STRAIN CURVE AT IPNT 1 IN ELM 1
XTITLE    STRAIN(IN/IN)
YTITLE    BENDING STRESS(PSI)
CURVE         1                E+P+C STRN
PLOT3     EEPC1     1     1STRS1     1     1
PTITLE    BENDING STRESS-STRAIN CURVE AT IPNT 7 IN ELM 4
```

```
PLOT3     EEPC1     4     7STRS1     4     7
$
PTITLE    TIME HISTORY OF EQUIVALENT CREEP STRAIN
XTITLE    CREEP TIME(HOUR)
YTITLE    EQUIVALENT CREEP STRAIN(IN/IN)
CURVE         1                ELM1,IP1
CURVE         2                ELM4,IP7
PLOT1     ECEQ      1     1ECEQ      4     7                              CTIME
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.3-8　リスタートテープの編集を行なう FNSEDIT の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
MERGE RESTART TAPES=2
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.3-9　リスタートテープから出力を行なう入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     SIMPLY-SUPPORTED BEAM SUBJECTED TO TIME-VARYING LOADS(THIRD RUN)
SUBTITLE  OUTPUT FROM RESTART TAPE(COMBINED HARDENING)
NOPRINT   DESCR
STATIC    EPC
RESTART   X
OUTPUT
OTIME1        1   78
NSET2        10    1    9
NSET2        20    1    9       145
ESET2        30    1    4        11   14        21   24        31   34
$
PRINT SELECT
DISP      NONE
REAC      NONE
ELM       NONE
$
POST TAPE
DISP         10
REAC         20
ELM          30  ALL
$
STRUCTURE PLOT
AXES          Z    X    Y
VIEW             0.0       0.0       0.0
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
IPLOT                NODES
FRAME     A4H
PTITLE    RESIDUAL EQUIVALENT PLASTIC STRAIN(P=0,T=936HR)
CPLOT               1EPEQ
PTITLE    RESIDUAL EQUIVALENT CREEP STRAIN(P=0,T=936HR)
CPLOT               1ECEQ
PTITLE    RESIDUAL DEFORMED SHAPE(P=0.T=936HR)
DPLOT               1
$
XYPLOT
PTITLE    BENDING STRESS-STRAIN CURVE AT IPNT 1 IN ELM 1
XTITLE    STRAIN(IN/IN)
YTITLE    BENDING STRESS(PSI)
CURVE        1                E+P+C STRN
XRANGE      -0.5E-2    1.5E-2
YRANGE      -2.0E+4    2.0E+4
XDIVISION    8    0
YDIVISION    8    0
PLOT3     EEPC1    1    1STRS1    1    1
PTITLE    BENDING STRESS-STRAIN CURVE AT IPNT 7 IN ELM 4
XRANGE      -1.5E-2    0.5E-2
PLOT3     EEPC1    4    7STRS1    4    7
$
PTITLE    TIME HISTORY OF EQUIVALENT CREEP STRAIN
XTITLE    CREEP TIME(HOUR)
YTITLE    EQUIVALENT CREEP STRAIN(IN/IN)
CURVE        1                ELM1,IP1
CURVE        2                ELM4,IP7
XRANGE          0.0    1000.0
YRANGE          0.0    4.0E-3
XDIVISION    5    0
YDIVISION    8    0
PLOT1     ECEQ     1    1ECEQ     4    7                                CTIME
PTITLE    DISTRIBUTION OF RESIDUAL BENDING STRESS IN THE CENTER CROSS SECTION
XTITLE    NORMALIZED THICKNESS
YTITLE    BENDING STRESS(PSI)
```

```
XRANGE          -0.5        0.5
YRANGE        -1.0E4      1.0E4
XDIVISION    10     0
YDIVISION    10     0
CURVE         1                P=0.T=624
CURVE         2                P=0.T=936
ILIST         5    1    4         1    4    7
XVALU        10     -0.47188  -0.375    -0.27813  -0.22188  -0.125    -0.02813
                     0.02813   0.125     0.22188   0.27813   0.375     0.47188
PLOT2     STRS1ILIST    5   44XVALU   10STRS1ILIST    5   78XVALU   10
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.2.4 球殻の弾性大変形解析

(1) 問題

図 2.2.4-1 に示す半径 4.758in、板厚 0.01576in の部分球殻の頂部に集中荷重を作用させる場合について弾性大変形解析を行なう。[16] 構造の周縁は完全固定とし、負荷は荷重制御と変位制御の 2 ケースを考える。荷重制御における最大負荷は 60 lb とし、変位制御における最大負荷は 0.16in とする。材料定数は弾性係数 10×10^6lb/in^2、ポアソン比 0.3 とする。

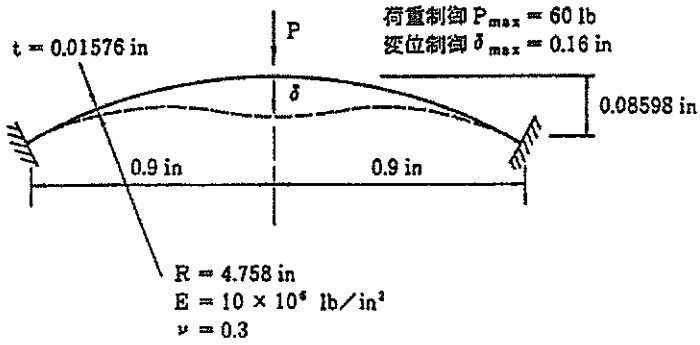


図 2.2.4-1 部 分 球 殻

(2) 有限要素モデルと解析条件

解析対象が薄肉シェル構造であることと負荷の対称性を考慮して、2 節点円錐台シェル要素 CONIC2 を使用して図 2.2.4-2 に示す有限要素モデルを作成する。境界条件は図 2.2.4-2 の A 点に対称条件を与え、B 点で完全拘束を行なう。1 ステップ当りの負荷の増分は荷重制御では、2 lb 以下とし、変位制御では 0.005in 一定とする。

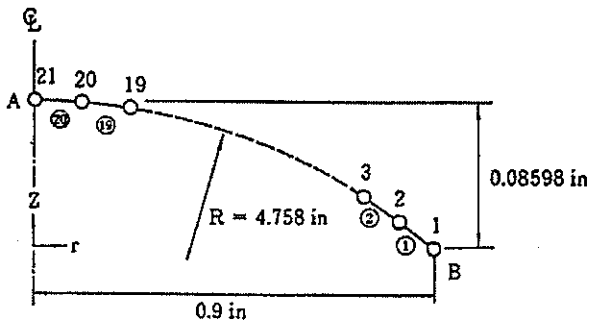


図 2.2.4-2 有限要素モデル

(3) 解析結果

荷重あるいは反力と変位との関係を図 2.2.4-3 に示す。

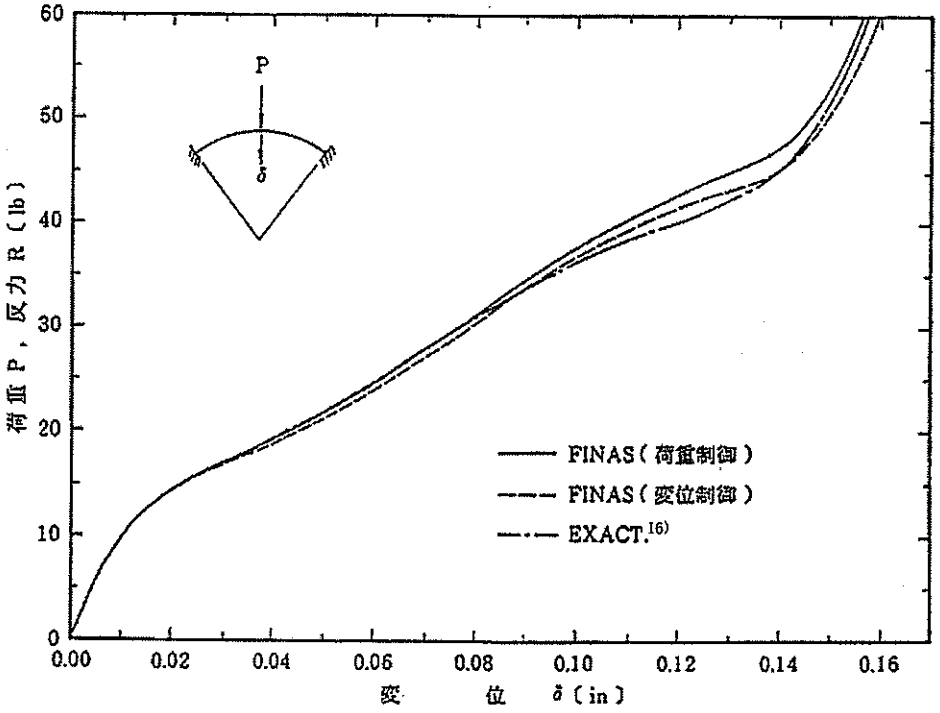


図 2.2.4-3　荷重と変位の関係

(4) 入力データ

表 2. 2. 4-1　荷重制御の場合の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     AXI-SYMMETRIC SHELL SUBJECTED TO CENTRAL POINT LOAD
STATIC    E
CONTROL
     LARGE DISP
SAVE
MODEL
COORDINATE SYSTEM
    1    2                                          1.0
                                  1.0
NODE
    1    1            4.758     79.09652                        20              21
   21    1            4.758     90.0
ELEMENT TYPE
    1     CONIC2
GEOMETRY
    1    1  0.01576
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2                                  20    1
MATERIAL
    1
          E              10.0E6
          NU              0.3
BOUNDARY
    1
              1                    1    3
             21                    1
             21                    3
FORCE
    1
             21                    2     -1.0
HISTORY
INTERVAL      7
          BOUN     1
          FORC     1       14.0
INTERVAL     11
          BOUN     1
          FORC     1       11.0
INTERVAL     15
          BOUN     1
          FORC     1       15.0
INTERVAL     20
          BOUN     1
          FORC     1       10.0
INTERVAL     10
          BOUN     1
          FORC     1       10.0
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
NSET1         1    1   21
ESET1         1    1   20
DISP          1
ELM           1
STRUCTURE PLOT
OTIME1        1   63
PTITLE    DEFORMED SHAPE( P = 60 POUNDS)
DPLOT              1
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.4-2　変位制御の場合の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     AXI-SYMMETRIC SHELL SUBJECTED TO CENTRAL PRESCRIBED DISPLACEMENT
STATIC    E
CONTROL
     LARGE DISP
MODEL
COORDINATE SYSTEM
    1    2                                        1.0
                                1.0
NODE
    1    1            4.758     79.09652                        20             21
   21    1            4.758     90.0
ELEMENT TYPE
    1     CONIC2
GEOMETRY
    1    1  0.01576
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2                                  20    1
MATERIAL
    1
          E             10.0E6
          NU             0.3
BOUNDARY
    1
              1                   1    3
             21                   1
             21                   2       -1.0
             21                   3
HISTORY
INTERVAL     32
          BOUN     1      0.16
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
NSET1         1    1   21
ESET1         1    1   20
DISP          1
ELM           1
STRUCTURE PLOT
OTIME1        1   32
PTITLE    DEFORMED SHAPE( V = 0.16 INCH)
DPLOT             1
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

2.2.5 外荷重を受ける片持ち梁の大変形大回転解析

(1) 問題

図 2.2.5-1 に示すような幅 1.0in.、高さ 0.5in.、長さ 100in. の片持ち梁の自由端に曲げモーメント荷重が作用するエラスティカ（弾性大変形大回転）解析を行なう。材料定数として弾性係数は 1.2×10^4psi、ポアソン比は 0.0 とする。

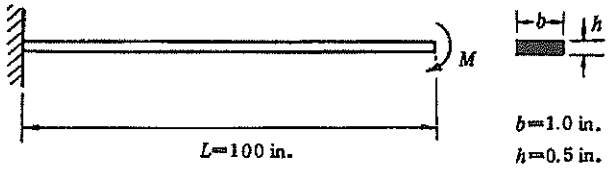


図 2.2.5-1 外荷重を受ける片持ち梁

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 2.2.5-2 のように有限要素モデルは 3 次元梁要素 BEAM2 を用いて、10 等分割する。境界条件は一端を完全拘束し、そのほかの節点では面外および面外曲げ自由度を拘束する。負荷条件として自由端に Z 軸回りに 3.534pound-inch のモーメント荷重を与える。大変形解析のオプションとしては Updated Lagrangian 定式を用いて、45 ステップ等増分で計算する。

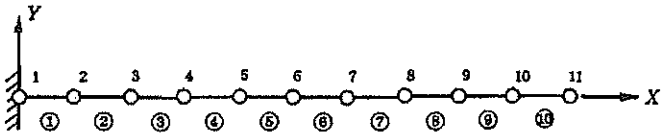


図 2.2.5-2 有限要素モデル

(3) 解析結果

文献[17]の Ramm らにより与えられている理論解と FINAS の解を比較して図 2.2.5-3 に示す。

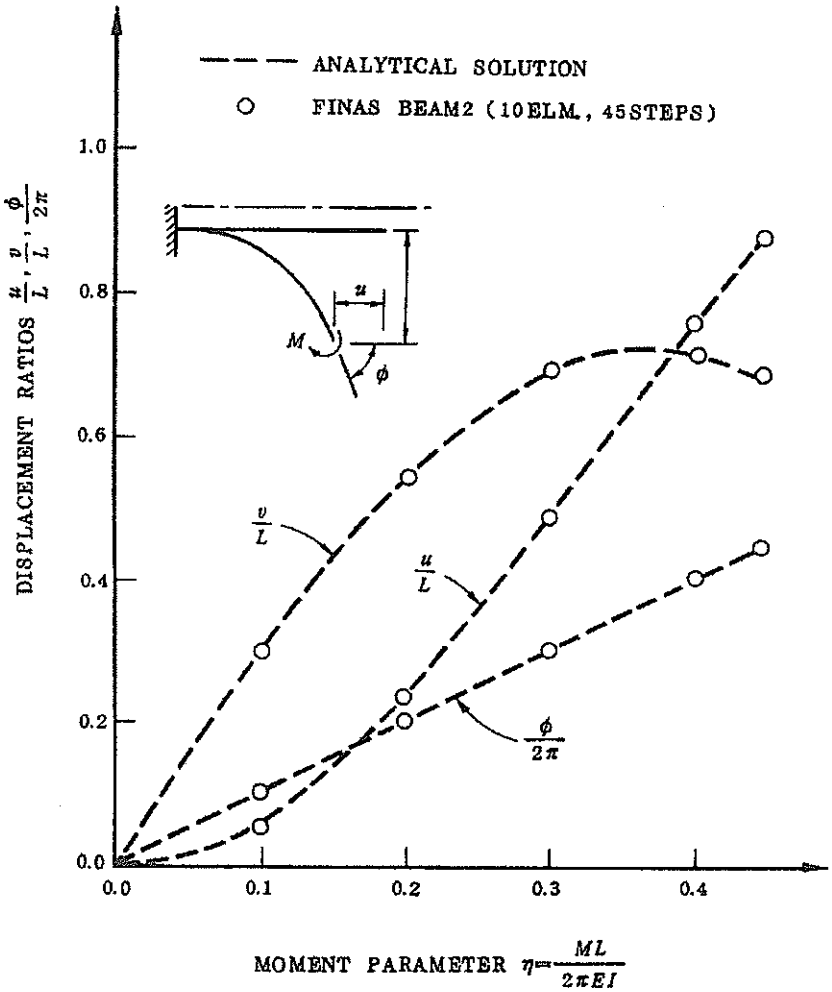


図 2.2.5-3　FINAS の解と理論解

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 2.2.5-1 入力データイメージ

```
        1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM  0/0
FINAS
TITLE     VP165   PURE BENDING OF CANTILEVER  ( ELASTICA PROBLEM )
SUBTITLE  UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION   ( BEAM2  ELM.=20  STEP=100 )
STATIC    E
CONTROL
     LARGE DISP    1
MODEL
NODE
**NLOOP1     21    1       0.5       0.0       0.0
    1                      0.0       0.0       0.0
**END1
  100                      0.0       1.0       0.0
ELEMENT TYPE
    1     BEAM2
CONNECTION
**ELOOP1     20    1    1    1    0
    1    1    1    1    1    2  100
**END1
GEOMETRY
    1    2       1.0       0.1
MATERIAL
    1
          E             1.0E8
          NU            0.0
BOUNDARY
    1
              1                   1    6
              1   21              3    5
FORCE
    1
             21                   1    6
                                                        -1.0
HISTORY
INTERVAL    100
          BOUN     1 0.
          FORC     1 5236.0
INTERVAL      1
          BOUN     1 0.
          FORC     1 0.0
END MODEL
OUTPUT
OTIME2        1   10  100   10
ESET1         1    2
$
PRINT SELECT
ELM       NONE
DISP      ALL      1
REAC      ALL      1
$
POST TAPE
DISP      ALL
$
STRUCTURE PLOT
FRAME     A4H
AXES      Z    X    Y
VIEW            0.0       0.0       0.0
PTITLE    ELASTICA PROBLEM   ( STEP = 100 )
$IPLOT
$IPLOT                NODES
$IPLOT                ELEMENTS
SCALE           10.0
```

```
VSCALE          1.0
DPLOT             1
$
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.2.5-2　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM  0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                 FINAS
                 TITLE     VP165   PURE BENDING OF CANTILEVER  ( ELASTICA PROBLEM )
                 SUBTITLE  UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION   ( BEAM2  ELM.=20  STEP=100 )
                 STATIC    E
                 CONTROL
                     LARGE DISP    1
1     VP165   PURE BENDING OF CANTILEVER  ( ELASTICA PROBLEM )                FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
      UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION   ( BEAM2  ELM.=20  STEP=100 )

                                      M O D E L   D A T A   I M A G E
0                        1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
            0-   MODEL
            1-   NODE
            2-   **NLOOP1     21    1       0.5       0.0       0.0
            3-       1                      0.0       0.0       0.0
            4-   **END1
            5-     100                      0.0       1.0       0.0
            6-   ELEMENT TYPE
            7-       1     BEAM2
            8-   CONNECTION
            9-   **ELOOP1     20    1    1    1    0
           10-       1    1    1    1    1    2  100
           11-   **END1
           12-   GEOMETRY
           13-       1    2       1.0       0.1
           14-   MATERIAL
           15-       1
           16-             E             1.0E8
           17-             NU            0.0
           18-   BOUNDARY
           19-       1
           20-                 1                   1    6
           21-                 1   21              3    5
           22-   FORCE
           23-       1
           24-                21                   1    6
           25-                                                   -1.0
           26-   HISTORY
           27-   INTERVAL    100
           28-             BOUN     1 0.
           29-             FORC     1 5238.0
           30-   INTERVAL      1
           31-             BOUN     1 0.
           32-             FORC     1 0.0
           33-   END MODEL
1     VP165   PURE BENDING OF CANTILEVER  ( ELASTICA PROBLEM )                FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
      UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION   ( BEAM2  ELM.=20  STEP=100 )

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1         2         3         4         5         6         7         8
                 1.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
                 OUTPUT
                 OTIME2        1   10  100   10
                 ESET1         1    2
                 $
                 PRINT SELECT
                 ELM       NONE
                 DISP      ALL      1
                 REAC      ALL      1
                 $
                 POST TAPE
                 DISP      ALL
                 $
                 STRUCTURE PLOT
                 FRAME     A4H
                 AXES      Z    X    Y
                 VIEW            0.0       0.0       0.0
                 PTITLE    ELASTICA PROBLEM   ( STEP = 100 )
                 $IPLOT
                 $IPLOT              NODES
                 $IPLOT              ELEMENTS
                 SCALE          10.0
                 VSCALE          1.0
                 DPLOT             1
                 $
                 END OUTPUT
                 END FINAS
1     VP165   PURE BENDING OF CANTILEVER  ( ELASTICA PROBLEM )                FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    4
      UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION   ( BEAM2  ELM.=20  STEP=100 )

                                  C O N T R O L   D A T A   D E S C R I P T I O N

      ---------------
```

CONTROL DATA

GEOMETRICAL NONLINEAR ANALYSIS

UPDATED LAGRANGIAN JAUMANN STRESS RATE FORMULATION(LARGE DISPLACEMENTS, LARGE ROTATIONS, LARGE STRAINS)

1 VP165 PURE BENDING OF CANTILEVER (ELASTICA PROBLEM) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 5
UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION (BEAM2 ELM =20 STEP=100)

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

NODAL COORDINATE

NUMBER OF NODAL POINTS 22

NODE	X1	X2	X3
1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	0.500000	0.000000E+00	0.000000E+00
3	1.00000	0.000000E+00	0.000000E+00
4	1.50000	0.000000E+00	0.000000E+00
5	2.00000	0.000000E+00	0.000000E+00
6	2.50000	0.000000E+00	0.000000E+00
7	3.00000	0.000000E+00	0.000000E+00
8	3.50000	0.000000E+00	0.000000E+00
9	4.00000	0.000000E+00	0.000000E+00
10	4.50000	0.000000E+00	0.000000E+00
11	5.00000	0.000000E+00	0.000000E+00
12	5.50000	0.000000E+00	0.000000E+00
13	6.00000	0.000000E+00	0.000000E+00
14	6.50000	0.000000E+00	0.000000E+00
15	7.00000	0.000000E+00	0.000000E+00
16	7.50000	0.000000E+00	0.000000E+00
17	8.00000	0.000000E+00	0.000000E+00
18	8.50000	0.000000E+00	0.000000E+00
19	9.00000	0.000000E+00	0.000000E+00
20	9.50000	0.000000E+00	0.000000E+00
21	10.0000	0.000000E+00	0.000000E+00
*			
100	0.000000E+00	1.00000	0.000000E+00

MAXIMUM	NODE- 21	NODE- 100	NODE- 1	NODE-
VALUE	10.0000	1.00000	0.000000E+00	
MINIMUM	NODE- 1	NODE- 1	NODE- 1	NODE-
VALUE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	

ELEMENT TYPE

TYPE	NAME	SWC- 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BEAM2	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0

1 VP165 PURE BENDING OF CANTILEVER (ELASTICA PROBLEM) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 6
UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION (BEAM2 ELM =20 STEP=100)

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

ELEMENT CONNECTION

NUMBER OF ELEMENTS ... 20

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES		
1	1	1	1	1	2	100
2	1	1	1	2	3	100
3	1	1	1	3	4	100
4	1	1	1	4	5	100
5	1	1	1	5	6	100
6	1	1	1	6	7	100
7	1	1	1	7	8	100
8	1	1	1	8	9	100
9	1	1	1	9	10	100
10	1	1	1	10	11	100
11	1	1	1	11	12	100
12	1	1	1	12	13	100
13	1	1	1	13	14	100
14	1	1	1	14	15	100
15	1	1	1	15	16	100
16	1	1	1	16	17	100
17	1	1	1	17	18	100
18	1	1	1	18	19	100
19	1	1	1	19	20	100
20	1	1	1	20	21	100

ELEMENT GEOMETRY

GEOMETRY

GEOM	GEOM-1	GEOM-2	GEOM-3	GEOM-4	GEOM-5	GEOM-6
1	1.000	0.1000				

MATERIAL PROPERTY

IDENTIFICATION NUMBER ==> 1

	VALUE
E	0.100000E+09
NU	0.000000E+00

MODEL DATA DESCRIPTION

BOUNDARY CONDITION

IDENTIFICATION NUMBER ==> 1

NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP	NODE	DOF	COORD	DISP
1	1		0.0000E+00	1	2		0.0000E+00	1	3		0.0000E+00
1	4		0.0000E+00	1	5		0.0000E+00	1	6		0.0000E+00
1	3		0.0000E+00	1	4		0.0000E+00	1	5		0.0000E+00
2	3		0.0000E+00	2	4		0.0000E+00	2	5		0.0000E+00
3	3		0.0000E+00	3	4		0.0000E+00	3	5		0.0000E+00
4	3		0.0000E+00	4	4		0.0000E+00	4	5		0.0000E+00
5	3		0.0000E+00	5	4		0.0000E+00	5	5		0.0000E+00
6	3		0.0000E+00	6	4		0.0000E+00	6	5		0.0000E+00
7	3		0.0000E+00	7	4		0.0000E+00	7	5		0.0000E+00
8	3		0.0000E+00	8	4		0.0000E+00	8	5		0.0000E+00
9	3		0.0000E+00	9	4		0.0000E+00	9	5		0.0000E+00
10	3		0.0000E+00	10	4		0.0000E+00	10	5		0.0000E+00
11	3		0.0000E+00	11	4		0.0000E+00	11	5		0.0000E+00
12	3		0.0000E+00	12	4		0.0000E+00	12	5		0.0000E+00
13	3		0.0000E+00	13	4		0.0000E+00	13	5		0.0000E+00
14	3		0.0000E+00	14	4		0.0000E+00	14	5		0.0000E+00
15	3		0.0000E+00	15	4		0.0000E+00	15	5		0.0000E+00
16	3		0.0000E+00	16	4		0.0000E+00	16	5		0.0000E+00
17	3		0.0000E+00	17	4		0.0000E+00	17	5		0.0000E+00
18	3		0.0000E+00	18	4		0.0000E+00	18	5		0.0000E+00
19	3		0.0000E+00	19	4		0.0000E+00	19	5		0.0000E+00
20	3		0.0000E+00	20	4		0.0000E+00	20	5		0.0000E+00
21	3		0.0000E+00	21	4		0.0000E+00	21	5		0.0000E+00

FORCE

IDENTIFICATION NUMBER ==> 1

NODE	COORD	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
21		0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.00000	

LOAD HISTORY

NUM		IDENT	* FACTOR
1	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.38
2	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.38

MODEL DATA DESCRIPTION

NUM		IDENT	* FACTOR
3	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.38
4	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.38
5	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.38
6	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.38

	FORCE	1	52.36
89	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
90	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
91	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
92	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
93	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
94	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
95	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
96	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
97	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
98	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
99	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
100	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	52.36
101	BOUNDARY	1	0.0000E+00
	FORCE	1	0.0000E+00

1 VP165 PURE BENDING OF CANTILEVER (ELASTICA PROBLEM) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 14
UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION (BEAM2 ELM =20 STEP=100)

TOTAL DISPLACEMENT VECTOR (STEP NUM. 10)

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	-5.59403E-03	-7.66616E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.14657E-02
3	-5.57137E-04	-3.14579E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.28312E-02
4	-1.94894E-03	-7.07551E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.43962E-02
5	-4.07546E-03	-1.25724E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.25660E-01
6	-9.17971E-03	-1.96318E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.57324E-01
7	-1.59030E-02	-2.82477E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.88768E-01
8	-2.52847E-02	-3.84127E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.20245E-01
9	-3.77617E-02	-5.01181E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.51705E-01
10	-5.37878E-02	-6.33539E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.83162E-01
11	-7.37340E-02	-7.81089E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.14616E-01
12	-9.80872E-02	-9.43704E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.46069E-01
13	-1.27251E-01	-1.12125E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.77517E-01
14	-1.61643E-01	-1.31356E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.08964E-01
15	-2.01677E-01	-1.52046E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.40407E-01
16	-2.47763E-01	-1.74186E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.71846E-01
17	-3.00304E-01	-1.97747E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.03282E-01
18	-3.59695E-01	-2.22713E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.34714E-01
19	-4.26329E-01	-2.49062E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.66142E-01
20	-5.00589E-01	-2.76773E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.97565E-01
21	-5.82852E-01	-3.05820E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.28983E-01

0

NODAL POINT REACTION (STEP NUM. 10)

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	-5.69692E-10	-3.18739E-10	5.68434E-14	4.02409E-16	2.84169E-14	5.24410E+02
2	0.00000E+00	0.00000E+00	5.68434E-14	6.03287E-16	-1.42322E-14	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	-8.52651E-14	5.83118E-15	9.92951E-14	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	1.42109E-13	6.82743E-15	5.64820E-14	0.00000E+00
5	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.86350E-15	-3.17379E-14	0.00000E+00
6	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.56319E-13	1.30132E-15	6.99104E-15	0.00000E+00
7	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.42109E-13	-3.84591E-15	-1.73815E-14	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.00000E+00	7.10543E-14	2.26857E-15	6.70735E-15	0.00000E+00
9	0.00000E+00	0.00000E+00	2.84217E-14	-1.30164E-15	-6.99098E-15	0.00000E+00
10	0.00000E+00	0.00000E+00	1.13687E-13	-3.19270E-15	-1.38519E-14	0.00000E+00
11	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.27898E-13	3.12987E-14	1.05584E-13	0.00000E+00
12	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.12639E-13	4.15070E-15	1.73233E-14	0.00000E+00
13	0.00000E+00	0.00000E+00	2.98426E-13	1.08733E-15	1.05008E-14	0.00000E+00
14	0.00000E+00	0.00000E+00	7.10543E-14	2.15759E-14	5.25972E-14	0.00000E+00
15	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.98952E-13	2.58246E-14	6.23593E-14	0.00000E+00
16	0.00000E+00	0.00000E+00	1.84741E-13	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
17	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.26326E-14	-1.91698E-14	-4.20298E-14	0.00000E+00
18	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.52651E-14	6.09772E-15	1.58143E-14	0.00000E+00
19	0.00000E+00	0.00000E+00	8.52651E-14	-1.60109E-14	-3.17468E-14	0.00000E+00
20	0.00000E+00	0.00000E+00	2.13163E-13	2.40439E-14	3.94303E-14	0.00000E+00
21	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.70530E-13	-2.23536E-14	-3.63022E-14	0.00000E+00

18	-1.02775E+01	-1.78016E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.81371E+00
19	-1.06705E+01	-1.28540E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.09659E+00
20	-1.09322E+01	-8.60284E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.37941E+00
21	-1.10811E+01	-5.19293E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.66218E+00

1 VP165 PURE BENDING OF CANTILEVER (ELASTICA PROBLEM) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 30
UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION (BEAM2 ELM.=20 STEP=100)

NODAL POINT REACTION (STEP NUM. 60)

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	7.52204E-10	-9.24661E-10	1.36424E-12	3.57127E-14	2.53290E-13	4.72153E+03
2	0.00000E+00	0.00000E+00	2.27374E-12	-1.11052E-13	-5.59044E-14	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.77485E-12	-3.91891E-13	-6.84400E-13	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.54747E-13	3.21559E-13	4.42459E-13	0.00000E+00
5	0.00000E+00	0.00000E+00	1.59102E-12	9.45588E-13	5.01139E-13	0.00000E+00
6	0.00000E+00	0.00000E+00	2.27374E-13	-8.05047E-13	-1.34276E-13	0.00000E+00
7	0.00000E+00	0.00000E+00	1.13687E-12	5.95387E-13	-2.49347E-13	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.00000E+00	2.27374E-13	3.00287E-13	-1.57768E-13	0.00000E+00
9	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.81899E-12	8.62296E-13	-8.99175E-13	0.00000E+00
10	0.00000E+00	0.00000E+00	2.72848E-12	-2.67455E-14	1.19261E-13	0.00000E+00
11	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.81899E-12	2.52368E-13	-9.25760E-13	0.00000E+00
12	0.00000E+00	0.00000E+00	4.54747E-13	1.92437E-13	-5.52230E-13	0.00000E+00
13	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.04836E-12	-3.54897E-14	-4.97618E-14	0.00000E+00
14	0.00000E+00	0.00000E+00	9.09495E-13	1.01738E-13	1.36939E-13	0.00000E+00
15	0.00000E+00	0.00000E+00	2.50111E-12	-9.05178E-14	-2.27050E-13	0.00000E+00
16	0.00000E+00	0.00000E+00	2.27374E-13	7.21315E-13	3.82412E-13	0.00000E+00
17	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.13687E-12	-7.48710E-13	-2.59286E-13	0.00000E+00
18	0.00000E+00	0.00000E+00	1.13687E-12	3.13210E-13	6.83186E-14	0.00000E+00
19	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.72848E-12	4.11189E-13	-1.02063E-13	0.00000E+00
20	0.00000E+00	0.00000E+00	1.13687E-12	1.00763E-13	-2.00247E-13	0.00000E+00
21	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.13687E-12	-2.06526E-13	1.93123E-13	0.00000E+00

1 VP165 PURE BENDING OF CANTILEVER (ELASTICA PROBLEM) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 31
UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION (BEAM2 ELM.=20 STEP=100)

PLOTTER INFORMATION

0 PLOT 9. DEFORMED SHAPE
AXES .....+Z, +X, +Y VIEW ANGLE 0.00, 0.00, 0.00
SCALE FACTOR ..... 1.00E+01 FRAME SIZE ..... 297.3 , 210.2

0

TOTAL DISPLACEMENT VECTOR (STEP NUM. 100)

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	-6.11966E-03	-7.83727E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.14768E-01
3	-6.02887E-02	-3.05903E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.29536E-01
4	-2.05880E-01	-6.60569E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.44296E-01
5	-4.77369E-01	-1.10600E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.25905E+00
6	-8.86931E-01	-1.60510E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.57379E+00
7	-1.47253E+00	-2.10369E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.88851E+00
8	-2.19866E+00	-2.55576E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.20321E+00
9	-3.04755E+00	-2.91784E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.51790E+00
10	-3.99110E+00	-3.15531E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.83258E+00
11	-4.98415E+00	-3.24573E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.14719E+00
12	-5.97878E+00	-3.18106E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.46179E+00
13	-6.92691E+00	-2.98940E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.77636E+00
14	-7.78500E+00	-2.62929E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.09089E+00
15	-8.51827E+00	-2.19785E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.40538E+00
16	-9.10406E+00	-1.71645E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.71983E+00
17	-9.53405E+00	-1.23350E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.03423E+00
18	-9.81506E+00	-7.96975E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.34859E+00
19	-9.98832E+00	-4.50188E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.66289E+00
20	-1.00275E+01	-2.28393E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.97714E+00
21	-1.00353E+01	-1.54388E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.29133E+00

1 VP165 PURE BENDING OF CANTILEVER (ELASTICA PROBLEM) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 32
UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION (BEAM2 ELM.=20 STEP=100)

NODAL POINT REACTION (STEP NUM. 100)

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	8.66481E-12	1.58922E-11	2.04836E-12	-1.76421E-14	-1.12310E-13	5.24816E+03
2	0.00000E+00	0.00000E+00	1.36424E-12	-3.57737E-13	-5.92722E-13	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.36424E-12	-8.99862E-14	1.33121E-13	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.13687E-12	4.09861E-13	3.90298E-13	0.00000E+00
5	0.00000E+00	0.00000E+00	2.27374E-13	-5.71443E-13	-2.38656E-13	0.00000E+00
6	0.00000E+00	0.00000E+00	2.27374E-12	6.17317E-13	3.43342E-14	0.00000E+00
7	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.27396E-12	4.85252E-13	-1.11021E-13	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.00000E+00	4.77485E-12	-3.88862E-13	3.25816E-13	0.00000E+00
9	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.32010E-12	1.38728E-13	-5.03003E-18	0.00000E+00
10	0.00000E+00	0.00000E+00	5.45897E-12	2.37040E-13	-4.22887E-13	0.00000E+00
11	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.09495E-13	1.18165E-13	-3.05900E-13	0.00000E+00
12	0.00000E+00	0.00000E+00	2.50111E-12	1.43356E-14	-9.19976E-14	0.00000E+00
13	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.32010E-12	-2.91273E-14	-8.20521E-14	0.00000E+00
14	0.00000E+00	0.00000E+00	1.81899E-12	7.62879E-13	4.93097E-13	0.00000E+00
15	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.41081E-12	-1.21948E-12	-5.07826E-13	0.00000E+00
16	0.00000E+00	0.00000E+00	3.83798E-12	1.09541E-12	1.27180E-14	0.00000E+00
17	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.36424E-12	4.72841E-13	-8.13246E-14	0.00000E+00
18	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.54747E-13	-2.10212E-14	1.91296E-14	0.00000E+00
19	0.00000E+00	0.00000E+00	-6.82121E-13	-3.25160E-13	5.31169E-13	0.00000E+00
20	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.27374E-13	1.17309E-13	-4.66225E-13	0.00000E+00
21	0.00000E+00	0.00000E+00	1.36424E-12	1.18657E-14	-5.55912E-14	0.00000E+00

```
1   VP165  PURE BENDING OF CANTILEVER  ( ELASTICA PROBLEM )                FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   33
    UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION   ( BEAM2  ELM.=20  STEP=100 )


      P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT  10.   DEFORMED SHAPE
                    AXES ....................+Z, +X, +Y     VIEW ANGLE .......     0.00,      0.00,      0.00
                    SCALE FACTOR ............ 1.000E+01     FRAME SIZE .......    297.3 .    210.2
1   VP165  PURE BENDING OF CANTILEVER  ( ELASTICA PROBLEM )                FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   34
    UPDATED LAGRANGIAN FORMULATION   ( BEAM2  ELM.=20  STEP=100 )

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . .  STATIC  E
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . .      101          ( FROM     1 TO   101 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .       20
+                                                                (      20*BEAM2   )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .       22
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .       60
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .        8
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .        4.8
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .      2.6          ( 23.32 % )
0       LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .      0.0          (  0.15 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .      0.3          (  3.14 % )
0       STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
           LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . .      7.4          ( 66.52 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .      0.8          (  6.88 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .     11.1 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      238 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .       0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.3 破壊力学解析

2.3.1 3点曲げ試験片の弾性破壊力学解析

(1) 問題

図 2.3.1-1 に示す試験片に 3 点曲げ荷重を負荷して弾性解析を行ない、経路積分法と変位外挿法で求めた応力拡大係数について比較を行なう。[18] 試験片の材料は溶接材と母材が同一の場合と、異なる場合の 2 ケースを考え、それぞれに対する弾性係数とポアソン比を表 2.3.1-1 と表 2.3.1-2 に示す。負荷は図 2.3.1-2 に示すものとする。

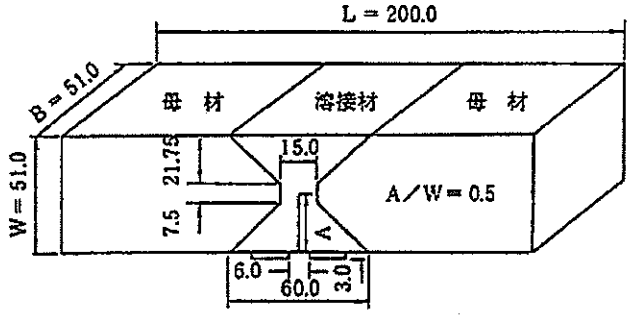


図 2.3.1-1 試 験 片

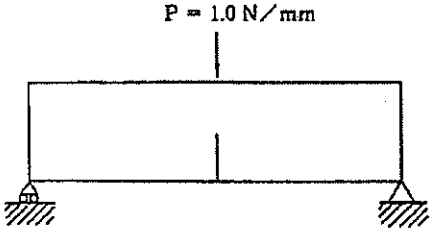


図 2.3.1-2 負 荷 条 件

表 2.3.1-1　溶接材と母材が同一材質の場合の材料定数

	溶 接 材	母 材
弾性係数	210×10^3 N/mm^2	210×10^3 N/mm^2
ポアソン比	0.3	0.3

表 2.3.1-2　溶接材と母材が異なる材質の場合の材料定数

	溶 接 材	母 材
弾性係数	170×10^3 N/mm^2	210×10^3 N/mm^2
ポアソン比	0.3	0.3

(2) 有限要素モデルと解析条件

試験片と負荷の対称条件を考慮して 2 分の 1 の有限要素モデルを作成する。8 節点四辺形平面ひずみ要素 QPLAN8 を使用した有限要素モデルを図 2.3.1-3 に示す。き裂先端を節点に含む要素は図 2.3.1-4 のように、き裂先端につながる辺上の中間節点をき裂寄り 4 分の 1 の位置に移動させてき裂最先端の特異性を表現する。積分経路は図 2.3.1-3 の 9 つの経路を考え、境界条件は対称条件を考慮して図 2.3.1-5 に示すものを用いる。

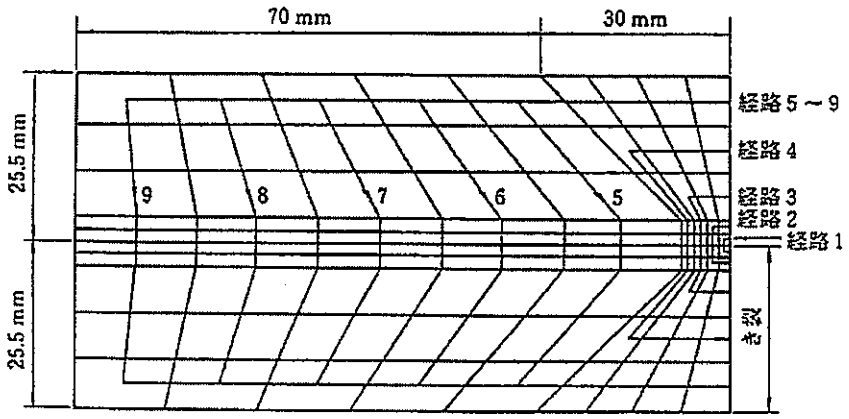


図 2.3.1-3　有限要素モデルと積分経路

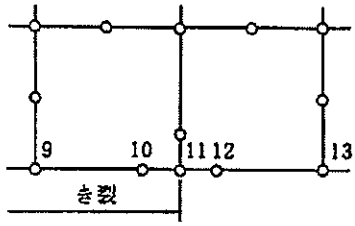


図 2.3.1-4　き裂最先端の節点配置

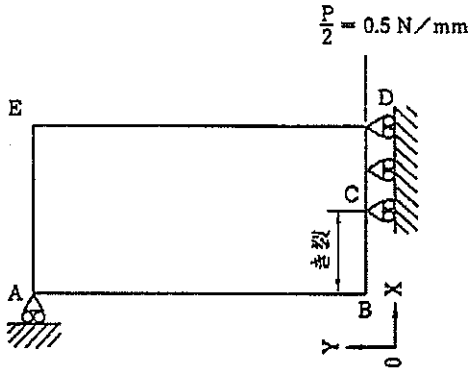


図 2.3.1-5　境 界 条 件

(3) 解析結果

表 2.3.1-3 と図 2.3.1-6 に経路分析の結果を、表 2.3.1-4 に式（2.3.1-1）により無次元化した応力拡大係数 F_I をそれぞれ示す。

$$F_I = \frac{K_I B\sqrt{W}}{P} \qquad (2.4.1-1)$$

ここで、K_I は応力拡大係数、B=1.0mm、W=51mm、P=1N である。K_I の値は解法ごとにそれぞれ次式で求めている。

経路積分法

$$K_I = \sqrt{\frac{JE}{1-\nu^2}} \qquad (2.4.1-2)$$

変位外挿法

$$K_I = \frac{E}{4\ (1-\nu^2)}\sqrt{\frac{2\pi}{r}U_Y} \qquad (2.4.1-3)$$

U_Y：節点の y 方向変位

r ：き裂最先端から節点までの距離

変位外挿法では図 2.3.1-4 の節点 9 と 11 でそれぞれ K_I を求め、線形外挿によりき裂先端での値を計算している。なお、参考のため EPICC 報告書[18] に掲載されている無次元応力拡大係数を表 2.3.1-5 に示す。

表 2.3.1-3　1/2J 値

経路番号		溶接材と母材が同一材質	溶接材と母材が異なる材質
溶接材内	1	4.36018×10^{-6}	5.24404×10^{-6}
	2	4.34082×10^{-6}	5.23822×10^{-6}
	3	4.41178×10^{-6}	5.29196×10^{-6}
	4	4.38192×10^{-6}	5.28550×10^{-6}
溶接材内＋母材	5	4.64720×10^{-6}	5.53206×10^{-6}
	6	4.68393×10^{-6}	5.55463×10^{-6}
	7	4.67597×10^{-6}	5.54344×10^{-6}
	8	4.71372×10^{-6}	5.58594×10^{-6}
	9	5.06837×10^{-6}	5.97306×10^{-6}
溶接材内の平均		4.37368×10^{-6}	5.26493×10^{-6}
全体の平均		4.58710×10^{-6}	5.47209×10^{-6}

表 2.3.1-4　無次元化応力拡大係数 F_1

解　法		溶接材と母材が同一材質	溶接材と母材が異なる材質
経路積分法	溶接材内平均	10.15	10.02
	全体平均	10.39	
変位外挿法		9.866	9.752

表 2.3.1-5　EPICC 報告書[18]による無限化応力拡大係数 F_1

	溶接材と母材が同一材質		溶接材と母材が異なる材質	
プログラム	JPLAS	ELCOM	JPLAS	ELCOM
解　法	経路積分法*	変位外挿法	経路積分法**	変位外挿法
3 点曲げ	10.31	10.15	10.15	10.02

*　全経路の平均

** 溶接材内経路の平均

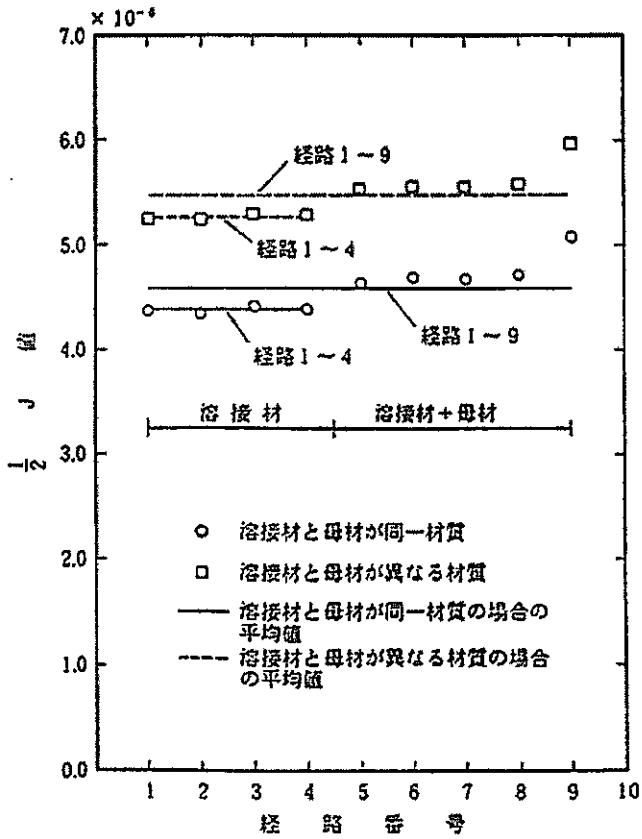


図 2.3.1-6　1/2J 値

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 2.3.1-6 溶接材と母材の材質が異なる場合の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     THREE POINT BENDING(TWO MATERIAL) - J-INTEGRAL PROBLEM
STATIC    E
CONTROL
     J-INTEGRAL          9    2    6   10   14   18   20   22   24   26
                         6    5
                         7   17   16   15   14    4
                         8   18   28   27   26   25   24   23   13    3
                         9   19   29   39   38   37   36   35   34   33   32   22
                        12    2
                        10   20   30   40   50   49   48   47   46   45   44   43
                        42   41   31   21   11    1
                        10   20   30   40   50   60   59   58   57   56   55   54
                        53   52   51   41   31   21   11    1
                        10   20   30   40   50   60   70   69   68   67   66   65
                        64   63   62   61   51   41   31   21   11    1
                        10   20   30   40   50   60   70   80   79   78   77   76
                        75   74   73   72   71   61   51   41   31   21   11    1
                        10   20   30   40   50   60   70   80   90   89   88   87
                        86   85   84   83   82   81   71   61   51   41   31   21
                        11    1
MODEL
NODE PITCH
    1      8*3.75     10*7.0
    2      2*1.75     2*2.0      5*18.5
    3      4*0.875    4*1.0      10*9.25
    4      1.75       2*2.0      5*18.5
    5      0.4375     1.3125     2*0.875    4*1.0      10*9.25
   11      4*3.5      2*3.875
   12      2*7.0      7.75
NODE
    1                     0.0        0.0                        18    1   30  541
  541                     0.0      100.0
    7                   21.75        0.0                         6   11   -1    1
   37                   21.75      0.875                         3   12   -2   31
   67                   21.75       1.75                         6   11   -1   61
   97                   21.75      2.625                         3   12   -2   91
  127                   21.75       3.50                         6   11   -1  121
  157                   21.75       4.50                         3   12   -2  151
  187                   21.75       5.50                         6   11   -1  181
  217                   21.75       6.50                         3   12   -2  211
  247                   21.75       7.50                         6   11   -1  241
  277                   21.75      16.75                         3   12   -2  271
  307                   21.75      26.00                         6   11   -1  301
  337                   21.75      35.25                         3   12   -2  331
  367                   21.75      44.50                         6   11   -1  361
  397                   21.75      53.75                         3   12   -2  391
  427                   21.75      63.00                         6   11   -1  421
  457                   21.75      72.25                         3   12   -2  451
  487                   21.75      81.50                         6   11   -1  481
  517                   21.75      90.75                         3   12   -2  511
  547                   21.75     100.00                         6   11   -1  541
$
    8                   22.75        0.0                         9    2   60  548
  548                   22.75      100.0
    9                   23.75        0.0                        18    3   30  549
  549                   23.75      100.0
   70                  24.625       1.75                         8    4   60  550
  550                  24.625      100.0
   11                   25.50        0.0                        18    5   30  551
  551                   25.50      100.0
   72                  26.375       1.75                         8    4   60  552
  552                  26.375      100.0
   13                   27.25        0.0                        18    3   30  553
  553                   27.25      100.0
```

```
   14                    28.25       0.0                          9    2   60  554
  554                    28.25     100.0
$
   21                     51.0       0.0                         18    1   30  561
  561                     51.0     100.0
   15                    29.25       0.0                          6   11    1   21
   45                    29.25     0.875                          3   12    2   51
   75                    29.25      1.75                          6   11    1   81
  105                    29.25     2.625                          3   12    2  111
  135                    29.25      3.50                          6   11    1  141
  165                    29.25      4.50                          3   12    2  171
  195                    29.25      5.50                          6   11    1  201
  225                    29.25      6.50                          3   12    2  231
  255                    29.25      7.50                          6   11    1  261
  285                    29.25     16.75                          3   12    2  291
  315                    29.25     26.00                          6   11    1  321
  345                    29.25     35.25                          3   12    2  351
  375                    29.25     44.50                          6   11    1  381
  405                    29.25     53.75                          3   12    2  411
  435                    29.25     63.00                          6   11    1  441
  465                    29.25     72.25                          3   12    2  471
  495                    29.25     81.50                          6   11    1  501
  525                    29.25     90.75                          3   12    2  531
  555                    29.25    100.00                          6   11    1  561
$
   10                  25.0625       0.0
   12                  25.9375       0.0
ELEMENT TYPE
    1     QPLAN8
CONNECTION
    1    1         2    1    2    3   31   33   61   62   63   10    2    4   60
   41    1         1  241  242  243  271  273  301  302  303   10    2    5   60
MATERIAL
    1
          E            210.0E3
          NU               0.3
    2
          E            170.0E3
          NU               0.3
BOUNDARY
    1
             11   21    1         2
            541                   1
FORCE
    1
             21                   1           -1.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN     1
          FORC     1       0.5
END MODEL
OUTPUT
STRUCTURE PLOT
ESET2         1    4    7    1   14   17    1   24   27    1   34   37    1
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL
VIEW            90.0       0.0       0.0
IPLOT                BOTH
IPLOT         1      BOTH
IPLOT
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.3.1-7　溶接材と母材の材質が異なる場合の解析結果リスト（抜粋）

```
                                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    1

                        A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                    1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                FINAS
                TITLE     THREE POINT BENDING(TWO MATERIAL) - J-INTEGRAL PROBLEM
                STATIC    E
                CONTROL
                    J-INTEGRAL          9   2   6  10  14  18  20  22  24  26
                                        6   5
                                        7  17  16  15  14   4
                                        8  18  28  27  26  25  24  23  13   3
                                        9  19  29  39  38  37  36  35  34  33  32  22
                                       12   2
                                       10  20  30  40  50  49  48  47  46  45  44  43
                                       42  41  31  21  11   1
                                       10  20  30  40  50  60  59  58  57  56  55  54
                                       53  52  51  41  31  21  11   1
                                       10  20  30  40  50  60  70  69  68  67  66  65
                                       64  63  62  61  51  41  31  21  11   1
                                       10  20  30  40  50  60  70  80  79  78  77  76
                                       75  74  73  72  71  61  51  41  31  21  11   1
                                       10  20  30  40  50  60  70  80  90  89  88  87
                                       86  85  84  83  82  81  71  61  51  41  31  21
                                       11   1
1   THREE POINT BENDING(TWO MATERIAL) - J-INTEGRAL PROBLEM                  FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    2

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                    1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
          0-    MODEL
          1-    NODE PITCH
          2-       1    8*3.75    10*7.0
          3-       2    2*1.75    2*2.0     5*18.5
          4-       3    4*0.875   4*1.0     10*9.25
          5-       4    1.75      2*2.0     5*18.5
          6-       5    0.4375    1.3125    2*0.875   4*1.0     10*9.25
          7-      11    4*3.5     2*3.875
          8-      12    2*7.0     7.75
          9-    NODE
         10-       1                  0.0       0.0                  18   1  30  541
         11-     541                  0.0     100.0
         12-       7                21.75       0.0                   6  11  -1    1
         13-      37                21.75     0.875                   3  12  -2   31
         14-      67                21.75      1.75                   6  11  -1   61
         15-      97                21.75     2.625                   3  12  -2   91
         16-     127                21.75      3.50                   6  11  -1  121
         17-     157                21.75      4.50                   3  12  -2  151
         18-     187                21.75      5.50                   6  11  -1  181
         19-     217                21.75      6.50                   3  12  -2  211
         20-     247                21.75      7.50                   6  11  -1  241
         21-     277                21.75     16.75                   3  12  -2  271
         22-     307                21.75     26.00                   6  11  -1  301
         23-     337                21.75     35.25                   3  12  -2  331
         24-     367                21.75     44.50                   6  11  -1  361
         25-     397                21.75     53.75                   3  12  -2  391
         26-     427                21.75     63.00                   6  11  -1  421
         27-     457                21.75     72.25                   3  12  -2  451
         28-     487                21.75     81.50                   6  11  -1  481
         29-     517                21.75     90.75                   3  12  -2  511
         30-     547                21.75    100.00                   6  11  -1  541
                $
         31-       8                22.75       0.0                   9   2  60  548
         32-     548                22.75     100.0
         33-       9                23.75       0.0                  18   3  30  549
         34-     549                23.75     100.0
         35-      70                24.625      1.75                   8   4  60  550
         36-     550                24.625    100.0
         37-      11                25.50       0.0                  18   5  30  551
         38-     551                25.50     100.0
         39-      72                26.375      1.75                   8   4  60  552
         40-     552                26.375    100.0
         41-      13                27.25       0.0                  18   3  30  553
         42-     553                27.25     100.0
         43-      14                28.25       0.0                   9   2  60  554
         44-     554                28.25     100.0
                $
         45-      21                 51.0       0.0                  18   1  30  561
         46-     561                 51.0     100.0
         47-      15                29.25       0.0                   6  11   1   21
1   THREE POINT BENDING(TWO MATERIAL) - J-INTEGRAL PROBLEM                  FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    3

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                    1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
         48-      45                29.25     0.875                   3  12   2   51
         49-      75                29.25      1.75                   6  11   1   81
         50-     105                29.25     2.625                   3  12   2  111
         51-     135                29.25      3.50                   6  11   1  141
```

15	-2.85001E-04	0.00000E+00
16	-2.83047E-04	0.00000E+00
17	-2.81865E-04	0.00000E+00
18	-2.80549E-04	0.00000E+00
19	-2.79998E-04	0.00000E+00
20	-2.81141E-04	0.00000E+00
21	-2.82355E-04	0.00000E+00
31	-2.83123E-04	8.61265E-05
33	-2.83825E-04	6.74387E-05
35	-2.86137E-04	4.17709E-05
37	-2.86073E-04	2.52059E-05
39	-2.87137E-04	1.64464E-05
41	-2.87642E-04	3.35062E-06
43	-2.86065E-04	1.04545E-06
45	-2.84986E-04	6.04269E-07
47	-2.81093E-04	-3.50237E-07
49	-2.79167E-04	-1.80035E-06
51	-2.74690E-04	-7.33217E-06
61	-2.71229E-04	8.80707E-05
62	-2.73891E-04	7.78620E-05
63	-2.76527E-04	6.74360E-05
64	-2.78838E-04	5.77923E-05
65	-2.81057E-04	4.77090E-05
66	-2.83127E-04	3.70834E-05
67	-2.84977E-04	2.50830E-05
68	-2.84504E-04	2.10136E-05
69	-2.83881E-04	1.64116E-05
70	-2.83369E-04	1.17655E-05
71	-2.83570E-04	7.36348E-06
72	-2.83997E-04	4.07719E-06
73	-2.84209E-04	2.56581E-06
74	-2.84141E-04	1.70169E-06
75	-2.83806E-04	1.22593E-06
76	-2.81536E-04	4.91577E-07
77	-2.79713E-04	-5.20167E-07

1 THREE POINT BENDING(TWO MATERIAL) - J-INTEGRAL PROBLEM FINAS VERSION 13.0 02/25/98 PAGE 20

TOTAL DISPLACEMENT VECTOR (STEP NUM. 1)

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
78	-2.77892E-04	-1.98279E-06				
79	-2.75724E-04	-4.06415E-06				
80	-2.73031E-04	-7.67420E-06				
81	-2.66879E-04	-1.45112E-05				
91	-2.61545E-04	8.80483E-05				
93	-2.69407E-04	6.74703E-05				
95	-2.76174E-04	4.78534E-05				
97	-2.82106E-04	2.50172E-05				
99	-2.81339E-04	1.68172E-05				
101	-2.81376E-04	9.01936E-06				
103	-2.82294E-04	4.14746E-06				
105	-2.82474E-04	2.00930E-06				
107	-2.77367E-04	-6.51234E-07				
109	-2.71469E-04	-6.07936E-06				
111	-2.61693E-04	-2.00609E-05				
121	-2.52069E-04	8.81308E-05				
122	-2.57266E-04	7.80785E-05				
123	-2.62469E-04	6.75707E-05				
124	-2.67050E-04	5.77956E-05				
125	-2.71496E-04	4.78585E-05				
126	-2.75739E-04	3.69457E-05				
127	-2.79697E-04	2.50186E-05				
128	-2.76352E-04	2.11579E-05				
129	-2.78162E-04	1.71165E-05				
130	-2.79213E-04	1.38122E-05				
131	-2.79427E-04	1.03998E-05				
132	-2.79466E-04	7.67155E-06				
133	-2.80366E-04	5.61093E-06				
134	-2.80733E-04	4.01730E-06				
135	-2.80902E-04	2.91048E-06				
136	-2.77758E-04	1.38268E-06				
137	-2.74401E-04	-7.03140E-07				
138	-2.70621E-04	-3.73239E-06				
139	-2.66207E-04	-6.05316E-06				

TOTAL STRESS AND STRAIN (STEP NUM. 1)

0 ELM ID-POINT		X	Y	Z	XY	VON MISES	TRESCA
81 - 5	STRESS	1.0328E-02	2.9528E-02	1.1057E-02	7.4495E-03	2.2506E-02	2.4303E-02
	STRAIN	-1.0084E-06	1.0877E-07	0.0000E+00	9.2232E-06		
82 - 5	STRESS	-1.8336E-02	-4.3161E-04	-5.6302E-03	1.5842E-02	3.1740E-02	3.6393E-02
	STRAIN	-7.8654E-06	3.2182E-06	0.0000E+00	1.9614E-07		
83 - 5	STRESS	-2.0534E-02	-3.0884E-03	-7.0803E-03	1.5545E-02	3.1247E-02	3.5667E-02
	STRAIN	-8.3263E-06	2.4839E-06	0.0000E+00	1.9251E-07		
84 - 5	STRESS	-1.7455E-02	-3.3354E-03	-8.2374E-03	1.4588E-02	2.8372E-02	3.2413E-02
	STRAIN	-6.9441E-06	1.7056E-06	0.0000E+00	1.8052E-07		
85 - 5	STRESS	-1.6241E-02	-3.3859E-03	-5.8680E-03	1.3911E-02	2.6831E-02	3.0648E-02
	STRAIN	-6.4089E-06	1.5459E-06	0.0000E+00	1.7224E-07		

```
   86 - 5    STRESS  -1.4949E-02 -3.4663E-03 -5.5245E-03  1.3276E-02                    2.5322E-02  2.6929E-02
             STRAIN  -5.8340E-08  1.2741E-08  0.0000E+00  1.6437E-07

   87 - 5    STRESS  -1.3471E-02 -3.5977E-03 -5.1177E-03  1.2571E-02                    2.3844E-02  2.7016E-02
             STRAIN  -5.1713E-08  9.4717E-09  0.0000E+00  1.5564E-07

   88 - 5    STRESS  -1.0023E-02 -3.7429E-03 -4.1298E-03  1.0219E-02                    1.8721E-02  2.1332E-02
             STRAIN  -3.6483E-08  2.3952E-09  0.0000E+00  1.2653E-07

   89 - 5    STRESS  -5.1827E-03 -4.0298E-03 -2.7637E-03  6.1763E-03                    1.0901E-02  1.2408E-02
             STRAIN  -1.4975E-08 -7.8367E-09  0.0000E+00  7.6469E-08

   90 - 5    STRESS  -1.3857E-03 -3.0681E-03 -1.3361E-03  1.8235E-03                    3.7437E-03  4.1987E-03
             STRAIN  -3.0587E-10 -1.0722E-08  0.0000E+00  2.3814E-08
1  THREE POINT BENDING(TWO MATERIAL) - J-INTEGRAL PROBLEM                  FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    32

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0  ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . .  STATIC  E
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .        1          ( FROM     1 TO     1 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .       90
+                                                                  (      90*OPLANS  )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .      309
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .       606
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          53
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          38.7
0
   EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . . .       0.0          ( 12.50 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .        0.1          ( 25.00 % )
0       STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . . .       0.0          ( 12.50 % )
0       ACTIVE COLUMN OPTIMIZATION . . . . . . .       0.0          (  6.25 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .        0.1          ( 43.75 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .       0.3 SECONDS
0
   STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .       215 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .          0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.4 面接触解析

2.4.1 面接触機能を用いた円板塑性加工解析

(1) 問題

円板の縁全周をリング状のダイで拘束し、中央部より球頭ポンチで押し込む塑性加工シミュレーションを面接触機能を用いて行なう。構造は図 2.4.1-1 に示されるように、半径 59.18mm および板厚 1.0mm の円板、外径 59.18mm および内径 52.83mm のリング状固定ダイ、半径 50.8mm の球頭ポンチからなる接触連成モデルを取扱う。[19,20] それぞれの構造部における材料定数は表 2.4.1-1 に示す。なお、ダイ・ポンチは剛体とする。

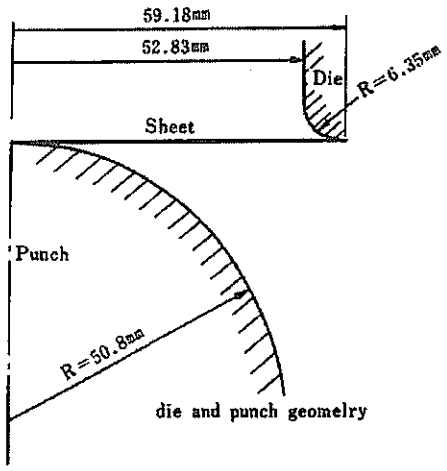


図 2.4.1-1　接触連成モデル

表 2.4.1-1　各部構造における材料定数

材料定数	円 板 部	ダイ・ポンチ部
弾性係数　(MPa)	68.0×10^{3}	68.0×10^{7}
ポアソン比	0.3	0.0
降伏応力　(MPa)	80.56	1.0×10^{12}
応力ーひずみ式 (MPa)	$\sigma=589(10^{-4}+\bar{\varepsilon}_p)^{0.126}$	

注) σ、$\bar{\varepsilon}^p$はそれぞれ相当応力、相当塑性ひずみ

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 2.4.1-2 のように有限要素モデルは 4 節点四辺形軸対称要素 QAX4 を用い、円板部を厚さ 2 層、半径方向 50 分割、ダイとポンチは剛体であるが接触を考慮するため、それぞれ 50 分割を行なう。円板上面とダイ外面、円板下面とポンチ外面の各面を 2 節点辺接触要素 LCONT2 で定義し、各面間において接触拘束を与える。境界条件は表 2.4.1-2 に示す。

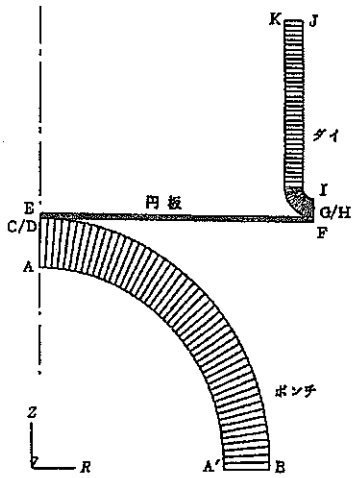


図 2.4.1-2 有限要素モデル

表 2.4.1-2 境界条件

場所	拘束条件
A-C、D-E、F-G 辺	半径方向変位
G-H-I 辺	完全拘束
B-C 辺と D-F 辺間	接触条件（摩擦なし）
E-G 辺と K-H 辺間	〃　（　〃　）
A 点	強制変位 u_z

また、塑性に関する硬化則は等方硬化則とし、大変形解析のための定式は参照形状を更新する Updated Lagrangian 定式を適用する。負荷条件は点 A にポンチの押込み量 40mm を表 2.4.1-3 に示すステップで与える。

表 2.4.1-3 負荷ステップ

ポンチ押込み量 (mm)	ｽﾃｯﾌﾟ数	1 ｽﾃｯﾌﾟ当りの増分量 (mm)
0 ～ 4	400	0.01
4 ～ 10	300	0.02
10 ～ 40	750	0.04

(3) 解析結果

図 2.4.1-3～図 2.4.1-6 はポンチ押込み量 10mm、20mm、30mm、35mm における変形図を示す。図 2.4.1-7 は円板中央面の Z 方向変位分布を同様の解析ステップにおいて示したものである。図 2.4.1-8 は各ステップでのひずみ分布を示す。参考に上げた仲町ら[20]の解析結果は、膜要素を用いて膜方向に沿った子午線方向ひずみを示したものであり、FINAS では、せん断変形を考えないと主ひずみが子午線方向ひずみに近似されるので、次式によりひずみを計算して表示する。

$$\varepsilon_m = \frac{1}{2}(\varepsilon_R + \varepsilon_Z) + \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_R - \varepsilon_Z)^2 + \gamma_{RZ}^2} \qquad (2.4.1\text{-}1)$$

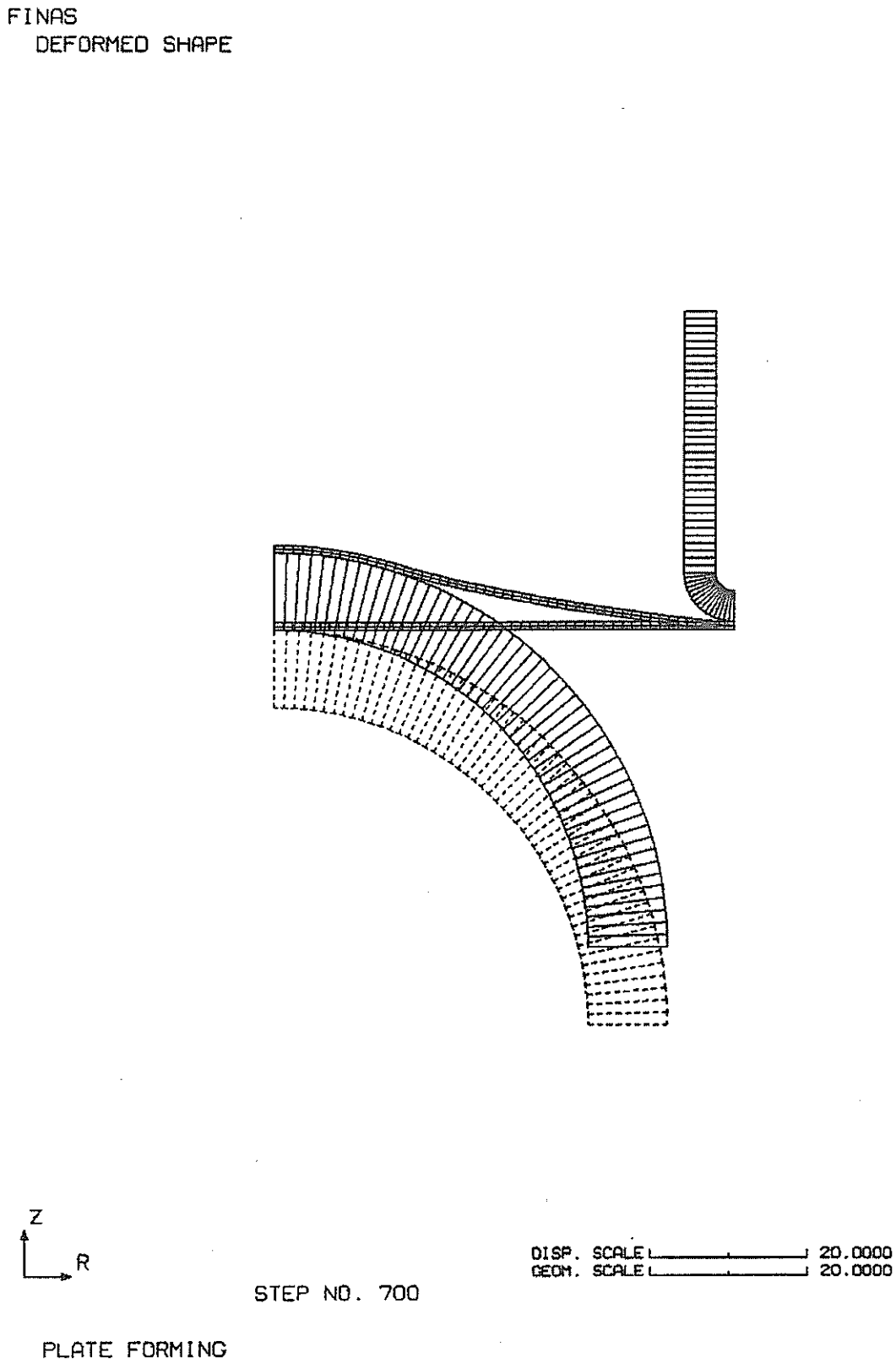


図 2.4.1-3　押込み量 10mm での変形量

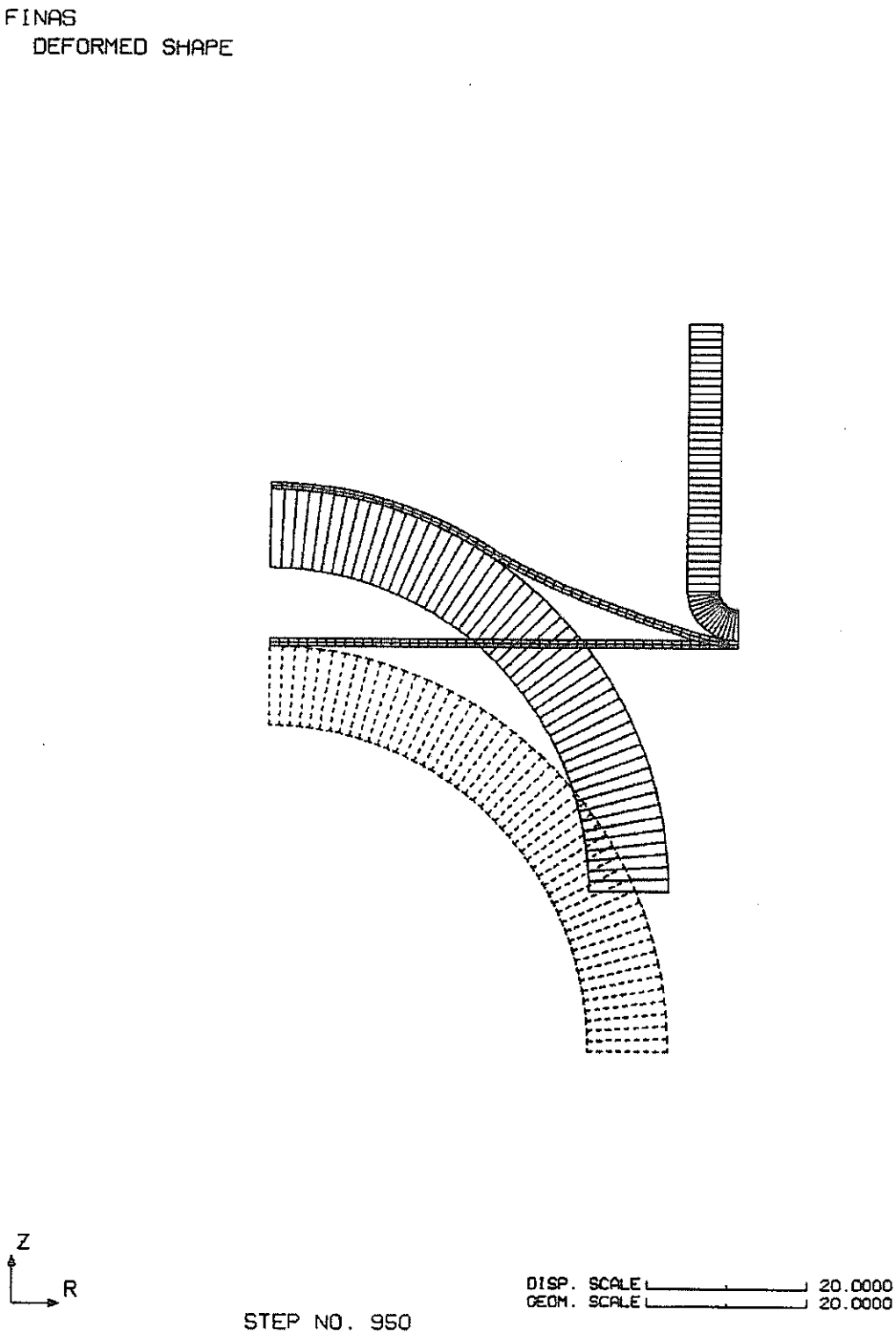


図 2.4.1-4　押込み量 20mm での変形量

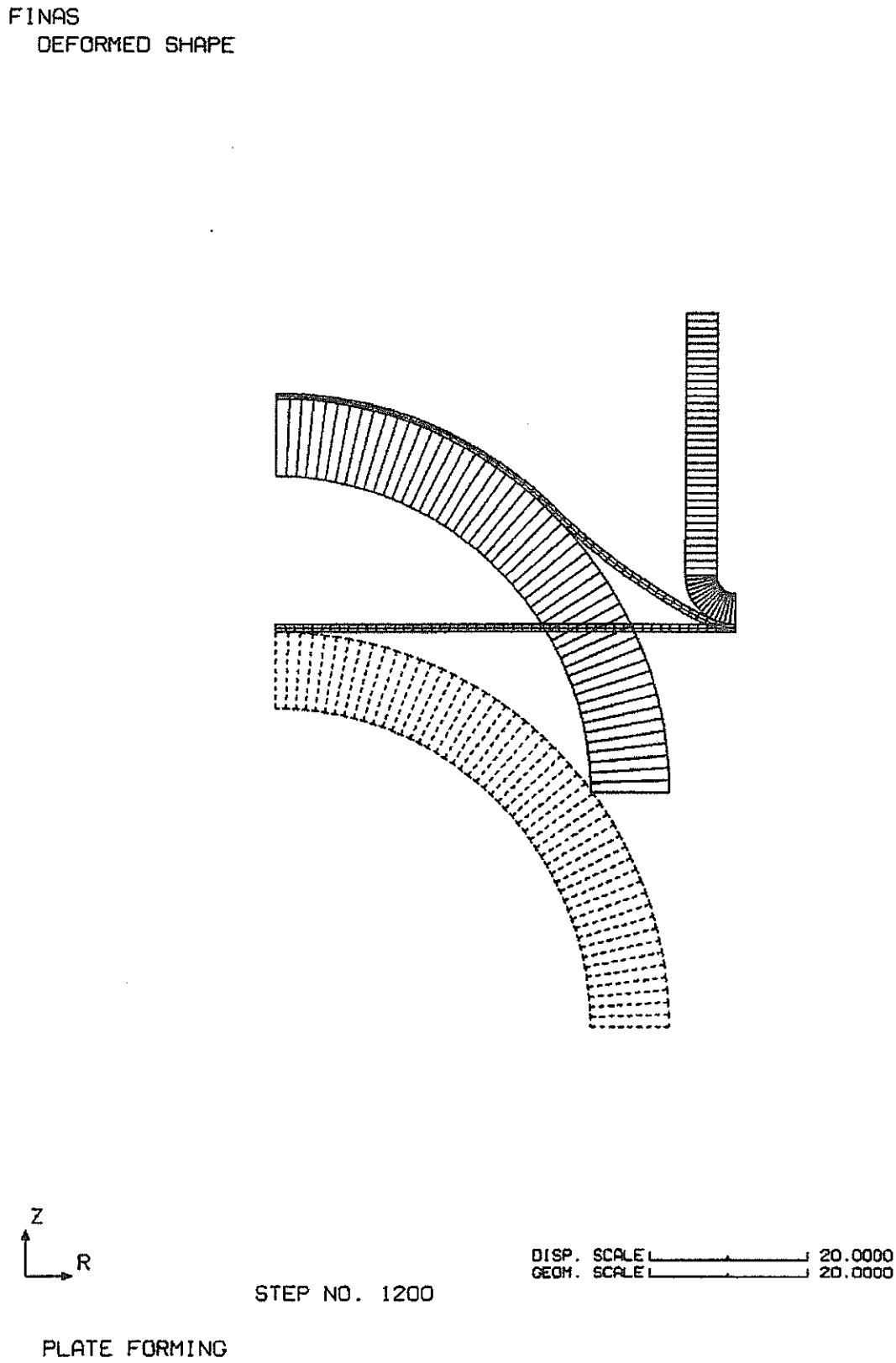


図 2.4.1-5　押込み量 30mm での変形量

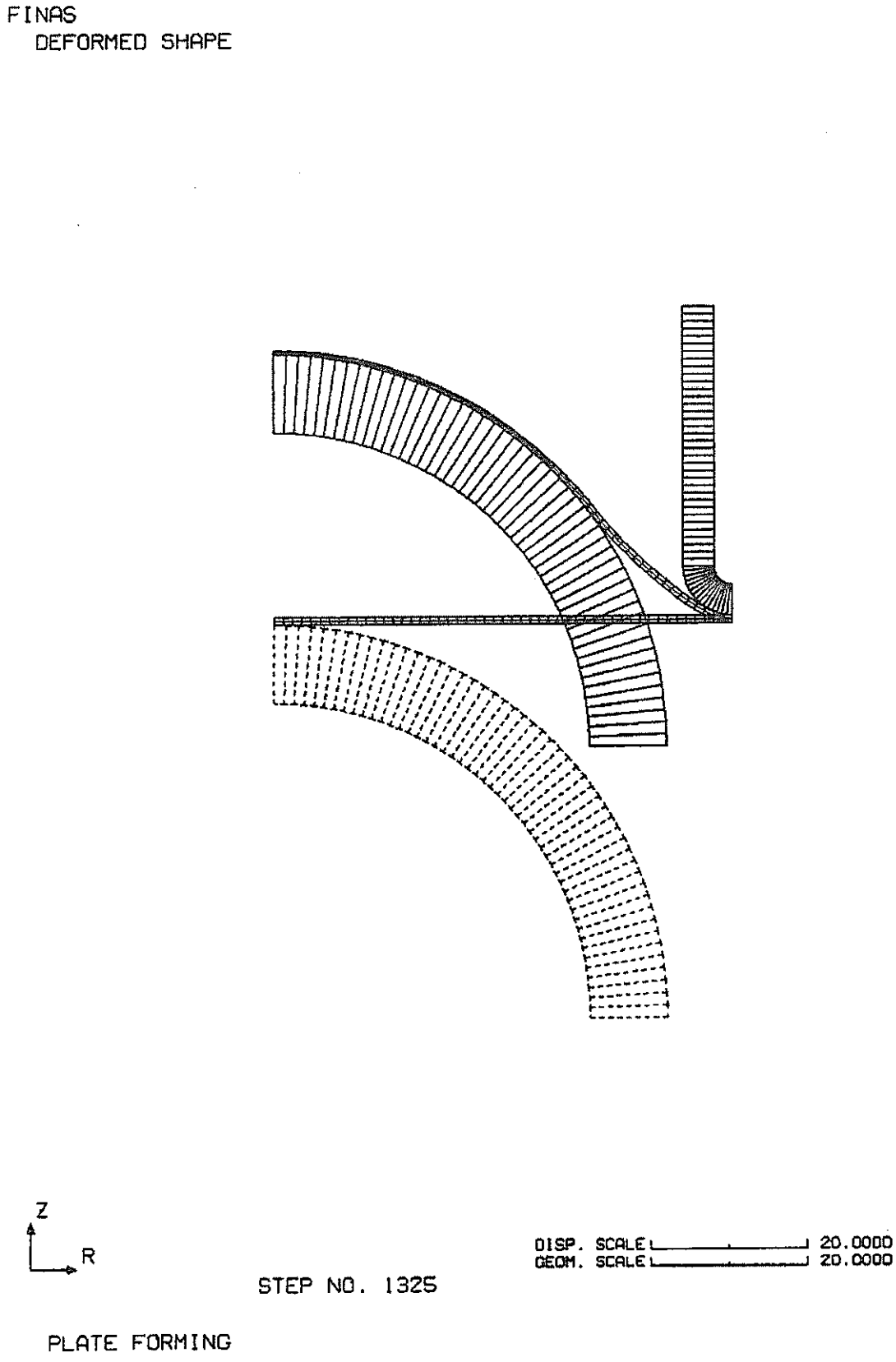


図 2.4.1-6　押込み量 35mm での変形量

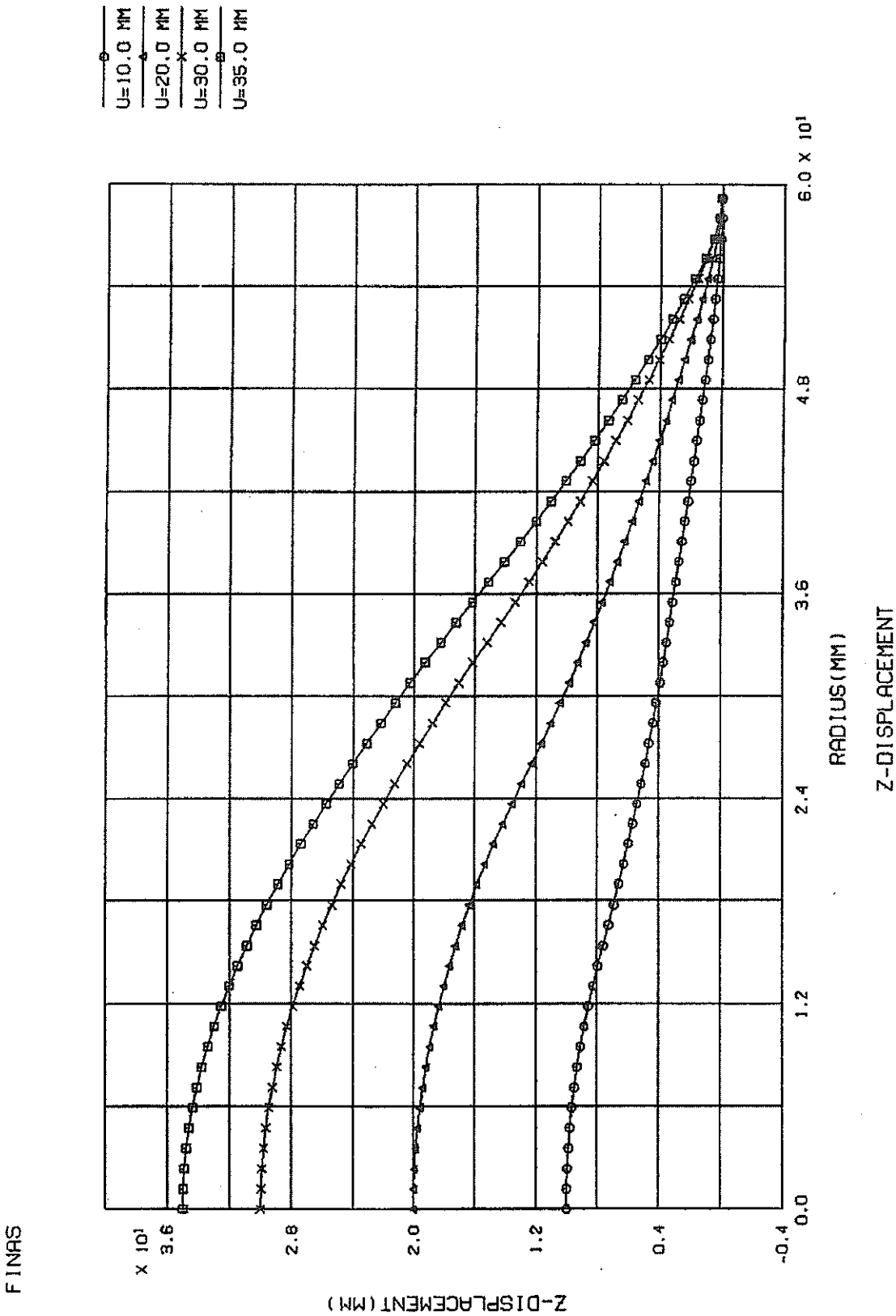


図 2. 4. 1-7　Z 方向変位分布の履歴図

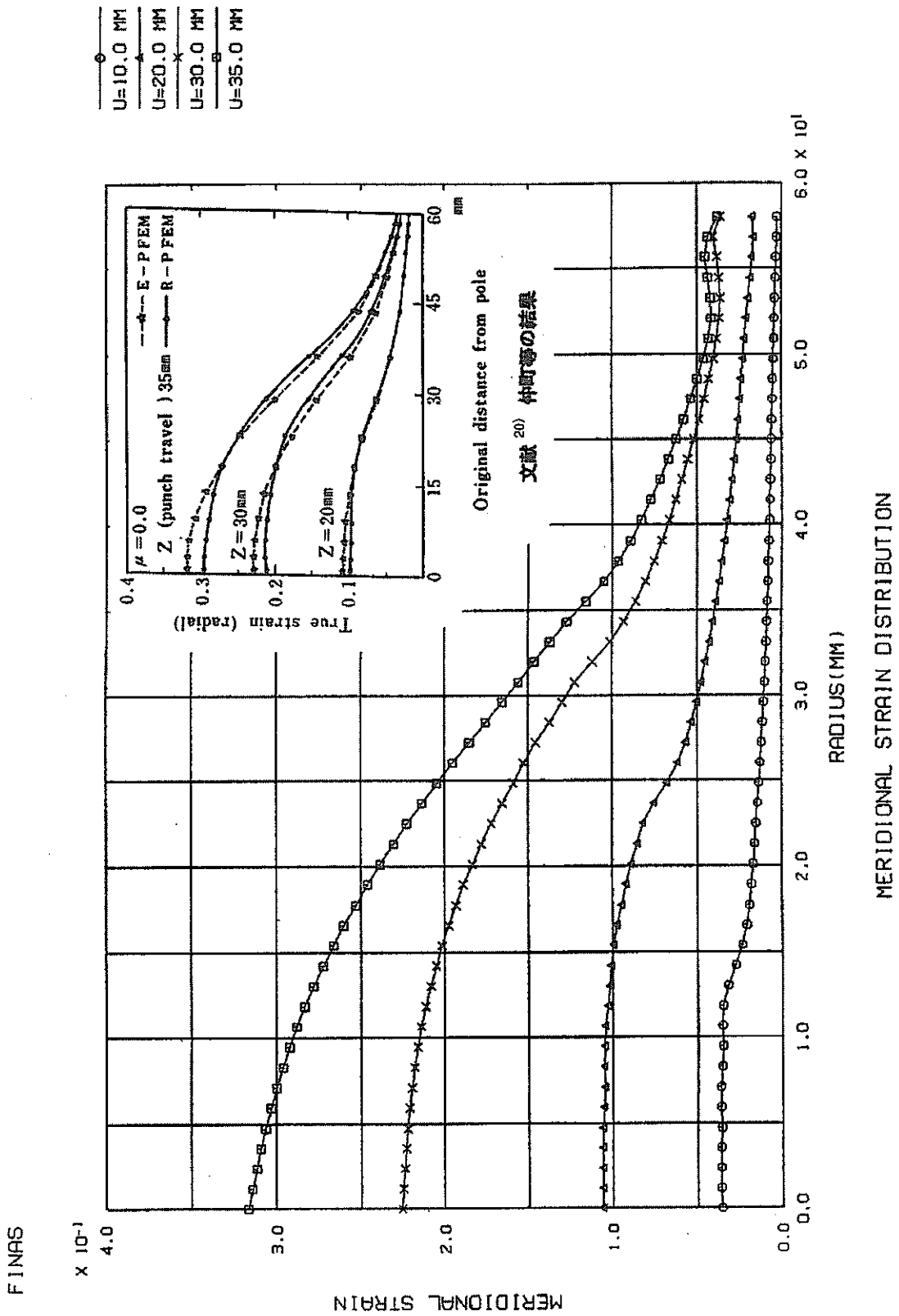


図 2.4.1-8　子午線方向ひずみ分布図

参考として、図 2.4.1-9 に各ステップでの周方向ひずみ分析を同一ステップで示す。

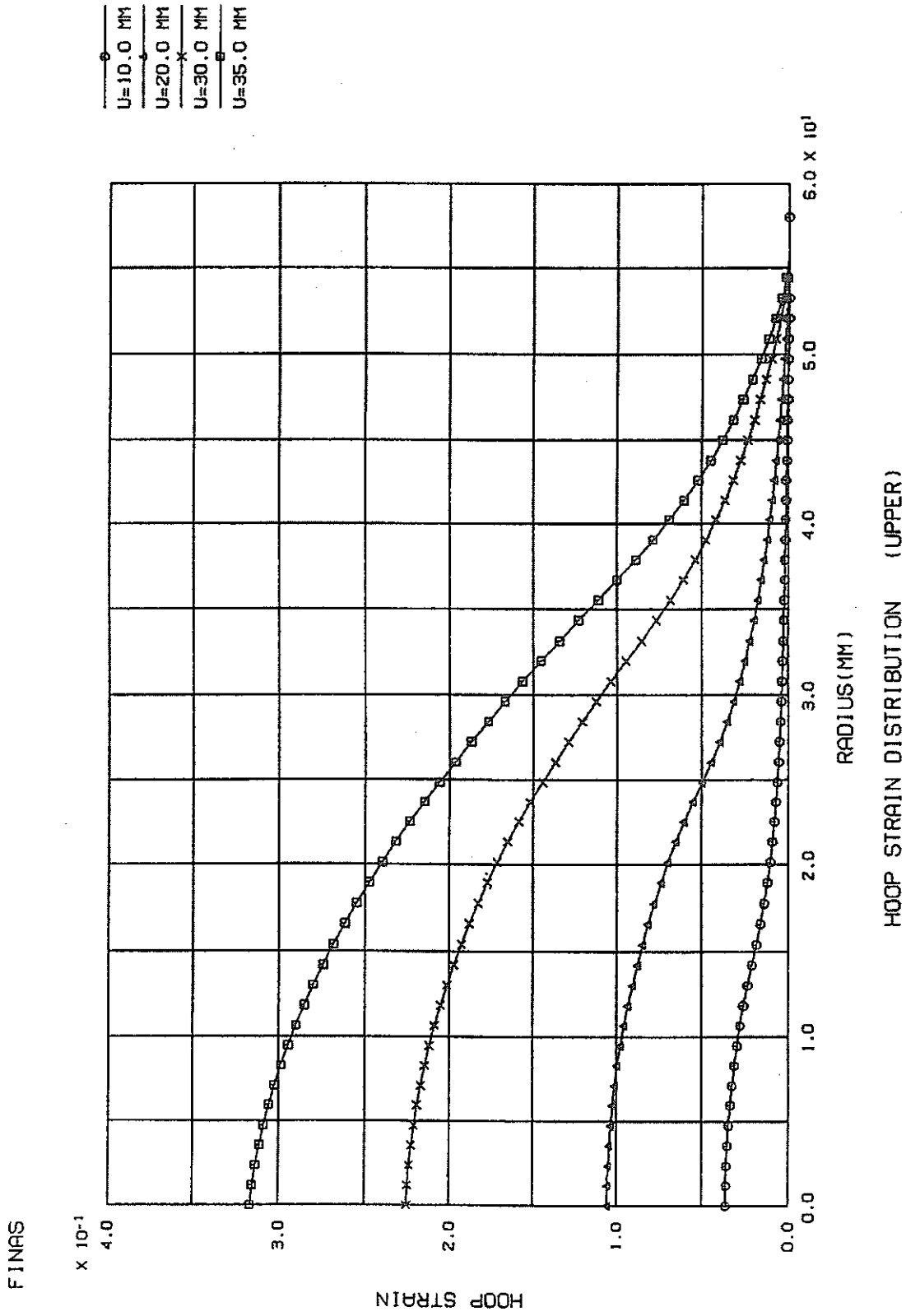

U=10.0 MM
U=20.0 MM
U=30.0 MM
U=35.0 MM
FINAS
HOOP STRAIN DISTRIBUTION (UPPER)
RADIUS(MM)
HOOP STRAIN
X 10⁻¹
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0 X 10¹

図 2.4.1-9

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 2.4.1-4　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM  0/0
FINAS
TITLE     VP-189
SUBTITLE     CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE
DIAG      4/1
STATIC    EP
NOPRINT   DESCR
CONTROL
     LARGE DISP
     PAIR SURF          1    2
                       11   12
MODEL
NODE
    1                  0.000    50.800     0.000
    2                  1.184    50.800     0.000
    3                  2.367    50.800     0.000
    4                  3.551    50.800     0.000
    5                  4.734    50.800     0.000
    6                  5.918    50.800     0.000
    7                  7.102    50.800     0.000
    8                  8.285    50.800     0.000
    9                  9.469    50.800     0.000
   10                 10.652    50.800     0.000
   11                 11.836    50.800     0.000
   12                 13.020    50.800     0.000
   13                 14.203    50.800     0.000
   14                 15.387    50.800     0.000
   15                 16.570    50.800     0.000
   16                 17.754    50.800     0.000
   17                 18.938    50.800     0.000
   18                 20.121    50.800     0.000
   19                 21.305    50.800     0.000
   20                 22.488    50.800     0.000
   21                 23.672    50.800     0.000
   22                 24.856    50.800     0.000
   23                 26.039    50.800     0.000
   24                 27.223    50.800     0.000
   25                 28.406    50.800     0.000
   26                 29.590    50.800     0.000
   27                 30.774    50.800     0.000
   28                 31.957    50.800     0.000
   29                 33.141    50.800     0.000
   30                 34.324    50.800     0.000
   31                 35.508    50.800     0.000
   32                 36.692    50.800     0.000
   33                 37.875    50.800     0.000
   34                 39.059    50.800     0.000
   35                 40.242    50.800     0.000
   36                 41.426    50.800     0.000
   37                 42.610    50.800     0.000
   38                 43.793    50.800     0.000
   39                 44.977    50.800     0.000
   40                 46.160    50.800     0.000
   41                 47.344    50.800     0.000
   42                 48.528    50.800     0.000
   43                 49.711    50.800     0.000
   44                 50.895    50.800     0.000
   45                 52.078    50.800     0.000
   46                 53.262    50.800     0.000
   47                 54.446    50.800     0.000
   48                 55.629    50.800     0.000
   49                 56.813    50.800     0.000
```

50	57.996	50.800	0.000
51	59.180	50.800	0.000
401	0.000	51.300	0.000
402	1.184	51.300	0.000
403	2.367	51.300	0.000
404	3.551	51.300	0.000
405	4.734	51.300	0.000
406	5.918	51.300	0.000
407	7.102	51.300	0.000
408	8.285	51.300	0.000
409	9.469	51.300	0.000
410	10.652	51.300	0.000
411	11.836	51.300	0.000
412	13.020	51.300	0.000
413	14.203	51.300	0.000
414	15.387	51.300	0.000
415	16.570	51.300	0.000
416	17.754	51.300	0.000
417	18.938	51.300	0.000
418	20.121	51.300	0.000
419	21.305	51.300	0.000
420	22.488	51.300	0.000
421	23.672	51.300	0.000
422	24.856	51.300	0.000
423	26.039	51.300	0.000
424	27.223	51.300	0.000
425	28.406	51.300	0.000
426	29.590	51.300	0.000
427	30.774	51.300	0.000
428	31.957	51.300	0.000
429	33.141	51.300	0.000
430	34.324	51.300	0.000
431	35.508	51.300	0.000
432	36.692	51.300	0.000
433	37.875	51.300	0.000
434	39.059	51.300	0.000
435	40.242	51.300	0.000
436	41.426	51.300	0.000
437	42.610	51.300	0.000
438	43.793	51.300	0.000
439	44.977	51.300	0.000
440	46.160	51.300	0.000
441	47.344	51.300	0.000
442	48.528	51.300	0.000
443	49.711	51.300	0.000
444	50.895	51.300	0.000
445	52.078	51.300	0.000
446	53.262	51.300	0.000
447	54.446	51.300	0.000
448	55.629	51.300	0.000
449	56.813	51.300	0.000
450	57.996	51.300	0.000
451	59.180	51.300	0.000
801	0.000	51.800	0.000
802	1.184	51.800	0.000
803	2.367	51.800	0.000
804	3.551	51.800	0.000
805	4.734	51.800	0.000
806	5.918	51.800	0.000
807	7.102	51.800	0.000
808	8.285	51.800	0.000
809	9.469	51.800	0.000
810	10.652	51.800	0.000
811	11.836	51.800	0.000

812	13.020	51.800	0.000
813	14.203	51.800	0.000
814	15.387	51.800	0.000
815	16.570	51.800	0.000
816	17.754	51.800	0.000
817	18.938	51.800	0.000
818	20.121	51.800	0.000
819	21.305	51.800	0.000
820	22.488	51.800	0.000
821	23.672	51.800	0.000
822	24.856	51.800	0.000
823	26.039	51.800	0.000
824	27.223	51.800	0.000
825	28.406	51.800	0.000
826	29.590	51.800	0.000
827	30.774	51.800	0.000
828	31.957	51.800	0.000
829	33.141	51.800	0.000
830	34.324	51.800	0.000
831	35.508	51.800	0.000
832	36.692	51.800	0.000
833	37.875	51.800	0.000
834	39.059	51.800	0.000
835	40.242	51.800	0.000
836	41.426	51.800	0.000
837	42.610	51.800	0.000
838	43.793	51.800	0.000
839	44.977	51.800	0.000
840	46.160	51.800	0.000
841	47.344	51.800	0.000
842	48.528	51.800	0.000
843	49.711	51.800	0.000
844	50.895	51.800	0.000
845	52.078	51.800	0.000
846	53.262	51.800	0.000
847	54.446	51.800	0.000
848	55.629	51.800	0.000
849	56.813	51.800	0.000
850	57.996	51.800	0.000
851	59.180	51.800	0.000
1001	0.000	40.800	0.000
1002	1.282	40.780	0.000
1003	2.562	40.719	0.000
1004	3.840	40.619	0.000
1005	5.114	40.478	0.000
1006	6.383	40.298	0.000
1007	7.645	40.077	0.000
1008	8.900	39.817	0.000
1009	10.147	39.518	0.000
1010	11.383	39.180	0.000
1011	12.608	38.803	0.000
1012	13.820	38.388	0.000
1013	15.019	37.935	0.000
1014	16.204	37.444	0.000
1015	17.372	36.917	0.000
1016	18.523	36.353	0.000
1017	19.656	35.753	0.000
1018	20.769	35.118	0.000
1019	21.862	34.449	0.000
1020	22.933	33.745	0.000
1021	23.982	33.008	0.000
1022	25.007	32.238	0.000
1023	26.007	31.437	0.000
1024	26.981	30.605	0.000

1025	27.929	29.742	0.000
1026	28.850	28.850	0.000
1027	29.742	27.930	0.000
1028	30.604	26.982	0.000
1029	31.437	26.007	0.000
1030	32.238	25.007	0.000
1031	33.008	23.982	0.000
1032	33.745	22.933	0.000
1033	34.449	21.862	0.000
1034	35.118	20.769	0.000
1035	35.753	19.656	0.000
1036	36.353	18.523	0.000
1037	36.917	17.372	0.000
1038	37.444	16.204	0.000
1039	37.935	15.020	0.000
1040	38.388	13.821	0.000
1041	38.803	12.608	0.000
1042	39.180	11.383	0.000
1043	39.518	10.147	0.000
1044	39.817	8.900	0.000
1045	40.077	7.645	0.000
1046	40.298	6.383	0.000
1047	40.478	5.114	0.000
1048	40.619	3.840	0.000
1049	40.719	2.562	0.000
1050	40.780	1.282	0.000
1051	40.800	0.000	0.000
2001	0.000	50.800	0.000
2002	1.596	50.775	0.000
2003	3.190	50.700	0.000
2004	4.781	50.575	0.000
2005	6.367	50.399	0.000
2006	7.947	50.175	0.000
2007	9.519	49.900	0.000
2008	11.082	49.577	0.000
2009	12.633	49.204	0.000
2010	14.173	48.783	0.000
2011	15.698	48.314	0.000
2012	17.208	47.797	0.000
2013	18.701	47.233	0.000
2014	20.175	46.622	0.000
2015	21.630	45.965	0.000
2016	23.063	45.263	0.000
2017	24.473	44.516	0.000
2018	25.859	43.726	0.000
2019	27.220	42.892	0.000
2020	28.554	42.016	0.000
2021	29.859	41.098	0.000
2022	31.136	40.140	0.000
2023	32.381	39.142	0.000
2024	33.595	38.106	0.000
2025	34.775	37.032	0.000
2026	35.921	35.921	0.000
2027	37.032	34.775	0.000
2028	38.106	33.595	0.000
2029	39.142	32.381	0.000
2030	40.140	31.136	0.000
2031	41.098	29.860	0.000
2032	42.016	28.554	0.000
2033	42.892	27.220	0.000
2034	43.726	25.859	0.000
2035	44.516	24.473	0.000
2036	45.263	23.063	0.000
2037	45.965	21.630	0.000

2038	46.622	20.175	0.000
2039	47.233	18.701	0.000
2040	47.797	17.208	0.000
2041	48.314	15.698	0.000
2042	48.783	14.173	0.000
2043	49.204	12.634	0.000
2044	49.577	11.082	0.000
2045	49.900	9.519	0.000
2046	50.175	7.947	0.000
2047	50.399	6.367	0.000
2048	50.575	4.781	0.000
2049	50.700	3.190	0.000
2050	50.775	1.596	0.000
2051	50.800	0.000	0.000
3001	59.180	55.800	0.000
3002	58.934	55.813	0.000
3003	58.691	55.851	0.000
3004	58.454	55.915	0.000
3005	58.224	56.003	0.000
3006	58.005	56.115	0.000
3007	57.799	56.249	0.000
3008	57.608	56.404	0.000
3009	57.434	56.578	0.000
3010	57.279	56.769	0.000
3011	57.145	56.975	0.000
3012	57.033	57.194	0.000
3013	56.945	57.424	0.000
3014	56.881	57.661	0.000
3015	56.843	57.904	0.000
3016	56.830	58.150	0.000
3017	56.830	59.111	0.000
3018	56.830	60.073	0.000
3019	56.830	61.034	0.000
3020	56.830	61.996	0.000
3021	56.830	62.957	0.000
3022	56.830	63.919	0.000
3023	56.830	64.880	0.000
3024	56.830	65.841	0.000
3025	56.830	66.803	0.000
3026	56.830	67.764	0.000
3027	56.830	68.726	0.000
3028	56.830	69.687	0.000
3029	56.830	70.649	0.000
3030	56.830	71.610	0.000
3031	56.830	72.571	0.000
3032	56.830	73.533	0.000
3033	56.830	74.494	0.000
3034	56.830	75.456	0.000
3035	56.830	76.417	0.000
3036	56.830	77.379	0.000
3037	56.830	78.340	0.000
3038	56.830	79.301	0.000
3039	56.830	80.263	0.000
3040	56.830	81.224	0.000
3041	56.830	82.186	0.000
3042	56.830	83.147	0.000
3043	56.830	84.109	0.000
3044	56.830	85.070	0.000
3045	56.830	86.031	0.000
3046	56.830	86.993	0.000
3047	56.830	87.954	0.000
3048	56.830	88.916	0.000
3049	56.830	89.877	0.000
3050	56.830	90.839	0.000

3051	56.830	91.800	0.000
4001	59.180	51.800	0.000
4002	58.516	51.835	0.000
4003	57.860	51.939	0.000
4004	57.218	52.111	0.000
4005	56.597	52.349	0.000
4006	56.005	52.651	0.000
4007	55.448	53.013	0.000
4008	54.931	53.431	0.000
4009	54.461	53.901	0.000
4010	54.043	54.418	0.000
4011	53.681	54.975	0.000
4012	53.379	55.567	0.000
4013	53.141	56.188	0.000
4014	52.969	56.830	0.000
4015	52.865	57.486	0.000
4016	52.830	58.150	0.000
4017	52.830	59.111	0.000
4018	52.830	60.073	0.000
4019	52.830	61.034	0.000
4020	52.830	61.996	0.000
4021	52.830	62.957	0.000
4022	52.830	63.919	0.000
4023	52.830	64.880	0.000
4024	52.830	65.841	0.000
4025	52.830	66.803	0.000
4026	52.830	67.764	0.000
4027	52.830	68.726	0.000
4028	52.830	69.687	0.000
4029	52.830	70.649	0.000
4030	52.830	71.610	0.000
4031	52.830	72.571	0.000
4032	52.830	73.533	0.000
4033	52.830	74.494	0.000
4034	52.830	75.456	0.000
4035	52.830	76.417	0.000
4036	52.830	77.379	0.000
4037	52.830	78.340	0.000
4038	52.830	79.301	0.000
4039	52.830	80.263	0.000
4040	52.830	81.224	0.000
4041	52.830	82.186	0.000
4042	52.830	83.147	0.000
4043	52.830	84.109	0.000
4044	52.830	85.070	0.000
4045	52.830	86.031	0.000
4046	52.830	86.993	0.000
4047	52.830	87.954	0.000
4048	52.830	88.916	0.000
4049	52.830	89.877	0.000
4050	52.830	90.839	0.000
4051	52.830	91.800	0.000

ELEMENT TYPE

1	QAX4
2	LCONT2

CONNECTION

1	1	2	1	2	401	402
2	1	2	2	3	402	403
3	1	2	3	4	403	404
4	1	2	4	5	404	405
5	1	2	5	6	405	406
6	1	2	6	7	406	407
7	1	2	7	8	407	408
8	1	2	8	9	408	409

9	1	2	9	10	409	410
10	1	2	10	11	410	411
11	1	2	11	12	411	412
12	1	2	12	13	412	413
13	1	2	13	14	413	414
14	1	2	14	15	414	415
15	1	2	15	16	415	416
16	1	2	16	17	416	417
17	1	2	17	18	417	418
18	1	2	18	19	418	419
19	1	2	19	20	419	420
20	1	2	20	21	420	421
21	1	2	21	22	421	422
22	1	2	22	23	422	423
23	1	2	23	24	423	424
24	1	2	24	25	424	425
25	1	2	25	26	425	426
26	1	2	26	27	426	427
27	1	2	27	28	427	428
28	1	2	28	29	428	429
29	1	2	29	30	429	430
30	1	2	30	31	430	431
31	1	2	31	32	431	432
32	1	2	32	33	432	433
33	1	2	33	34	433	434
34	1	2	34	35	434	435
35	1	2	35	36	435	436
36	1	2	36	37	436	437
37	1	2	37	38	437	438
38	1	2	38	39	438	439
39	1	2	39	40	439	440
40	1	2	40	41	440	441
41	1	2	41	42	441	442
42	1	2	42	43	442	443
43	1	2	43	44	443	444
44	1	2	44	45	444	445
45	1	2	45	46	445	446
46	1	2	46	47	446	447
47	1	2	47	48	447	448
48	1	2	48	49	448	449
49	1	2	49	50	449	450
50	1	2	50	51	450	451
401	1	2	401	402	801	802
402	1	2	402	403	802	803
403	1	2	403	404	803	804
404	1	2	404	405	804	805
405	1	2	405	406	805	806
406	1	2	406	407	806	807
407	1	2	407	408	807	808
408	1	2	408	409	808	809
409	1	2	409	410	809	810
410	1	2	410	411	810	811
411	1	2	411	412	811	812
412	1	2	412	413	812	813
413	1	2	413	414	813	814
414	1	2	414	415	814	815
415	1	2	415	416	815	816
416	1	2	416	417	816	817
417	1	2	417	418	817	818
418	1	2	418	419	818	819
419	1	2	419	420	819	820
420	1	2	420	421	820	821
421	1	2	421	422	821	822
422	1	2	422	423	822	823

423	1	2	423	424	823	824
424	1	2	424	425	824	825
425	1	2	425	426	825	826
426	1	2	426	427	826	827
427	1	2	427	428	827	828
428	1	2	428	429	828	829
429	1	2	429	430	829	830
430	1	2	430	431	830	831
431	1	2	431	432	831	832
432	1	2	432	433	832	833
433	1	2	433	434	833	834
434	1	2	434	435	834	835
435	1	2	435	436	835	836
436	1	2	436	437	836	837
437	1	2	437	438	837	838
438	1	2	438	439	838	839
439	1	2	439	440	839	840
440	1	2	440	441	840	841
441	1	2	441	442	841	842
442	1	2	442	443	842	843
443	1	2	443	444	843	844
444	1	2	444	445	844	845
445	1	2	445	446	845	846
446	1	2	446	447	846	847
447	1	2	447	448	847	848
448	1	2	448	449	848	849
449	1	2	449	450	849	850
450	1	2	450	451	850	851
1001	1	1	1001	1002	2001	2002
1002	1	1	1002	1003	2002	2003
1003	1	1	1003	1004	2003	2004
1004	1	1	1004	1005	2004	2005
1005	1	1	1005	1006	2005	2006
1006	1	1	1006	1007	2006	2007
1007	1	1	1007	1008	2007	2008
1008	1	1	1008	1009	2008	2009
1009	1	1	1009	1010	2009	2010
1010	1	1	1010	1011	2010	2011
1011	1	1	1011	1012	2011	2012
1012	1	1	1012	1013	2012	2013
1013	1	1	1013	1014	2013	2014
1014	1	1	1014	1015	2014	2015
1015	1	1	1015	1016	2015	2016
1016	1	1	1016	1017	2016	2017
1017	1	1	1017	1018	2017	2018
1018	1	1	1018	1019	2018	2019
1019	1	1	1019	1020	2019	2020
1020	1	1	1020	1021	2020	2021
1021	1	1	1021	1022	2021	2022
1022	1	1	1022	1023	2022	2023
1023	1	1	1023	1024	2023	2024
1024	1	1	1024	1025	2024	2025
1025	1	1	1025	1026	2025	2026
1026	1	1	1026	1027	2026	2027
1027	1	1	1027	1028	2027	2028
1028	1	1	1028	1029	2028	2029
1029	1	1	1029	1030	2029	2030
1030	1	1	1030	1031	2030	2031
1031	1	1	1031	1032	2031	2032
1032	1	1	1032	1033	2032	2033
1033	1	1	1033	1034	2033	2034
1034	1	1	1034	1035	2034	2035
1035	1	1	1035	1036	2035	2036
1036	1	1	1036	1037	2036	2037

1037	1	1	1037	1038	2037	2038
1038	1	1	1038	1039	2038	2039
1039	1	1	1039	1040	2039	2040
1040	1	1	1040	1041	2040	2041
1041	1	1	1041	1042	2041	2042
1042	1	1	1042	1043	2042	2043
1043	1	1	1043	1044	2043	2044
1044	1	1	1044	1045	2044	2045
1045	1	1	1045	1046	2045	2046
1046	1	1	1046	1047	2046	2047
1047	1	1	1047	1048	2047	2048
1048	1	1	1048	1049	2048	2049
1049	1	1	1049	1050	2049	2050
1050	1	1	1050	1051	2050	2051
3001	1	3	3001	3002	4001	4002
3002	1	3	3002	3003	4002	4003
3003	1	3	3003	3004	4003	4004
3004	1	3	3004	3005	4004	4005
3005	1	3	3005	3006	4005	4006
3006	1	3	3006	3007	4006	4007
3007	1	3	3007	3008	4007	4008
3008	1	3	3008	3009	4008	4009
3009	1	3	3009	3010	4009	4010
3010	1	3	3010	3011	4010	4011
3011	1	3	3011	3012	4011	4012
3012	1	3	3012	3013	4012	4013
3013	1	3	3013	3014	4013	4014
3014	1	3	3014	3015	4014	4015
3015	1	3	3015	3016	4015	4016
3016	1	3	3016	3017	4016	4017
3017	1	3	3017	3018	4017	4018
3018	1	3	3018	3019	4018	4019
3019	1	3	3019	3020	4019	4020
3020	1	3	3020	3021	4020	4021
3021	1	3	3021	3022	4021	4022
3022	1	3	3022	3023	4022	4023
3023	1	3	3023	3024	4023	4024
3024	1	3	3024	3025	4024	4025
3025	1	3	3025	3026	4025	4026
3026	1	3	3026	3027	4026	4027
3027	1	3	3027	3028	4027	4028
3028	1	3	3028	3029	4028	4029
3029	1	3	3029	3030	4029	4030
3030	1	3	3030	3031	4030	4031
3031	1	3	3031	3032	4031	4032
3032	1	3	3032	3033	4032	4033
3033	1	3	3033	3034	4033	4034
3034	1	3	3034	3035	4034	4035
3035	1	3	3035	3036	4035	4036
3036	1	3	3036	3037	4036	4037
3037	1	3	3037	3038	4037	4038
3038	1	3	3038	3039	4038	4039
3039	1	3	3039	3040	4039	4040
3040	1	3	3040	3041	4040	4041
3041	1	3	3041	3042	4041	4042
3042	1	3	3042	3043	4042	4043
3043	1	3	3043	3044	4043	4044
3044	1	3	3044	3045	4044	4045
3045	1	3	3045	3046	4045	4046
3046	1	3	3046	3047	4046	4047
3047	1	3	3047	3048	4047	4048
3048	1	3	3048	3049	4048	4049
3049	1	3	3049	3050	4049	4050
3050	1	3	3050	3051	4050	4051

5001	2	2001	2002
5002	2	2002	2003
5003	2	2003	2004
5004	2	2004	2005
5005	2	2005	2006
5006	2	2006	2007
5007	2	2007	2008
5008	2	2008	2009
5009	2	2009	2010
5010	2	2010	2011
5011	2	2011	2012
5012	2	2012	2013
5013	2	2013	2014
5014	2	2014	2015
5015	2	2015	2016
5016	2	2016	2017
5017	2	2017	2018
5018	2	2018	2019
5019	2	2019	2020
5020	2	2020	2021
5021	2	2021	2022
5022	2	2022	2023
5023	2	2023	2024
5024	2	2024	2025
5025	2	2025	2026
5026	2	2026	2027
5027	2	2027	2028
5028	2	2028	2029
5029	2	2029	2030
5030	2	2030	2031
5031	2	2031	2032
5032	2	2032	2033
5033	2	2033	2034
5034	2	2034	2035
5035	2	2035	2036
5036	2	2036	2037
5037	2	2037	2038
5038	2	2038	2039
5039	2	2039	2040
5040	2	2040	2041
5041	2	2041	2042
5042	2	2042	2043
5043	2	2043	2044
5044	2	2044	2045
5045	2	2045	2046
5046	2	2046	2047
5047	2	2047	2048
5048	2	2048	2049
5049	2	2049	2050
5050	2	2050	2051
6001	2	2	1
6002	2	3	2
6003	2	4	3
6004	2	5	4
6005	2	6	5
6006	2	7	6
6007	2	8	7
6008	2	9	8
6009	2	10	9
6010	2	11	10
6011	2	12	11
6012	2	13	12
6013	2	14	13
6014	2	15	14

6015	2	16	15
6016	2	17	16
6017	2	18	17
6018	2	19	18
6019	2	20	19
6020	2	21	20
6021	2	22	21
6022	2	23	22
6023	2	24	23
6024	2	25	24
6025	2	26	25
6026	2	27	26
6027	2	28	27
6028	2	29	28
6029	2	30	29
6030	2	31	30
6031	2	32	31
6032	2	33	32
6033	2	34	33
6034	2	35	34
6035	2	36	35
6036	2	37	36
6037	2	38	37
6038	2	39	38
6039	2	40	39
6040	2	41	40
6041	2	42	41
6042	2	43	42
6043	2	44	43
6044	2	45	44
6045	2	46	45
6046	2	47	46
6047	2	48	47
6048	2	49	48
6049	2	50	49
6050	2	51	50
7001	2	801	802
7002	2	802	803
7003	2	803	804
7004	2	804	805
7005	2	805	806
7006	2	806	807
7007	2	807	808
7008	2	808	809
7009	2	809	810
7010	2	810	811
7011	2	811	812
7012	2	812	813
7013	2	813	814
7014	2	814	815
7015	2	815	816
7016	2	816	817
7017	2	817	818
7018	2	818	819
7019	2	819	820
7020	2	820	821
7021	2	821	822
7022	2	822	823
7023	2	823	824
7024	2	824	825
7025	2	825	826
7026	2	826	827
7027	2	827	828
7028	2	828	829

7029	2	829	830
7030	2	830	831
7031	2	831	832
7032	2	832	833
7033	2	833	834
7034	2	834	835
7035	2	835	836
7036	2	836	837
7037	2	837	838
7038	2	838	839
7039	2	839	840
7040	2	840	841
7041	2	841	842
7042	2	842	843
7043	2	843	844
7044	2	844	845
7045	2	845	846
7046	2	846	847
7047	2	847	848
7048	2	848	849
7049	2	849	850
7050	2	850	851
8001	2	4001	4002
8002	2	4002	4003
8003	2	4003	4004
8004	2	4004	4005
8005	2	4005	4006
8006	2	4006	4007
8007	2	4007	4008
8008	2	4008	4009
8009	2	4009	4010
8010	2	4010	4011
8011	2	4011	4012
8012	2	4012	4013
8013	2	4013	4014
8014	2	4014	4015
8015	2	4015	4016
8016	2	4016	4017
8017	2	4017	4018
8018	2	4018	4019
8019	2	4019	4020
8020	2	4020	4021
8021	2	4021	4022
8022	2	4022	4023
8023	2	4023	4024
8024	2	4024	4025
8025	2	4025	4026
8026	2	4026	4027
8027	2	4027	4028
8028	2	4028	4029
8029	2	4029	4030
8030	2	4030	4031
8031	2	4031	4032
8032	2	4032	4033
8033	2	4033	4034
8034	2	4034	4035
8035	2	4035	4036
8036	2	4036	4037
8037	2	4037	4038
8038	2	4038	4039
8039	2	4039	4040
8040	2	4040	4041
8041	2	4041	4042
8042	2	4042	4043

```
 8043    2            4043 4044
 8044    2            4044 4045
 8045    2            4045 4046
 8046    2            4046 4047
 8047    2            4047 4048
 8048    2            4048 4049
 8049    2            4049 4050
 8050    2            4050 4051
SURFACE
    1
     F2    5001 5050    1
    2
     F2    6001 6050    1
   11
     F2    7001 7050    1
   12
     F2    8001 8050    1
MATERIAL
    1                  1    1    1
          E            6934.1E4
          NU              0.0
          SIGY         1.0E12
          HDASH     F6      12
                0.0    3820.5     0.002    1232.5     0.004     821.0
              0.006     630.5     0.008     518.0      0.01     296.1
               0.03     163.9      0.05     118.4      0.07      90.2
                0.1      48.9       0.3      27.0       0.5      16.7
    2                  1    1    1
          E            6934.1
          NU              0.3
          SIGY          8.215
          HDASH     F6      12
                0.0    3820.5     0.002    1232.5     0.004     821.0
              0.006     630.5     0.008     518.0      0.01     296.1
               0.03     163.9      0.05     118.4      0.07      90.2
                0.1      48.9       0.3      27.0       0.5      16.7
    3                  1    1    1
          E            6934.1E4
          NU              0.0
          SIGY         1.0E12
          HDASH     F6      12
                0.0    3820.5     0.002    1232.5     0.004     821.0
              0.006     630.5     0.008     518.0      0.01     296.1
               0.03     163.9      0.05     118.4      0.07      90.2
                0.1      48.9       0.3      27.0       0.5      16.7
BOUNDARY
    1
             1  801  400          1    1       0.0
          1001 2001 1000          1    1       0.0
            51  851  400          1    1       0.0
           851  851    1          2    2       0.0
          3001 3051    1          1    2       0.0
          4001 4001    1          1    2       0.0
          1001 1001    1          2    2       1.0
HISTORY
INTERVAL    700
          BOUN     1       35.0
END MODEL
OUTPUT
$
PRINT SELECT
OTIME1        1    1 200  400  600  700
ESET2        10    1  450    1
DISP       ALL     1
```

```
REAC      ALL      1
ELM          10          1
$
XYPLOT
FRAME     A4H
XTITLE    RADIUS(MM)
YTITLE    R-STRAIN
ELIST2       10    1   50    1
ELIST2       20  401  450    1
CURVE         1    1    1     U=10.0 MM
CURVE         2    1    2     U=20.0 MM
CURVE         3    1    3     U=30.0 MM
CURVE         4    1    4     U=35.0 MM
PTITLE    VP189      R-STRAIN DISTRIBUTION   (LOWER)
PLOT2     EPS1 ELIST   10  200          EPS1 ELIST   10  400
          EPS1 ELIST   10  600          EPS1 ELIST   10  700
PTITLE    VP189      R-STRAIN DISTRIBUTION   (UPPER)
PLOT2     EPS1 ELIST   20  200          EPS1 ELIST   20  400
          EPS1 ELIST   20  600          EPS1 ELIST   20  700
$
PTITLE    VP189      Z-DISPLACEMENT
XTITLE    RADIUS(MM)
YTITLE    Z-DISPLACEMENT(MM)
NLIST2       30    1   51    1
CURVE         1    1    1     U=10.0 MM
CURVE         2    1    2     U=20.0 MM
CURVE         3    1    3     U=30.0 MM
CURVE         4    1    4     U=35.0 MM
PLOT2     DISP2NLIST   30  200          DISP2NLIST   30  400
          DISP2NLIST   30  600          DISP2NLIST   30  700
$
STRUCTURE PLOT
OTIME1        1    1 200  400  600  700
FRAME     A4V
PTITLE    VP189      PLATE FORMING
VSCALE          1.0
DPLOT             1
$
POST TAPE
OTIME1        1    1 200  400  600  700
DISP      ALL      1
REAC      NONE
ELM       ALL          1
NPST      ALL      1
END OUTPUT
END FINAS
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
```

表 2.4.1-5　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM 0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                      1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0
                 FINAS
                 TITLE     VP-189
                 SUBTITLE     CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE
                 DIAG      4/1
                 STATIC    EP
                 NOPRINT   DESCR
                 CONTROL
                     LARGE DISP
                     PAIR SURF          1    2
                                       11   12
1     VP-189                                                       FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
        CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0
           0-    MODEL
           1-    NODE
           2-       1                0.000    50.800    0.000
           3-       2                1.184    50.800    0.000
           4-       3                2.367    50.800    0.000
           5-       4                3.551    50.800    0.000
           6-       5                4.734    50.800    0.000
           7-       6                5.918    50.800    0.000
           8-       7                7.102    50.800    0.000
           9-       8                8.285    50.800    0.000
          10-       9                9.469    50.800    0.000
          11-      10               10.652    50.800    0.000
          12-      11               11.836    50.800    0.000
          13-      12               13.020    50.800    0.000
          14-      13               14.203    50.800    0.000
          15-      14               15.387    50.800    0.000
          16-      15               16.570    50.800    0.000
          17-      16               17.754    50.800    0.000
          18-      17               18.938    50.800    0.000
          19-      18               20.121    50.800    0.000
          20-      19               21.305    50.800    0.000
          21-      20               22.488    50.800    0.000
          22-      21               23.672    50.800    0.000
          23-      22               24.856    50.800    0.000
          24-      23               26.039    50.800    0.000
          25-      24               27.223    50.800    0.000
          26-      25               28.406    50.800    0.000
          27-      26               29.590    50.800    0.000
          28-      27               30.774    50.800    0.000
          29-      28               31.957    50.800    0.000
          30-      29               33.141    50.800    0.000
          31-      30               34.324    50.800    0.000
          32-      31               35.508    50.800    0.000
          33-      32               36.692    50.800    0.000
          34-      33               37.875    50.800    0.000
          35-      34               39.059    50.800    0.000
          36-      35               40.242    50.800    0.000
          37-      36               41.426    50.800    0.000
          38-      37               42.610    50.800    0.000
          39-      38               43.793    50.800    0.000
          40-      39               44.977    50.800    0.000
          41-      40               46.160    50.800    0.000
          42-      41               47.344    50.800    0.000
          43-      42               48.528    50.800    0.000
          44-      43               49.711    50.800    0.000
          45-      44               50.895    50.800    0.000
          46-      45               52.078    50.800    0.000
          47-      46               53.262    50.800    0.000
          48-      47               54.446    50.800    0.000
          49-      48               55.629    50.800    0.000
1     VP-189                                                       FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
        CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                      1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0...:....0
          50-      49               56.813    50.800    0.000
          51-      50               57.996    50.800    0.000
          52-      51               59.180    50.800    0.000
          53-     401                0.000    51.300    0.000
          54-     402                1.184    51.300    0.000

1     VP-189                                                       FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   21
        CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                 ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID          D1          D2          D3          D4          D5          D6
```

1	0.00000E+00	5.02398E-02
2	-1.29608E-04	5.00017E-02
3	-2.16965E-04	4.95742E-02
4	-2.85335E-04	4.89969E-02
5	-3.41656E-04	4.82169E-02
6	-3.89580E-04	4.73442E-02
7	-4.30578E-04	4.63678E-02
8	-4.65979E-04	4.53025E-02
9	-4.96334E-04	4.41593E-02
10	-5.22516E-04	4.29505E-02
11	-5.44941E-04	4.16935E-02
12	-5.63967E-04	4.03877E-02
13	-5.79895E-04	3.90120E-02
14	-5.93004E-04	3.76209E-02
15	-6.03498E-04	3.62032E-02
16	-6.11572E-04	3.47826E-02
17	-6.17387E-04	3.33056E-02
18	-6.21078E-04	3.18387E-02
19	-6.22778E-04	3.03846E-02
20	-6.22594E-04	2.89995E-02
21	-6.20826E-04	2.74161E-02
22	-6.16901E-04	2.59494E-02
23	-6.11687E-04	2.44945E-02
24	-6.04869E-04	2.30529E-02
25	-5.96501E-04	2.16304E-02
26	-5.86975E-04	2.02280E-02
27	-5.75814E-04	1.88503E-02
28	-5.63458E-04	1.75015E-02
29	-5.49837E-04	1.61824E-02
30	-5.35019E-04	1.48981E-02
31	-5.19019E-04	1.36492E-02
32	-5.01889E-04	1.24395E-02
33	-4.83681E-04	1.12726E-02
34	-4.64399E-04	1.01494E-02
35	-4.44107E-04	9.07387E-03
36	-4.22801E-04	8.04670E-03
37	-4.00526E-04	7.07116E-03
38	-3.77330E-04	6.15026E-03
39	-3.53198E-04	5.28464E-03
40	-3.28196E-04	4.47790E-03
41	-3.02304E-04	3.73077E-03
42	-2.75564E-04	3.04597E-03
43	-2.48022E-04	2.42598E-03
44	-2.19649E-04	1.87171E-03
45	-1.90513E-04	1.38595E-03
46	-1.60581E-04	9.69731E-04
47	-1.29896E-04	6.25302E-04
48	-9.84995E-05	3.54621E-04
49	-6.63678E-05	1.59954E-04

1 VP-169 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 22

CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE

TOTAL DISPLACEMENT VECTOR (STEP NUM. 1)

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
50	-3.35289E-03	4.03133E-05				
51	0.00000E+00	2.15306E-07				
401	0.00000E+00	5.02360E-02				
402	3.39535E-08	5.00261E-02				
403	4.47356E-07	4.95903E-02				
404	7.40722E-07	4.89611E-02				
405	4.08697E-07	4.82290E-02				
406	3.69376E-07	4.73552E-02				
407	2.91813E-07	4.63776E-02				
408	2.51287E-07	4.53115E-02				
409	2.15972E-07	4.41675E-02				
410	1.89556E-07	4.29579E-02				
411	1.67726E-07	4.16903E-02				
412	1.49706E-07	4.03739E-02				
413	1.34430E-07	3.90176E-02				
414	1.21274E-07	3.76261E-02				
415	1.09795E-07	3.62080E-02				
416	9.96434E-08	3.47669E-02				
417	9.05774E-08	3.33095E-02				
418	8.24126E-08	3.18423E-02				
419	7.49859E-08	3.03676E-02				
420	6.81925E-08	2.88924E-02				
421	6.19287E-08	2.74188E-02				
422	5.61183E-08	2.59516E-02				

TOTAL STRESS AND STRAIN (STEP NUM. 700)

0 ELM. ID-POINT		R	Z	THETA	RZ	VON MISES	TRESCA
441 - 5	STRESS	2.0369E+01	1.4035E+01	3.4927E+01	-1.7063E+01	3.4845E+01	3.4980E+01
	E.STRAIN	8.2348E-04	-3.8402E-04	3.5342E-03	-6.3980E-03		
	P.STRAIN	3.2705E-02	-5.5141E-02	2.2436E-02	-8.9290E-02	9.0900E-02	
	STRAIN	3.3528E-02	-5.5505E-02	2.5970E-02	-9.5688E-02		
442 - 5	STRESS	2.0756E+01	1.3113E+01	3.3308E+01	-1.6768E+01	3.3991E+01	3.4398E+01
	E.STRAIN	9.8487E-04	-4.4793E-04	3.3382E-03	-8.2873E-03		
	P.STRAIN	3.1933E-02	-4.9347E-02	1.7365E-02	-7.7450E-02	7.1482E-02	
	STRAIN	3.2968E-02	-4.9795E-02	2.0703E-02	-8.3737E-02		
443 - 5	STRESS	2.1126E+01	1.2183E+01	3.1352E+01	-1.8497E+01	3.3032E+01	3.4182E+01

```
            E.STRAIN  1.1627E-03 -5.1200E-04  3.0799E-03 -6.1818E-03
            P.STRAIN  3.1079E-02 -4.3880E-02  1.2781E-02 -6.7050E-02                    6.2993E-02
              STRAIN  3.2241E-02 -4.4372E-02  1.5881E-02 -7.3232E-02

  444 -  5    STRESS  2.1455E+01  1.1276E+01  2.8888E+01 -1.6394E+01                    3.2184E+01  3.4332E+01
            E.STRAIN  1.3655E-03 -5.4331E-04  2.7210E-03 -6.1470E-03
            P.STRAIN  3.0184E-02 -3.8905E-02  8.7205E-03 -5.8835E-02                    5.5879E-02
              STRAIN  3.1550E-02 -3.9446E-02  1.1441E-02 -6.4782E-02

  445 -  5    STRESS  2.1811E+01  1.0501E+01  2.5047E+01 -1.6580E+01                    3.1580E+01  3.4996E+01
            E.STRAIN  1.6075E-03 -5.1293E-04  2.2142E-03 -6.2093E-03
            P.STRAIN  2.9633E-02 -3.4901E-02  5.2680E-03 -5.3227E-02                    5.0874E-02
              STRAIN  3.1241E-02 -3.5414E-02  7.4922E-03 -5.9436E-02

  446 -  5    STRESS  2.2153E+01  1.0295E+01  2.0982E+01 -1.6840E+01                    3.1288E+01  3.5709E+01
            E.STRAIN  1.8418E-03 -3.8154E-04  1.6231E-03 -6.3141E-03
            P.STRAIN  2.9831E-02 -3.2283E-02  2.4622E-03 -5.1883E-02                    4.8703E-02
              STRAIN  3.1673E-02 -3.2675E-02  4.0843E-03 -5.8197E-02

  447 -  5    STRESS  2.2898E+01  1.1345E+01  1.8583E+01 -1.7119E+01                    3.1328E+01  3.6131E+01
            E.STRAIN  2.0052E-03 -1.5880E-04  1.2007E-03 -6.4190E-03
            P.STRAIN  3.0686E-02 -3.0926E-02  2.4022E-04 -5.3575E-02                    4.9032E-02
              STRAIN  3.2892E-02 -3.1085E-02  1.4409E-03 -5.8994E-02

  448 -  5    STRESS  1.4533E+01  5.9172E+00  1.1071E+01 -1.7711E+01                    3.1583E+01  3.6453E+01
            E.STRAIN  1.3608E-03 -2.5439E-04  7.1190E-04 -6.6410E-03
            P.STRAIN  3.0917E-02 -3.0001E-02 -9.1550E-04 -5.8026E-02                    5.0779E-02
              STRAIN  3.2278E-02 -3.0258E-02 -2.0361E-04 -6.4667E-02

  449 -  5    STRESS  2.1270E+01 -1.3181E+01  3.9599E+00 -5.3408E+00                    3.1237E+01  3.6089E+01
            E.STRAIN  3.4884E-03 -2.0924E-03  2.2109E-04 -2.0026E-03
            P.STRAIN  3.1224E-02 -3.0268E-02 -9.3635E-04 -5.2854E-02                    4.8074E-02
              STRAIN  3.4891E-02 -3.3260E-02 -7.1526E-04 -5.4858E-02

  450 -  5    STRESS  2.9734E+01 -5.3119E+00  1.0833E+01 -9.5232E-01                    3.0428E+01  3.5097E+01
            E.STRAIN  4.0492E-03 -2.5211E-03  5.0588E-04 -3.5708E-04
            P.STRAIN  3.3138E-02 -3.2291E-02 -8.4640E-04 -2.3590E-02                    4.2990E-02
              STRAIN  3.7187E-02 -3.4913E-02 -3.4074E-04 -2.3947E-02
1   VP-189                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE   506
    CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE

                                C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM.  700 )
0   CONTACTOR     TARGET     CONTACT        ------------- CONTACT FORCE ----------------
     NODE ID     ELEM ID     STATUS              NORMAL          LOCAL-X         LOCAL-Y

        849        6004    CLOSE, SLIDING      -4.54861E+03    0.00000E+00
        850        6002    CLOSE, SLIDING      -2.17848E+03    0.00000E+00
       2001        6001    CLOSE, SLIDING      -7.92244E+00    0.00000E+00
       2002        6001    CLOSE, SLIDING      -1.45462E+01    0.00000E+00
       2003        6002    CLOSE, SLIDING      -3.07324E+01    0.00000E+00
       2004        6003    CLOSE, SLIDING      -8.01828E+01    0.00000E+00
       2005        6005    CLOSE, SLIDING      -9.36523E+01    0.00000E+00
       2006        6006    CLOSE, SLIDING      -1.03445E+02    0.00000E+00
       2007        6007    CLOSE, SLIDING      -6.59795E+01    0.00000E+00
       2008        6008    CLOSE, SLIDING      -1.50459E+02    0.00000E+00
       2009        6009    CLOSE, SLIDING      -2.06284E+02    0.00000E+00
       2010        6010    CLOSE, SLIDING      -1.64598E+02    0.00000E+00
       2011        6011    CLOSE, SLIDING      -1.19669E+02    0.00000E+00
       2012        6012    CLOSE, SLIDING      -2.19748E+02    0.00000E+00
       2013        6013    CLOSE, SLIDING      -3.28524E+02    0.00000E+00
       2014        6014    CLOSE, SLIDING      -1.62385E+02    0.00000E+00
       2015        6015    CLOSE, SLIDING      -2.78048E+02    0.00000E+00
       2016        6016    CLOSE, SLIDING      -3.30690E+02    0.00000E+00
       2017        6017    CLOSE, SLIDING      -1.77695E+02    0.00000E+00
       2018        6018    CLOSE, SLIDING      -3.61852E+02    0.00000E+00
       2019        6019    CLOSE, SLIDING      -2.45781E-01    0.00000E+00
       2020        6020    CLOSE, SLIDING      -7.69228E+02    0.00000E+00
       2021        6021    CLOSE, SLIDING      -6.74477E+00    0.00000E+00
       2022        6022    CLOSE, SLIDING      -6.80714E+02    0.00000E+00
       2023        6023    CLOSE, SLIDING      -2.18481E+02    0.00000E+00
       2024        6024    CLOSE, SLIDING      -8.02891E+02    0.00000E+00
       2025        6026    CLOSE, SLIDING      -4.25773E+01    0.00000E+00
       2026        6027    CLOSE, SLIDING      -5.22158E+02    0.00000E+00
       2027        6028    CLOSE, SLIDING      -7.60074E+02    0.00000E+00
       2028          -3    OPEN                -6.54791E+01    0.00000E+00
       2029        6030    CLOSE, SLIDING      -1.08351E+03    0.00000E+00
       2030        6031    CLOSE, SLIDING      -3.32097E+02    0.00000E+00
1   VP-189                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE   507
    CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE


    P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0   PLOT   5.   DEFORMED SHAPE
                AXES ......................+Z, +X, +Y     VIEW ANGLE .......     0.00,     0.00,     0.00
                SCALE FACTOR ............ 1.403E+00      FRAME SIZE .......   210.2 ,   297.3
1   VP-189                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE   508
    CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE


    X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0   PLOT   6.   TYPE 2   COMMAND NUMBER   1.    VP189    R-STRAIN DISTRIBUTION   (LOWER)
```

```
0                 CURVE  1. EPS 1    ALONG ELIST          10
                            YMIN(ALL DATA)= 6.81026E-03  AT X= 4.85275E+01    YMAX(ALL DATA)= 2.67076E-02  AT X= 1.18350E+00
0                 CURVE  2. EPS 1    ALONG ELIST          10
                            YMIN(ALL DATA)= 2.35542E-02  AT X= 5.08945E+01    YMAX(ALL DATA)= 9.75140E-02  AT X= 0.00000E+00
0                 CURVE  3. EPS 1    ALONG ELIST          10
                            YMIN(ALL DATA)= 3.34852E-02  AT X= 3.19570E+01    YMAX(ALL DATA)= 2.18487E-01  AT X= 0.00000E+00
0                 CURVE  4. EPS 1    ALONG ELIST          10
                            YMIN(ALL DATA)= 9.44441E-03  AT X= 3.31405E+01    YMAX(ALL DATA)= 3.06249E-01  AT X= 0.00000E+00
0       PLOT   7.   TYPE 2    COMMAND NUMBER    2.      VP189      R-STRAIN DISTRIBUTION    (UPPER)
0                 CURVE  1. EPS 1    ALONG ELIST          20
                            YMIN(ALL DATA)= 2.61334E-03  AT X= 5.79960E+01    YMAX(ALL DATA)= 3.58703E-02  AT X= 1.18350E+00
0                 CURVE  2. EPS 1    ALONG ELIST          20
                            YMIN(ALL DATA)= 1.42894E-02  AT X= 5.79960E+01    YMAX(ALL DATA)= 1.05389E-01  AT X= 0.00000E+00
0                 CURVE  3. EPS 1    ALONG ELIST          20
                            YMIN(ALL DATA)= 2.94424E-02  AT X= 5.32820E+01    YMAX(ALL DATA)= 2.24931E-01  AT X= 0.00000E+00
0                 CURVE  4. EPS 1    ALONG ELIST          20
                            YMIN(ALL DATA)= 5.38287E-03  AT X= 3.43240E+01    YMAX(ALL DATA)= 3.12430E-01  AT X= 0.00000E+00
0       PLOT   8.   TYPE 2    COMMAND NUMBER    3.      VP189      Z-DISPLACEMENT
0                 CURVE  1. DISP2    ALONG NLIST          30
                            YMIN(ALL DATA)= 9.68209E-03  AT X= 5.91800E+01    YMAX(ALL DATA)= 9.98580E+00  AT X= 0.00000E+00
0                 CURVE  2. DISP2    ALONG NLIST          30
                            YMIN(ALL DATA)= 3.57416E-02  AT X= 5.91800E+01    YMAX(ALL DATA)= 1.89847E+01  AT X= 0.00000E+00
0                 CURVE  3. DISP2    ALONG NLIST          30
                            YMIN(ALL DATA)= 5.57752E-02  AT X= 5.91800E+01    YMAX(ALL DATA)= 2.99917E+01  AT X= 0.00000E+00
0                 CURVE  4. DISP2    ALONG NLIST          30
                            YMIN(ALL DATA)= 5.84459E-02  AT X= 5.91800E+01    YMAX(ALL DATA)= 3.50040E+01  AT X= 0.00000E+00
1   VP-189                                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE   509
      CONTACT PROBLEM OF CURCULAR PLATE

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . .  STATIC  EP
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .      700          ( FROM     1 TO    700 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .      400
+                                                                   (      200*QAX4     )
                                                                   (      200*LCONT2   )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .      357
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .      600
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         10
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         7.1
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .      26.5          ( 11.73 % )
0        LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .      3.7          (  1.65 % )
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .     37.4          ( 18.58 % )
0        STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
             LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . .      61.0          ( 27.02 % )
0        ACTIVE COLUMN OPTIMIZATION . . . . . .       0.0          (  0.01 % )
0        EVALUATION OF CONTACT FORCES . . . . .      61.7          ( 27.36 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .     35.3          ( 15.65 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .     225.7 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      188 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .       0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

2.4.2 移動マンドレルを用いた円筒キャップの引き抜き塑性加工解析

(1) 問題

中心軸に沿って移動する円筒キャップの加工ダイによる引き抜き加工シミュレーションを面接触機能を用いて行なう。[21] 構造は図 2.4.2-1 に示される内径 6mm、外径 8.4mm、長さ 21.4mm の円筒キャップおよび剛体の加工ダイからなる接触モデルを取り扱う。円筒キャップ、加工ダイの材料定数は表 2.4.2-1 に示す。

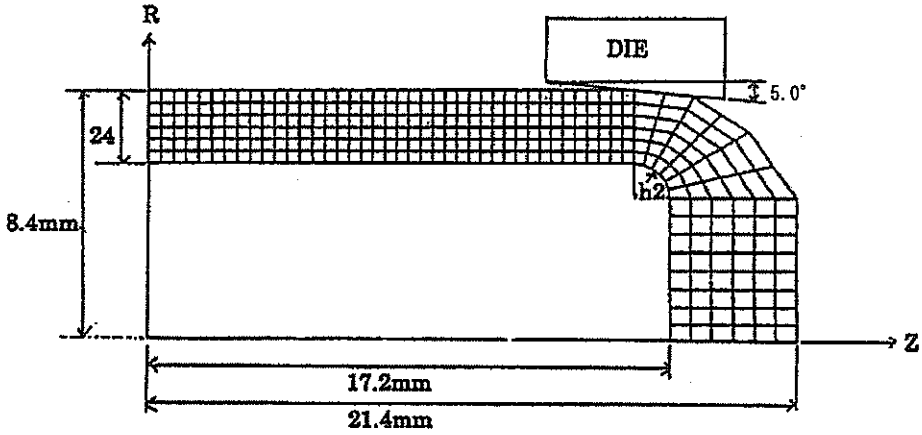


図 2.4.2-1　円筒キャップと加工ダイ

表 2.4.2-1　材料定数

材料定数	円筒キャップ	ダイ
弾性係数	7.031×10^{3} kg/mm^2	7.031×10^{7} kg/mm^2
ポアソン比	0.3	0.3
降伏応力	20.0 kg/mm^2	1.0×10^{20} kg/mm^2
加工硬化係数	232.0 kg/mm^2	232.0 kg/mm^2

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 2.4.2-2 のように有限要素モデルは 4 節点四辺形軸対称要素 QAX4 を用いて円筒キャップを厚さ方向 6 分割、軸方向 54 分割、ダイは 1 要素とする。円筒キャップの外面とダイの内面を 2 節点辺接触要素 LCONT2 で定義し、面間における接触拘束を与える。境界条件は表 2.4.2-2 に示す。接触面では摩擦係数 0.3 を考慮する。

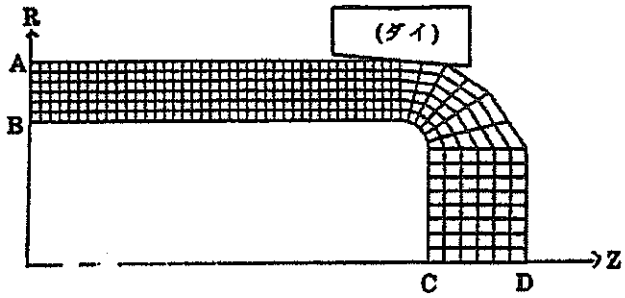


図 2.4.2-2　有限要素モデル

表 2.4.2-2　境 界 条 件

場　所	拘 束 条 件
円筒 R 軸 (A-B 面)	U_z 拘束
円筒内面 (B-C 面)	法線方向変位拘束
円筒 Z 軸 (C-D 面)	U_R 拘束
ダ　イ	U_R 拘束、U_z 強制変位

また、塑性に関する硬化則は等方硬化則とし、大変形解析のための定式は参照形状を更新する Updated Lagrangian 定式を用いる。負荷条件はダイの移動 12mm を 500 ステップの等分割で与える。

(3) 解析結果

図 2.4.2-3～図 2.4.2-6 は引き抜き量 3mm、6mm、9mm、12m での変形図を示す。また、図 2.4.2-7～図 2.4.2-10 は同じ引き抜き位置での、相当塑性ひずみ分布を示す。

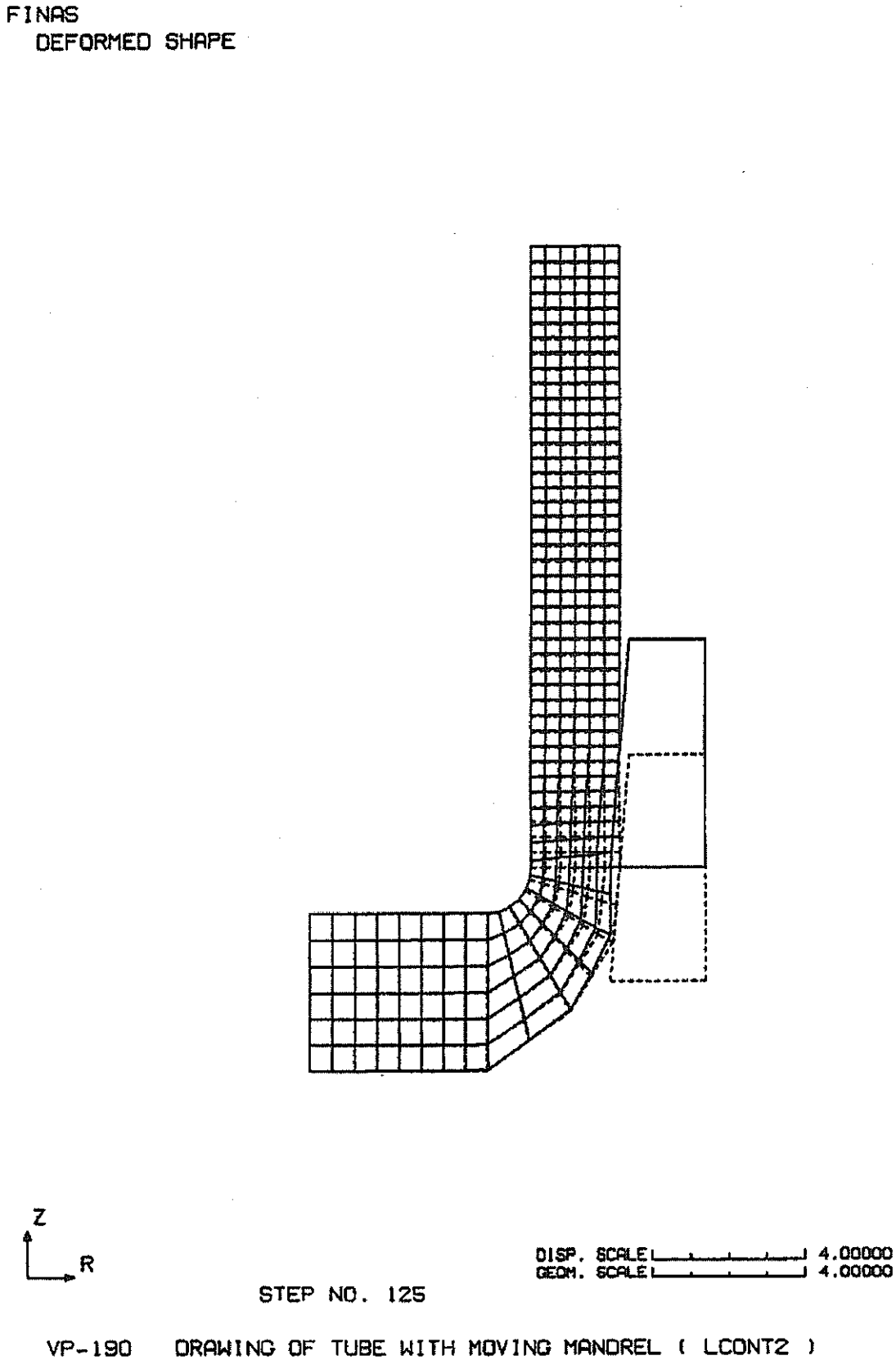


図 2.4.2-3　引き抜き量 3mm での変形図

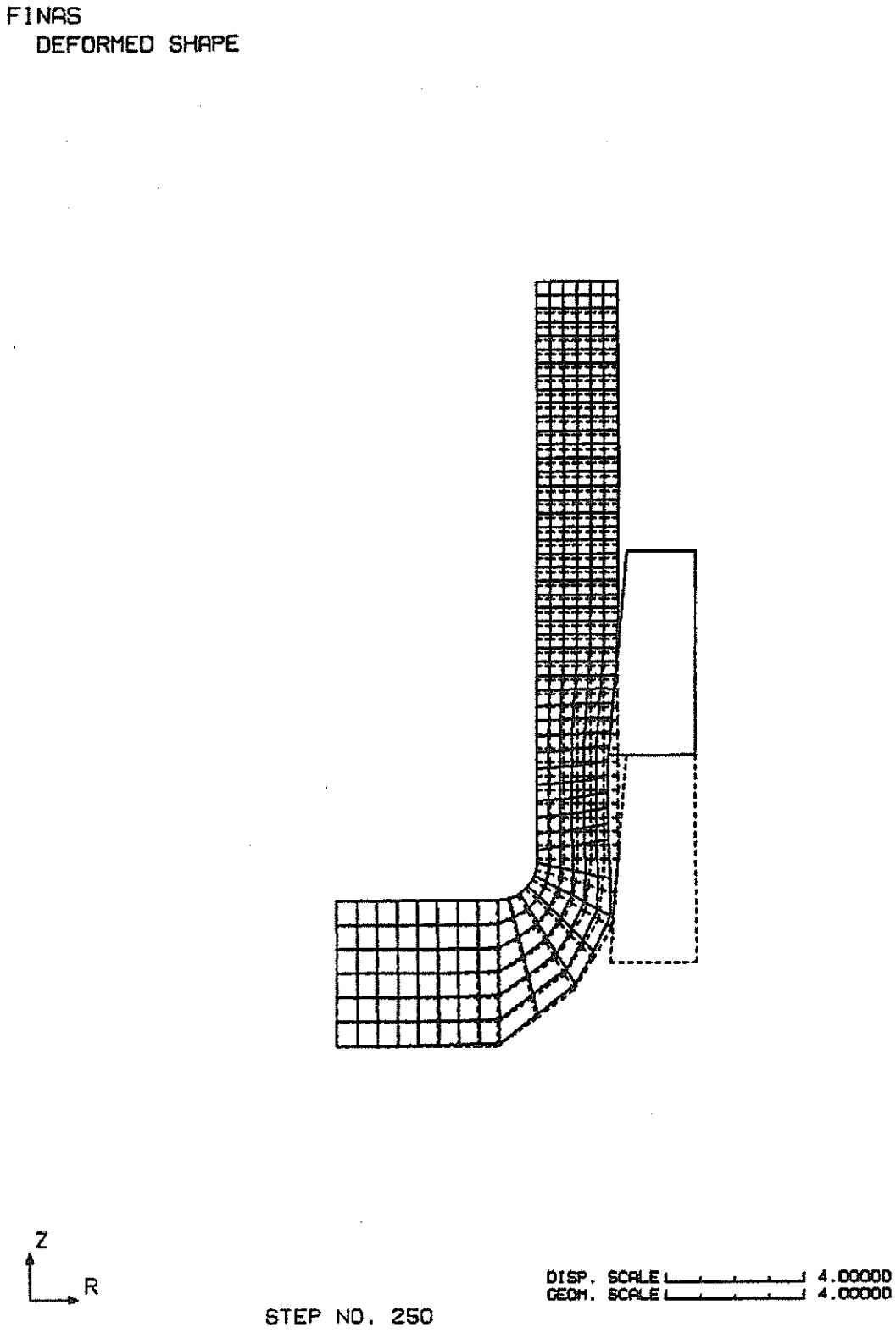


図 2.4.2-4 引き抜き量 6mm での変形図

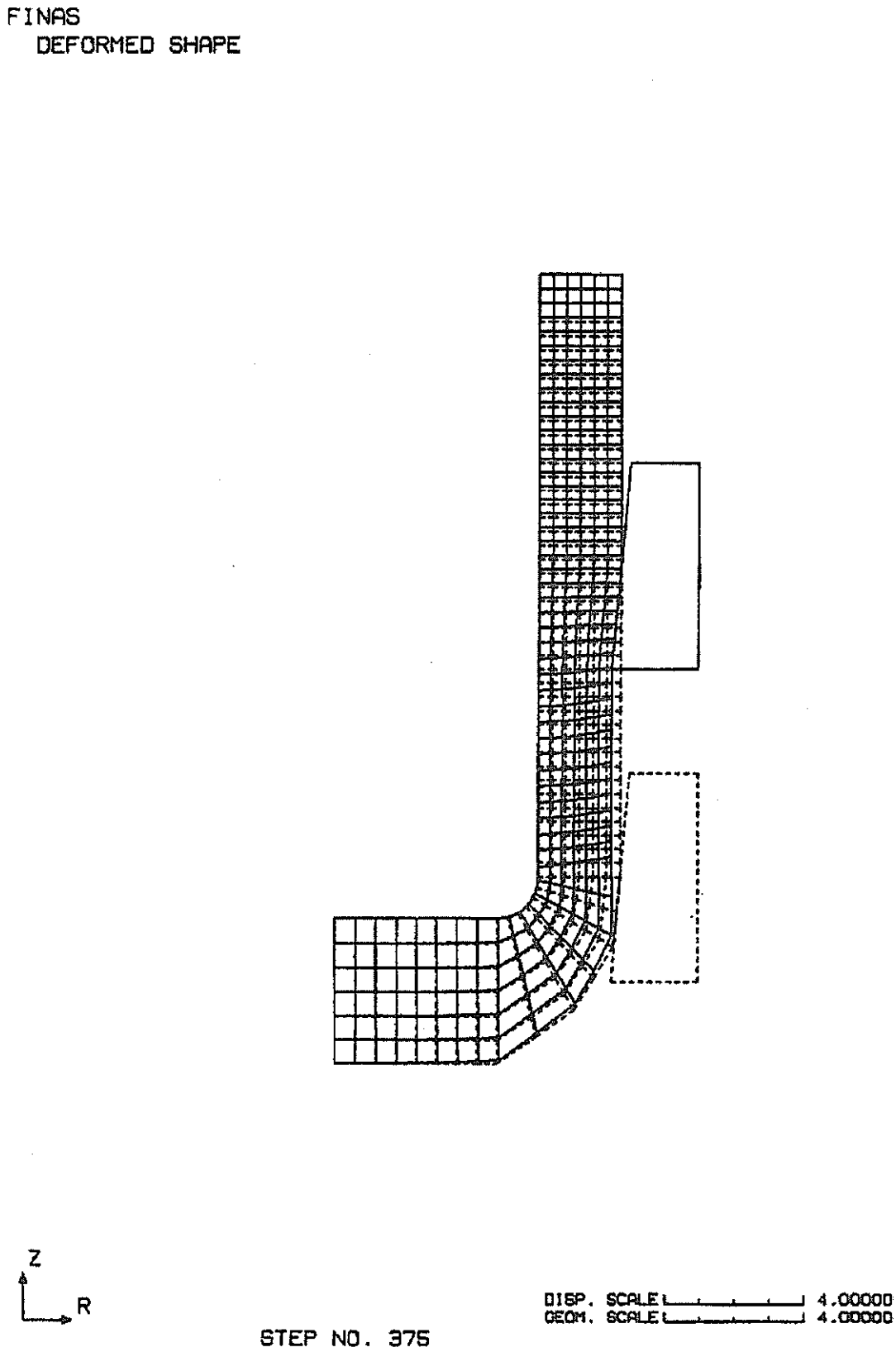


図 2.4.2-5 引き抜き量 9mm での変形図

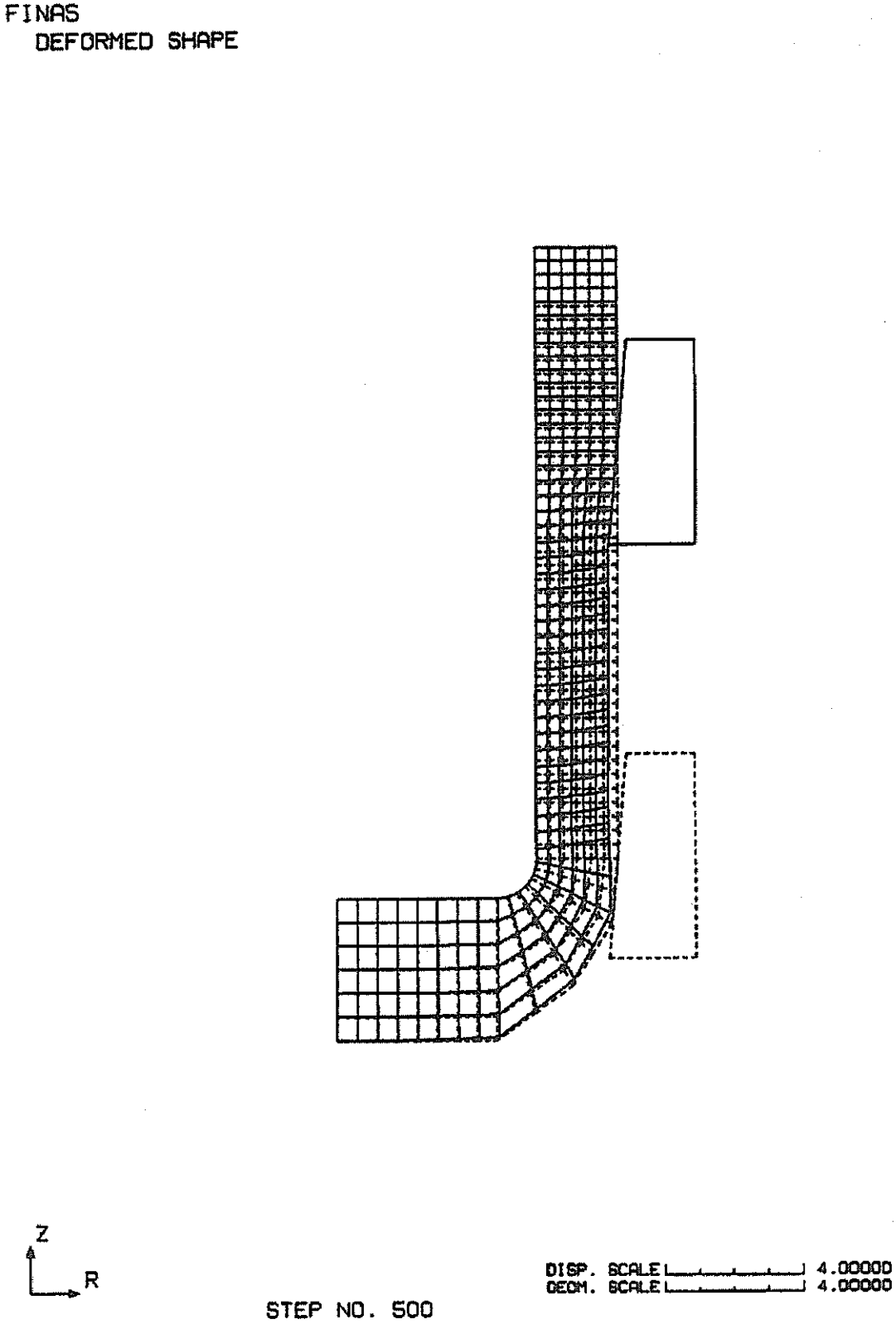


図 2.4.2-6 引き抜き量 12mm での変形図

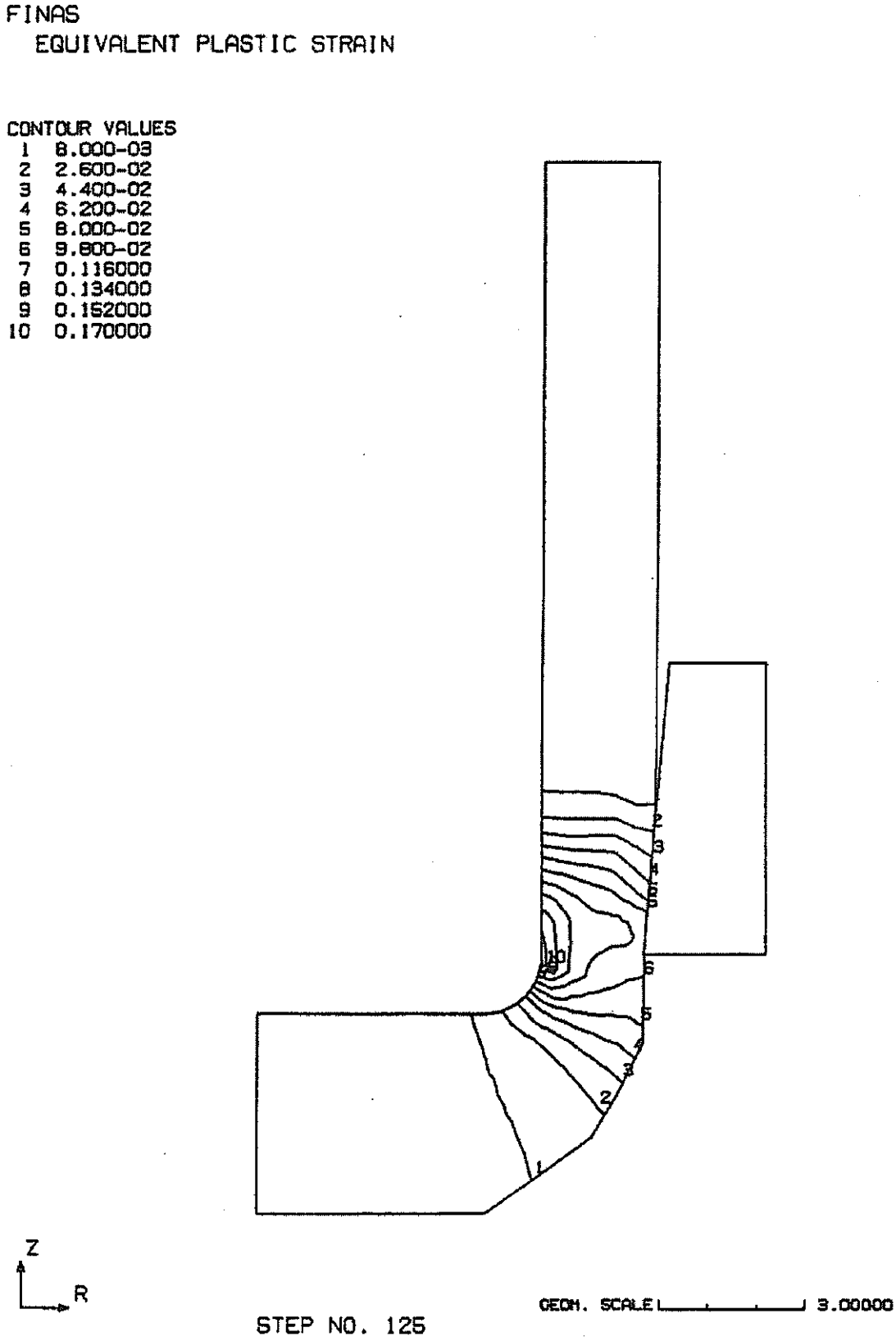
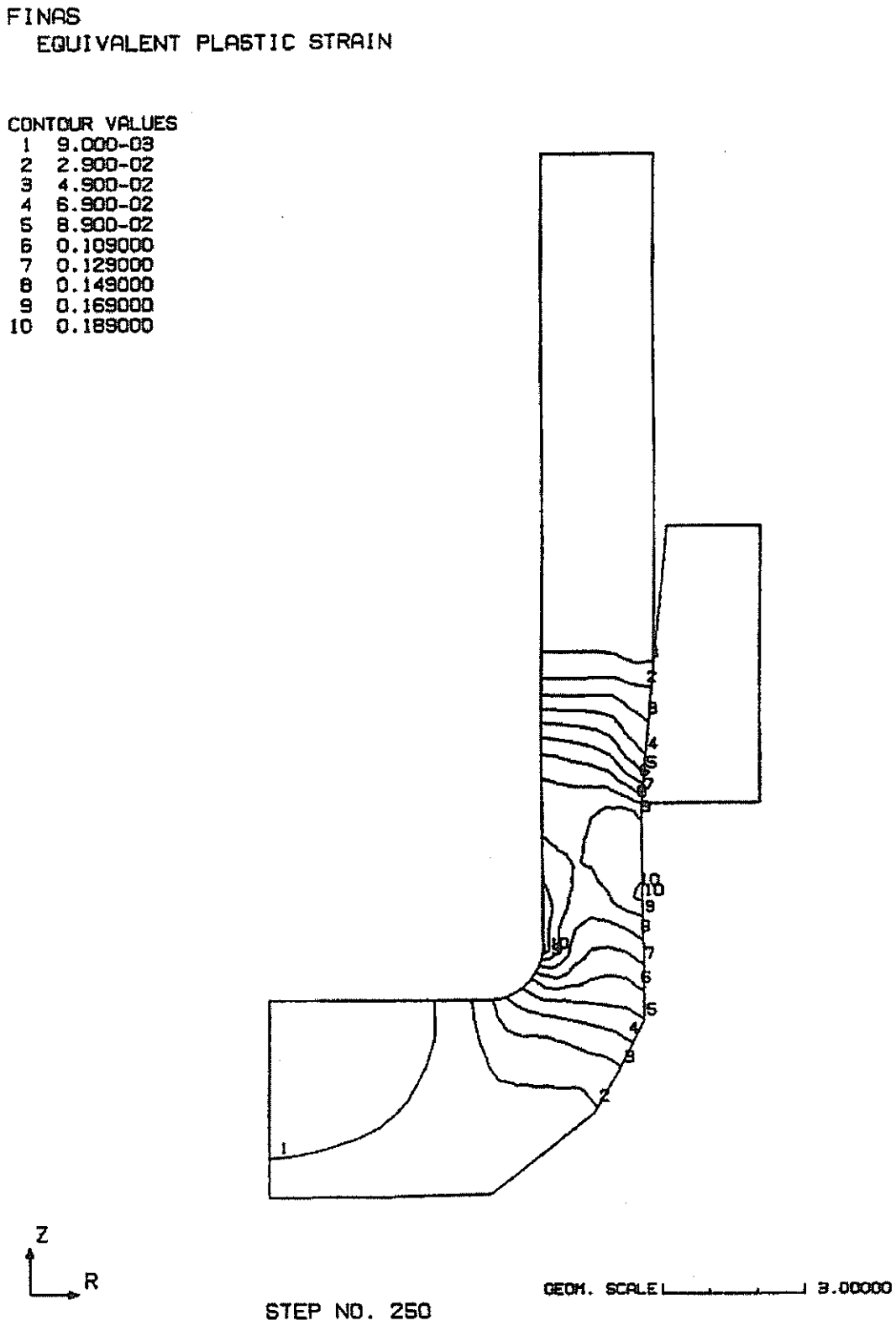


図 2.4.2-7 引き抜き量 3mm での相当塑性ひずみ分布図



VP-190 DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL (LCONT2)

図 2.4.2-8 引き抜き量 6mm での相当塑性ひずみ分布図

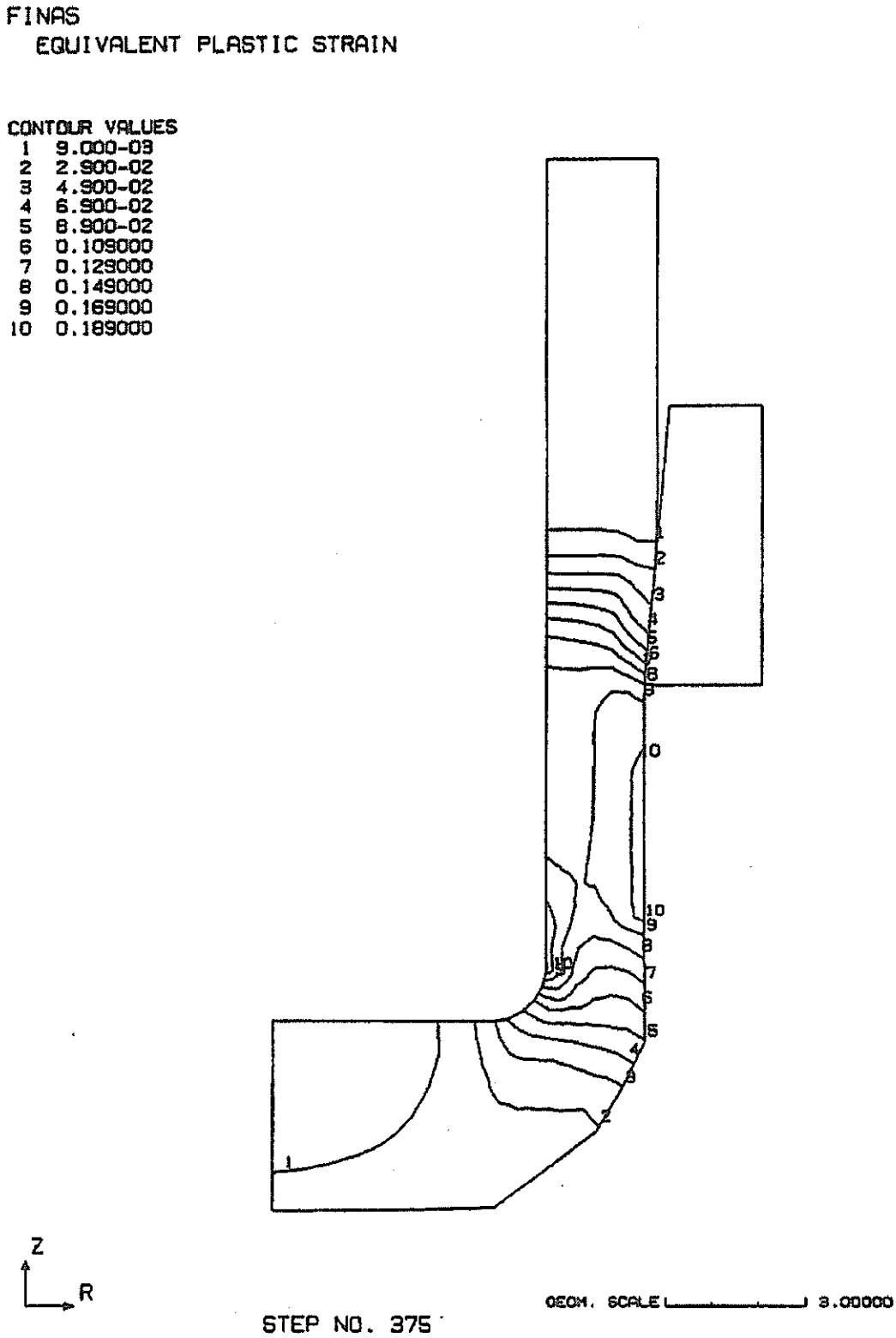


図 2.4.2-9 引き抜き量 9mm での相当塑性ひずみ分布図

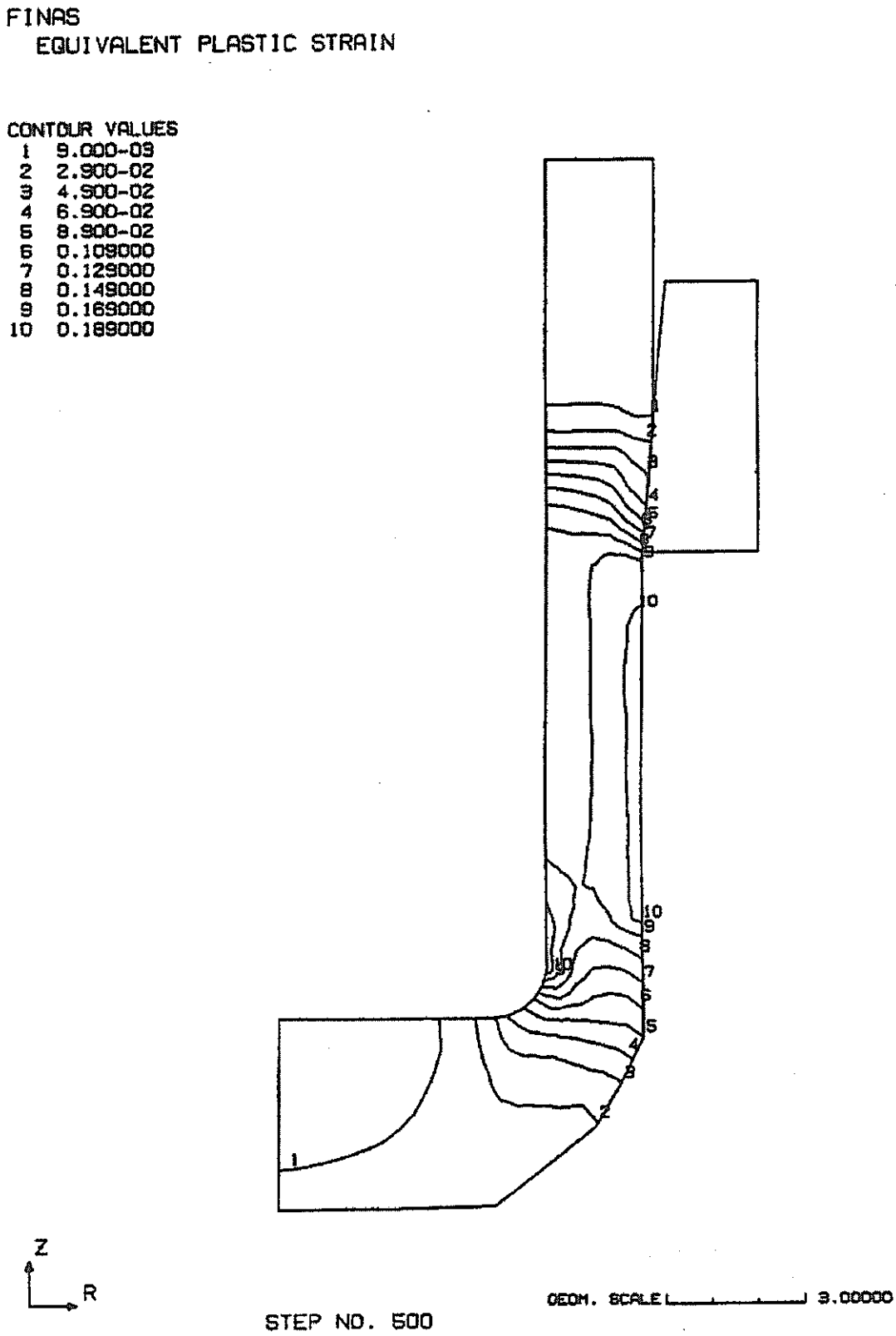


図 2.4.2-10 引き抜き量 12mm での相当塑性ひずみ分布図

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 2.4.2-3 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM 0/0
FINAS
TITLE     VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS
SUBTITLE            DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )
STATIC    EP
DIAG      4/1
NOPRINT   DESCR
CONTROL
     LARGE DISP
     PAIR SURF          1    2                 0.3       0.3
MODEL
COORDINATE SYSTEM
  100    2             4.8     -16.0       0.0      10.0     -16.0       0.0
                       4.8     -10.0       0.0
ELEMENT TYPE
    1     QAX4
    2     LCONT2
CONNECTION
    1    1    0    1    2  102    1  101
    2    1    0    1    3  103    2  102
    3    1    0    1    4  104    3  103
    4    1    0    1    5  105    4  104
    5    1    0    1    6  106    5  105
    6    1    0    1    7  107    6  106
    7    1    0    1    8  108    7  107
    8    1    0    1    9  109    8  108
    9    1    0    1   10  110    9  109
   10    1    0    1   11  111   10  110
   11    1    0    1   12  112   11  111
   12    1    0    1   13  113   12  112
   13    1    0    1   14  114   13  113
   14    1    0    1   15  115   14  114
   15    1    0    1   16  116   15  115
   16    1    0    1   17  117   16  116
   17    1    0    1   18  118   17  117
   18    1    0    1   19  119   18  118
   19    1    0    1   20  120   19  119
   20    1    0    1   21  121   20  120
   21    1    0    1   22  122   21  121
   22    1    0    1   23  123   22  122
   23    1    0    1   24  124   23  123
   24    1    0    1   25  125   24  124
   25    1    0    1   26  126   25  125
   26    1    0    1   27  127   26  126
   27    1    0    1   28  128   27  127
   28    1    0    1   29  129   28  128
   29    1    0    1   30  130   29  129
   30    1    0    1   31  131   30  130
   31    1    0    1   32  132   31  131
   32    1    0    1   33  133   32  132
   33    1    0    1   34  134   33  133
   34    1    0    1   35  135   34  134
   35    1    0    1   36  136   35  135
   36    1    0    1   37  137   36  136
   37    1    0    1   38  138   37  137
   38    1    0    1   39  139   38  138
   39    1    0    1   40  140   39  139
   40    1    0    1   41  141   40  140
   41    1    0    1   42  142   41  141
   42    1    0    1   43  143   42  142
   43    1    0    1   44  144   43  143
   44    1    0    1   45  145   44  144
```

45	1	0	1	46	146	45	145
46	1	0	1	47	147	46	146
47	1	0	1	48	148	47	147
48	1	0	1	49	149	48	148
49	1	0	1	50	150	49	149
50	1	0	1	51	151	50	150
51	1	0	1	52	152	51	151
52	1	0	1	53	153	52	152
53	1	0	1	54	154	53	153
54	1	0	1	55	155	54	154
101	1	0	1	102	202	101	201
102	1	0	1	103	203	102	202
103	1	0	1	104	204	103	203
104	1	0	1	105	205	104	204
105	1	0	1	106	206	105	205
106	1	0	1	107	207	106	206
107	1	0	1	108	208	107	207
108	1	0	1	109	209	108	208
109	1	0	1	110	210	109	209
110	1	0	1	111	211	110	210
111	1	0	1	112	212	111	211
112	1	0	1	113	213	112	212
113	1	0	1	114	214	113	213
114	1	0	1	115	215	114	214
115	1	0	1	116	216	115	215
116	1	0	1	117	217	116	216
117	1	0	1	118	218	117	217
118	1	0	1	119	219	118	218
119	1	0	1	120	220	119	219
120	1	0	1	121	221	120	220
121	1	0	1	122	222	121	221
122	1	0	1	123	223	122	222
123	1	0	1	124	224	123	223
124	1	0	1	125	225	124	224
125	1	0	1	126	226	125	225
126	1	0	1	127	227	126	226
127	1	0	1	128	228	127	227
128	1	0	1	129	229	128	228
129	1	0	1	130	230	129	229
130	1	0	1	131	231	130	230
131	1	0	1	132	232	131	231
132	1	0	1	133	233	132	232
133	1	0	1	134	234	133	233
134	1	0	1	135	235	134	234
135	1	0	1	136	236	135	235
136	1	0	1	137	237	136	236
137	1	0	1	138	238	137	237
138	1	0	1	139	239	138	238
139	1	0	1	140	240	139	239
140	1	0	1	141	241	140	240
141	1	0	1	142	242	141	241
142	1	0	1	143	243	142	242
143	1	0	1	144	244	143	243
144	1	0	1	145	245	144	244
145	1	0	1	146	246	145	245
146	1	0	1	147	247	146	246
147	1	0	1	148	248	147	247
148	1	0	1	149	249	148	248
149	1	0	1	150	250	149	249
150	1	0	1	151	251	150	250
151	1	0	1	152	252	151	251
152	1	0	1	153	253	152	252
153	1	0	1	154	254	153	253
154	1	0	1	155	255	154	254

201	1	0	1	202	302	201	301
202	1	0	1	203	303	202	302
203	1	0	1	204	304	203	303
204	1	0	1	205	305	204	304
205	1	0	1	206	306	205	305
206	1	0	1	207	307	206	306
207	1	0	1	208	308	207	307
208	1	0	1	209	309	208	308
209	1	0	1	210	310	209	309
210	1	0	1	211	311	210	310
211	1	0	1	212	312	211	311
212	1	0	1	213	313	212	312
213	1	0	1	214	314	213	313
214	1	0	1	215	315	214	314
215	1	0	1	216	316	215	315
216	1	0	1	217	317	216	316
217	1	0	1	218	318	217	317
218	1	0	1	219	319	218	318
219	1	0	1	220	320	219	319
220	1	0	1	221	321	220	320
221	1	0	1	222	322	221	321
222	1	0	1	223	323	222	322
223	1	0	1	224	324	223	323
224	1	0	1	225	325	224	324
225	1	0	1	226	326	225	325
226	1	0	1	227	327	226	326
227	1	0	1	228	328	227	327
228	1	0	1	229	329	228	328
229	1	0	1	230	330	229	329
230	1	0	1	231	331	230	330
231	1	0	1	232	332	231	331
232	1	0	1	233	333	232	332
233	1	0	1	234	334	233	333
234	1	0	1	235	335	234	334
235	1	0	1	236	336	235	335
236	1	0	1	237	337	236	336
237	1	0	1	238	338	237	337
238	1	0	1	239	339	238	338
239	1	0	1	240	340	239	339
240	1	0	1	241	341	240	340
241	1	0	1	242	342	241	341
242	1	0	1	243	343	242	342
243	1	0	1	244	344	243	343
244	1	0	1	245	345	244	344
245	1	0	1	246	346	245	345
246	1	0	1	247	347	246	346
247	1	0	1	248	348	247	347
248	1	0	1	249	349	248	348
249	1	0	1	250	350	249	349
250	1	0	1	251	351	250	350
251	1	0	1	252	352	251	351
252	1	0	1	253	353	252	352
253	1	0	1	254	354	253	353
254	1	0	1	255	355	254	354
301	1	0	1	302	402	301	401
302	1	0	1	303	403	302	402
303	1	0	1	304	404	303	403
304	1	0	1	305	405	304	404
305	1	0	1	306	406	305	405
306	1	0	1	307	407	306	406
307	1	0	1	308	408	307	407
308	1	0	1	309	409	308	408
309	1	0	1	310	410	309	409
310	1	0	1	311	411	310	410

311	1	0	1	312	412	311	411
312	1	0	1	313	413	312	412
313	1	0	1	314	414	313	413
314	1	0	1	315	415	314	414
315	1	0	1	316	416	315	415
316	1	0	1	317	417	316	416
317	1	0	1	318	418	317	417
318	1	0	1	319	419	318	418
319	1	0	1	320	420	319	419
320	1	0	1	321	421	320	420
321	1	0	1	322	422	321	421
322	1	0	1	323	423	322	422
323	1	0	1	324	424	323	423
324	1	0	1	325	425	324	424
325	1	0	1	326	426	325	425
326	1	0	1	327	427	326	426
327	1	0	1	328	428	327	427
328	1	0	1	329	429	328	428
329	1	0	1	330	430	329	429
330	1	0	1	331	431	330	430
331	1	0	1	332	432	331	431
332	1	0	1	333	433	332	432
333	1	0	1	334	434	333	433
334	1	0	1	335	435	334	434
335	1	0	1	336	436	335	435
336	1	0	1	337	437	336	436
337	1	0	1	338	438	337	437
338	1	0	1	339	439	338	438
339	1	0	1	340	440	339	439
340	1	0	1	341	441	340	440
341	1	0	1	342	442	341	441
342	1	0	1	343	443	342	442
343	1	0	1	344	444	343	443
344	1	0	1	345	445	344	444
345	1	0	1	346	446	345	445
346	1	0	1	347	447	346	446
347	1	0	1	348	448	347	447
348	1	0	1	349	449	348	448
349	1	0	1	350	450	349	449
350	1	0	1	351	451	350	450
351	1	0	1	352	452	351	451
352	1	0	1	353	453	352	452
353	1	0	1	354	454	353	453
354	1	0	1	355	455	354	454
401	1	0	1	402	502	401	501
402	1	0	1	403	503	402	502
403	1	0	1	404	504	403	503
404	1	0	1	405	505	404	504
405	1	0	1	406	506	405	505
406	1	0	1	407	507	406	506
407	1	0	1	408	508	407	507
408	1	0	1	409	509	408	508
409	1	0	1	410	510	409	509
410	1	0	1	411	511	410	510
411	1	0	1	412	512	411	511
412	1	0	1	413	513	412	512
413	1	0	1	414	514	413	513
414	1	0	1	415	515	414	514
415	1	0	1	416	516	415	515
416	1	0	1	417	517	416	516
417	1	0	1	418	518	417	517
418	1	0	1	419	519	418	518
419	1	0	1	420	520	419	519
420	1	0	1	421	521	420	520

421	1	0	1	422	522	421	521
422	1	0	1	423	523	422	522
423	1	0	1	424	524	423	523
424	1	0	1	425	525	424	524
425	1	0	1	426	526	425	525
426	1	0	1	427	527	426	526
427	1	0	1	428	528	427	527
428	1	0	1	429	529	428	528
429	1	0	1	430	530	429	529
430	1	0	1	431	531	430	530
431	1	0	1	432	532	431	531
432	1	0	1	433	533	432	532
433	1	0	1	434	534	433	533
434	1	0	1	435	535	434	534
435	1	0	1	436	536	435	535
436	1	0	1	437	537	436	536
437	1	0	1	438	538	437	537
438	1	0	1	439	539	438	538
439	1	0	1	440	540	439	539
440	1	0	1	441	541	440	540
441	1	0	1	442	542	441	541
442	1	0	1	443	543	442	542
443	1	0	1	444	544	443	543
444	1	0	1	445	545	444	544
445	1	0	1	446	546	445	545
446	1	0	1	447	547	446	546
447	1	0	1	448	548	447	547
448	1	0	1	449	549	448	548
449	1	0	1	450	550	449	549
450	1	0	1	451	551	450	550
451	1	0	1	452	552	451	551
452	1	0	1	453	553	452	552
453	1	0	1	454	554	453	553
454	1	0	1	455	555	454	554
501	1	0	1	502	602	501	601
502	1	0	1	503	603	502	602
503	1	0	1	504	604	503	603
504	1	0	1	505	605	504	604
505	1	0	1	506	606	505	605
506	1	0	1	507	607	506	606
507	1	0	1	508	608	507	607
508	1	0	1	509	609	508	608
509	1	0	1	510	610	509	609
510	1	0	1	511	611	510	610
511	1	0	1	512	612	511	611
512	1	0	1	513	613	512	612
513	1	0	1	514	614	513	613
514	1	0	1	515	615	514	614
515	1	0	1	516	616	515	615
516	1	0	1	517	617	516	616
517	1	0	1	518	618	517	617
518	1	0	1	519	619	518	618
519	1	0	1	520	620	519	619
520	1	0	1	521	621	520	620
521	1	0	1	522	622	521	621
522	1	0	1	523	623	522	622
523	1	0	1	524	624	523	623
524	1	0	1	525	625	524	624
525	1	0	1	526	626	525	625
526	1	0	1	527	627	526	626
527	1	0	1	528	628	527	627
528	1	0	1	529	629	528	628
529	1	0	1	530	630	529	629
530	1	0	1	531	631	530	630

531	1	0	1	532	632	531	631
532	1	0	1	533	633	532	632
533	1	0	1	534	634	533	633
534	1	0	1	535	635	534	634
535	1	0	1	536	636	535	635
536	1	0	1	537	637	536	636
537	1	0	1	538	638	537	637
538	1	0	1	539	639	538	638
539	1	0	1	540	640	539	639
540	1	0	1	541	641	540	640
541	1	0	1	542	642	541	641
542	1	0	1	543	643	542	642
543	1	0	1	544	644	543	643
544	1	0	1	545	645	544	644
545	1	0	1	546	646	545	645
546	1	0	1	547	647	546	646
547	1	0	1	548	648	547	647
548	1	0	1	549	649	548	648
549	1	0	1	550	650	549	649
550	1	0	1	551	651	550	650
551	1	0	1	552	652	551	651
552	1	0	1	553	653	552	652
553	1	0	1	554	654	553	653
554	1	0	1	555	655	554	654
601	2	0	0	601	602		
602	2	0	0	602	603		
603	2	0	0	603	604		
604	2	0	0	604	605		
605	2	0	0	605	606		
606	2	0	0	606	607		
607	2	0	0	607	608		
608	2	0	0	608	609		
609	2	0	0	609	610		
610	2	0	0	610	611		
611	2	0	0	611	612		
612	2	0	0	612	613		
613	2	0	0	613	614		
614	2	0	0	614	615		
615	2	0	0	615	616		
616	2	0	0	616	617		
617	2	0	0	617	618		
618	2	0	0	618	619		
619	2	0	0	619	620		
620	2	0	0	620	621		
621	2	0	0	621	622		
622	2	0	0	622	623		
623	2	0	0	623	624		
624	2	0	0	624	625		
625	2	0	0	625	626		
626	2	0	0	626	627		
627	2	0	0	627	628		
628	2	0	0	628	629		
629	2	0	0	629	630		
630	2	0	0	630	631		
631	2	0	0	631	632		
632	2	0	0	632	633		
633	2	0	0	633	634		
634	2	0	0	634	635		
635	2	0	0	635	636		
636	2	0	0	636	637		
637	2	0	0	637	638		
638	2	0	0	638	639		
639	2	0	0	639	640		
640	2	0	0	640	641		

641	2	0	0	641	642		
642	2	0	0	642	643		
643	2	0	0	643	644		
644	2	0	0	644	645		
645	2	0	0	645	646		
646	2	0	0	646	647		
701	1	0	2	702	802	701	801
801	2	0	0	702	701		

NODE

1	6.000	0.000	0.000
2	6.000	-0.400	0.000
3	6.000	-0.800	0.000
4	6.000	-1.200	0.000
5	6.000	-1.600	0.000
6	6.000	-2.000	0.000
7	6.000	-2.400	0.000
8	6.000	-2.800	0.000
9	6.000	-3.200	0.000
10	6.000	-3.600	0.000
11	6.000	-4.000	0.000
12	6.000	-4.400	0.000
13	6.000	-4.800	0.000
14	6.000	-5.200	0.000
15	6.000	-5.600	0.000
16	6.000	-6.000	0.000
17	6.000	-6.400	0.000
18	6.000	-6.800	0.000
19	6.000	-7.200	0.000
20	6.000	-7.600	0.000
21	6.000	-8.000	0.000
22	6.000	-8.400	0.000
23	6.000	-8.800	0.000
24	6.000	-9.200	0.000
25	6.000	-9.600	0.000
26	6.000	-10.000	0.000
27	6.000	-10.400	0.000
28	6.000	-10.800	0.000
29	6.000	-11.200	0.000
30	6.000	-11.600	0.000
31	6.000	-12.000	0.000
32	6.000	-12.400	0.000
33	6.000	-12.800	0.000
34	6.000	-13.200	0.000
35	6.000	-13.600	0.000
36	6.000	-14.000	0.000
37	6.000	-14.400	0.000
38	6.000	-14.800	0.000
39	6.000	-15.200	0.000
40	6.000	-15.600	0.000
41	6.000	-16.000	0.000
42	5.959	-16.311	0.000
43	5.839	-16.600	0.000
44	5.649	-16.849	0.000
45	5.400	-17.039	0.000
46	5.111	-17.159	0.000
47	4.800	-17.200	0.000
48	4.200	-17.200	0.000
49	3.600	-17.200	0.000
50	3.000	-17.200	0.000
51	2.400	-17.200	0.000
52	1.800	-17.200	0.000
53	1.200	-17.200	0.000
54	0.600	-17.200	0.000
55	-0.000	-17.200	0.000

101	6.400	0.000	0.000
102	6.400	-0.400	0.000
103	6.400	-0.800	0.000
104	6.400	-1.200	0.000
105	6.400	-1.600	0.000
106	6.400	-2.000	0.000
107	6.400	-2.400	0.000
108	6.400	-2.800	0.000
109	6.400	-3.200	0.000
110	6.400	-3.600	0.000
111	6.400	-4.000	0.000
112	6.400	-4.400	0.000
113	6.400	-4.800	0.000
114	6.400	-5.200	0.000
115	6.400	-5.600	0.000
116	6.400	-6.000	0.000
117	6.400	-6.400	0.000
118	6.400	-6.800	0.000
119	6.400	-7.200	0.000
120	6.400	-7.600	0.000
121	6.400	-8.000	0.000
122	6.400	-8.400	0.000
123	6.400	-8.800	0.000
124	6.400	-9.200	0.000
125	6.400	-9.600	0.000
126	6.400	-10.000	0.000
127	6.400	-10.400	0.000
128	6.400	-10.800	0.000
129	6.400	-11.200	0.000
130	6.400	-11.600	0.000
131	6.400	-12.000	0.000
132	6.400	-12.400	0.000
133	6.400	-12.800	0.000
134	6.400	-13.200	0.000
135	6.400	-13.600	0.000
136	6.400	-14.000	0.000
137	6.400	-14.400	0.000
138	6.400	-14.800	0.000
139	6.400	-15.200	0.000
140	6.400	-15.600	0.000
141	6.400	-16.000	0.000
142	6.349	-16.424	0.000
143	6.232	-16.831	0.000
144	5.978	-17.190	0.000
145	5.676	-17.500	0.000
146	5.247	-17.733	0.000
147	4.800	-17.900	0.000
148	4.200	-17.900	0.000
149	3.600	-17.900	0.000
150	3.000	-17.900	0.000
151	2.400	-17.900	0.000
152	1.800	-17.900	0.000
153	1.200	-17.900	0.000
154	0.600	-17.900	0.000
155	0.000	-17.900	0.000
201	6.800	0.000	0.000
202	6.800	-0.400	0.000
203	6.800	-0.800	0.000
204	6.800	-1.200	0.000
205	6.800	-1.600	0.000
206	6.800	-2.000	0.000
207	6.800	-2.400	0.000
208	6.800	-2.800	0.000
209	6.800	-3.200	0.000

210	6.800	-3.600	0.000
211	6.800	-4.000	0.000
212	6.800	-4.400	0.000
213	6.800	-4.800	0.000
214	6.800	-5.200	0.000
215	6.800	-5.600	0.000
216	6.800	-6.000	0.000
217	6.800	-6.400	0.000
218	6.800	-6.800	0.000
219	6.800	-7.200	0.000
220	6.800	-7.600	0.000
221	6.800	-8.000	0.000
222	6.800	-8.400	0.000
223	6.800	-8.800	0.000
224	6.800	-9.200	0.000
225	6.800	-9.600	0.000
226	6.800	-10.000	0.000
227	6.800	-10.400	0.000
228	6.800	-10.800	0.000
229	6.800	-11.200	0.000
230	6.800	-11.600	0.000
231	6.800	-12.000	0.000
232	6.800	-12.400	0.000
233	6.800	-12.800	0.000
234	6.800	-13.200	0.000
235	6.800	-13.600	0.000
236	6.800	-14.000	0.000
237	6.800	-14.400	0.000
238	6.800	-14.800	0.000
239	6.800	-15.200	0.000
240	6.800	-15.600	0.000
241	6.800	-16.000	0.000
242	6.739	-16.538	0.000
243	6.625	-17.062	0.000
244	6.308	-17.531	0.000
245	5.952	-17.962	0.000
246	5.383	-18.307	0.000
247	4.800	-18.600	0.000
248	4.200	-18.600	0.000
249	3.600	-18.600	0.000
250	3.000	-18.600	0.000
251	2.400	-18.600	0.000
252	1.800	-18.600	0.000
253	1.200	-18.600	0.000
254	0.600	-18.600	0.000
255	-0.000	-18.600	0.000
301	7.200	0.000	0.000
302	7.200	-0.400	0.000
303	7.200	-0.800	0.000
304	7.200	-1.200	0.000
305	7.200	-1.600	0.000
306	7.200	-2.000	0.000
307	7.200	-2.400	0.000
308	7.200	-2.800	0.000
309	7.200	-3.200	0.000
310	7.200	-3.600	0.000
311	7.200	-4.000	0.000
312	7.200	-4.400	0.000
313	7.200	-4.800	0.000
314	7.200	-5.200	0.000
315	7.200	-5.600	0.000
316	7.200	-6.000	0.000
317	7.200	-6.400	0.000
318	7.200	-6.800	0.000

319	7.200	-7.200	0.000
320	7.200	-7.600	0.000
321	7.200	-8.000	0.000
322	7.200	-8.400	0.000
323	7.200	-8.800	0.000
324	7.200	-9.200	0.000
325	7.200	-9.600	0.000
326	7.200	-10.000	0.000
327	7.200	-10.400	0.000
328	7.200	-10.800	0.000
329	7.200	-11.200	0.000
330	7.200	-11.600	0.000
331	7.200	-12.000	0.000
332	7.200	-12.400	0.000
333	7.200	-12.800	0.000
334	7.200	-13.200	0.000
335	7.200	-13.600	0.000
336	7.200	-14.000	0.000
337	7.200	-14.400	0.000
338	7.200	-14.800	0.000
339	7.200	-15.200	0.000
340	7.200	-15.600	0.000
341	7.200	-16.000	0.000
342	7.128	-16.652	0.000
343	7.017	-17.293	0.000
344	6.838	-17.872	0.000
345	6.229	-18.423	0.000
346	5.520	-18.881	0.000
347	4.800	-19.300	0.000
348	4.200	-19.300	0.000
349	3.600	-19.300	0.000
350	3.000	-19.300	0.000
351	2.400	-19.300	0.000
352	1.800	-19.300	0.000
353	1.200	-19.300	0.000
354	0.600	-19.300	0.000
355	0.000	-19.300	0.000
401	7.600	-0.000	0.000
402	7.600	-0.400	0.000
403	7.600	-0.800	0.000
404	7.600	-1.200	0.000
405	7.600	-1.600	0.000
406	7.600	-2.000	0.000
407	7.600	-2.400	0.000
408	7.600	-2.800	0.000
409	7.600	-3.200	0.000
410	7.600	-3.600	0.000
411	7.600	-4.000	0.000
412	7.600	-4.400	0.000
413	7.600	-4.800	0.000
414	7.600	-5.200	0.000
415	7.600	-5.600	0.000
416	7.600	-6.000	0.000
417	7.600	-6.400	0.000
418	7.600	-6.800	0.000
419	7.600	-7.200	0.000
420	7.600	-7.600	0.000
421	7.600	-8.000	0.000
422	7.600	-8.400	0.000
423	7.600	-8.800	0.000
424	7.600	-9.200	0.000
425	7.600	-9.600	0.000
426	7.600	-10.000	0.000
427	7.600	-10.400	0.000

428	7.600	-10.800	0.000
429	7.600	-11.200	0.000
430	7.600	-11.600	0.000
431	7.600	-12.000	0.000
432	7.600	-12.400	0.000
433	7.600	-12.800	0.000
434	7.600	-13.200	0.000
435	7.600	-13.600	0.000
436	7.600	-14.000	0.000
437	7.600	-14.400	0.000
438	7.600	-14.800	0.000
439	7.600	-15.200	0.000
440	7.600	-15.600	0.000
441	7.600	-16.000	0.000
442	7.518	-16.765	0.000
443	7.410	-17.523	0.000
444	6.967	-18.213	0.000
445	6.505	-18.884	0.000
446	5.656	-19.455	0.000
447	4.800	-20.000	0.000
448	4.200	-20.000	0.000
449	3.600	-20.000	0.000
450	3.000	-20.000	0.000
451	2.400	-20.000	0.000
452	1.800	-20.000	0.000
453	1.200	-20.000	0.000
454	0.600	-20.000	0.000
455	0.000	-20.000	0.000
501	8.000	-0.000	0.000
502	8.000	-0.400	0.000
503	8.000	-0.800	0.000
504	8.000	-1.200	0.000
505	8.000	-1.600	0.000
506	8.000	-2.000	0.000
507	8.000	-2.400	0.000
508	8.000	-2.800	0.000
509	8.000	-3.200	0.000
510	8.000	-3.600	0.000
511	8.000	-4.000	0.000
512	8.000	-4.400	0.000
513	8.000	-4.800	0.000
514	8.000	-5.200	0.000
515	8.000	-5.600	0.000
516	8.000	-6.000	0.000
517	8.000	-6.400	0.000
518	8.000	-6.800	0.000
519	8.000	-7.200	0.000
520	8.000	-7.600	0.000
521	8.000	-8.000	0.000
522	8.000	-8.400	0.000
523	8.000	-8.800	0.000
524	8.000	-9.200	0.000
525	8.000	-9.600	0.000
526	8.000	-10.000	0.000
527	8.000	-10.400	0.000
528	8.000	-10.800	0.000
529	8.000	-11.200	0.000
530	8.000	-11.600	0.000
531	8.000	-12.000	0.000
532	8.000	-12.400	0.000
533	8.000	-12.800	0.000
534	8.000	-13.200	0.000
535	8.000	-13.600	0.000
536	8.000	-14.000	0.000

537	8.000	-14.400	0.000
538	8.000	-14.800	0.000
539	8.000	-15.200	0.000
540	8.000	-15.600	0.000
541	8.000	-16.000	0.000
542	7.908	-16.879	0.000
543	7.803	-17.754	0.000
544	7.297	-18.555	0.000
545	6.781	-19.345	0.000
546	5.792	-20.029	0.000
547	4.800	-20.700	0.000
548	4.200	-20.700	0.000
549	3.600	-20.700	0.000
550	3.000	-20.700	0.000
551	2.400	-20.700	0.000
552	1.800	-20.700	0.000
553	1.200	-20.700	0.000
554	0.600	-20.700	0.000
555	0.000	-20.700	0.000
601	8.400	-0.000	0.000
602	8.400	-0.400	0.000
603	8.400	-0.800	0.000
604	8.400	-1.200	0.000
605	8.400	-1.600	0.000
606	8.400	-2.000	0.000
607	8.400	-2.400	0.000
608	8.400	-2.800	0.000
609	8.400	-3.200	0.000
610	8.400	-3.600	0.000
611	8.400	-4.000	0.000
612	8.400	-4.400	0.000
613	8.400	-4.800	0.000
614	8.400	-5.200	0.000
615	8.400	-5.600	0.000
616	8.400	-6.000	0.000
617	8.400	-6.400	0.000
618	8.400	-6.800	0.000
619	8.400	-7.200	0.000
620	8.400	-7.600	0.000
621	8.400	-8.000	0.000
622	8.400	-8.400	0.000
623	8.400	-8.800	0.000
624	8.400	-9.200	0.000
625	8.400	-9.600	0.000
626	8.400	-10.000	0.000
627	8.400	-10.400	0.000
628	8.400	-10.800	0.000
629	8.400	-11.200	0.000
630	8.400	-11.600	0.000
631	8.400	-12.000	0.000
632	8.400	-12.400	0.000
633	8.400	-12.800	0.000
634	8.400	-13.200	0.000
635	8.400	-13.600	0.000
636	8.400	-14.000	0.000
637	8.400	-14.400	0.000
638	8.400	-14.800	0.000
639	8.400	-15.200	0.000
640	8.400	-15.600	0.000
641	8.400	-16.000	0.000
642	8.298	-16.993	0.000
643	8.196	-17.985	0.000
644	7.627	-18.896	0.000
645	7.057	-19.806	0.000

```
  646                    5.929   -20.603     0.000
  647                    4.800   -21.400     0.000
  648                    4.200   -21.400     0.000
  649                    3.600   -21.400     0.000
  650                    3.000   -21.400     0.000
  651                    2.400   -21.400     0.000
  652                    1.800   -21.400     0.000
  653                    1.200   -21.400     0.000
  654                    0.600   -21.400     0.000
  655                    0.000   -21.400     0.000
  701                    8.662   -13.000     0.000
  702                    8.138   -19.000     0.000
  801                   10.662   -13.000     0.000
  802                   10.662   -19.000     0.000
SURFACE
   1
    F2     601  646    1
   2
    F1     801
MATERIAL
$  ---  MANDREL  ---
   1                    1    1    1
         E            7.031E+3
         NU               0.3
         SIGY            20.0
         HDASH          232.0
$  ---    DIE    ---
   2                    1    1    1
         E           7.031E+07
         NU               0.3
         SIGY          1.0E+20
         HDASH          232.0
BOUNDARY
   1
            55  655  100         1            0.0
             1   41    1         1            0.0
            42   47    1  100    1            0.0
            48   55    1         2            0.0
           801  802    1         1            0.0
           701  702    1         2            1.0
           801  802    1         2            1.0
HISTORY
INTERVAL    500
         BOUN     1      12.0
END MODEL
OUTPUT
OTIME1        1  125  250  375  500
PRINT SELECT
$ESET2        10    1  450    1
DISP      ALL      1
REAC      ALL      1
ELM       ALL           1
POST TAPE CADAS
OUTSYS    GLOBAL
DISP      ALL      1
REAC      ALL      1
ELM       ALL           1
NPST      ALL      1
STRUCTURE PLOT
FRAME     A4V
PTITLE    VP-190   DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )
VSCALE           1.0
DPLOT             1
CPLOT             1EPEQ
```

```
IPLOT
END OUTPUT
END FINAS
1.........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 2.4.2-4　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM 0/0
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                  FINAS
                  TITLE     VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS
                  SUBTITLE            DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )
                  STATIC    EP
                  DIAG      4/1
                  NOPRINT   DESCR
                  CONTROL
                      LARGE DISP
                      PAIR SURF          1    2                0.3       0.3
1     VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
                DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
            0-    MODEL
            1-    COORDINATE SYSTEM
            2-      100    2            4.8     -16.0       0.0      10.0     -16.0       0.0
            3-                          4.8     -10.0       0.0
            4-    ELEMENT TYPE
            5-        1     QAX4
            6-        2     LCONT2
            7-    CONNECTION
            8-        1     1     0     1     2   102     1   101
            9-        2     1     0     1     3   103     2   102
           10-        3     1     0     1     4   104     3   103
           11-        4     1     0     1     5   105     4   104
           12-        5     1     0     1     6   106     5   105
           13-        6     1     0     1     7   107     6   106
           14-        7     1     0     1     8   108     7   107
           15-        8     1     0     1     9   109     8   108
           16-        9     1     0     1    10   110     9   109
           17-       10     1     0     1    11   111    10   110
           18-       11     1     0     1    12   112    11   111
           19-       12     1     0     1    13   113    12   112
           20-       13     1     0     1    14   114    13   113
           21-       14     1     0     1    15   115    14   114
           22-       15     1     0     1    16   116    15   115
           23-       16     1     0     1    17   117    16   116
           24-       17     1     0     1    18   118    17   117
           25-       18     1     0     1    19   119    18   118
           26-       19     1     0     1    20   120    19   119
           27-       20     1     0     1    21   121    20   120
           28-       21     1     0     1    22   122    21   121
           29-       22     1     0     1    23   123    22   122
           30-       23     1     0     1    24   124    23   123
           31-       24     1     0     1    25   125    24   124
           32-       25     1     0     1    26   126    25   125
           33-       26     1     0     1    27   127    26   126
           34-       27     1     0     1    28   128    27   127
           35-       28     1     0     1    29   129    28   128
           36-       29     1     0     1    30   130    29   129
           37-       30     1     0     1    31   131    30   130
           38-       31     1     0     1    32   132    31   131
           39-       32     1     0     1    33   133    32   132
           40-       33     1     0     1    34   134    33   133
           41-       34     1     0     1    35   135    34   134
           42-       35     1     0     1    36   136    35   135
           43-       36     1     0     1    37   137    36   136
           44-       37     1     0     1    38   138    37   137
           45-       38     1     0     1    39   139    38   138
           46-       39     1     0     1    40   140    39   139
           47-       40     1     0     1    41   141    40   140
           48-       41     1     0     1    42   142    41   141
           49-       42     1     0     1    43   143    42   142
1     VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
                DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
           50-       43     1     0     1    44   144    43   143
           51-       44     1     0     1    45   145    44   144
           52-       45     1     0     1    46   146    45   145
           53-       46     1     0     1    47   147    46   146
           54-       47     1     0     1    48   148    47   147
           55-       48     1     0     1    49   149    48   148
           56-       49     1     0     1    50   150    49   149
           57-       50     1     0     1    51   151    50   150
           58-       51     1     0     1    52   152    51   151
           59-       52     1     0     1    53   153    52   152
           60-       53     1     0     1    54   154    53   153
           61-       54     1     0     1    55   155    54   154
           62-      101     1     0     1   102   202   101   201
```

```
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM   1 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -3.99596E+02   0.00000E+00
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM   2 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -7.98807E+02  -2.39642E+02
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM   3 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.06854E+03  -3.19961E+02
1    VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   21
               DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM   4 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.26957E+03  -3.80870E+02
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM   5 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.39032E+03  -4.17097E+02
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM   6 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.50347E+03  -4.51041E+02
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM   7 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.55499E+03  -4.66498E+02
1    VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   22
               DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM   8 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.61616E+03  -4.84848E+02
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM   9 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.66672E+03  -5.00017E+02
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM  10 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.70882E+03  -5.12586E+02
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM  11 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.75347E+03  -5.26040E+02
1    VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   23
               DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM  12 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          641        801    CLOSE, SLIDING     -1.79547E+03  -5.38642E+02
0
                          C O N T A C T   F O R C E                                    ( STEP NUM  13 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT        ------------ CONTACT FORCE ----------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS            NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y
```

```
                STRAIN  -4.0705E-02  4.4029E-02 -1.7463E-03  4.3168E-02

    544 - 5     STRESS   6.1903E+00  1.4017E+01  1.7690E+01  1.1773E+01                          2.2788E+01  2.4813E+01
              E.STRAIN  -4.7247E-04  9.7486E-04  1.6538E-03  4.3535E-03
              P.STRAIN  -6.2231E-03  4.8569E-03  1.3962E-03  3.4292E-02                          2.1092E-02
                STRAIN  -6.6956E-03  5.8315E-03  3.0201E-03  3.8646E-02

    545 - 5     STRESS   1.0573E+01  8.9618E+00  1.8345E+01  1.1720E+01                          2.2082E+01  2.3498E+01
              E.STRAIN   3.3860E-04  4.0725E-05  1.7757E-03  4.3340E-03
              P.STRAIN   7.9614E-04 -3.6548E-03  3.0587E-03  2.5316E-02                          1.5300E-02
                STRAIN   1.1347E-03 -3.8141E-03  4.8344E-03  2.9652E-02

    546 - 5     STRESS   1.4916E+01  3.0471E+00  1.8477E+01  9.0372E+00                          2.1467E+01  2.1624E+01
              E.STRAIN   1.1607E-03 -1.0342E-03  2.0036E-03  3.3418E-03
              P.STRAIN   2.9998E-03 -7.4927E-03  4.4931E-03  1.4758E-02                          1.1411E-02
                STRAIN   4.1603E-03 -8.5269E-03  6.4967E-03  1.8100E-02

    547 - 5     STRESS   1.5138E+01 -1.8152E+00  1.8275E+01  5.9257E+00                          2.1340E+01  2.1958E+01
              E.STRAIN   1.4507E-03 -1.6838E-03  2.0307E-03  2.1913E-03
              P.STRAIN   3.7490E-03 -9.3819E-03  5.6129E-03  7.7046E-03                          1.0438E-02
                STRAIN   5.1996E-03 -1.1046E-02  7.6436E-03  9.9316E-03
1   VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   330
              DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )

                                    T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N          ( STEP NUM  500 )
0 ELM ID-POINT              R          Z        THETA        RZ                          VON MISES   TRESCA

    548 - 5     STRESS   1.9252E+01 -8.1754E-01  2.0213E+01  3.7033E+00                          2.1544E+01  2.1692E+01
              E.STRAIN   1.9106E-03 -1.8002E-03  2.0882E-03  1.3695E-03
              P.STRAIN   5.8093E-03 -1.1566E-02  5.7564E-03  4.7776E-03                          1.1905E-02
                STRAIN   7.7199E-03 -1.3366E-02  7.8446E-03  6.1470E-03

    549 - 5     STRESS   2.1169E+01 -5.1024E-01  2.0701E+01  1.7691E+00                          2.1667E+01  2.1966E+01
              E.STRAIN   2.1403E-03 -1.8591E-03  2.0827E-03  6.5420E-04
              P.STRAIN   6.9696E-03 -1.2667E-02  5.6977E-03  1.8454E-03                          1.2746E-02
                STRAIN   9.1199E-03 -1.4526E-02  7.7805E-03  2.4996E-03

    550 - 5     STRESS   2.1903E+01 -1.9304E-01  2.0785E+01  4.7229E-01                          2.1505E+01  2.2116E+01
              E.STRAIN   2.2374E-03 -1.8480E-03  2.0270E-03  1.7465E-04
              P.STRAIN   7.0589E-03 -1.2497E-02  5.4298E-03 -4.0725E-05                          1.2528E-02
                STRAIN   9.2943E-03 -1.4335E-02  7.4566E-03  1.3392E-04

    551 - 5     STRESS   2.1977E+01 -2.4560E-02  2.0607E+01 -1.9837E-01                          2.1298E+01  2.1905E+01
              E.STRAIN   2.2333E-03 -1.8182E-03  1.9985E-03 -7.3354E-05
              P.STRAIN   6.4124E-03 -1.1451E-02  5.0390E-03 -8.2262E-04                          1.1491E-02
                . STRAIN 8.6457E-03 -1.3268E-02  7.0375E-03 -8.9597E-04

    552 - 5     STRESS   2.1520E+01  6.4048E-02  2.0489E+01 -4.2887E-01                          2.0963E+01  2.1473E+01
              E.STRAIN   2.1847E-03 -1.7824E-03  1.9901E-03 -1.5856E-04
              P.STRAIN   5.4813E-03 -1.0075E-02  4.6137E-03 -8.7337E-04                          1.0100E-02
                STRAIN   7.6461E-03 -1.1857E-02  6.6038E-03 -1.0320E-03

    553 - 5     STRESS   2.1103E+01  1.7258E-01  2.0521E+01 -3.6004E-01                          2.0655E+01  2.0943E+01
              E.STRAIN   2.1184E-03 -1.7515E-03  2.0109E-03 -1.3314E-04
              P.STRAIN   4.5725E-03 -9.7057E-03  4.2232E-03 -5.6465E-04                          8.8043E-03
                STRAIN   6.6910E-03 -1.0547E-02  6.2341E-03 -6.9779E-04

    554 - 5     STRESS   2.0618E+01  1.7121E-01  2.0617E+01 -1.2114E-01                          2.0448E+01  2.0448E+01
              E.STRAIN   2.0455E-03 -1.7351E-03  2.0453E-03 -4.4795E-05
              P.STRAIN   3.9632E-03 -7.9262E-03  3.9629E-03 -1.9737E-04                          7.9270E-03
                STRAIN   6.0087E-03 -9.6613E-03  6.0082E-03 -2.4217E-04

    701 - 5     STRESS  -2.1868E+01 -6.7024E+00 -7.1401E+00 -4.2389E+00                          1.5819E+01  1.5974E+01
                STRAIN  -2.4342E-07 -6.0718E-17  2.8886E-06 -1.5875E-07
1   VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   331
              DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )

                                    C O N T A C T   F O R C E                                   ( STEP NUM  500 )
0    CONTACTOR    TARGET    CONTACT          ------------- CONTACT FORCE ---------------
       NODE ID    ELEM ID    STATUS              NORMAL        LOCAL-X        LOCAL-Y

          617       801    CLOSE, SLIDING      -9.85676E+02  -2.95703E+02
          618       801    CLOSE, SLIDING      -6.23220E+02  -1.86966E+02
          619       801    CLOSE, SLIDING      -7.73934E+02  -2.32196E+02
          620       801    CLOSE, SLIDING      -9.58700E+02  -2.87610E+02
          621       801    CLOSE, SLIDING      -1.27336E+03  -3.82008E+02
          622       801    CLOSE, SLIDING      -2.53463E+03  -7.60390E+02
1   VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   332
              DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )

      P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT  8.   DEFORMED SHAPE
                 AXES ......................+Z, +X, +Y     VIEW ANGLE .......    0.00,     0.00,     0.00
                 SCALE FACTOR ............ 8.033E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   297.3
0     PLOT  9.   CONTOUR OF EQUIVALENT PLASTIC STRAIN
                 AXES ......................+Z, +X, +Y     VIEW ANGLE .......    0.00,     0.00,     0.00
                 SCALE FACTOR ............ 8.025E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   297.3
                 CONTOUR VALUES ......... 1)  1.000E-02    2)  3.200E-02    3)  5.400E-02    4)  7.600E-02
                                          5)  9.800E-02    6)  1.200E-01    7)  1.420E-01    8)  1.640E-01
                                          9)  1.860E-01   10)  2.080E-01
1   VP-190    THE ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF CLOSE-PASS                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   333
```

```
            DRAWING OF TUBE WITH MOVING MANDREL ( LCONT2 )

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . STATIC  EP
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . .     500          ( FROM     1 TO   500 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .     372
+                                                               (     325*QAX4    )
                                                                (      47*LCONT2  )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .     389
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .     710
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .      19
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .      15.8
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .    35.0          ( 15.65 % )
0       LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .    3.4          (  1.52 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .   48.9          ( 21.90 % )
0       STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
           LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . .    72.7          ( 32.51 % )
0       ACTIVE COLUMN OPTIMIZATION . . . . . .     0.0          (  0.01 % )
0       EVALUATION OF CONTACT FORCES . . . . .    28.4          ( 12.69 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .   35.2          ( 15.73 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .   223.5 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .     320 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .      0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

3. 動 的 解 析

3.1 モーダル法

3.1.1 クーリングタワーの固有値解析

(1) 問題

基底部が大地に固定されたコンクリート製のクーリングタワーについて固有値解析を行ない、[22] 固有振動数と対応する変形モードを求める。構造の形状を図 3.1.1-1 に、材料定数を表 3.1.1-1 にそれぞれ示す。

表 3.1.1-1 材 料 定 数

弾性係数 E[lb/ft^2]	4.32×10^8
ポアソン比 ν	0.15
質量密度 ρ [lb·sec^2/ft^4]	4.6656

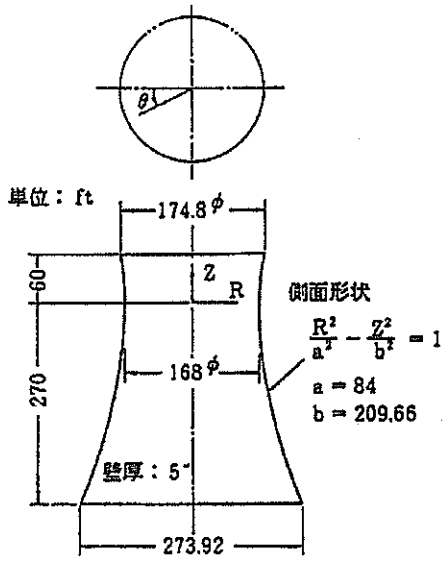


図 3.1.1-1 クーリングタワー

(2) 有限要素モデルと解析条件

4 節点四辺形平板シェル要素 QFLA4R を用い、クーリングタワーを有限要素モデル

化したものを図 3.1.1-2 に示す。質量マトリックスの取扱いは集中質量（lumped mass）と整合質量（consistent mass）の両方とし、それぞれの場合について重根を含めて低い方から 20 個の固有振動数と対応する変形モードを求める。

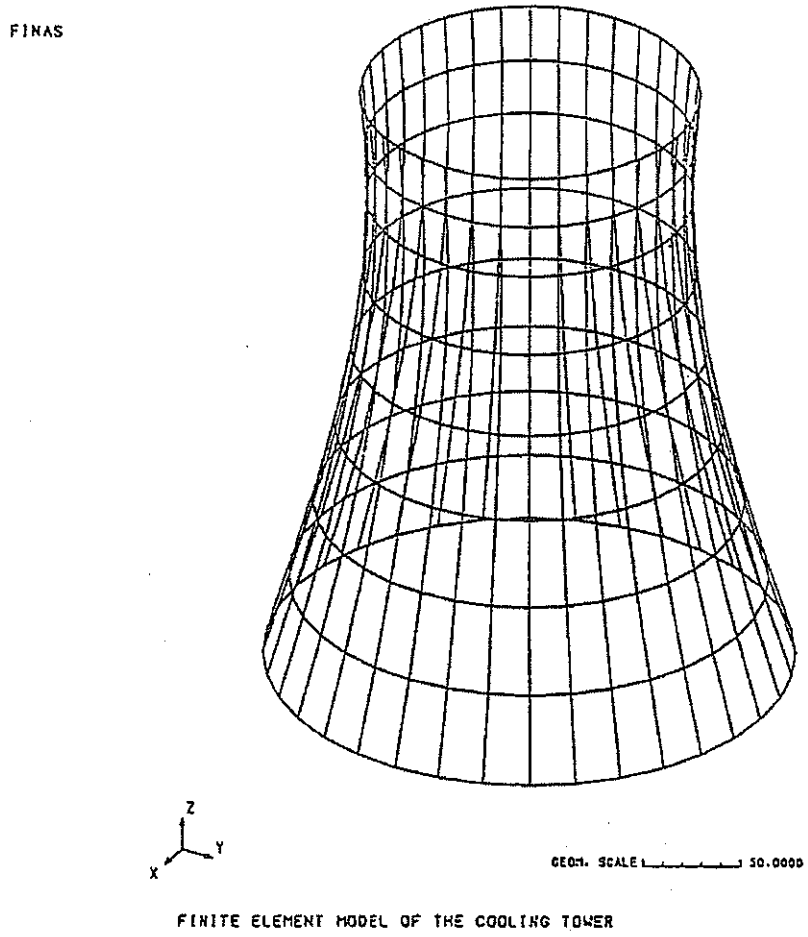


図 3.1.1-2　有限要素モデル

(3) 解析結果

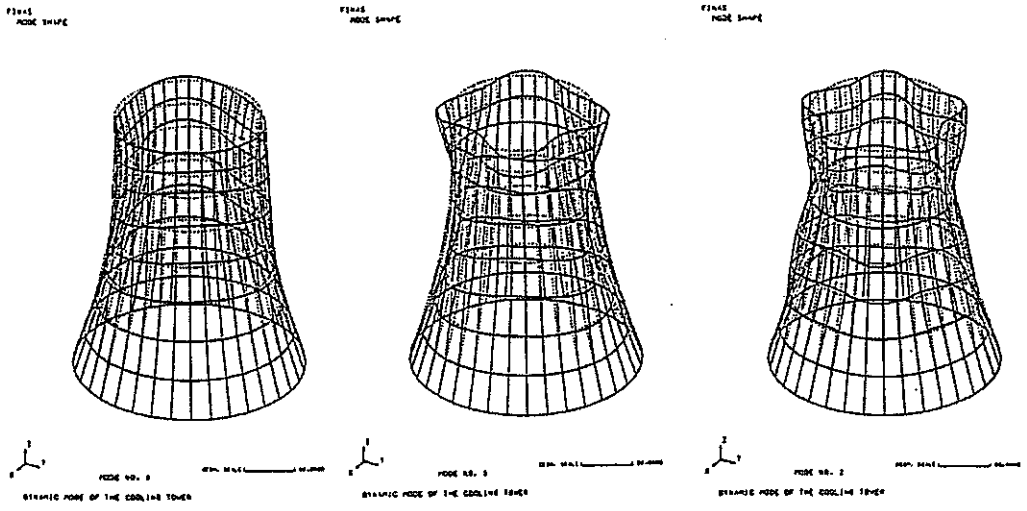
表 3.1.1-2 に固有振動数と変形モードを NASTRAN の解と比較して示し、図 3.1.1-3 と図 3.1.1-4 に整合質量の取扱いをした場合について代表的な変形モードを示す。

表 3.1.1-2　固有振動数と変形モード

モード番号	集中質量				整合質量			
	FINAS		NASTRAN		FINAS		NASTRAN	
	f [H_z]	モード (C, L)*	f [H_z]	モード (C, L)*	f [H_z]	モード (C, L)*	f [H_z]	モード (C, L)*
1	1.00976	(5, 1)	0.9841943	(5, 1)	1.11967	(5, 1)	1.091044	(5, 1)
2	1.00976	(5, 1)	0.9841943	(5, 1)	1.11967	(5, 1)	1.091044	(5, 1)
3	1.07235	(6, 1)	1.067201	(6, 1)	1.25026	(6, 1)	1.232130	(4, 1)
4	1.07318	(6, 1)	1.067248	(6, 1)	1.25091	(6, 1)	1.232264	(4, 1)
5	1.17729	(4, 1)	1.147625	(4, 1)	1.26386	(4, 1)	1.237331	(6, 1)
6	1.17737	(4, 1)	1.147772	(4, 1)	1.26396	(4, 1)	1.237561	(6, 1)
7	1.20029	(7, 1)	1.203538	(7, 1)	1.41877	(3, 1)	1.383634	(3, 1)
8	1.20029	(7, 1)	1.203538	(7, 1)	1.41877	(3, 1)	1.383634	(3, 1)
9	1.27161	(6, 2)	1.266095	(6, 2)	1.47069	(7, 1)	1.459634	(7, 1)
10	1.27413	(6, 2)	1.266638	(6, 2)	1.47069	(7, 1)	1.459634	(7, 1)
11	1.35326	(7, 2)	1.347002	(3, 1)	1.51449	(6, 2)	1.482838	(4, 2)
12	1.35326	(7, 2)	1.347002	(3, 1)	1.51744	(6, 2)	1.482954	(4, 2)
13	1.37519	(8, 1)	1.364908	(5, 2)	1.54863	(4, 2)	1.508137	(6, 2)
14	1.37585	(8, 1)	1.364908	(5, 2)	1.54880	(4, 2)	1.508819	(6, 2)
15	1.38182	(3, 1)	1.366822	(8, 1)	1.59124	(5, 2)	1.536016	(5, 2)
16	1.38182	(3, 1)	1.367072	(8, 1)	1.59124	(5, 2)	1.536016	(5, 2)
17	1.40739	(5, 2)	1.387331	(7, 2)	1.72799	(7, 2)	1.717367	(8, 1)
18	1.40739	(5, 2)	1.387331	(7, 2)	1.72799	(7, 2)	1.717367	(8, 1)
19	1.45996	(4, 2)	1.398458	(4, 2)	1.79060	(8, 1)	1.739480	(7, 2)
20	1.46013	(4, 2)	1.398587	(4, 2)	1.79084	(8, 1)	1.739480	(7, 2)

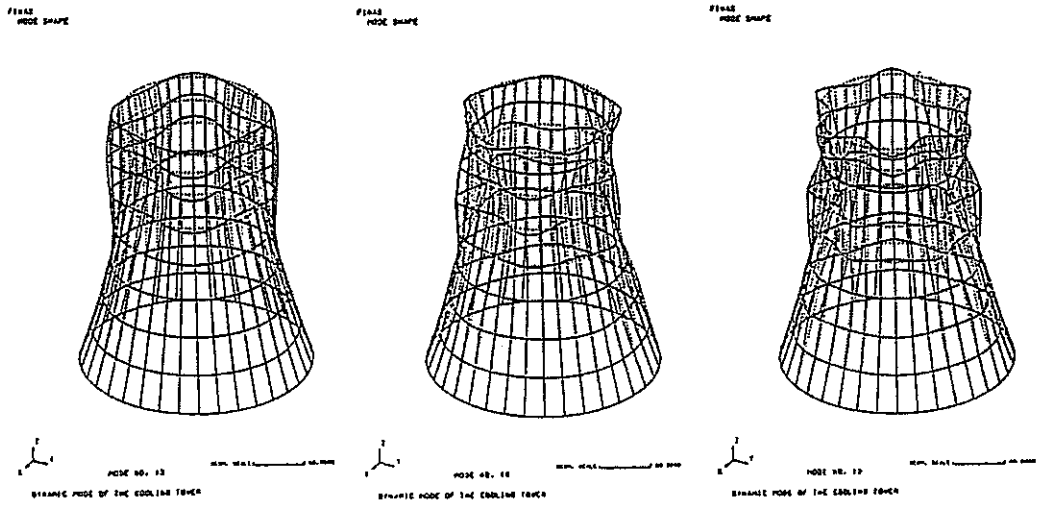
(C, L)*＝（周方向モード、長手方向モード）

PNC N941 85-172



a) 周方向モード 3　　b) 周方向モード 4　　c) 周方向モード 5

図 3.1.1-3　長手方向モード 1 の変形モード



a) 周方向モード 4　　b) 周方向モード 5　　c) 周方向モード 6

図 3.1.1-4　長手方向モード 2 の変形モード

(4) 入力データ

表 3.1.1-3　節点座標をジェネレイトするプログラム

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION  TH2(9)
      DATA  A,B/84.0,209.66/
      DATA  TH2/0.0,2*30.0,6*45.0/
      DATA  H,N1,N2,H270 /330.0,36,8,270.0/
      DATA  PAI /3.141592654D+0/
C
      NT1=N1+1
      NT2=N2+1
      HU=H-H270
C
      DO 10 I1=1,NT1
      SH=0
      TH1=2.0*PAI*(I1-1)/N1
      NP=100*(I1-1)
      DO 20 I2=1,NT2
      SH=SH+TH2(I2)
      Z=HU-SH
      R=A*DSQRT(1.0+Z**2/B**2)
      X=R*DCOS(TH1)
      Y=R*DSIN(TH1)
      Z=Z+H270
      NP=NP+1
      WRITE(21,100) NP,X,Y,Z
      WRITE( 6,200) NP,X,Y,Z
   20 CONTINUE
   10 CONTINUE
C
  100 FORMAT(I5,15X, 3E10.4)
  200 FORMAT(1H ,8HNODE    ,I8,8X,3F8.2)
C
      STOP
      END
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

注1) 節点座標をファイル FT21 に出力

注2) 節点座標のジェネレーションは FINAS の機能を使って容易に作成することができる。

表 3.1.1-4　集中質量として取扱う場合の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     EIGENVALUE PROBLEM OF A COOLING TOWER(LUMPED MASS)
DYNAMIC   M
CONTROL
     LUMP MASS
     EIGENVALUE        20   50
MODEL
ELEMENT TYPE
    1     QFLA4R
CONNECTION
**ELOOP1     36  100  100  100  100  100
    1    1    1    1    1    2  101  102                        8    1
**END1
NODE
=READ        21
MATERIAL
    1
          E            4.32E+08
          NU           0.15
          RHO          4.6656
GEOMETRY
    1    5    0.4167                                  1000.
BOUNDARY
    1
               9 3609  100         1    6
FASTENING
    1
     F1        8    1    1    1 3601    1    1
     F1        8    1    2    1 3601    2    1
     F1        8    1    3    1 3601    3    1
     F1        8    1    4    1 3601    4    1
     F1        8    1    5    1 3601    5    1
     F1        8    1    6    1 3601    6    1
RESPONSE
     TIME
          BOUN     1        1.0
          FAS      1        1.0
END MODEL
OUTPUT
POST TAPE
MODE      ALL
STRUCTURE PLOT
AXES           X    Y    Z
VIEW              0.0      30.0     -30.0
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL OF THE COOLING TOWER
IPLOT
PTITLE    DYNAMIC MODE OF THE COOLING TOWER
MPLOT
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 3.1.1-5　整合質量として取扱う場合の入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     EIGENVALUE PROBLEM OF A COOLING TOWER(CONSISTENT MASS)
DYNAMIC   M
CONTROL
     EIGENVALUE        20   50
MODEL
ELEMENT TYPE
    1     QFLA4R
CONNECTION
**ELOOP1      36  100  100  100  100  100
    1    1    1    1    1    2  101  102                        8    1
**END1
NODE
=READ        21
MATERIAL
    1
          E            4.32E+08
          NU           0.15
          RHO          4.6656
GEOMETRY
    1    5    0.4167                                   1000.
BOUNDARY
    1
               9 3609  100         1    6
FASTENING
    1
     F1        8    1    1    1 3601    1    1
     F1        8    1    2    1 3601    2    1
     F1        8    1    3    1 3601    3    1
     F1        8    1    4    1 3601    4    1
     F1        8    1    5    1 3601    5    1
     F1        8    1    6    1 3601    6    1
RESPONSE
     TIME
          BOUN     1        1.0
          FAS      1        1.0
END MODEL
OUTPUT
POST TAPE
MODE      ALL
STRUCTURE PLOT
AXES           X    Y    Z
VIEW              0.0      30.0     -30.0
PTITLE    FINITE ELEMENT MODEL OF THE COOLING TOWER
IPLOT
PTITLE    DYNAMIC MODE OF THE COOLING TOWER
MPLOT
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

3.1.2 3次元骨組構造の応答スペクトル解析

(1) 問題

図 3.1.2-1 に示す外径 2.375 in、肉厚 0.154 in の鋼鉄製パイプと辺長 2.75 in の鋼鉄製立方体からなる骨組構造に X 方向応答スペクトルを与えた場合について応答スペクトル解析を行なう。[23),24)] 材料定数は弾性係数が 27.9×10^6 psi、ポアソン比が 0.3 である。質量は集中質量とし、集中質量の大きさとその位置を図 3.1.2-2 に示す。ここで斜線部は表 3.1.2-1 の応答スペクトルを入力する基盤を表わしている。

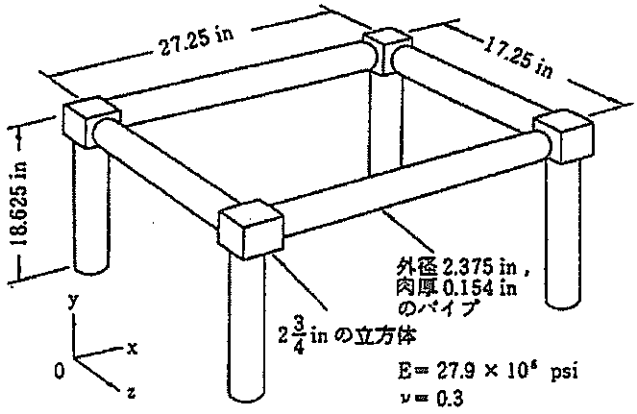


図 3.1.2-1　3次元骨組構造

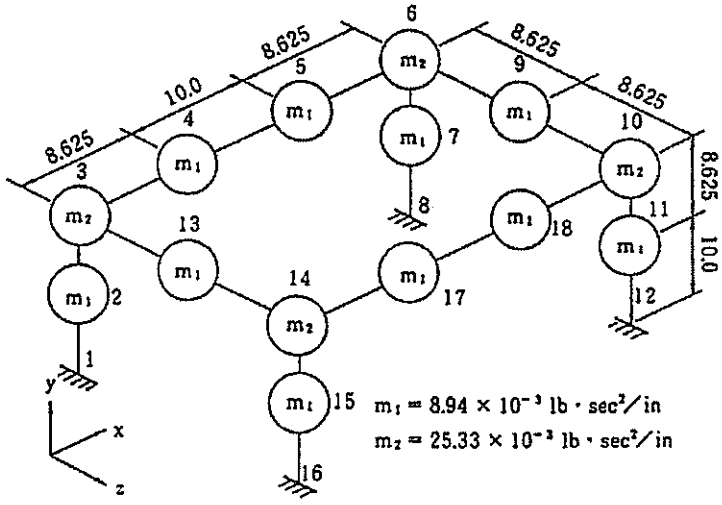


図 3.1.2-2　有限要素モデルと集中質量

表 3.1.2-1　X 方向の応力速度スペクトル

振動数 f[Hz]	周　期 T[sec]	速度スペクトル Vs[in/sec]
0.0	40.0	17.0
0.2	5.0	17.0
0.9	1.110	30.0
2.0	0.500	160.0
8.0	0.125	130.0
30.0	0.033	30.0
40.0	0.025	1.3
200.0	0.005	1.0
1000.0	0.001	0.0

(2) 有限要素モデルと解析条件

3 次元弾性はり要素 SBEAM2 を用いて図 3.1.2-2 の有限要素モデルを作成する。SBEAM2 の断面定数はパイプの断面定数と等価なものを使用する。また、応答スペクトル解析に用いるモードは振動数が低い方から 10 個とする。

断 面 積　$A = \frac{\pi}{4}(D_0^2 - D_i^2) = 1.0745315\ in^2$

有効せん断断面積　$A_y = A_z = \frac{1}{2}A = 0.5372657\ in^2$

断面 2 次モーメント　$I_y = I_z = \frac{\pi}{64}(D_0^4 - D_i^4) = 0.66574711\ in^4$

ねじり定数　$J = I_y + I_z = 1.3314942\ in^4$

(3) 解析結果

FINAS の解を NASTRAN と ASKA の解と比較したものを表 3.1.2-2 と表 3.1.2-3 に示す。表 3.1.2-2 は固有振動数であり、表 3.2.1-3 は各モードの値を 2 乗平均した変位、速度、加速度を表わす。また、図 3.1.2-3 はモード 1～4 の変形モード図である。

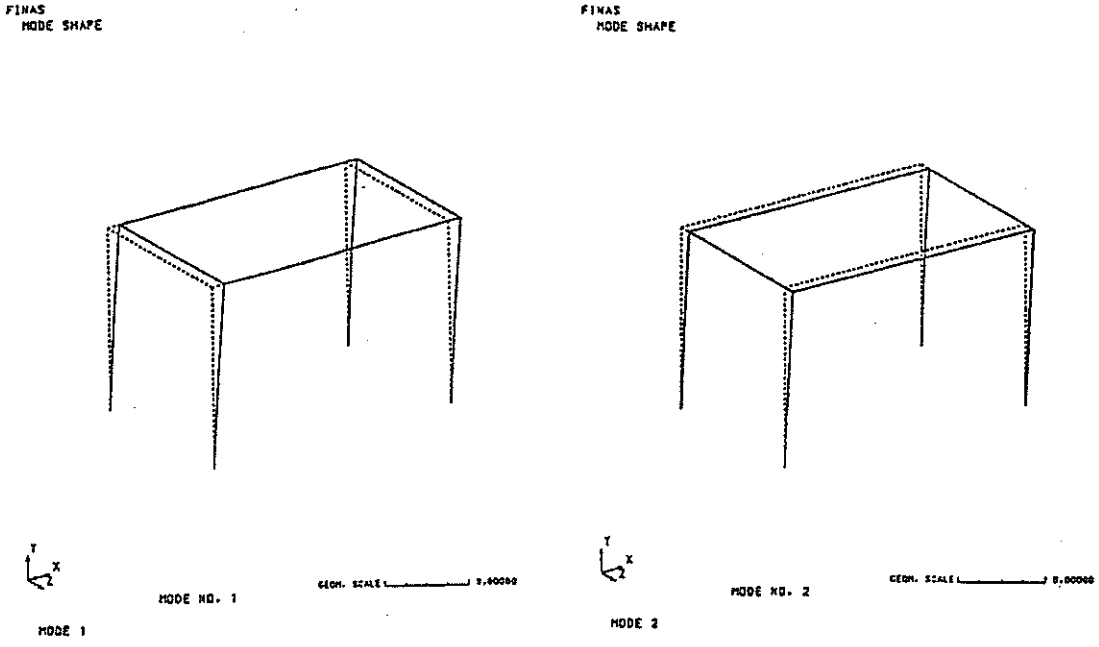
表 3.1.2-2　固有振動数 f[Hz]

モード	FINAS	NASTRAN	ASKA
1	111.216	111.2162	111.22
2	115.777	115.7774	115.78
3	137.143	137.1430	137.14
4	215.761	215.7606	215.76
5	404.222	404.2216	404.22
6	422.567	422.5670	422.57
7	451.516	451.5165	451.52
8	548.874	548.8740	548.87
9	733.405	733.4045	733.40
10	758.370	758.3703	758.37

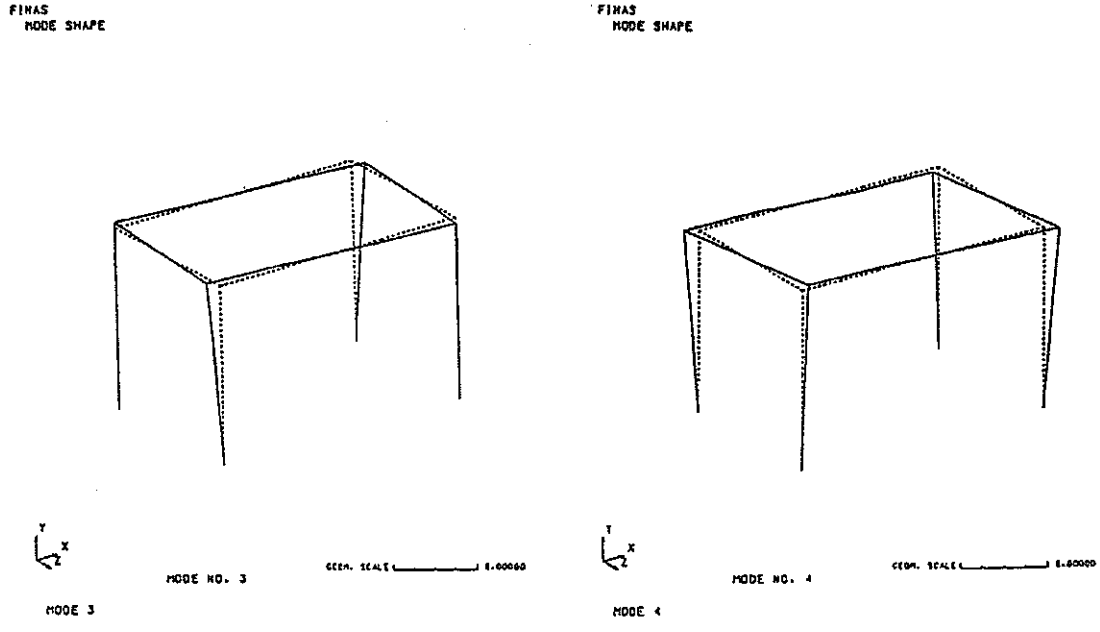
表 3.1.2-3　2 乗平均した変位、速度、加速度

成　分	節点番号	FINAS	NASTRAN	ASKA
変　位 U_x[in]	2, 7, 11, 15	7.14714×10^{-4}	8.163120×10^{-4}	7.4172×10^{-4}
	3, 6, 10, 14	1.59412×10^{-3}	1.754456×10^{-3}	1.5941×10^{-3}
	4, 5, 17, 18	1.59613×10^{-3}	1.756662×10^{-3}	1.5961×10^{-3}
	9, 13	1.61930×10^{-3}	1.782164×10^{-3}	1.6193×10^{-3}
速　度 U_x[in/sec]	2, 7, 11, 15	5.18304×10^{-1}	5.704326×10^{-1}	
	3, 6, 10, 14	1.11396	1.226001	
	4, 5, 17, 18	1.11536	1.227542	
	9, 13	1.13155	1.245363	
加速度 U_x[in/sec^2]	2, 7, 11, 15	3.62187×10^{2}	3.986140×10^{2}	3.6607×10^{2}
	3, 6, 10, 14	7.78428×10^{2}	8.567200×10^{2}	7.7848×10^{2}
	4, 5, 17, 18	7.79407×10^{2}	8.577974×10^{2}	7.7947×10^{2}
	9, 13	7.90722×10^{2}	8.702502×10^{2}	7.9418×10^{2}

PNC N941 85-172



a) モード 1　　b) モード 2



c) モード 3　　d) モード 4

図 3.1.2-3　振動モード

(4) 入力データ

表 3.1.2-4　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     MODAL SPECTRUM RESPONSE ANALYSIS(VELOCITY IS GIVEN.)
DYNAMIC   M    SR
CONTROL
     EIGENVALUE        10
MODEL
NODE PITCH
    1           10.0      8.625
    2          8.625       10.0
NODE
    1                       0.0        0.0        0.0                2    1          3
    3                       0.0     18.625        0.0
    4                     8.625     18.625        0.0
    5                    18.625     18.625        0.0
    6                     27.25     18.625        0.0                2    2          8
    8                     27.25        0.0        0.0
    9                     27.25     18.625      8.625
   10                     27.25     18.625      17.25                2    2         12
   12                     27.25        0.0      17.25
   13                       0.0     18.625      8.625
   14                       0.0     18.625      17.25                2    2         16
   16                       0.0        0.0      17.25
   17                     8.625     18.625      17.25
   18                    18.625     18.625      17.25
  110                       0.0     18.625       20.0
  120                     27.25     18.625       20.0
  210                      30.0     18.625      17.25
  310                     27.25       20.0        0.0
  320                     27.25       20.0      17.25
ELEMENT TYPE
    1     SBEAM2
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2  110
    2    1    1    1    2    3  110
    3    1    1    1    3    4  310
    4    1    1    1    4    5  310
    5    1    1    1    5    6  310
    6    1    1    1    7    6  120
    7    1    1    1    8    7  120
    8    1    1    1    8    9  210
    9    1    1    1    9   10  210
   10    1    1    1   11   10  120
   11    1    1    1   12   11  120
   12    1    1    1    3   13  210
   13    1    1    1   13   14  210
   14    1    1    1   15   14  110
   15    1    1    1   16   15  110
   16    1    1    1   14   17  320
   17    1    1    1   17   18  320
   18    1    1    1   18   10  320
GEOMETRY
    1    6 1.0745315 0.5372657 0.5372657 0.6657471 0.6657471 1.3314942
BOUNDARY
    1
              1    8    7          2    6
             12   16    7          2    6
    2
              1    8    7          1
             12   16    4          1
MATERIAL
    1
         E          27.9E6
```

```
          NU        0.3
ADD MASS
              2    4    2         1    3   0.00894   0.00894   0.00894
              5   17    2         1    3   0.00894   0.00894   0.00894
             18                   1    3   0.00894   0.00894   0.00894
              3    6    3         1    3   0.02538   0.02538   0.02538
             10   14    4         1    3   0.02538   0.02538   0.02538
SPECTRUM
         2        1.0       1.0       0.0       0.0
         1    9
                  0.0     0.001       0.0     0.005       1.0     0.025       1.3
                        0.0333      30.0     0.125     130.0       0.5     160.0
                          1.11      30.0       5.0      17.0      40.0      17.0
RESPONSE
     TIME
          BOUN     1       1.0         2       1.0
END MODEL
OUTPUT
MSET1          1    1
MSET1          2    2
MSET1          3    3
MSET1          4    4
MSET1          5    5
PRINT SELECT
MODE      ALL
STRUCTURE PLOT
AXES           Z    X    Y
VIEW      0.0       23.17     34.27
IPLOT               NODES
PTITLE    MODE 1
MPLOT               1
PTITLE    MODE 2
MPLOT               2
PTITLE    MODE 3
MPLOT               3
PTITLE    MODE 4
MPLOT               4
PTITLE    MODE 5
MPLOT               5
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

3.1.3 モーダル法による円筒タンクの動的応答解析

(1) 問題

図 3.1.3-1 に示すような半径 880mm、高さ 2362mm、厚さ 10.0 の水を満たした円筒タンクに動的荷重が作用する問題をモーダル応答解析で行なう。[25] モード解析においては、低次よりスロッシング 1 次、2 次の固有値を個別に計算し、ユーティリティープログラムFNSEDITの固有値マージング機能を用いて 1 本の固有値ファイルを作成し、このファイルを用いて応答解析のリスタートを行なう。

材料定数はタンク部では弾性係数 1.98×10^{4}kg/mm^{2}、ポアソン比 0.3、質量密度 7.551×10^{-10}kg・sec/mm^{4} および流体部では質量密度 1.019×10^{-10}kg/sec/mm^{4} とする。

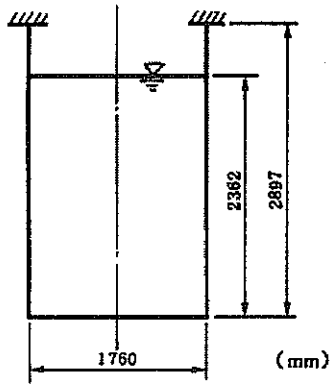


図 3.1.3-1　水を満たした円筒タンク

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 3.1.3-2 に示すように、有限要素モデルは 8 節点六面体流体要素 LHEX8、4 節点四辺形自由表面要素 SQFAC4、4 節点四辺形流体構造境界要素 IQFAC4、4 節点四辺形平板シェル要素 QFLA4R を用い、半径方面 8 分割、高さ方向 8 分割、周方向 8 分割の立体 1/2 モデルを作成する。境界条件はタンクの上端部を完全拘束、構造の対称面で対称条件を与える。負荷条件として構造の上端に正弦共振三波を入力し 8 秒まで応答解析を行なう。変位振幅は 19.8mm とし、入力波の振動数は固有値解析から得られるスロッシング 1 次の固有振動数を用いる。モード減衰比は、1 次モードおよび 2 次モードに対して、それぞれ 0.1 (%)、0.17 (%) とする。

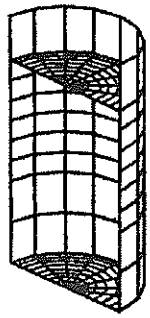


図 3.1.3-2　有限要素モデル

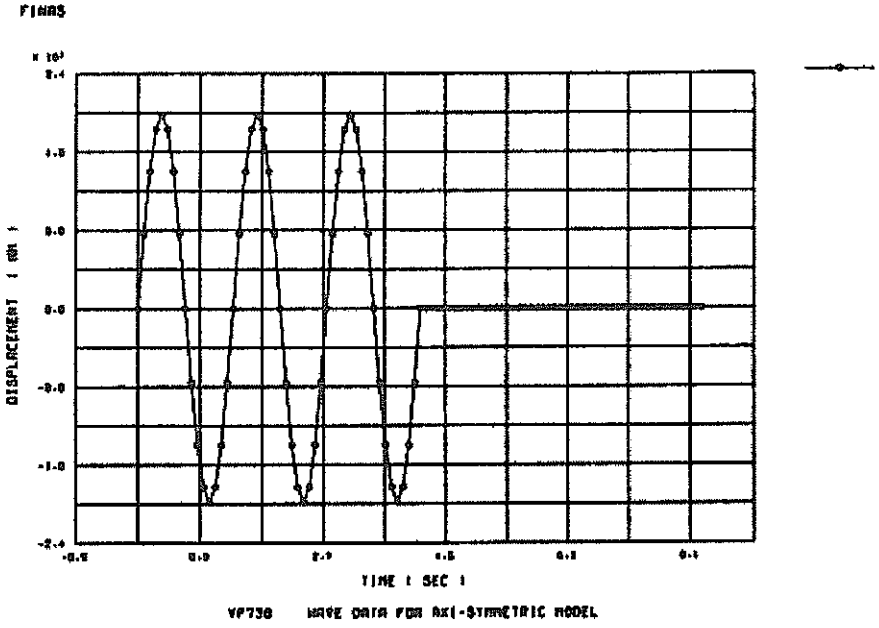


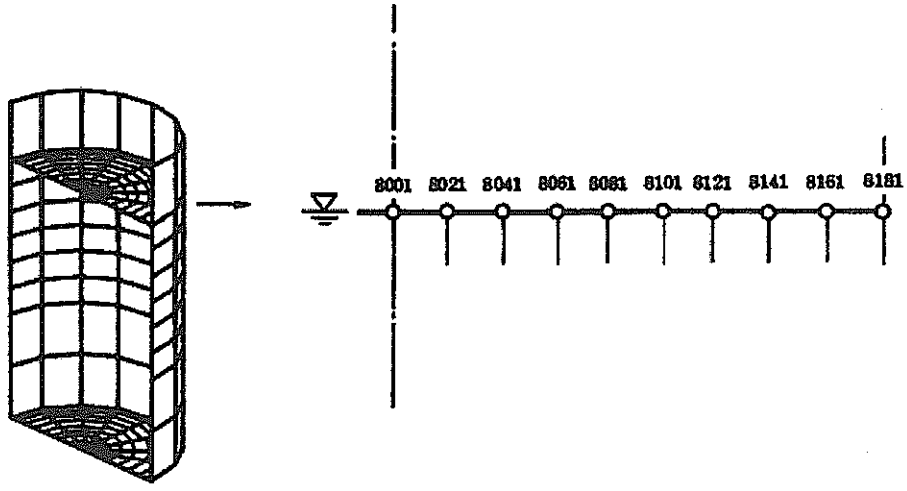
図 3.1.3-3　入 力 波

(3) 解析結果

図 3.1.3-4 に時刻歴図、表 3.1.3-1 に最大応力値を実験値[25]と比較して示す。

表 3.1.3-1　最大応力値の比較

	FINAS	実験
時 刻(sec)	4.7936	
応答値(mm)	279.28	286.0


8001 8021 8041 8061 8081 8101 8121 8141 8161 8181

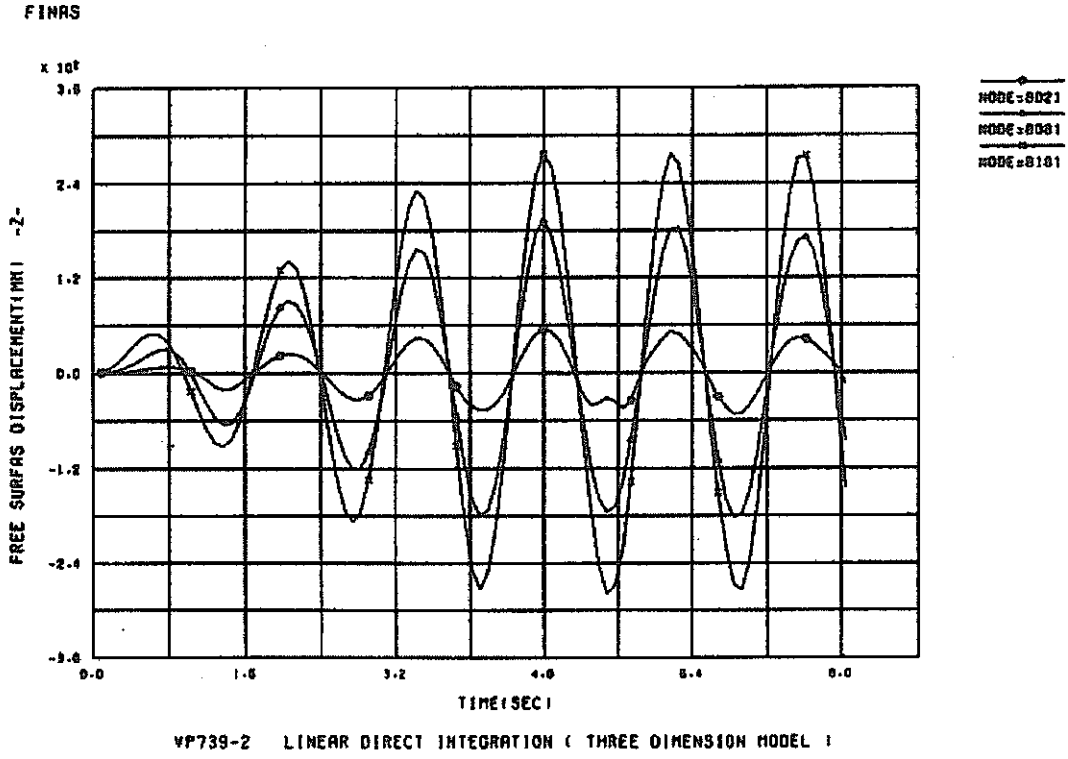

FINAS
FREE SURFAS DISPLACEMENT(MM) -Z-
TIME(SEC)
NODE=8021
NODE=8081
NODE=8181
VP739-2 LINEAR DIRECT INTEGRATION (THREE DIMENSION MODEL)

図 3.1.3-4 時刻履歴

(4) 入力データと解析結果のリスト

a．入力データ

・固有値解析

表 3.1.3-2　入力データイメージ（1 回目）

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0

SYSTEM 0/0
FINAS
TITLE     VP738-21
SUBTITLE  STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL ( MODE ANALYSIS )
NOPRINT   DES
DYNAMIC   N
CONTROL
     EIGENVALUE         1  100   1.0E-3       20.0      25.0              1
SAVE
$.. MODEL DATA
MODEL
COORDINATE SYSTEM
1    2                    0.0       0.0                 10.0       0.0
                          0.0      10.0
NODE
$ ...... LEVEL 0-2
**NLOOP2       3 1000                          472.4
   1     1                0.0       0.0
**NLOOP1       8   20     100.0
  21     1               100.0       0.0                        8         1  29
  29     1               100.0     180.0
**END1
 181     1               880.0       0.0                        8         1 189
 189     1               880.0     180.0
**END2
$
$ ...... LEVEL 3-8
**NLOOP2       6 1000                          236.2
3001     1                0.0       0.0    1181.0
**NLOOP1       8   20     100.0
3021     1               100.0       0.0    1181.0               8         1 3029
3029     1               100.0     180.0    1181.0
**END1
3181     1               880.0       0.0    1181.0               8         1 3189
3189     1               880.0     180.0    1181.0
**END2
$
$ ...... LEVEL 9
9181     1               880.0       0.0    2897.0               8         1 9189
9189     1               880.0     180.0    2897.0
$
ELEMENT TYPE
    1     QFLA4R
    2     LHEX8
    3     IQFAC4
    4     SQFAC4
CONNECTION
$ ..... STRUCTURE (QFLA4R)
**ELOOP1       9   10 1000 1000 1000 1000
1        1   11   11  181  182 1181 1182                        8    1
**END1
$ ..... BOTTOM
**ELOOP1       8    1    0    1    1    1
501      1   11   11    1   21   22   22
**END1
**ELOOP1       8   10   20   20   20   20
511      1   11   11   21   41   22   42                        8    1
**END1
$
$ ..... STRUCTURE FSI ELEMENT (IQFAC4)
**ELOOP1       8   10 1000 1000 1000 1000
```

```
2001     3            182  181 1182 1181                        8    1
**END1
$ ..... BOTTOM
**ELOOP1      8    1    0    1    1    1
2501     1   11   11    1   21   22   22
**END1
**ELOOP1      8   10   20   20   20   20
2511     1   11   11   21   41   22   42                        8    1
**END1
$
$ ..... FLUID  (LHEX8)
**ELOOP1      8   10    0    1    1    1    0    1    1    1
1001     2       21    1   21   22   22 1001 1021 1022 1022    8 1000
**END1
**ELOOP1      8  100   20   20   20   20   20   20   20   20
1101     2       21   21   41   22   42 1021 1041 1022 1042    8    1    8 1000
**END1
$
$ ..... STRUCTURE FREE SURFAS ELEMENT (SQFAC4)
**ELOOP1      8    1    0    1    1    1
3001     4   41   41 8001 8021 8022 8022
**END1
**ELOOP1      8   20   20   20   20   20
3011     4   41   41 8021 8041 8022 8042                        8    1
**END1
$
GEOMETRY
   11    1    10.0
   41    1  9807.0
MATERIAL
   11
          E            1.98E+4
          NU               0.3
          RHO        7.551E-10
   21
          RHO        1.019E-10
   41
          RHO        1.019E-10
BOUNDARY
    1
            1                    7
            1                    2
           21  181    20         2
           29  189    20         2
            1                    4
           21  181    20         4
           29  189    20         4
            1                    6
           21  181    20         6
           29  189    20         6
         9181 9189     1         2    6
$
    2
         9181 9189     1         1            1.0
$
RESPONSE
     TIME
          BOUN     1
          DISP     2        1.0
END MODEL
END FINAS
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
```

表 3.1.3-3　入力データイメージ（2 回目）

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0

SYSTEM 0/0
FINAS
TITLE      VP738-22
SUBTITLE   STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL ( MODE ANALYSYS )
NOPRINT    DES
DYNAMIC    M
CONTROL
     EIGENVALUE          1  100   1.0E-3       60.0       70.0                1
RESTART
SAVE
MODEL
END MODEL
END FINAS
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
```

・固有値マージング解析

表 3.1.3-4　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
MERGE RESTART TAPES=2 TYPE=EIGEN
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

・モーダル応答解析

表 3.1.3-5　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM 0/0
FINAS
TITLE     VP738-23
SUBTITLE  STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL   ( MODAL RESPONSE )
DIAG      4/1
NOPRINT   DESCR
DYNAMIC   M    MR
RESTART
SAVE
MODEL
TIME SERIES
    1
     F2      97          0.0856
              0.0        7.5771   14.0007   18.2928   19.8000   18.2928   14.0007
              7.5771     0.0000   -7.5771  -14.0007  -18.2928  -19.8000  -18.2928
            -14.0008    -7.5773   -0.0003    7.5768   14.0005   18.2926   19.8000
             18.2930    14.0011    7.5777    0.0007   -7.5764  -14.0001  -18.2925
            -19.8000   -18.2932  -14.0014   -7.5781   -0.0011    7.5760   13.9998
             18.2923    19.8000   18.2934   14.0018    7.5785    0.0016   -7.5755
            -13.9994   -18.2921  -19.8000  -18.2936  -14.0021   -7.5790   -0.0023
              0.0        0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
              0.0        0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
              0.0        0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
              0.0        0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
              0.0        0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
              0.0        0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
              0.0        0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
DAMPING
     F1       2          0.1E-2   0.17E-2
RESPONSE
     TIME        8.0     1
          BOUN     1
          DISP     2        1.0    1
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
DISP       NONE
VELO       NONE
ACCE       NONE
ELM        NONE
ELFO       NONE
REAC       NONE
PRESS      NONE
WAVEH      NONE
MODE       NONE
XDISP      NONE
XVELO      NONE
XACCE      NONE
XELM       NONE
XELFO      NONE
XPRESS     NONE
XWAVEH      ALL
XYPLOT
PTITLE    VP738-23  LINEAR DIRECT INTEGRATION ( THREE DIMENSION MODEL )
FRAME     A4H
CURVE        1              10NODE=8021
CURVE        2              10NODE=8081
CURVE        3              10NODE=8181
PTITLE    TIME(SEC)
YTITLE    FREE SURFAS DISPLACEMENT(MM)  -Z-
PLOT1     WAVEH 8021     WAVEH 8081     WAVEH 8181                          RTIME
END OUTPUT
```

```
END FINAS
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
```

b．解析結果のリスト

表 3.1.3-6　解析結果のリスト（モーダル応答解析）

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM O/O
1                                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     1


                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                                1         2         3         4         5         6         7         8
                       1.....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                       FINAS
                       TITLE     VP738-23
                       SUBTITLE  STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL   ( MODAL RESPONSE )
                       DIAG      4/1
                       NOPRINT   DESCR
                       DYNAMIC   M    MR
                       RESTART
                       SAVE
1    VP738-23                                                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     2
     STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL   ( MODAL RESPONSE )

                                          M O D E L   D A T A   I M A G E
0                                1         2         3         4         5         6         7         8
                       1.....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 0-    MODEL
                 1-    TIME SERIES
                 2-        1
                 3-        F2      97        0.0856
                 4-                 0.0       7.5771   14.0007   18.2928   19.8000   18.2928   14.0007
                 5-                 7.5771    0.0000   -7.5771  -14.0007  -18.2928  -19.8000  -18.2928
                 6-               -14.0008   -7.5773   -0.0003    7.5763   14.0005   18.2926   19.8000
                 7-                18.2930   14.0011    7.5777    0.0007   -7.5784  -14.0001  -18.2925
                 8-               -19.8000  -18.2932  -14.0014   -7.5781   -0.0011    7.5780   13.9999
                 9-                18.2923   19.8000   18.2934   14.0018    7.5785    0.0016   -7.5755
                10-               -13.9994  -18.2921  -19.8000  -18.2936  -14.0021   -7.5790   -0.0023
                11-                 0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
                12-                 0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
                13-                 0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
                14-                 0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
                15-                 0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
                16-                 0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
                17-                 0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
                18-    DAMPING
                19-        F1      2         0.1E-2    0.17E-2
                20-    RESPONSE
                21-        TIME        8.0    1
                22-            BOUN     1
                23-            DISP     2       1.0    1
                24-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  1152.  DATA GROUP NAME- CONTROL
         WHILE THE RANGE OF EIGENVALUES IS SPECIFIED. NUMBER OF EIGENVALUES TO EXTRACT WILL BE OVERWRITTEN.
0*** USER WARNING MESSAGE  4801.   MATERIAL ID    21
         ELASTIC MODULAS IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID    21
         POISSON RATIO IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4801.   MATERIAL ID    41
         ELASTIC MODULAS IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID    41
         POISSON RATIO IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  2836.  CARD NUMBER     17.  DATA GROUP NAME- TIME SERIES
         NUMBER OF TIME SERIES DATA     97 IS NOT EQUAL TO ACTUAL COUNT     98
1    VP738-23                                                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     3
     STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL   ( MODAL RESPONSE )

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                                1         2         3         4         5         6         7         8
                       1.....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                       OUTPUT
                       PRINT SELECT
                       DISP      NONE
                       VELO      NONE
                       ACCE      NONE
                       ELM       NONE
                       ELFO      NONE
                       REAC      NONE
                       PRESS     NONE
                       WAVEH     NONE
                       MODE      NONE
                       XDISP     NONE
                       XVELO     NONE
                       XACCE     NONE
                       XELM      NONE
                       XELFO     NONE
                       XPRESS    NONE
                       XWAVEH     ALL
                       XYPLOT
                       PTITLE    VP738-23  LINEAR DIRECT INTEGRATION ( THREE DIMENSION MODEL )
                       FRAME     A4H
                       CURVE        1            10NODE=8021
                       CURVE        2            10NODE=8081
                       CURVE        3            10NODE=8181
                       PTITLE    TIME(SEC)
                       YTITLE    FREE SURFAS DISPLACEMENT 0&0   -Z-
                       PLOT1     WAVEH 8021     WAVEH 8081     WAVEH 8181                        RTIME
```

```
                END OUTPUT
                END FINAS
1   VP738-23                                                    FINAS  VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    4
    STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL   ( MODAL RESPONSE )

                        M A X I M U M   F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T
0     POINT-ID          ETA

          8001        -4.35814E-04
          8021        -5.10732E+01
          8022        -4.71853E+01
          8023        -3.61140E+01
          8024        -1.95448E+01
          8025        -2.92676E-04
          8026         1.95442E+01
          8027         3.61132E+01
          8028         4.71842E+01
          8029         5.10717E+01
          8041        -1.00301E+02
          8042        -9.26853E+01
          8043        -7.09219E+01
          8044        -3.93821E+01
          8045        -1.00805E-04
          8046         3.93818E+01
          8047         7.09216E+01
          8048         9.26849E+01
          8049         1.00300E+02
          8061        -1.48234E+02
          8062        -1.35100E+02
          8063        -1.03397E+02
          8064        -5.59557E+01
          8065         4.74343E-05
          8066         5.59558E+01
          8067         1.03397E+02
          8068         1.35100E+02
          8069         1.48234E+02
          8081        -1.87433E+02
          8082        -1.73159E+02
          8083        -1.32520E+02
          8084        -7.17138E+01
          8085         1.51227E-04
          8086         7.17141E+01
          8087         1.32520E+02
          8088         1.73160E+02
          8089         1.87433E+02
          8101        -2.22817E+02
          8102        -2.05853E+02
          8103        -1.57382E+02
          8104        -8.51651E+01
          8105         2.20981E-04
          8106         8.51658E+01
          8107         1.57383E+02
          8108         2.05858E+02
          8109         2.22817E+02
          8121        -2.50712E+02
          8122        -2.31803E+02
          8123        -1.77225E+02
1   VP738-23                                                    FINAS  VERSION 13.0   01/22/98    PAGE    5
    STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL   ( MODAL RESPONSE )

                        M A X I M U M   F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T
0     POINT-ID          ETA

          8124        -9.58993E+01
          8125         2.70800E-04
          8126         9.58998E+01
          8127         1.77226E+02
          8128         2.31803E+02
          8129         2.50713E+02
          8141        -2.70897E+02
          8142        -2.50232E+02
          8143        -1.91466E+02
          8144        -1.03802E+02
          8145         3.09888E-04
          8146         1.03803E+02
          8147         1.91466E+02
          8148         2.50233E+02
          8149         2.70898E+02
          8161        -2.92826E+02
          8162        -2.61040E+02
          8163        -1.99719E+02
          8164        -1.08067E+02
          8165         3.38116E-04
          8166         1.08068E+02
          8167         1.99720E+02
          8168         2.61040E+02
          8169         2.92827E+02
          8181        -2.85764E+02
          8182        -2.63906E+02
          8183        -2.01805E+02
          8184        -1.09250E+02
          8185         3.43458E-04
          8186         1.09250E+02
```

```
        8187          2.01906E+02
        8188          2.63909E+02
        8189          2.85765E+02
1   VP738-23                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     6
    STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL   ( MODAL RESPONSE )


      X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT   1.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    1.       TIME(SEC)
0                 CURVE  1, WAVE     ALONG RTIME
                            YMIN(ALL DATA)=-5.10732E+01  AT X= 4.79360E+00   YMAX(ALL DATA)= 5.09183E+01  AT X= 5.47840E+00
0                 CURVE  2, WAVE     ALONG RTIME
                            YMIN(ALL DATA)=-1.87433E+02  AT X= 4.79360E+00   YMAX(ALL DATA)= 1.98885E+02  AT X= 5.47840E+00
0                 CURVE  3, WAVE     ALONG RTIME
                            YMIN(ALL DATA)=-2.85764E+02  AT X= 4.79360E+00   YMAX(ALL DATA)= 2.84898E+02  AT X= 5.47840E+00
1   VP738-23                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     7
    STRUCTURE-FLUID THREE DIMENSION MODEL   ( MODAL RESPONSE )

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . DYNAMIC M   MR     RESTART
0       NUMBER OF TIME STEPS . . . . . . . . . .        94          ( FROM     1 TO    94 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .       928
+                                                                   (     216*QFLA4R  )
                                                                    (     576*LHEX8   )
                                                                    (      64*IQFAC4  )
                                                                    (      72*SQFAC4  )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .       747
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .       1695
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          66
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          57.8
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .         0.1         ( 11.32 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .         0.1         (  9.43 % )
0       STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . .          0.1         (  5.66 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .         0.7         ( 73.58 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .          0.9 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .        274 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .      1301 BLOCKS
```

3.2 直接積分法

3.2.1 片持ち梁の衝突振動解析

(1) 問題

高温配管系における管と支持構造物間には、熱膨張差を逃がすために、ギャップが設けられている。地震荷重や管破断のジェット力により配管が振動すると、配管と支持構造物間において衝突振動が起きる。このようなギャップを有する衝突振動問題を解析するために、図 3.2.1-1 に示すような下端固定、上端自由の長さ 20in、断面の縦、横の長さ 2.213364in の片持ち梁において、上端部がギャップを介して両側の支持構造物と衝突するような構造を設定する。なお、支持構造物はバネとダッシュポットから構成される。

梁の弾性係数 30×10^{6}psi、ポアソン比 0.3、質量密度は 6.8920×10^{-4}lb・sec/in^{4} および断面 2 次モーメント 2.0in^{4} とする。支持構造物のバネ定数は 2.0×10^{5}lb/in、減衰定数 10.0688 lb/sec/in とする。梁と支持構造物とのギャップ幅は 0.5×10^{-5}in とする。

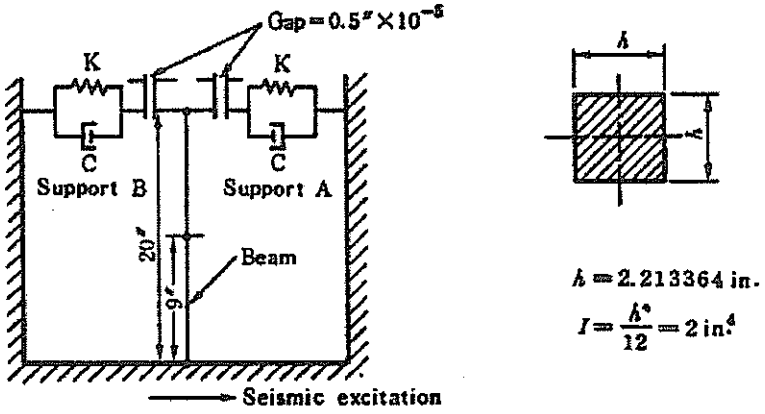


図 3.2.1-1　解析モデル

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 3.2.1-2 に示されるように有限要素モデルは 3 次元弾性梁要素 SBEAM2、バネ減衰要素 LCOMB2 を用いて行なう。境界条件は表 3.2.1-1 に示す。

表 3.2.1-1　境界条件

	拘束条件
地盤節点	$U_y=U_z=\theta_x=\theta_y=\theta_z=0$、$U_x$ に加速度
拘束節点	$U_x=U_y=U_z=\theta_x=\theta_y=\theta_z=0$
他の節点	$U_z=\theta_x=\theta_y=0$

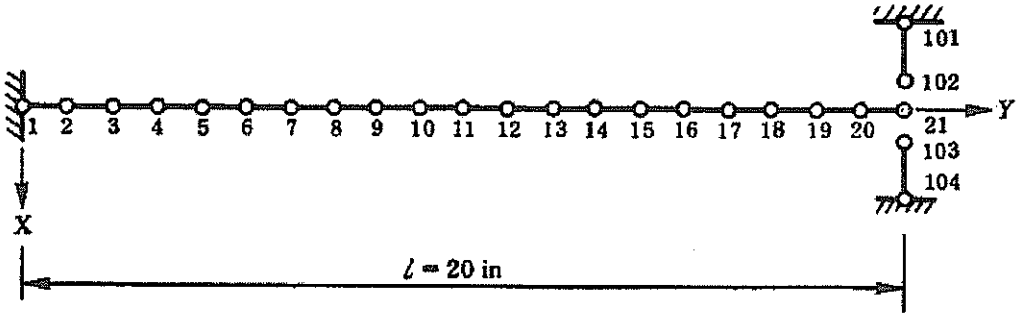


図 3.2.1-2　有限要素モデル

負荷条件は地盤節点(1)の X 方向自由度に図 3.2.1-3 に示すような地震による加速度を与える。時間積分刻みは$\Delta t=3.125\times10^{-5}$sec の 512 ステップで解析する。時間積分法は Nemark-β 法を適用する。

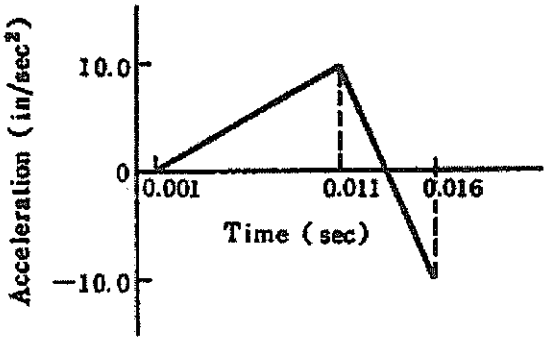


図 3.2.1-3　地震加速度

また、梁と支持構造物とのギャップ部は“PAIR NODES”機能により図 3.2.1-4 に示されるようにギャップ、バネ、ダッシュポットモデルとする。ギャップとバネの剛性はともに支持構造物のバネ定数の 2 倍とする。

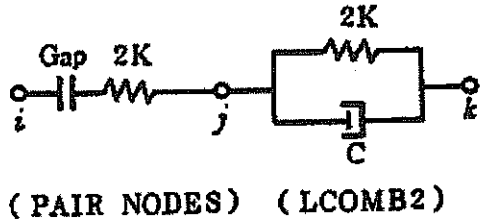
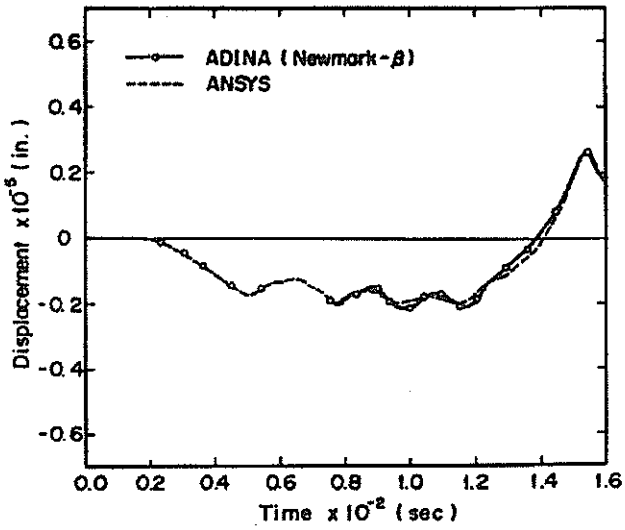
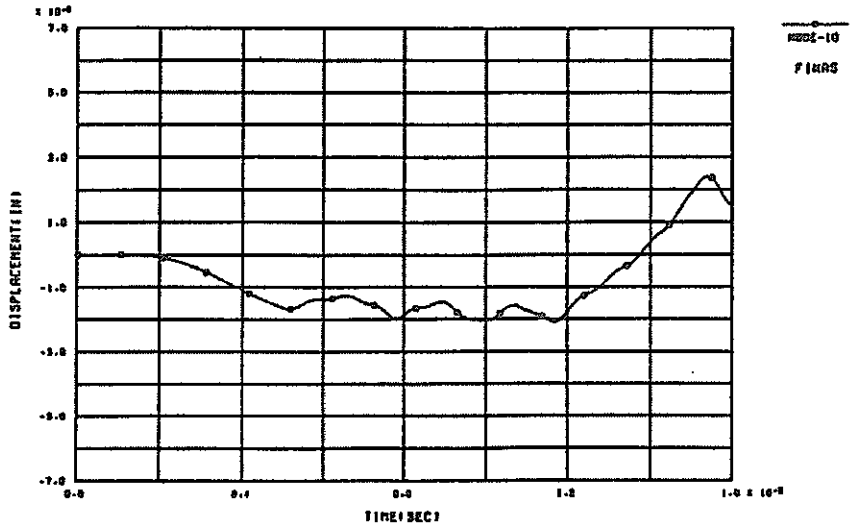


図 3.2.1-4　ギャップ・バネ・ダッシュポットモデル

(3) 解析結果

FINAS、ANSYS、ADINA および WECAN の解析結果を図 3.2.1-5 から図 3.2.1-8 に示す。図 3.2.1-5 は中間節点 10 の時刻歴変位、図 3.2.1-6 は上端節点 21 の時刻歴変位、図 3.2.1-7 はサポートＢの時刻歴バネ反力、図 3.2.1-8 はダッシュポットの時刻歴反力を示したものである。





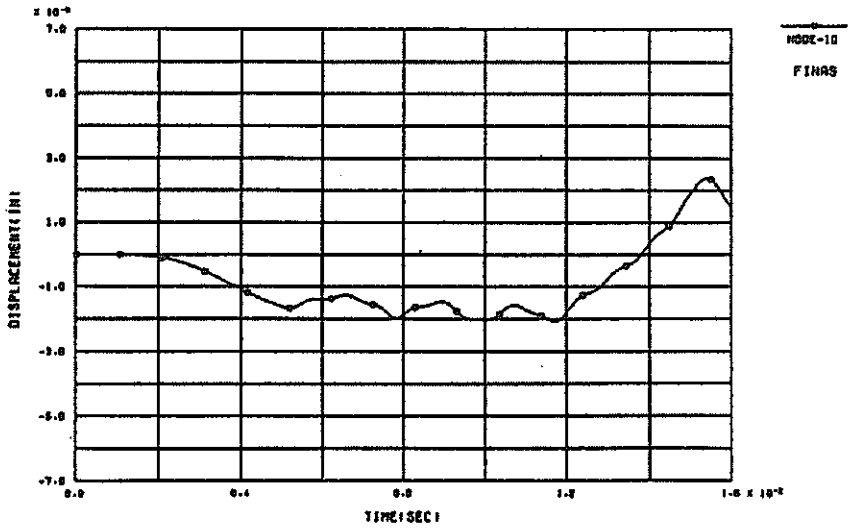


図 3.2.1-5　節点 10 における変位の時刻歴応答

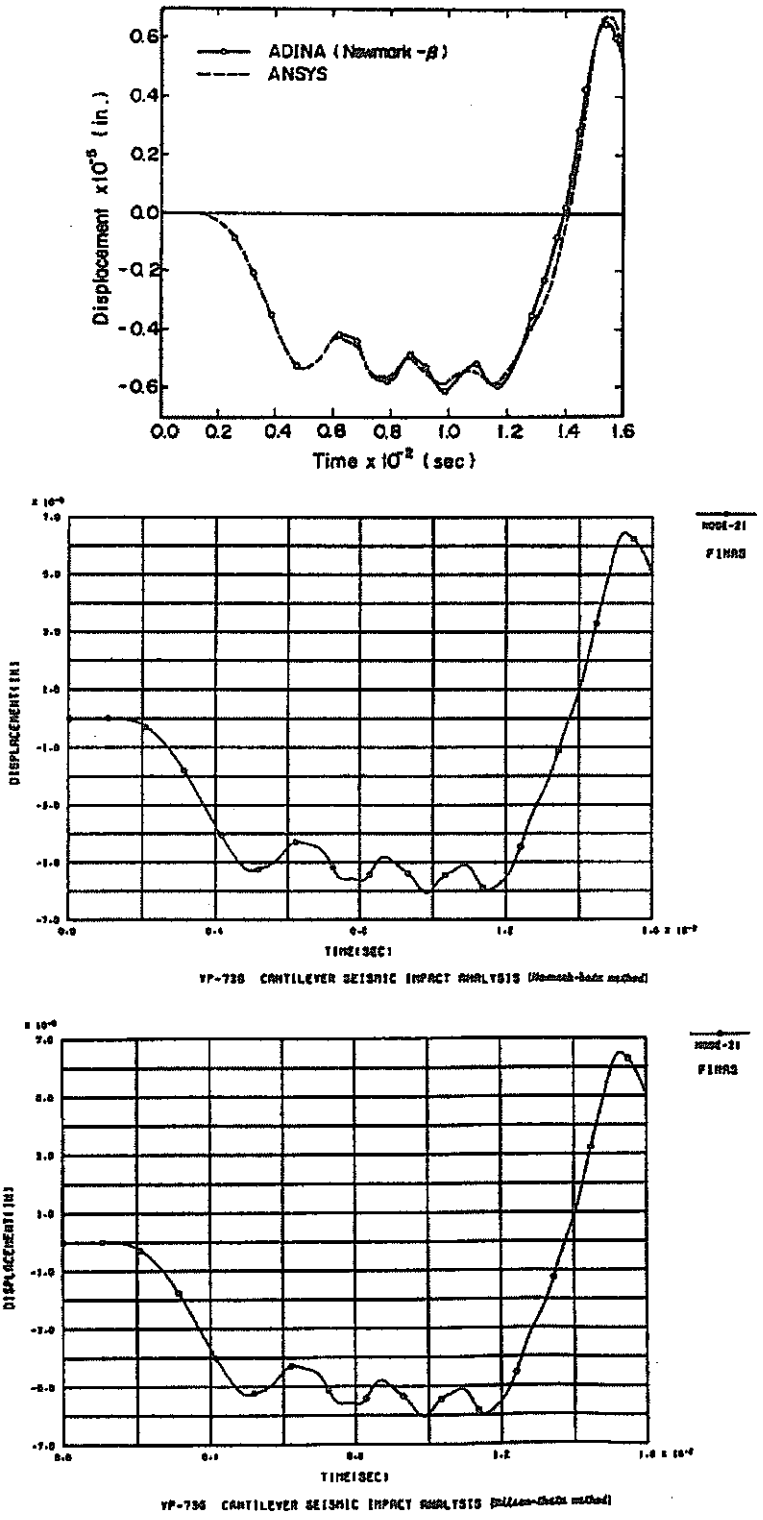


図 3.2.1-6　節点 21 における変位の時刻歴応答

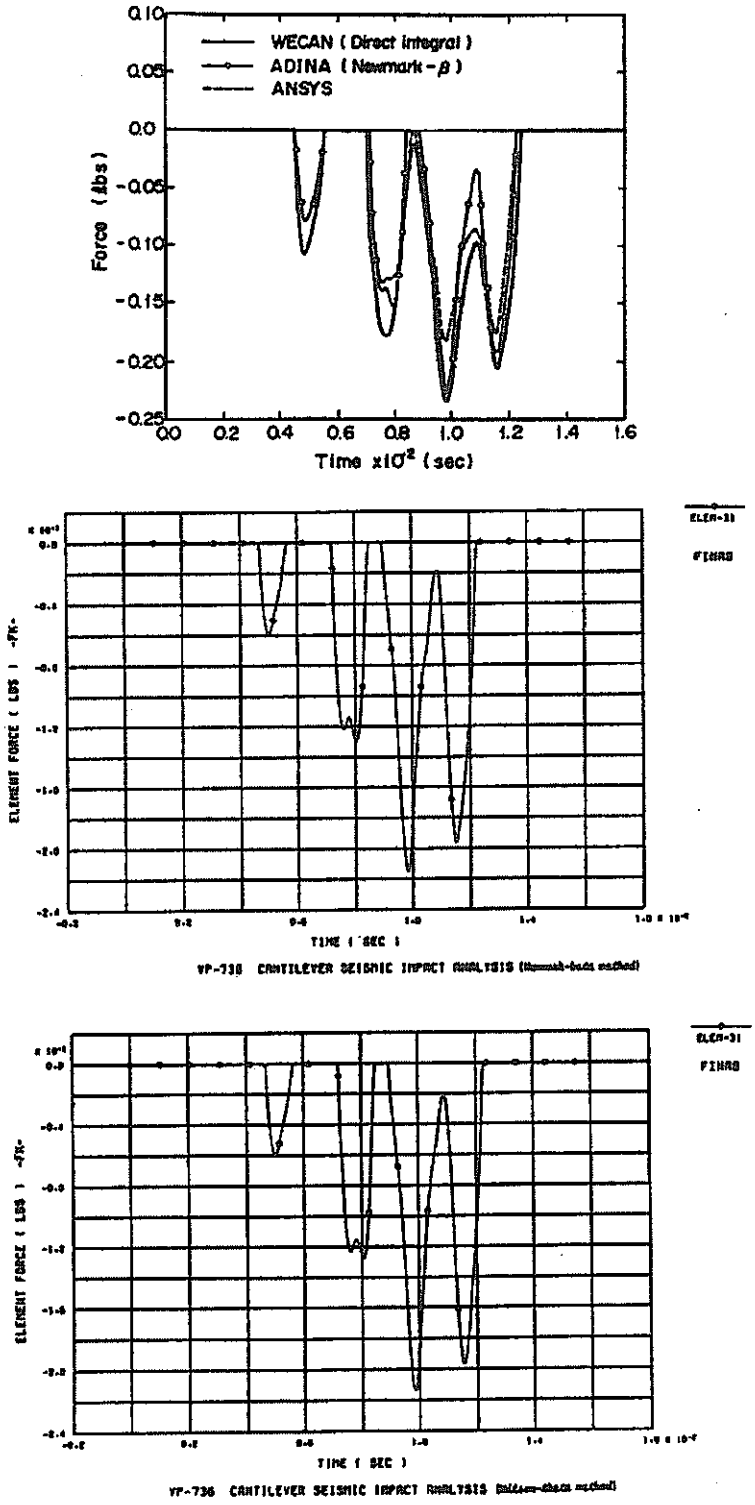


図 3. 2. 1-7　サポート B におけるばねの反力の時刻歴応答

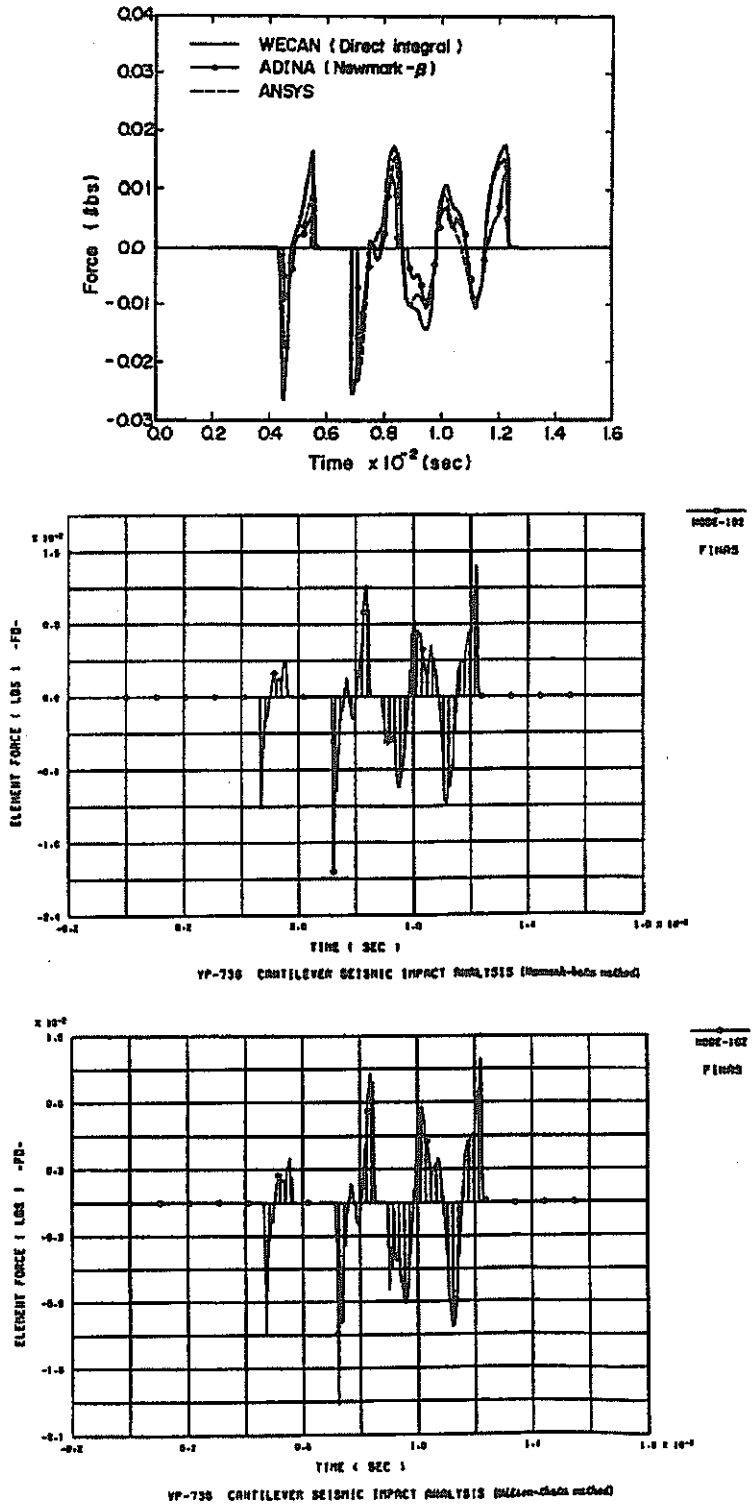


図 3.2.1-8　サポートＢにおけるダッシュポットの反力の時刻歴応答

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 3.2.1-2　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0

SYSTEM    0/0
FINAS
NOPRINT   DES
DYNAMIC   LD
TITLE     VP 736-1
SUBTITLE  CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)
CONTROL
$    PAIR NODE     0    2  102    1   21    0                4.0E5
     PAIR NODE     0    1  102    0   21    0                4.0E5
                   0    1  103    0   21    0                4.0E5
MODEL
NODE
    1                     0.0       0.0                      20            21
   21                     0.0      20.0
  100                    -2.0      20.0
  101                    -1.0      20.0
  102                 -0.5E-5      20.0
  103                  0.5E-5      20.0
  104                     1.0      20.0
ELEMENT TYPE
    1     SBEAM2
    2     LCOMB2
CONNECTION
**ELOOP1     20    1    1    1    0
    1    1    1    1    1    2  100
**END1
   31    2    2       101  102
   41    2    2       103  104
GEOMETRY
    1    5   4.89898                          2.0       2.0
    2    2   4.0E5     10.0688
MATERIAL
    1
         E              30.0E6
         RHO         6.8920E-4
         NU               0.3
BOUNDARY
    1
             1                   2    6
             2   20              3    5
           102  103              2    6
           101  104    3         1    6
    2
             1                   1           1.0
TIME SERIES
    1
     F2      17         1.0E-3
                 0.0       0.0       1.0       2.0       3.0       4.0       5.0
                 6.0       7.0       8.0       9.0      10.0       6.0       2.0
                -2.0      -6.0     -10.0
RESPONSE
     TIME     1.6E-2   32
         BOUN     1
         ACCE     2       1.0    1
END MODEL
OUTPUT
ESET1         1   31
NSET1         1  102
$POST TAPE
$ELFO          1
$VELO          1
```

```
XYPLOT
PTITLE    VP 736-1  CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)
XTITLE    TIME(SEC)
YTITLE    DISPLACEMENT(IN)
FRAME     A4H
CURVE        1              32 NODE-10
YRANGE     -0.7E-5     0.7E-5
PLOT1     DISP1   10                                                RTIME
PTITLE    VP 736-1  CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)
XTITLE    TIME(SEC)
YTITLE    DISPLACEMENT(IN)
FRAME     A4H
CURVE        1              32 NODE-21
YRANGE     -0.7E-5     0.7E-5
PLOT1     DISP1   21                                                RTIME
END OUTPUT
END FINAS
        1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
```

表 3.2.1-3　解析結果リスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM    0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1


                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                  FINAS
                  NOPRINT   DES
                  DYNAMIC   LD
                  TITLE     VP 736-1
                  SUBTITLE  CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)
                  CONTROL
                  $    PAIR NODE     0    2  102    1   21    0                4.0E5
                       PAIR NODE     0    1  102    0   21    0                4.0E5
                                     0    1  103    0   21    0                4.0E5
1     VP 736-1                                                     FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
      CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)

                                       M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
            0-    MODEL
            1-    NODE
            2-       1                   0.0      0.0                   20            21
            3-      21                   0.0     20.0
            4-     100                  -2.0     20.0
            5-     101                  -1.0     20.0
            6-     102                -0.5E-5     20.0
            7-     103                 0.5E-5     20.0
            8-     104                   1.0     20.0
            9-    ELEMENT TYPE
           10-       1     SBEAM2
           11-       2     LCOME2
           12-    CONNECTION
           13-    **ELOOP1     20    1    1    1    0
           14-       1    1    1    1    1    2  100
           15-    **END1
           16-      31    2    2       101  102
           17-      41    2    2       103  104
           18-    GEOMETRY
           19-       1    5   4.89898                        2.0      2.0
           20-       2    2   4.0E5     10.0888
           21-    MATERIAL
           22-       1
           23-            E            30.0E6
           24-            RHO        6.8920E-4
           25-            NU              0.3
           26-    BOUNDARY
           27-       1
           28-                1                  2    6
           29-                2   20             3    5
           30-              102  103             2    6
           31-              101  104    3        1    6
           32-       2
           33-                1                  1          1.0
           34-    TIME SERIES
           35-       1
           36-       F2      17         1.0E-3
           37-                  0.0      0.0      1.0      2.0      3.0      4.0      5.0
           38-                  6.0      7.0      8.0      9.0     10.0      6.0      2.0
           39-                 -2.0     -6.0    -10.0
           40-    RESPONSE
           41-       TIME     1.6E-2   32
           42-            BOUN     1
           43-            ACCE     2       1.0    1
           44-    END MODEL
1     VP 736-1                                                     FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
      CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                  OUTPUT
                  ESET1         1   31
                  NSET1         1  102
                  $POST TAPE
                  $ELFO          1
                  $VELO          1
                  XYPLOT
                  PTITLE    VP 736-1  CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)
                  XTITLE    TIME(SEC)
                  YTITLE    DISPLACEMENT(IN)
                  FRAME     A4H
                  CURVE         1            32 NODE-10
                  YRANGE      -0.7E-5     0.7E-5
                  PLOT1     DISP1   10                                          RTIME
                  PTITLE    VP 736-1  CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)
```

```
                XTITLE    TIME(SEC)
                YTITLE    DISPLACEMENT(IN)
                FRAME     A4H
                CURVE        1            32 NODE-21
                YRANGE      -0.7E-5      0.7E-5
                PLOT1     DISP1   21                                    RTIME
                END OUTPUT
                END FINAS
1   VP 736-1                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     4
    CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)

                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   149 )
                                                                                                TIME   4.6563E-03

       PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

     ( 102-   21)     CONTACT       -1.2587E-04  0.0000E+00  0.0000E+00
                      SLIDE:SLIDE    1.2587E-04  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   150 )
                                                                                                TIME   4.6875E-03

       PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

     ( 102-   21)     CONTACT       -2.0018E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                      SLIDE:SLIDE    2.0018E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   151 )
                                                                                                TIME   4.7188E-03

       PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

     ( 102-   21)     CONTACT       -3.1265E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                      SLIDE:SLIDE    3.1265E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   152 )
                                                                                                TIME   4.7500E-03

       PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

     ( 102-   21)     CONTACT       -3.4550E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                      SLIDE:SLIDE    3.4550E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
1   VP 736-1                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     5
    CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)

                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   153 )
                                                                                                TIME   4.7813E-03

       PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

     ( 102-   21)     CONTACT       -4.0637E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                      SLIDE:SLIDE    4.0637E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   154 )
                                                                                                TIME   4.8125E-03

       PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

     ( 102-   21)     CONTACT       -4.7909E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                      SLIDE:SLIDE    4.7909E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   155 )
                                                                                                TIME   4.8438E-03

       PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

     ( 102-   21)     CONTACT       -5.2356E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                      SLIDE:SLIDE    5.2356E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   156 )
                                                                                                TIME   4.8750E-03

       PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

     ( 102-   21)     CONTACT       -5.5110E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                      SLIDE:SLIDE    5.5110E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
1   VP 736-1                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     6
    CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)

                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   157 )
                                                                                                TIME   4.9063E-03

       PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

     ( 102-   21)     CONTACT       -5.7630E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                      SLIDE:SLIDE    5.7630E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
0
```

```
                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   500 )
                                                                                              TIME   1.5625E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -1.9930E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    1.9930E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   501 )
                                                                                              TIME   1.5656E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -1.8464E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    1.8464E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   502 )
                                                                                              TIME   1.5688E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -1.7064E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    1.7064E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   503 )
                                                                                              TIME   1.5719E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -1.5802E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    1.5802E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
1   VP 736-1                                                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    55
    CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)

                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   504 )
                                                                                              TIME   1.5750E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -1.4506E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    1.4506E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   505 )
                                                                                              TIME   1.5781E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -1.3040E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    1.3040E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   506 )
                                                                                              TIME   1.5813E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -1.1315E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    1.1315E-01  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   507 )
                                                                                              TIME   1.5844E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -9.2877E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    9.2877E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
1   VP 736-1                                                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    56
    CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)

                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   508 )
                                                                                              TIME   1.5875E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -7.0501E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    7.0501E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
0

                 I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   509 )
                                                                                              TIME   1.5906E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -4.7068E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    4.7068E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
0
```

```
                I N T E R A C T I O N   F O R C E   B E T W E E N   P A I R   N O D E S        ( STEP NUM.   510 )
                                                                                             TIME   1.5938E-02

        PAIR NODES     GAP STATUS        F1          F2          F3

      ( 103-   21)     CONTACT       -2.2805E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
                       SLIDE:SLIDE    2.2805E-02  0.0000E+00  0.0000E+00
1   VP 736-1                                                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    57
    CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)


      X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT   1.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    1.      VP 736-1  CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)
0                 CURVE  1, DISP1    ALONG RTIME
                            YMIN(ALL DATA)=-2.08553E-06  AT X= 1.16875E-02    YMAX(ALL DATA)= 2.39503E-06  AT X= 1.54063E-02
0     PLOT   2.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    2.      VP 736-1  CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)
0                 CURVE  1, DISP1    ALONG RTIME
                            YMIN(ALL DATA)=-6.07310E-06  AT X= 9.84375E-03    YMAX(ALL DATA)= 6.45845E-06  AT X= 1.52500E-02
1   VP 736-1                                                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    58
    CANTILEVER SEISMIC IMPACT ANALYSIS (NEWMARK)

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . .  DYNAMIC LD
0       NUMBER OF TIME STEPS . . . . . . . . .     512          ( FROM     1 TO   512 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .      22
+                                                               (      20*SBEAM2  )
                                                                (       2*LCOMB2  )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .     26
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .      68
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       5
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .     4.3
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .     0.0          (  2.50 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .     0.0          (  2.50 % )
0       STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . .      0.1          ( 20.00 % )
0       TIME STEP INTEGRATION . . . . . . . . .     0.4          ( 57.50 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .     0.1          ( 17.50 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .      0.7 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .     213 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .      0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

3.2.2 直接積分法による円筒タンクの動的応答解析

(1) 問題

図 3.2.2-1 に示すような半径 880mm、高さ 2362mm、厚さ 10.0mm の水を満たした円筒タンクに動的荷重が作用する問題を直接積分応答解析で行なう。[25] 材料定数はタンク部では弾性係数 1.98×10^{4}kg/mm^{2}、ポアソン比 0.3、質量密度 7.551×10^{-10}kg・sec/mm^{4} および流体部では質量密度 1.019×10^{-10}kg・sec/mm^{4} とする。

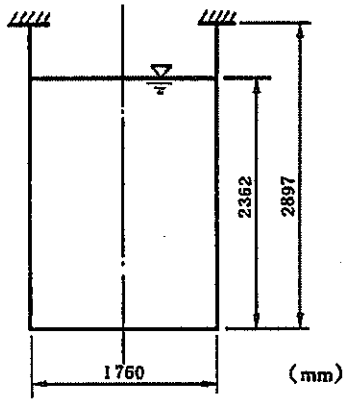


図 3.2.2-1　水を満たした円筒タンク

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 3.2.2-2 に示すように、有限要素モデルは 4 節点四辺形軸対称調和級流体要素 LNQAX4、2 節点軸対称調和級数自由表面要素 SNLAX2、2 節点軸対称調和級数流体構造境界要素 INLAX2、2 節点軸対称調和級数円錐台シェル要素 NCONC2 を用いて半径方向 8 分割、高さ方向 8 分割の軸対称モデルを作成する。境界条件は上端部を完全拘束、構造と自由表面の対称面で非対称条件を与える。

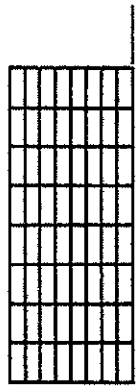


図 3.2.2-2　有限要素モデル

負荷条件としてタンクの上端に正弦共振三波を入力し、8 秒まで応答解析を行なう。変位振幅は 19.8mm とし、入力波の振動数は固有解析から得られるスロッシング１次の固有振動数を用いる。比例減衰（α、β）はモード減衰（ξ_1=0.1、ξ_2=0.17）より次式のように算定する。

$$[C] = \alpha\ [M] + \beta\ [K] \qquad (3.2.2\text{-}1)$$

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(\xi_2\omega_1 - \xi_1\omega_2)}{\omega_1^2 - \omega_2^2} = 7.556x10^{-4} \qquad (3.2.2\text{-}2)$$

$$\beta = \frac{2(\xi_2\omega_2 - \xi_1\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2} = 4.016x10^{-4} \qquad (3.2.2\text{-}3)$$

ここで、[C]は減衰マトッリっクス、[M] は質量マトリックス、[K] は剛性マトリックス、ω_i 固有振動数を表わす。

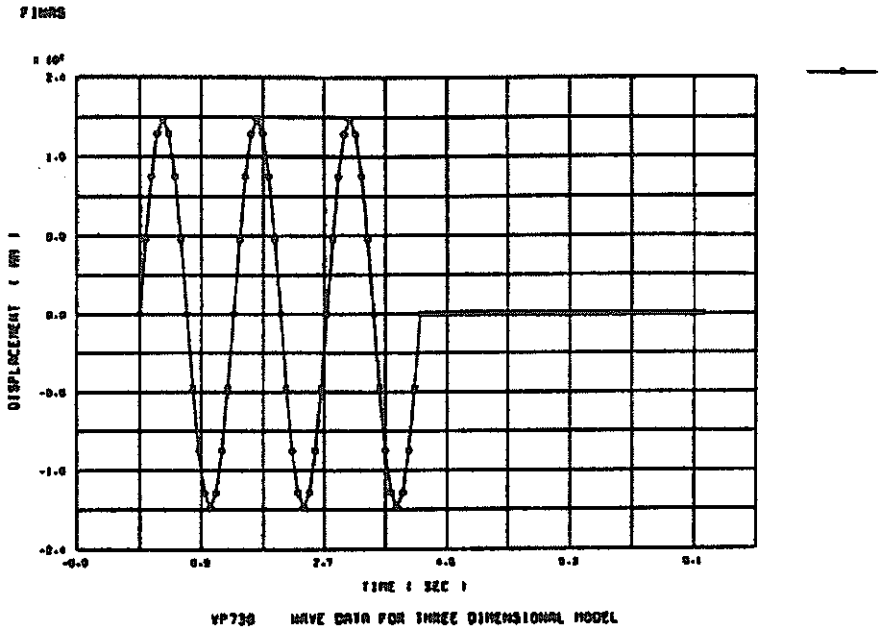


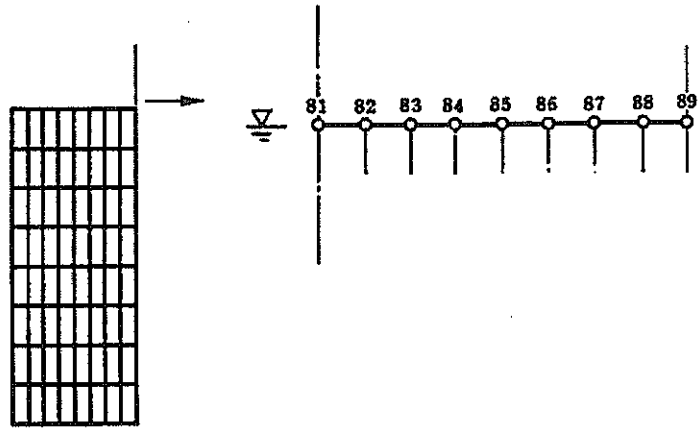
図 3.2.2-3　入 力 波

(3) 解析結果

図 3.2.2-4 に時刻歴図、表 3.2.2-1 に最大応答値について実験値[25]との比較を示す。

表 3.2.2-1　最大応答値の比較

	FINAS	実験
時 刻(sec)	4.816	
応答値(mm)	270.619	286.0



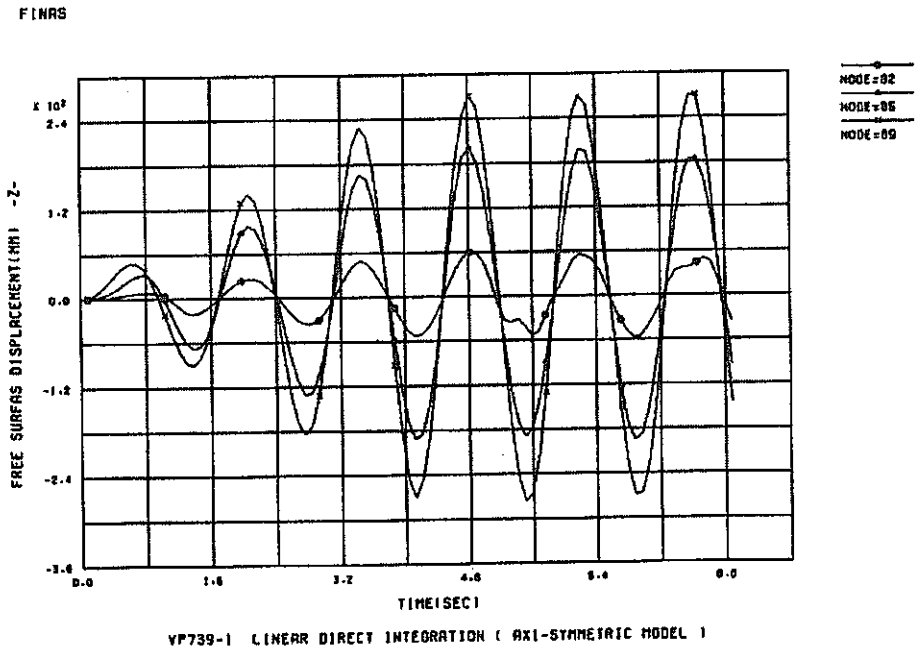


図 3.2.2-4　時刻歴図

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 3.2.2-2　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM 0/0
FINAS
TITLE       VP739-1
SUBTITLE    PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)
NOPRINT   DESCR
DYNAMIC      LD
CONTROL
     NONAXCASE      SYM      1
MODEL
NODE
**NLOOP1      9   10           295.25
    1                    0.0     0.0                          8              9
    9                  880.0     0.0
**END1
**NLOOP1      2   10            267.5
   99                  880.0  2629.5
**END1
ELEMENT TYPE
    1     LNQAX4
    2     SNLAX2
    3     INLAX2
    4     NCONC2
GEOMETRY
   11    1    10.0
   21    1  9807.0
MATERIAL
   11
          E            1.98E+4
          NU               0.3
          RHO        7.551E-10
   21
          RHO        1.019E-10
CONNECTION
$   FLUID
    1    1        21    1    2   11   12                      8    1    8   10
$   FREE SURFACE
  101    2   21   21   81   82                                8    1
$   STRUCTURE OUTER WALL
  201    4   11   11    9   19                               10   10
  251    3              9   19                                8   10
$   STRUCTURE BOTTOM
  301    4   11   11    1    2                                8    1
  351    3              1    2                                8    1
BOUNDARY
    1
             1                   7
            81                   8
             1                   2
           109                   2
           109                   4
    2
           109                   1            1.0
    3
           109                   3            1.0
TIME SERIES
    1
     F2      97          0.086
             0.0        7.5771   14.0007   18.2928   19.8000   18.2928   14.0007
             7.5771     0.0000   -7.5771  -14.0007  -18.2928  -19.8000  -18.2928
           -14.0008    -7.5773   -0.0003    7.5768   14.0004   18.2926   19.8000
            18.2930    14.0012    7.5778    0.0008   -7.5764  -14.0001  -18.2925
           -19.8000   -18.2932  -14.0015   -7.5782   -0.0012    7.5760   13.9998
```

```
          18.2923   19.8000   18.2934   14.0018    7.5786    0.0017   -7.5755
         -13.9992  -18.2920  -19.8000  -18.2936  -14.0023   -7.5792   -0.0023
           0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
           0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
           0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
           0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
           0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
           0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
           0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
DAMPING
$    F2                    1  0.2938    0.00781
     F2                    1  7.556E-4  4.018E-4
RESPONSE
     TIME        8.0    1
          BOUN     1
          DISP     2       1.0    1    3      -1.0    1
END MODEL
OUTPUT
$PRINT SELECT
$WAVEH       ALL
$STRUCTURE PLOT
$PTITLE    VP739-1  LINEAR DIRECT INTEGRATION ( AXI-SYMMETRIC MODEL )
$SCALE       6.205E-2
$VSCALE      0.864
$DPLOT              1
XYPLOT
PTITLE    VP739-1  LINEAR DIRECT INTEGRATION ( AXI-SYMMETRIC MODEL )
XTITLE    TIME(SEC)
YTITLE    FREE SURFAS DISPLACEMENT(MM)  -Z-
FRAME     A4H
CURVE        1              10NODE=82
CURVE        2              10NODE=85
CURVE        3              10NODE=89
PLOT1     WAVEH   82     WAVEH   85     WAVEH   89                    RTIME
END OUTPUT
END FINAS
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
```

表 3.2.2-3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM O/O
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                FINAS
                TITLE       VP739-1
                SUBTITLE    PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)
                NOPRINT   DESCR
                DYNAMIC     LD
                CONTROL
                    NONAXCASE      SYM     1
1     VP739-1                                                      FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    2
      PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
          0-    MODEL
          1-    NODE
          2-    **NLOOP1      9   10          295.25
          3-       1                   0.0     0.0                          8             9
          4-       9                 680.0     0.0
          5-    **END1
          6-    **NLOOP1      2   10           267.5
          7-      99                 680.0  2829.5
          8-    **END1
          9-    ELEMENT TYPE
         10-       1     LNQAX4
         11-       2     SNLAX2
         12-       3     INLAX2
         13-       4     NCONC2
         14-    GEOMETRY
         15-      11    1    10.0
         16-      21    1  9807.0
         17-    MATERIAL
         18-      11
         19-             E           1.98E+4
         20-             NU              0.3
         21-             RHO       7.551E-10
         22-      21
         23-             RHO       1.019E-10
         24-    CONNECTION
                $   FLUID
         25-       1    1       21    1    2   11   12                    8    1    8   10
                $   FREE SURFACE
         26-     101    2   21   21   81   82                            8    1
                $   STRUCTURE OUTER WALL
         27-     201    4   11   11    9   19                           10   10
         28-     251    3              9   19                            8   10
                $   STRUCTURE BOTTOM
         29-     301    4   11   11    1    2                            8    1
         30-     351    3              1    2                            8    1
         31-    BOUNDARY
         32-       1
         33-                1                  7
         34-               81                  8
         35-                1                  2
         36-              109                  2
         37-              109                  4
         38-       2
         39-              109                  1           1.0
         40-       3
         41-              109                  3           1.0
         42-    TIME SERIES
         43-       1
         44-        F2      97          0.066
         45-                0.0       7.5771   14.0007   18.2928   19.8000   18.2928   14.0007
1     VP739-1                                                      FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    3
      PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
         46-                7.5771    0.0000   -7.5771  -14.0007  -18.2928  -19.8000  -18.2928
         47-              -14.0008   -7.5773   -0.0003    7.5768   14.0004   18.2926   19.8000
         48-               18.2930   14.0012    7.5776    0.0008   -7.5764  -14.0001  -18.2925
         49-              -19.8000  -18.2932  -14.0015   -7.5782   -0.0012    7.5760   13.9998
         50-               18.2923   19.8000   18.2934   14.0018    7.5786    0.0017   -7.5755
         51-              -13.9992  -18.2920  -19.8000  -18.2936  -14.0023   -7.5792   -0.0023
         52-                0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
         53-                0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
         54-                0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
         55-                0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
         56-                0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
         57-                0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
         58-                0.0       0.0       0.0       0.0       0.0       0.0
         59-    DAMPING
                $   F2                     1  0.2938    0.00781
```

```
          80-        F2                    1  7.556E-4  4.016E-4
          81-    RESPONSE
          82-        TIME        8.0    1
          83-            BOUN     1
          84-            DISP     2       1.0    1    3      -1.0    1
          85-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4801.   MATERIAL ID    21
        ELASTIC MODULAS IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4802.   MATERIAL ID    21
        POISSON RATIO IS MISSING
1     VP739-1                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     4
      PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                  OUTPUT
                  PRINT SELECT
                  WAVEH       ALL
                  $STRUCTURE PLOT
                  $PTITLE    VP739-1  LINEAR DIRECT INTEGRATION ( AXI-SYMMETRIC MODEL )
                  $SCALE       6.205E-2
                  $VSCALE      0.864
                  $DPLOT              1
                  XYPLOT
                  PTITLE    VP739-1  LINEAR DIRECT INTEGRATION ( AXI-SYMMETRIC MODEL )
                  XTITLE    TIME(SEC)
                  YTITLE    FREE SURFAS DISPLACEMENT(MM)  -Z-
                  FRAME     A4H
                  CURVE        1            10NODE=82
                  CURVE        2            10NODE=85
                  CURVE        3            10NODE=89
                  PLOT1     WAVEH   82     WAVEH   85     WAVEH   89                    RTIME
                  END OUTPUT
                  END FINAS
1     VP739-1                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     5
      PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)

                          F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T                  ( STEP NUM      1 )
                                                                                             TIME   8.6000E-02
0     POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82        -3.99605E-02
          83        -6.14568E-02
          84        -1.25970E-01
          85        -1.75707E-01
          86        -2.33937E-01
          87        -3.08422E-01
          88        -3.79790E-01
          89        -9.70231E-01
0

                          F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T                  ( STEP NUM      2 )
                                                                                             TIME   1.7200E-01
0     POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82        -2.33864E-01
          83        -4.76662E-01
          84        -7.37036E-01
          85        -1.02750E+00
          86        -1.37068E+00
          87        -1.77066E+00
          88        -2.49580E+00
          89        -4.86724E+00
1     VP739-1                                                    FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE     6
      PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)

                          F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T                  ( STEP NUM      3 )
                                                                                             TIME   2.5800E-01
0     POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82        -7.10220E-01
          83        -1.44735E+00
          84        -2.23692E+00
          85        -3.12016E+00
          86        -4.13612E+00
          87        -5.44088E+00
          88        -8.02861E+00
          89        -1.22687E+01
0

                          F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T                  ( STEP NUM      4 )
                                                                                             TIME   3.4400E-01
0     POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82        -1.54790E+00
          83        -3.15288E+00
          84        -4.87260E+00
          85        -6.77610E+00
```

```
          86        -2.19133E+02
          87        -2.47295E+02
          88        -2.65227E+02
          89        -2.69736E+02
1    VP739-1                                          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   49
     PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)

                        F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T          ( STEP NUM    89 )
                                                                                   TIME   7.6540E+00
0    POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82        -4.33849E+01
          83        -9.43114E+01
          84        -1.45787E+02
          85        -1.93121E+02
          86        -2.21023E+02
          87        -2.47333E+02
          88        -2.63795E+02
          89        -2.69916E+02
0

                        F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T          ( STEP NUM    90 )
                                                                                   TIME   7.7400E+00
0    POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82        -4.93888E+01
          83        -9.24045E+01
          84        -1.26270E+02
          85        -1.59760E+02
          86        -1.86897E+02
          87        -2.10544E+02
          88        -2.22847E+02
          89        -2.26373E+02
1    VP739-1                                          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   50
     PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)

                        F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T          ( STEP NUM    91 )
                                                                                   TIME   7.8260E+00
0    POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82        -4.49545E+01
          83        -7.21075E+01
          84        -9.00565E+01
          85        -1.13891E+02
          86        -1.26886E+02
          87        -1.41814E+02
          88        -1.49601E+02
          89        -1.51357E+02
0

                        F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T          ( STEP NUM    92 )
                                                                                   TIME   7.9120E+00
0    POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82        -2.22546E+01
          83        -3.38067E+01
          84        -4.42868E+01
          85        -4.79870E+01
          86        -5.11668E+01
          87        -5.23848E+01
          88        -5.42214E+01
          89        -5.35038E+01
1    VP739-1                                          FINAS   VERSION 13.0   02/25/98     PAGE   51
     PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)

                        F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T          ( STEP NUM    93 )
                                                                                   TIME   7.9980E+00
0    POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82         1.13217E+01
          83         1.17948E+01
          84         1.29975E+01
          85         2.55973E+01
          86         3.47945E+01
          87         4.33300E+01
          88         4.94216E+01
          89         4.98881E+01
0

                        F R E E   S U R F A C E   D I S P L A C E M E N T          ( STEP NUM    94 )
                                                                                   TIME   8.0840E+00
0    POINT-ID          ETA

          81         0.00000E+00
          82         3.81785E+01
          83         5.52171E+01
          84         7.03960E+01
          85         9.54115E+01
```

```
          86          1.16715E+02
          87          1.32359E+02
          88          1.43224E+02
          89          1.45877E+02
1     VP739-1                                                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    52
      PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)


       X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT   1.   TYPE 1    COMMAND NUMBER    1.      VP739-1  LINEAR DIRECT INTEGRATION ( AXI-SYMMETRIC MODEL )
0                  CURVE  1, WAVE     ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-5.96590E+01  AT X= 4.81600E+00    YMAX(ALL DATA)= 5.81689E+01  AT X= 6.88000E+00
0                  CURVE  2, WAVE     ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-2.00857E+02  AT X= 4.81600E+00    YMAX(ALL DATA)= 1.94757E+02  AT X= 6.88000E+00
0                  CURVE  3, WAVE     ALONG RTIME
                             YMIN(ALL DATA)=-2.70590E+02  AT X= 4.81600E+00    YMAX(ALL DATA)= 2.76624E+02  AT X= 5.50400E+00
1     VP739-1                                                          FINAS   VERSION 13.0    02/25/98      PAGE    53
      PRESSUR VESSEL AXI-SYMMETRIC MODEL  (L. DIRECT INTEGRATION)

0                  F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . .  DYNAMIC LD
0        NUMBER OF TIME STEPS . . . . . . . . . .       94          ( FROM     1 TO    94 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .      108
+                                                                   (      64*LNQAX4  )
                                                                    (       8*SNLAX2  )
                                                                    (      16*INLAX2  )
                                                                    (      18*NCONC2  )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .       83
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .      161
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         30
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         17.9
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . . .      0.1          (  7.22 % )
0        LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . . .      0.0          (  1.03 % )
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .       0.1          (  5.15 % )
0        STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . . .      0.2          ( 19.59 % )
0        TIME STEP INTEGRATION . . . . . . . . . .      0.3          ( 27.84 % )
0        MATRIX REDUCTION FOR F.S.I.  . . . . . .      0.0          (  2.06 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .       0.4          ( 37.11 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .      1.0 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .      155 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .         0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

3.2.3 静的縮合機能を用いた固有値解析

(1) 問題

図 3.2.3-1 に示すような縦横の長さ 20.0in、板厚 0.5in の正方板の固有値問題を静的縮合機能を用いて解析する。材料定数は弾性係数 30.0×10^{6}psi、ポアソン比 0.3、質量密度 7.28×10^{-4}lb·sec^2/in^4 とする。なお、質量特性は分布質量とする。

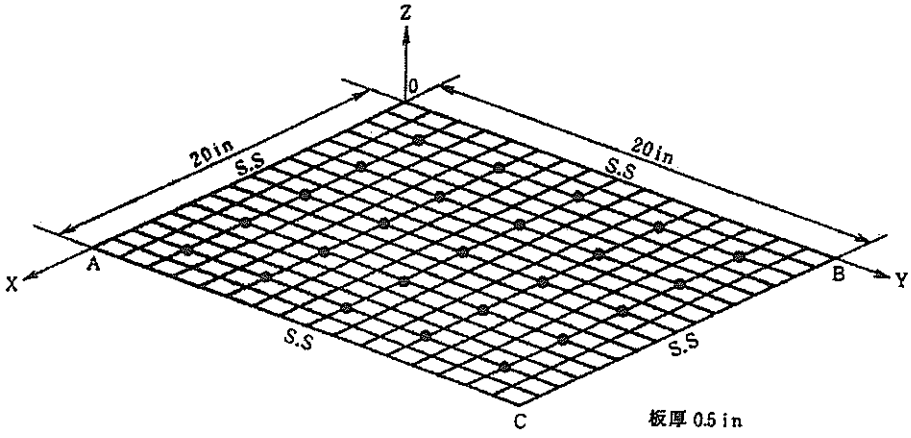


図 3.2.3-1　正方板

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 3.2.3-2 のように、有限要素モデルは 4 節点四辺形低減積分シェル要素 QFLA4R を用いて、X 方向および Y 方向 16 の等分割で行なう。境界条件は表 3.2.3-1 に示す。

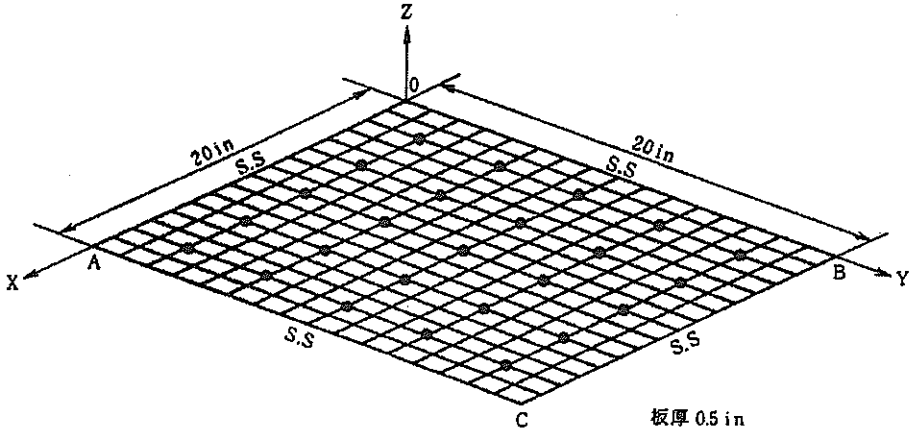


図 3.2.3-2　有限要素モデル

表 3.2.3-1　境界条件

	拘束条件
O、A、B、C	$U_x=U_y=U_z=\theta_x=\theta_y=\theta_z=0$
OA、OC に沿い	$U_x=U_y=U_z=\theta_y=\theta_z=0$
OB、AC に沿い	$U_z=U_y=U_z=\theta_x=\theta_z=0$
各節点	$U_z=U_y=\theta_z=0$

縮合条件は図 3.2.3-2 の・で示される節点の自由度（$U_z=\theta_x=\theta_y$）へ縮合する。（25 節点、75 自由度）。

(3) 解析結果

表 3.2.3-2 に 10 次までの固有振動数について、理論解、静的縮合を用いない場合、静的縮合を用いた場合の値を示す。結果から縮合機能を用いると構造の剛性が硬めに評価されるために固有振動数は高い方へずれることが認められる。

表 3.2.3-2　固有振動数の比較

モード番号	理論解	縮合なし	縮合あり
1	241.237	2.417227E+02	2.419812E+02
2	603.092	6.090684E+02	6.131511E+02
3	603.092	6.090684E+02	6.131511E+02
4	964.947	9.726689E+03	9.891272E+02
5	1206.18	6.090684E+02	1.272371E+03
6	1206.18	6.090684E+02	1.272371E+03
7	1568.04	1.596716E+03	1.666354E+03
8	1568.04	1.596716E+03	1.666354E+03
9	2050.51	2.161707E+03	2.312434E+03
10	2050.51	2.161707E+03	2.312434E+03

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 3.2.3-3 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
NOPRINT   DES
TITLE     VP747-2,  TEST OF STATIC CONDENSATION.
SUBTITLE     EIGENVALUE PROBLEM,  CONDENSE TO 25 POINTS
DIAG      51/1
DYNAMIC   M
CONTROL
     EIGENVALUE        26   50                                                1
MODEL
NODE
**NLOOP1     17   20           1.25
    1                0.0       0.0       0.0                  16             17
   17               20.0       0.0       0.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1     QFLA4R
CONNECTION
**ELOOP1     16   20   20   20   20   20
    1    1    1    1    1    2   21   22                      16    1
**END1
GEOMETRY
    1    5 0.5                                   1000.0
MATERIAL
    1
          E         30.0E+6
          NU        0.3
          RHO       7.28E-4
BOUNDARY
    1
              1                   3    5
             17                   3    5
            321                   3    5
            337                   3    5
              2   16              3
              2   16              5
            322  336              3
            322  336              5
             21  301   20         3    4
             37  317   20         3    4
              1  337              1    2
              1  337              6
CONDENSE
$   1
$           222  236    1         3    5
$            32  312   20         3    5
    2
             43   55    3         3    5
            103  115    3         3    5
            163  175    3         3    5
            223  235    3         3    5
            283  295    3         3    5
RESPONSE
     TIME
          BOUN     1
          COND     2
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
NSET2         1  161  177    2    9  329   40
MSET1         1    1   26
MODE          1    1
```

```
STRUCTURE PLOT
FRAME     A5H
OMIT      0
MPLOT
END OUTPUT
END FINAS
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
```

表 3.2.3-4　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM    0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 FINAS
                 NOPRINT   DES
                 TITLE     VP747-2.  TEST OF STATIC CONDENSATION.
                 SUBTITLE     EIGENVALUE PROBLEM.  CONDENSE TO 25 POINTS
                 DIAG      51/1
                 DYNAMIC   M
                 CONTROL
                     EIGENVALUE        26   50                                                  1
1    VP747-2.  TEST OF STATIC CONDENSATION.                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2
       EIGENVALUE PROBLEM.  CONDENSE TO 25 POINTS

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
           0-    MODEL
           1-    NODE
           2-    **NLOOP1     17   20          1.25
           3-       1              0.0       0.0       0.0                  16             17
           4-      17             20.0       0.0       0.0
           5-    **END1
           6-    ELEMENT TYPE
           7-       1     QFLA4R
           8-    CONNECTION
           9-    **ELOOP1     16   20   20   20   20   20
          10-       1    1    1    1    1    2   21   22                    16    1
          11-    **END1
          12-    GEOMETRY
          13-       1    5 0.5                                  1000.0
          14-    MATERIAL
          15-       1
          16-             E         30.0E+6
          17-             NU        0.3
          18-             RHO       7.28E-4
          19-    BOUNDARY
          20-       1
          21-                1                   3    5
          22-               17                   3    5
          23-              321                   3    5
          24-              337                   3    5
          25-                2   16              3
          26-                2   16              5
          27-              322  336              3
          28-              322  336              5
          29-               21  301   20         3    4
          30-               37  317   20         3    4
          31-                1  337              1    2
          32-                1  337              6
          33-    CONDENSE
                 $   1
                 $            222  236    1      3    5
                 $             32  312   20      3    5
          34-       2
          35-               43   55    3        3    5
          36-              103  115    3        3    5
          37-              163  175    3        3    5
          38-              223  235    3        3    5
          39-              283  295    3        3    5
          40-    RESPONSE
          41-        TIME
          42-             BOUN     1
          43-             COND     2
          44-    END MODEL
1    VP747-2.  TEST OF STATIC CONDENSATION.                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3
       EIGENVALUE PROBLEM.  CONDENSE TO 25 POINTS

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 OUTPUT
                 PRINT SELECT
                 NSET2         1  161  177    2    9  329   40
                 MSET1         1    1   26
                 MODE          1    1
                 STRUCTURE PLOT
                 FRAME     A5H
                 OMIT      0
                 MPLOT
                 END OUTPUT
                 END FINAS
1    VP747-2.  TEST OF STATIC CONDENSATION.                        FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    4
       EIGENVALUE PROBLEM.  CONDENSE TO 25 POINTS

                 TRACE OF ITERATIONS IN A GENERALIZED EIGENVALUE PROBLEM
0   ITERATION     ERROR          LAMBDA-1       LAMBDA-2       LAMBDA-3       LAMBDA-4       LAMBDA-5       LAMBDA-6
```

1	1.00000E+00	2.3116832E+06	1.4842245E+07	1.4842503E+07	3.6628200E+07	6.3921812E+07	6.3934482E+07
		1.0965341E+08	1.0967454E+08	2.1125016E+08	2.1154408E+08	2.2498248E+08	2.9709384E+08
		2.9798429E+08	4.9282401E+08	4.9302998E+08	5.4663435E+08	5.5094043E+08	6.6529104E+08
		6.8958883E+08	8.9107099E+08	9.6625574E+08	9.7958871E+08	1.5171085E+09	1.5253749E+09
		2.3429170E+09	2.4453181E+09				
2	4.68452E-02	2.3116837E+06	1.4842135E+07	1.4842135E+07	3.6624744E+07	6.3912878E+07	6.3919228E+07
		1.0962155E+08	1.0962155E+08	2.1110578E+08	2.1110631E+08	2.2480327E+08	2.9658093E+08
		2.9732570E+08	4.9105130E+08	4.9105750E+08	5.4501815E+08	5.4536138E+08	6.8214711E+08
		6.8219562E+08	8.8439008E+08	9.6234847E+08	9.7215025E+08	1.4933926E+09	1.4940105E+09
		2.2774781E+09	2.3363391E+09				
3	2.89700E-03	2.3116837E+06	1.4842135E+07	1.4842135E+07	3.6624744E+07	6.3912878E+07	6.3919228E+07
		1.0962155E+08	1.0962155E+08	2.1110572E+08	2.1110572E+08	2.2480318E+08	2.9658012E+08
		2.9732479E+08	4.9104529E+08	4.9104534E+08	5.4499240E+08	5.4532369E+08	6.8212771E+08
		6.8212807E+08	8.8433678E+08	9.6231594E+08	9.7206927E+08	1.4927583E+09	1.4928088E+09
		2.2708993E+09	2.3310504E+09				
4	3.48590E-04	2.3116837E+06	1.4842135E+07	1.4842135E+07	3.6624744E+07	6.3912878E+07	6.3919228E+07
		1.0962155E+08	1.0962155E+08	2.1110572E+08	2.1110572E+08	2.2480318E+08	2.9658012E+08
		2.9732479E+08	4.9104527E+08	4.9104527E+08	5.4499219E+08	5.4532348E+08	6.8212757E+08
		6.8212757E+08	8.8433611E+08	9.6231546E+08	9.7206801E+08	1.4927431E+09	1.4927450E+09
		2.2701079E+09	2.3306959E+09				
5	3.51180E-05	2.3116837E+06	1.4842135E+07	1.4842135E+07	3.6624744E+07	6.3912878E+07	6.3919228E+07
		1.0962155E+08	1.0962155E+08	2.1110572E+08	2.1110572E+08	2.2480318E+08	2.9658012E+08
		2.9732479E+08	4.9104527E+08	4.9104527E+08	5.4499219E+08	5.4532348E+08	6.8212757E+08
		6.8212757E+08	8.8433610E+08	9.6231547E+08	9.7206798E+08	1.4927427E+09	1.4927428E+09
		2.2700282E+09	2.3306719E+09				
6	3.16600E-06	2.3116837E+06	1.4842135E+07	1.4842135E+07	3.6624744E+07	6.3912878E+07	6.3919228E+07
		1.0962155E+08	1.0962155E+08	2.1110572E+08	2.1110572E+08	2.2480318E+08	2.9658012E+08
		2.9732479E+08	4.9104527E+08	4.9104527E+08	5.4499219E+08	5.4532348E+08	6.8212757E+08
		6.8212757E+08	8.8433610E+08	9.6231547E+08	9.7206798E+08	1.4927427E+09	1.4927427E+09
		2.2700210E+09	2.3306703E+09				
7	2.78575E-07	2.3116837E+06	1.4842135E+07	1.4842135E+07	3.6624744E+07	6.3912878E+07	6.3919228E+07
		1.0962155E+08	1.0962155E+08	2.1110572E+08	2.1110572E+08	2.2480318E+08	2.9658012E+08
		2.9732479E+08	4.9104527E+08	4.9104527E+08	5.4499219E+08	5.4532348E+08	6.8212757E+08
		6.8212757E+08	8.8433610E+08	9.6231547E+08	9.7206798E+08	1.4927427E+09	1.4927427E+09
		2.2700204E+09	2.3306702E+09				

1 VP747-2. TEST OF STATIC CONDENSATION. FINAS VERSION 13.0 01/22/99 PAGE 5
EIGENVALUE PROBLEM. CONDENSE TO 25 POINTS

R E A L E I G E N V A L U E S

MODE	EIGENVALUE	FREQUENCY	PERIOD
1	2.311684E+06	2.419817E+02	4.132545E-03
2	1.484214E+07	6.131522E+02	1.630916E-03
3	1.484214E+07	6.131522E+02	1.630916E-03
4	3.662474E+07	9.691290E+02	1.010990E-03
5	6.391288E+07	1.272373E+03	7.858333E-04
6	6.391923E+07	1.272438E+03	7.858943E-04
7	1.096215E+08	1.666357E+03	6.001115E-04
8	1.096215E+08	1.666357E+03	6.001115E-04
9	2.111057E+08	2.312438E+03	4.324440E-04
10	2.111057E+08	2.312438E+03	4.324440E-04
11	2.248032E+08	2.368290E+03	4.190623E-04
12	2.965801E+08	2.740887E+03	3.648454E-04
13	2.973248E+08	2.744326E+03	3.643882E-04
14	4.910453E+08	3.526800E+03	2.835431E-04
15	4.910453E+08	3.526800E+03	2.835431E-04
16	5.449922E+08	3.715483E+03	2.691440E-04
17	5.453235E+08	3.716612E+03	2.690623E-04
18	6.821276E+08	4.156741E+03	2.405731E-04
19	6.821276E+08	4.156741E+03	2.405731E-04
20	8.843381E+08	4.732916E+03	2.112862E-04
21	9.623155E+08	4.931179E+03	2.028448E-04
22	9.720680E+08	4.962133E+03	2.015282E-04
23	1.492743E+09	6.149114E+03	1.626250E-04
24	1.492743E+09	6.149114E+03	1.626250E-04
25	2.270020E+09	7.582894E+03	1.319758E-04
26	2.330670E+09	7.683525E+03	1.301488E-04

0

P A R T I C I P A T I O N F A C T O R A N D E F F E C T I V E M A S S

	MODE NUM.		D1	D2	D3	D4	D5	D6
0	1	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	3.02799E-01	7.04731E-18	1.91904E-17	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	9.16872E-02	4.96640E-35	3.68271E-34	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	8.38714E-01	1.92825E-30	4.53072E-30	0.00000E+00
0	2	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	1.80473E-15	1.03227E-03	2.62728E-04	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	3.62798E-30	1.06536E-06	6.90280E-08	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	3.31080E-29	4.13715E-02	8.49207E-04	0.00000E+00
0	3	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.08527E-15	-2.62726E-04	1.03227E-03	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.66995E-29	6.90260E-08	1.06536E-06	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.52304E-28	2.67997E-03	1.31064E-02	0.00000E+00
0	4	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.42074E-15	-2.16840E-19	1.04063E-17	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	2.01850E-30	4.70198E-38	1.08334E-34	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.84203E-29	1.92557E-33	1.33279E-30	0.00000E+00

1 VP747-2. TEST OF STATIC CONDENSATION. FINAS VERSION 13.0 01/22/99 PAGE 8
EIGENVALUE PROBLEM. CONDENSE TO 25 POINTS

P A R T I C I P A T I O N F A C T O R A N D E F F E C T I V E M A S S

	MODE NUM.		D1	D2	D3	D4	D5	D6
0	5	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	4.19942E-12	-1.45554E-17	2.24972E-18	0.00000E+00

		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.78351E-23	2.11860E-34	5.06124E-38	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.60934E-22	8.22557E-30	6.22669E-32	0.00000E+00
0	6	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	1.23934E-01	-9.54098E-19	5.63765E-19	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.53721E-02	9.10303E-35	3.17854E-35	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.40282E-01	3.53430E-30	3.91046E-31	0.00000E+00
0	7	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.33067E-16	3.56340E-04	-1.25848E-04	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.10934E-31	1.26978E-07	1.58377E-08	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.01235E-30	4.92999E-03	1.94847E-04	0.00000E+00
0	8	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.49293E-16	-1.25848E-04	-3.56340E-04	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	2.01885E-31	1.58377E-08	1.26978E-07	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.84216E-30	6.14908E-04	1.58217E-03	0.00000E+00
0	9	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	2.58697E-14	4.69043E-03	-9.44043E-04	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	8.56882E-28	2.20002E-05	1.18385E-07	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	6.01279E-27	9.54167E-01	1.45821E-03	0.00000E+00
0	10	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.12410E-15	3.44043E-04	4.69043E-03	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.26360E-30	1.18385E-07	2.20002E-05	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.15313E-29	4.89559E-03	2.70861E-01	0.00000E+00
0	11	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	2.47007E-02	8.17488E-17	-1.71521E-16	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	6.10123E-04	6.68287E-33	2.94194E-32	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	5.56782E-03	2.59486E-29	3.61938E-28	0.00000E+00
0	12	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.10526E-14	3.12023E-15	5.64718E-15	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	4.43213E-28	9.73581E-30	3.18905E-29	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	4.04465E-27	3.77998E-25	3.92340E-25	0.00000E+00
0	13	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	1.48782E-13	-1.24583E-15	6.70471E-16	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	2.21361E-26	1.55459E-30	4.49531E-31	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	2.02009E-25	6.03578E-28	5.53044E-27	0.00000E+00
0	14	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.45976E-12	-1.21860E-03	-5.96416E-04	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	6.03567E-24	1.49499E-06	3.55714E-07	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	5.50800E-23	5.76355E-02	4.37625E-03	0.00000E+00
0	15	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.22175E-12	5.96418E-04	-1.21860E-03	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	4.93918E-24	3.55714E-07	1.49499E-06	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	4.50463E-23	1.38108E-02	1.92694E-02	0.00000E+00
0	16	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.34349E-12	1.22927E-12	7.32238E-13	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	5.39286E-23	1.51111E-24	5.36173E-25	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	4.92121E-22	5.86895E-20	6.59637E-21	0.00000E+00

1 VP747-2. TEST OF STATIC CONDENSATION. FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 7
EIGENVALUE PROBLEM. CONDENSE TO 25 POINTS

P A R T I C I P A T I O N F A C T O R A N D E F F E C T I V E M A S S

MODE NUM.			D1	D2	D3	D4	D5	D6
0	17	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	4.21401E-02	-1.19885E-12	-4.98196E-13	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.77579E-03	1.43750E-24	2.48211E-25	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.62054E-02	5.58118E-20	3.02805E-21	0.00000E+00
0	18	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.55640E-11	1.26862E-04	-1.66371E-04	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	2.42237E-22	1.60941E-08	2.76793E-08	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	2.21059E-21	6.24980E-04	3.40531E-04	0.00000E+00
0	19	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.87665E-11	1.66371E-04	1.26862E-04	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	8.27625E-22	2.76793E-08	1.60941E-08	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	7.55289E-21	1.07465E-03	1.98000E-04	0.00000E+00
0	20	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.01983E-10	-1.45874E-11	7.41143E-12	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.04006E-20	2.12792E-22	5.49293E-23	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	9.49130E-20	8.26173E-18	6.75778E-19	0.00000E+00
0	21	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.03375E-10	7.04185E-12	7.46538E-12	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	4.13612E-20	4.95377E-23	5.57319E-23	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	3.77452E-19	1.92527E-18	6.85833E-19	0.00000E+00
0	22	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	1.14832E-02	-3.13879E-11	-1.73275E-11	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.31405E-04	9.63943E-22	3.00243E-22	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.19817E-03	3.82021E-17	3.68390E-18	0.00000E+00
0	23	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	1.76403E-09	4.10338E-04	1.55146E-04	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	3.11181E-18	1.68376E-07	2.40703E-08	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	2.83976E-17	6.53734E-03	2.96129E-04	0.00000E+00
0	24	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.30732E-09	-1.55143E-04	4.10339E-04	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.85530E-17	2.40699E-08	1.68378E-07	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.69310E-16	9.34527E-04	2.07150E-03	0.00000E+00
0	25	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.85516E-03	-2.31908E-08	1.06286E-08	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	3.44162E-08	5.37814E-16	1.12930E-16	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	3.14074E-05	2.06809E-11	1.38934E-12	0.00000E+00
0	26	PARTICIPATION FACTOR	0.00000E+00	0.00000E+00	4.35849E-08	5.32351E-04	-7.47062E-03	0.00000E+00
		EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.89984E-15	2.83998E-07	5.58101E-05	0.00000E+00
		RATIO	0.00000E+00	0.00000E+00	1.73356E-14	1.10031E-02	6.88515E-01	0.00000E+00
0								
		TOTAL EFFECTIVE MASS	0.00000E+00	0.00000E+00	1.09580E-01	2.57583E-05	8.12930E-06	0.00000E+00

1 VP747-2. TEST OF STATIC CONDENSATION. FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 8
EIGENVALUE PROBLEM. CONDENSE TO 25 POINTS

R E A L E I G E N V E C T O R (MODE NUM. 1)

MAXIMUM NORM = 5.28378E+00

	POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
0	9	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.56680E-01	0.00000E+00	0.00000E+00
	49	0.00000E+00	0.00000E+00	3.82685E-01	1.45076E-01	9.86829E-16	0.00000E+00
	89	0.00000E+00	0.00000E+00	7.05435E-01	1.12018E-01	1.03776E-15	0.00000E+00
	129	0.00000E+00	0.00000E+00	9.21604E-01	5.64103E-02	1.44527E-15	0.00000E+00
	161	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.56680E-01	0.00000E+00
	163	0.00000E+00	0.00000E+00	3.82685E-01	-7.36959E-16	-1.45076E-01	0.00000E+00
	165	0.00000E+00	0.00000E+00	7.05435E-01	-1.62063E-15	-1.12018E-01	0.00000E+00
	167	0.00000E+00	0.00000E+00	9.21604E-01	-7.78296E-16	-5.84103E-02	0.00000E+00
	169	0.00000E+00	0.00000E+00	1.00000E+00	-2.40572E-15	3.21491E-15	0.00000E+00
	171	0.00000E+00	0.00000E+00	9.21604E-01	-4.26519E-16	5.84103E-02	0.00000E+00
	173	0.00000E+00	0.00000E+00	7.05435E-01	-3.85929E-15	1.12018E-01	0.00000E+00
	175	0.00000E+00	0.00000E+00	3.82685E-01	-1.26078E-15	1.45076E-01	0.00000E+00
	177	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	1.56680E-01	0.00000E+00
	209	0.00000E+00	0.00000E+00	9.21604E-01	-5.84103E-02	4.18775E-15	0.00000E+00

```
          249        0.00000E+00   0.00000E+00   7.05435E-01  -1.12018E-01   2.84642E-15   0.00000E+00
          289        0.00000E+00   0.00000E+00   3.82885E-01  -1.45076E-01   1.11888E-15   0.00000E+00
          329        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -1.56680E-01   0.00000E+00   0.00000E+00
0

                                   R E A L   E I G E N V E C T O R                          ( MODE NUM  26 )
                                                                                 MAXIMUM NORM =  1.57228E+01
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6
          9        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -2.02922E-02   0.00000E+00   0.00000E+00
         49        0.00000E+00   0.00000E+00  -2.08243E-02   4.14820E-02  -4.22470E-01   0.00000E+00
         89        0.00000E+00   0.00000E+00   2.88435E-02   1.18996E-02  -1.33915E-01   0.00000E+00
        129        0.00000E+00   0.00000E+00  -2.22809E-02  -6.03545E-03  -2.31813E-01   0.00000E+00
        161        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   2.84958E-01   0.00000E+00
        163        0.00000E+00   0.00000E+00  -2.93740E-01   3.00913E-02  -5.82543E-01   0.00000E+00
        165        0.00000E+00   0.00000E+00   4.04921E-01   9.53972E-03  -1.86917E-01   0.00000E+00
        167        0.00000E+00   0.00000E+00  -3.12868E-01   1.65140E-02   1.12561E-01   0.00000E+00
        169        0.00000E+00   0.00000E+00  -1.67904E-05   7.12377E-02  -1.00000E+00   0.00000E+00
        171        0.00000E+00   0.00000E+00   3.12667E-01   1.65140E-02   1.12535E-01   0.00000E+00
        173        0.00000E+00   0.00000E+00  -4.04929E-01   9.54004E-03  -1.86921E-01   0.00000E+00
        175        0.00000E+00   0.00000E+00   2.03754E-01   3.00832E-02  -5.82568E-01   0.00000E+00
        177        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   2.84987E-01   0.00000E+00
        209        0.00000E+00   0.00000E+00   2.22815E-02  -6.01319E-03  -2.31813E-01   0.00000E+00
        249        0.00000E+00   0.00000E+00  -2.88823E-02   1.18980E-02  -1.33915E-01   0.00000E+00
        289        0.00000E+00   0.00000E+00   2.09408E-02   4.15409E-02  -4.22468E-01   0.00000E+00
        329        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00  -2.03145E-02   0.00000E+00   0.00000E+00
1   VP747-2.  TEST OF STATIC CONDENSATION.                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     9
    EIGENVALUE PROBLEM.  CONDENSE TO 25 POINTS


    P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT  1.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT  2.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT  3.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT  4.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT  5.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT  6.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT  7.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT  8.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT  9.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT 10.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
1   VP747-2.  TEST OF STATIC CONDENSATION.                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    10
    EIGENVALUE PROBLEM.  CONDENSE TO 25 POINTS


    P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0     PLOT 11.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT 12.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT 13.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT 14.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT 15.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT 16.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT 17.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT 18.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
                SCALE FACTOR ........... 4.172E+00      FRAME SIZE .......  210.2 ,   148.6
0     PLOT 19.  MODE SHAPE
                AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......    0.00,   23.17,   -34.27
```

```
                    SCALE FACTOR ............ 4.172E+00     FRAME SIZE .......    210.2 ,    148.6
0       PLOT  20.   MODE SHAPE
                    AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......      0.00,     23.17,    -34.27
                    SCALE FACTOR ............ 4.172E+00     FRAME SIZE .......    210.2 ,    148.6
1    VP747-2,  TEST OF STATIC CONDENSATION.                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    11
       EIGENVALUE PROBLEM,  CONDENSE TO 25 POINTS


       P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0       PLOT  21.   MODE SHAPE
                    AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......      0.00,     23.17,    -34.27
                    SCALE FACTOR ............ 4.172E+00     FRAME SIZE .......    210.2 ,    148.6
0       PLOT  22.   MODE SHAPE
                    AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......      0.00,     23.17,    -34.27
                    SCALE FACTOR ............ 4.172E+00     FRAME SIZE .......    210.2 ,    148.6
0       PLOT  23.   MODE SHAPE
                    AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......      0.00,     23.17,    -34.27
                    SCALE FACTOR ............ 4.172E+00     FRAME SIZE .......    210.2 ,    148.6
0       PLOT  24.   MODE SHAPE
                    AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......      0.00,     23.17,    -34.27
                    SCALE FACTOR ............ 4.172E+00     FRAME SIZE .......    210.2 ,    148.6
0       PLOT  25.   MODE SHAPE
                    AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......      0.00,     23.17,    -34.27
                    SCALE FACTOR ............ 4.172E+00     FRAME SIZE .......    210.2 ,    148.6
0       PLOT  26.   MODE SHAPE
                    AXES ....................+X, +Y, +Z     VIEW ANGLE .......      0.00,     23.17,    -34.27
                    SCALE FACTOR ............ 4.172E+00     FRAME SIZE .......    210.2 ,    148.6
1    VP747-2,  TEST OF STATIC CONDENSATION.                                  FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    12
       EIGENVALUE PROBLEM,  CONDENSE TO 25 POINTS

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . .  DYNAMIC M
0         NUMBER OF TIME STEPS . . . . . . . . .        0          ( FROM     0 TO     0 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .      256
+                                                                  (     256*QFLA4R  )
0         NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .      289
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .      735
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       75
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       43.8
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .      0.2          ( 16.28 % )
0         MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .     0.2          ( 13.95 % )
0         STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . .      0.2          ( 11.63 % )
0         EIGENVALUE EXTRACTION . . . . . . . . .     0.2          ( 12.79 % )
0         STATIC CONDENSATION . . . . . . . . . .     0.3          ( 24.42 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .     0.3          ( 20.93 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .      1.4 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      758 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .       0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

4. 温 度 解 析

4.1 定常温度解析

4.1.1 加熱管内を流れる空気の温度上昇解析

(1) 問題

内壁の温度が一様に加熱された管内を流れる空気の熱伝達解析を行なう。構造モデルは図 4.1.1-1 に示す内直径 1 in、長さ 5 in の円管とし、この管内を入口温度 100° F の空気が流速 4.72lb/h の速さで流れる。管の内壁は一様に 200° F に加熱されている。入口温度 100° F の空気が管を出るときの出口温度を計算する。空気の熱伝導係数は 0、比熱は 0.24BTU/lb·° F とする。管の内壁から空気への熱伝達係数は 2.7BTU/h·ft²·° F とする。[26)]

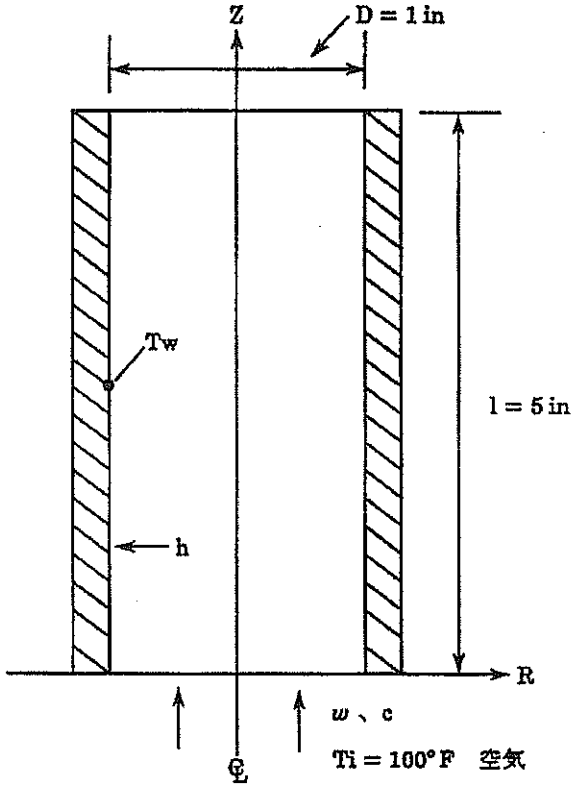
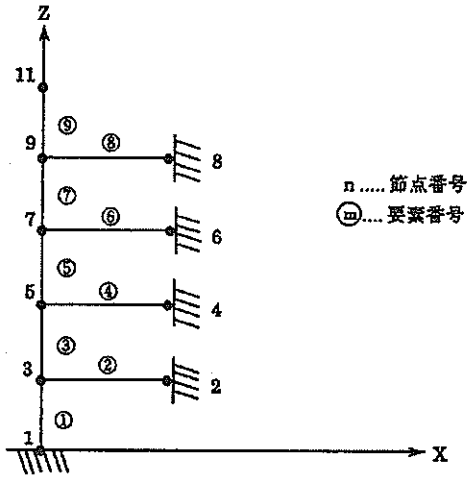


図 4.1.1-1 構造モデル

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 4.1.1-2 に示すように有限要素モデルは熱流体 2 節点要素 HFLOW2、熱伝達リンク要素 CRLINK2 を用いて行なう。境界条件は図 4.1.1-3 に示す。



1 ...規定温度 $T_i = 100°F$

2、4、6、8 ...規定温度 $T_f = 200°F$

①、③、⑤、⑦、⑨...熱流体要素

面積 $S = 1.0\ in^2$ (単位面積)

②、④、⑥、⑧ ...熱伝達要素

面積 $S' = \pi \cdot D \cdot 1/4$

$= \pi \times 1 \times 5/(4 \times 144)$

$= 0.0272708\ ft^2$

図 4.1.1-2 有限要素モデル

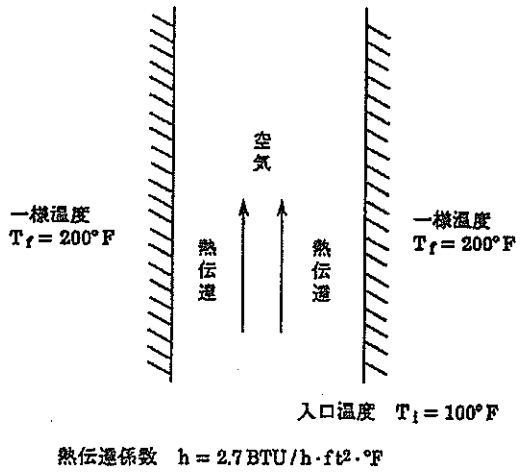


図 4.1.1-3 境 界 条 件

(3) 解析結果

表 4.1.1-1 に温度および熱流量について汎用構造解析コード ANSYS および理論と比較して示す。

表 4.1.1-1　温度および熱流量の比較

	FINAS の解	ANSYS の解	理論解
出口温度（°F）	1.22267E+02	122.3	123.0
入口・熱流量（BTU/h）	1.13280E+02	113.28	113.28
出口・熱流量（BTU/h）	1.38505E+02	138.50	139.33

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 4.1.1-2　入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
TITLE     TEMPERATURE RISE OF AIR FLOWING IN HEATED TUBE (VP530)
HEAT
MODEL
NODE
    1                 0.0       0.0
    3                 1.0       0.0
    5                 2.0       0.0
    7                 3.0       0.0
    9                 4.0       0.0
   11                 5.0       0.0
    2                 1.0       0.5
    4                 2.0       0.5
    6                 3.0       0.5
    8                 4.0       0.5
$
ELEMENT TYPE
    1     HFLOW2
    2     CRLINK2
CONNECTION
    1    1    1    1    1    3
    3    1    1    1    3    5
    5    1    1    1    5    7
    7    1    1    1    7    9
    9    1    1    1    9   11
$
    2    2    2    2    3    2
    4    2    2    2    5    4
    6    2    2    2    7    6
    8    2    2    2    9    8
$
GEOMETRY
$
    1    3 1.0        1.0          4.72
    2    3 0.0272708 0.0272708
MATERIAL
    1
          K           0.0
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$          DENS        1.0
          C           0.24
FILM COEFFICIENT
    2        2.7
SPECIFIED TEMPERATURE
    1
              1                 100.0
              2                 200.0
              4                 200.0
              6                 200.0
              8                 200.0
HISTORY
INTERVAL
          SPEC     1        1.0
```

```
END MODEL
END FINAS
          1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
```

表 4.1.1-3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM    0/0                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    1
1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                              1         2         3         4         5         6         7         8
                     1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                    FINAS
                    TITLE     TEMPERATURE RISE OF AIR FLOWING IN HEATED TUBE (VP530)
                    HEAT
1   TEMPERATURE RISE OF AIR FLOWING IN HEATED TUBE (VP530)                FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2

                                      M O D E L   D A T A   I M A G E
0                              1         2         3         4         5         6         7         8
                     1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
              0-    MODEL
              1-    NODE
              2-       1                 0.0       0.0
              3-       3                 1.0       0.0
              4-       5                 2.0       0.0
              5-       7                 3.0       0.0
              6-       9                 4.0       0.0
              7-      11                 5.0       0.0
              8-       2                 1.0       0.5
              9-       4                 2.0       0.5
             10-       6                 3.0       0.5
             11-       8                 4.0       0.5
                    $
             12-    ELEMENT TYPE
             13-       1     HFLOW2
             14-       2     ORLING2
             15-    CONNECTION
             16-       1   1   1   1   1   3
             17-       3   1   1   1   3   5
             18-       5   1   1   1   5   7
             19-       7   1   1   1   7   9
             20-       9   1   1   1   9  11
                    $
             21-       2   2   2   2   3   2
             22-       4   2   2   2   5   4
             23-       6   2   2   2   7   6
             24-       8   2   2   2   9   8
                    $
             25-    GEOMETRY
                    $
             26-       1   3 1.0       1.0        4.72
             27-       2   3 0.0272709 0.0272709
             28-    MATERIAL
             29-       1
             30-              K          0.0
                    ********************          DENS        1.0
             31-              C          0.24
             32-    FILM COEFFICIENT
             33-       2        2.7
             34-    SPECIFIED TEMPERATURE
             35-       1
             36-                 1                100.0
             37-                 2                200.0
             38-                 4                200.0
             39-                 6                200.0
             40-                 8                200.0
             41-    HISTORY
             42-    INTERVAL
             43-              SPEC     1        1.0
             44-    END MODEL
1   TEMPERATURE RISE OF AIR FLOWING IN HEATED TUBE (VP530)                FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3

0**** USER WARNING MESSAGE  4902.   MATERIAL ID     1
        DENSITY IS MISSING
1   TEMPERATURE RISE OF AIR FLOWING IN HEATED TUBE (VP530)                FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    4

                                      M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

    NODAL COORDINATE

      NUMBER OF NODAL POINTS .....      10

      NODE            X1            X2            X3

        1        0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00
        2         1.00000       0.500000      0.000000E+00
        3         1.00000       0.000000E+00  0.000000E+00
        4         2.00000       0.500000      0.000000E+00
        5         2.00000       0.000000E+00  0.000000E+00
        6         3.00000       0.500000      0.000000E+00
        7         3.00000       0.000000E+00  0.000000E+00
```

```
     8        4.00000      0.500000      0.000000E+00
     9        4.00000      0.000000E+00  0.000000E+00
     *
    11        5.00000      0.000000E+00  0.000000E+00

MAXIMUM      NODE-   11    NODE-    2    NODE-    1    NODE-
  VALUE        5.00000      0.500000      0.000000E+00

MINIMUM      NODE-    1    NODE-    1    NODE-    1    NODE-
  VALUE        0.000000E+00  0.000000E+00  0.000000E+00

-------------
ELEMENT TYPE
-------------

  TYPE        NAME                    SWO- 1     2     3     4     5     6     7     8     9    10
    1       HFLOW2                        0     0     0     0     0     0     0     0     0     0
    2       CRLINK2                       1     2     3     0     0     0     0     0     0     0

-------------------
ELEMENT CONNECTION
-------------------

NUMBER OF ELEMENTS ...     9

ELEMENT        TYPE   GEOM   MAT              NODES

    1            1      1     1              1     3
    2            2      2     2              3     2
    3            1      1     1              3     5
    4            2      2     2              5     4
    5            1      1     1              5     7
    6            2      2     2              7     6
    7            1      1     1              7     9
    8            2      2     2              9     8
    9            1      1     1              9    11
```

1 TEMPERATURE RISE OF AIR FLOWING IN HEATED TUBE (VP530) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 5

M O D E L D A T A D E S C R I P T I O N

```
-------------------
ELEMENT GEOMETRY
-------------------

GEOMETRY          GEOM-1        GEOM-2        GEOM-3

    1             1.000         1.000         4.720
    2            0.2727E-01    0.2727E-01    0.0000E+00

-------------------
MATERIAL PROPERTY
-------------------

IDENTIFICATION NUMBER ===    . 1

   ANISOTROPY OF CONDUCTIVITY ...... ISOTROPIC

                 VALUE
   K          0.000000E+00
   C          0.240000

-------------------
FILM COEFFICIENT
-------------------

IDENTIFICATION NUMBER ===      2

                 VALUE
   H          2.70000

-------------------
SPECIFIED TEMPERATURE
-------------------

IDENTIFICATION NUMBER ===      1

        NODE   DOF          TEMP          NODE   DOF          TEMP          NODE   DOF          TEMP

          1     1          100.0            2     1          200.0            4     1          200.0
          6     1          200.0            8     1          200.0

-------------
LOAD HISTORY
-------------

   NUM                  IDENT  * FACTOR                    INCREMENT        TOTAL

     1      SPECIFIED        1    1.0000      REAL    TIME    0.0000E+00    0.0000E+00
```

```
                                    N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                    ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

            1     1.00000E+02
            2     2.00000E+02
            3     1.06103E+02
            4     2.00000E+02
            5     1.11834E+02
            6     2.00000E+02
            7     1.17215E+02
            8     2.00000E+02
            9     1.22267E+02
           11     1.22267E+02
0
                                          H E A T   F L U X                                        ( STEP NUM.   1 )
0 ELM. ID-POINT              F1            F2            F3
0     1 -  1   HT.FLUX    1.13280E+02
0     3 -  1   HT.FLUX    1.20194E+02
0     5 -  1   HT.FLUX    1.26885E+02
0     7 -  1   HT.FLUX    1.32781E+02
0     9 -  1   HT.FLUX    1.38505E+02
0
                                          H E A T   F L O W                                        ( STEP NUM.   1 )
0 ELM. ID                    Q
0     2        HT.FLOW   -6.91373E+00
0     4        HT.FLOW   -6.49177E+00
0     6        HT.FLOW   -6.09556E+00
0     8        HT.FLOW   -5.72354E+00
1    TEMPERATURE RISE OF AIR FLOWING IN HEATED TUBE (VP530)                FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     7


0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . .  HEAT
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .        1          ( FROM     1 TO     1 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .        9
+                                                                   (       5*HFLOW2  )
                                                                    (       4*CRLINK2 )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .       10
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .        5
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          1
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          1.0
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .      0.0          ( 50.00 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.) . .     0.0          ( 50.00 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .     0.0 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      19 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .      0 BLOCKS
                              ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

5．ユーザーサブプログラムによる解析

5.1 静 的 解 析

5.1.1 クリープひずみを定義するユーザーサブプログラム XCREEP

(1) 問題

図 5.1.1-1 に示される半径 20mm、長さ 10mm の丸棒の一定温度応力下における弾性クリープ解析を行なう。材料定数として弾性係数は 1.63×10^4kg/mm^2、ポアソン比 0.3 とし、クリープひずみはユーザーサブプログラム XCREEP を用いて定義する。

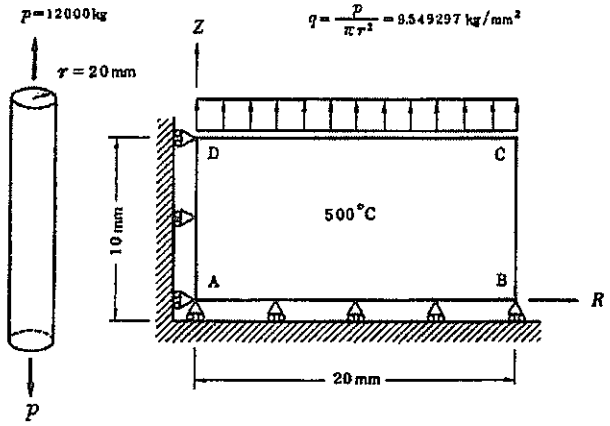


図 5.1.1-1　丸棒モデル

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 5.1.1-2 に示すように有限要素モデルは 8 節点四辺形軸対称要素 QAX8 を用いて半径方向 2 分割で行なう。境界条件は中心面に沿って半径方向変位および下面に沿って軸方向変位を拘束する。負荷条件として、軸方向荷重 12000kg に相当する引張り圧力 9.549297kg/mm^2、クリープ時間は 2000 時間を与える。構造内の温度は 500℃一定とする。クリープの硬化則は時間硬化則としてユーザーサブプログラム XCREEP で次式の単軸クリープひずみに定義する。

$$\varepsilon^c = 8\times10^{-11}\ \sigma^{3.61}\ t^{1.06} \qquad (5.1.1\text{-}1)$$

ここで、ε^cはクリープひずみ、σは応力、t は時間を表わす。

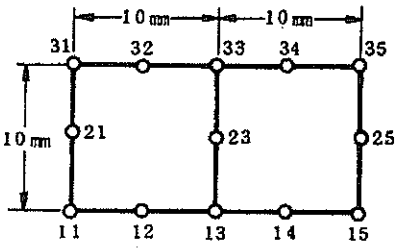


図 5.1.1-2　有限要素モデル

(3) 解析結果

クリープ時間 2000 時間における応力、クリープひずみを 表 5.1.1-1 に示す。

表 5.1.1-1　応力、クリープひずみ(t=2000 時間)

成分		FINAS の解	理論解
応力 (kg/mm2)	σ_R	-1.3904E-10	0
	σ_Z	9.5493E+00	9.549297
	σ_θ	-1.1494E-10	0
	τ_{RZ}	-2.3499E-11	0
クリープひずみ	ε^c_R	-4.3536E-04	-4.35359×10^{-4}
	ε^c_Z	8.7072E-04	8.70720×10^{-4}
	ε^c_θ	-4.3536E-04	-4.35359×10^{-4}
	γ^c_{RZ}	1.0043E-16	0

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 5.1.1-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0SYSTEM    0/0
FINAS
DIAG      51 /1
TITLE     VP-43
SUBTITLE  " USER,S SUBROUTINE XCREEP TEST "
STATIC       EC
MODEL
$    VP-43
$    USER,S SUBROUTINE XCREEP TEST
NODE
**NLOOP1      2   20                10.0
   11         2            0.0       0.0                        4         1   15
   15         2           20.0       0.0
**END1
   21         2            0.0       5.0                        2         2   25
   25         2           20.0       5.0
ELEMENT TYPE
    1     QAX8
CONNECTION
    1    1         1   11   12   13   21   23   31   32   33    2    2
MATERIAL
    1                                  1
          E         16300.
          NU        0.3
          CREEP     F8        1
BOUNDARY
    1
             11   15    1         2     0.0
             11                   1     0.0
             21                   1     0.0
             31                   1     0.0
FORCE
    1
         1    1    2    1    4    1    3 -9.549297 -9.549297 -9.549297
HISTORY
INTERVAL      1
          BOUN      1        1.0
          FORC      1        1.0
INTERVAL     10                    2000.0
          BOUN      1        1.0
END MODEL
OUTPUT,FREE
OTIME(1) = 11
PRINT SELECT
DISP = ALL , OTIME(1)
REAC = ALL , OTIME(1)
ELM  = ALL , OTIME(1)
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.1-3　ユーザーサブプログラム XCREEP

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      SUBROUTINE  XCREEP(IELM,IP,TIME,TEMP,FLX,SIGB,EPSCB,DTIME,DTEMP,
     *                   DFLX,DEPSCB                                 )
C
C          VP-43   USER,S SUBROUTINE TEST
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DEPSCB = 8.0D-11*SIGB**3.61*(TIME+DTIME)**1.06-EPSCB
C
      RETURN
      END
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.1-4　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM   0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                  FINAS
                  DIAG      51 /1
                  TITLE     VP-43
                  SUBTITLE  " USER.S SUBROUTINE XCREEP TEST "
                  STATIC       EC
1     VP-43                                                        FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    2
      " USER.S SUBROUTINE XCREEP TEST "

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
            0-    MODEL
                  $    VP-43
                  $    USER.S SUBROUTINE XCREEP TEST
            1-    NODE
            2-    **HLOOP1      2   20                 10.0
            3-      11          2            0.0       0.0                    4        1   15
            4-      15          2           20.0       0.0
            5-    **END1
            6-      21          2            0.0       5.0                    2        2   25
            7-      25          2           20.0       5.0
            8-    ELEMENT TYPE
            9-        1     QAX8
           10-    CONNECTION
           11-        1    1        1   11   12   13   21   23   31   32   33    2    2
           12-    MATERIAL
           13-        1                                  1
           14-              E          16300.
           15-              NU         0.3
           16-              CREEP      FB        1
           17-    BOUNDARY
           18-        1
           19-                 11   15    1        2     0.0
           20-                 11                  1     0.0
           21-                 21                  1     0.0
           22-                 31                  1     0.0
           23-    FORCE
           24-        1
           25-              1    1    2    1    4    1    3 -9.549297 -9.549297 -9.549297
           26-    HISTORY
           27-    INTERVAL      1
           28-              BOUN      1        1.0
           29-              FORC      1        1.0
           30-    INTERVAL     10                     2000.0
           31-              BOUN      1        1.0
           32-    END MODEL
1     VP-43                                                        FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    3
      " USER.S SUBROUTINE XCREEP TEST "

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                  OUTPUT,FREE
                  OTIME(1) = 11
                  PRINT SELECT
                  DISP = ALL , OTIME(1)
                  READ = ALL , OTIME(1)
                  ELM  = ALL , OTIME(1)
                  END OUTPUT
                  END FINAS
1     VP-43                                                        FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    4
      " USER.S SUBROUTINE XCREEP TEST "

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                  ( STEP NUM.  11 )
                                                                                             CREEP TIME  2.0000E+03
0     POINT-10          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            11        0.00000E+00   0.00000E+00
            12       -3.05557E-03   0.00000E+00
            13       -6.11114E-03   0.00000E+00
            14       -9.16671E-03   0.00000E+00
            15       -1.22223E-02   0.00000E+00
            21        0.00000E+00   7.28283E-03
            23       -6.11114E-03   7.28283E-03
            25       -1.22223E-02   7.28283E-03
            31        0.00000E+00   1.45657E-02
            32       -3.05557E-03   1.45657E-02
            33       -6.11114E-03   1.45657E-02
            34       -9.16671E-03   1.45657E-02
            35       -1.22223E-02   1.45657E-02
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( STEP NUM.  11 )
                                                                                             CREEP TIME  2.0000E+03
```

```
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

          11          2.84863E-13   -5.04862E-14
          12          0.00000E+00   -2.00000E+03
          13          0.00000E+00   -2.00000E+03
          14          0.00000E+00   -6.00000E+03
          15          0.00000E+00   -2.00000E+03
          21         -3.66525E-13    0.00000E+00
          31          1.56148E-13    0.00000E+00
1    VP-43                                                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    5
     " USER.S SUBROUTINE XCREEP TEST "

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N          ( STEP NUM  11 )
                                                                                          CREEP TIME  2.0000E+03
0 ELM. ID-POINT              R           Z          THETA        RZ                      VON MISES    TRESCA

     1 -  5    STRESS  -5.4772E-08  9.5493E+00 -5.4772E-08 -1.3650E-15                  9.5493E+00  9.5493E+00
             E.STRAIN  -1.7575E-04  5.8585E-04 -1.7575E-04 -2.1773E-19
             C.STRAIN  -4.3536E-04  8.7072E-04 -4.3536E-04 -3.1421E-19                  8.7072E-04
               STRAIN  -6.1111E-04  1.4586E-03 -6.1111E-04 -5.3194E-19

     2 -  5    STRESS  -5.4772E-08  9.5493E+00 -5.4772E-08 -1.2783E-15                  9.5493E+00  9.5493E+00
             E.STRAIN  -1.7575E-04  5.8585E-04 -1.7575E-04 -2.0390E-19
             C.STRAIN  -4.3536E-04  8.7072E-04 -4.3536E-04 -3.3820E-19                  8.7072E-04
               STRAIN  -6.1111E-04  1.4586E-03 -6.1111E-04 -5.4210E-19
1    VP-43                                                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    6
     " USER.S SUBROUTINE XCREEP TEST "

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . .  STATIC  EC
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . .      11          ( FROM    1 TO    11 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .       2
+                                                              (      2*QAX8    )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .      13
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .      18
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .      13
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       7.3
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .     0.0          ( 11.11 % )
0        LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .    0.0          ( 11.11 % )
0        STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
             LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . .     0.0          ( 22.22 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .    0.1          ( 55.56 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .     0.2 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      48 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .      0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

5.1.2 スウェリングひずみを定義するユーザーサブプログラム XSWELL

(1) 問題

図 5.1.2-1 に示す内径 10.0mm、外径 20.0mm、長さ 10mm の円筒が一定温度下において中性照射を受ける弾性スウェリング解析を行なう。材料定数として弾性係数は 1570000kg/cm^2、ポアソン比 0.3 とし、スウェリングひずみはユーザサブプログラム XSWELL を用いて定義する。

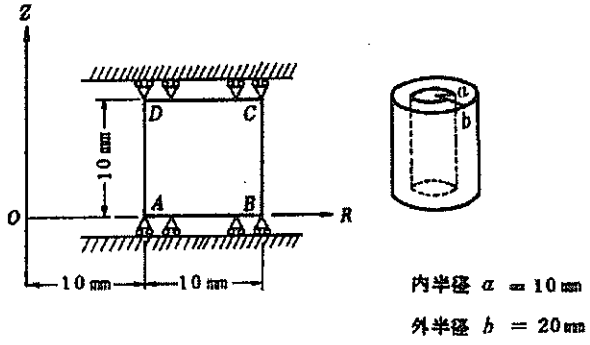


図 5.1.2-1　円筒モデル

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 5.1.2-2 に示すように有限要素モデルは 8 節点四辺形軸対称要素 QAX8 を用いて半径方向 5 分割で行なう。境界条件は円筒の上下面に沿って軸方向変位を拘束する。負荷条件は円筒全体に中性子束 1.0×10^{15}n/cm^{2}sec を 10 日間照射する。構造内の温度は 550℃一定とする。ユーザサブプログラム XSWELL で次式のスウェリングひずみを定義する。

$$\varepsilon^{s}\ 9\times10^{-35}(\phi t)^{1.5}(4.028-3.712\times10^{-2}T+1.0145\times10^{-4}T^{2}-7.879\times10^{-8}T^{3}) \tag{5.1.2-1}$$

ここで、ε^{s}はスウェリングひずみ、ϕ 中性子束、t は時間、T は温度を表わす。

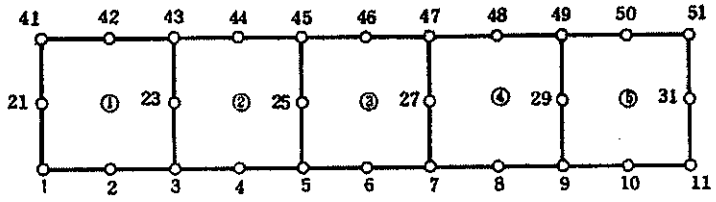


図 5.1.2-2　有限要素モデル

(3) 解析結果

表 5.1.2-1 に照射時間 10 日における外表面変位、応力、スウェリングひずみを示す。

表 5.1.2-1 外表面変位、応力、スウェリングひずみ

成　　分		FINAS の解	理論解
外表面変位（cm）	U_R	7.08338E-03	7.083378×10^{-3}
	U_Z	0.0	0.0
応　力 (kg/mm²)	σ_R	-4.4722E-03	0.0
	σ_Z	-4.2773E+03	-4277.2705
	σ_θ	-4.8062E-03	0.0
	T_{RZ}	5.8472E-12	0.0
スウェリングひずみ	ε^S_R	2.7244E-03	2.724376×10^{-3}
	ε^S_Z	2.7244E-03	2.724376×10^{-3}
	ε^S_θ	2.7244E-03	2.724376×10^{-3}
	γ^S_{RZ}	0.0	0.0

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 5.1.2-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
NOPRINT   DES
TITLE     VP-88
SUBTITLE  SWELLING PROBLEM USING SUB.XSWELL
STATIC    TE
MODEL
NODE
**NLOOP1      2   40                1.0
    1         2            1.0      0.0                        10         1   11
   11         2            2.0      0.0
**END1
   21         2            1.0      0.5                         5         2   31
   31         2            2.0      0.5
ELEMENT TYPE
    1     QAX8
CONNECTION
    1    1         1    1    2    3   21   23   41   42   43    5    2
MATERIAL
    1
          E         1570000.0
          NU        0.3
          ALPHA     2.059E-5
          SWELLING  F9   1
BOUNDARY
    1
          1    11   1         2
          41   51   1         2
TEMPERATURE
     REF  550.0
    1
          1    11   1         1.0
          21   31   2         1.0
          41   51   1         1.0
NEUTRON FLUX
    1
     F2   1    5    1    1    1    8    1         1.0E15
HISTORY
INTERVAL      5                                   240.0
          BOUN     1
          TEMP     1       0.0
          NEUT     1       1.0
END MODEL
OUTPUT
OTIME1        1    1    5
NSET1         1    1    2   50   51
ESET1         1    1    5
PRINT SELECT
DISP          1    1
ELM           1         1
REAC          1    1
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.2-3　ユーザーサブプログラム XSWELL

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      SUBROUTINE  XSWELL(IELM, IP, STIME, T, FLX, SIGC, EPS, DSTIME, DT,
     *                                                      DFLX, DEPS)
C
C
      IMPLICIT  REAL*8  (A-H, O-Z)
      DIMENSION TR(2), FLUEN(2), DEPSB(2)
C
C
      TR(1)    = T
      TR(2)    = T+DT
      FLUEN(1) = FLX*STIME
      FLUEN(2) = (FLX+DFLX)*(STIME+DSTIME)
      DO 10 I=1, 2
      COEF     = 4.028-3.712E-2*TR(I)+1.0145E-4*TR(I)**2
     *                                          -7.879E-8*TR(I)**3
      DEPSB(I)= COEF*9.0E-35*FLUEN(I)**1.5
   10 CONTINUE
      DEPS     = DEPSB(2)-DEPSB(1)
C
C
      RETURN
      END
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.2-4　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM   0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 FINAS
                 NOPRINT   DES
                 TITLE     VP-88
                 SUBTITLE  SWELLING PROBLEM USING SUB.XSWELL
                 STATIC    TE
1   VP-88                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
    SWELLING PROBLEM USING SUB.XSWELL

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
            0-   MODEL
            1-   MODE
            2-   **NLOOP1      2   40                1.0
            3-      1         2            1.0      0.0                  10        1   11
            4-     11         2            2.0      0.0
            5-   **END1
            6-     21         2            1.0      0.5                   5        2   31
            7-     31         2            2.0      0.5
            8-   ELEMENT TYPE
            9-      1     QAXB
           10-   CONNECTION
           11-      1   1        1   1   2   3  21  23  41  42  43   5   2
           12-   MATERIAL
           13-      1
           14-            E         1570000.0
           15-            NU        0.3
           16-            ALPHA     2.059E-5
           17-            SWELLING  F9   1
           18-   BOUNDARY
           19-      1
           20-            1   11   1        2
           21-            41   51   1        2
           22-   TEMPERATURE
           23-       REF  550.0
           24-      1
           25-            1   11   1        1.0
           26-            21   31   2        1.0
           27-            41   51   1        1.0
           28-   NEUTRON FLUX
           29-      1
           30-       F2   1   5   1   1   1   8   1        1.0E15
           31-   HISTORY
           32-   INTERVAL      5                            240.0
           33-            BOUN     1
           34-            TEMP     1       0.0
           35-            NEUT     1       1.0
           36-   END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  2225.  CARD NUMBER     23,  DATA GROUP NAME- TEMPERATURE
        'REF' CARD IS OBSOLETE -- USE 'REFERENCE TEMP' INSTEAD
1   VP-88                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
    SWELLING PROBLEM USING SUB.XSWELL

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 OUTPUT
                 OTIME1        1   1   5
                 NSET1         1   1   2  50  51
                 ESET1         1   1   5
                 PRINT SELECT
                 DISP          1   1
                 ELM           1       1
                 REAC          1   1
                 END OUTPUT
                 END FINAS
1   VP-88                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    4
    SWELLING PROBLEM USING SUB.XSWELL

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                 ( STEP NUM   1 )
                                                                                          SWELLING TIME  4.8000E+01
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        2.83335E-05   0.00000E+00
            2        3.11689E-05   0.00000E+00
           50        5.38337E-05   0.00000E+00
           51        5.66670E-05   0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                   ( STEP NUM   1 )
                                                                                          SWELLING TIME  4.8000E+01
0     POINT-ID          D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1        0.00000E+00   7.16664E+00
```

```
          2        0.00000E+00    3.15332E+01
         50        0.00000E+00   -5.44654E+01
         51        0.00000E+00   -1.43332E+01
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N          ( STEP NUM   1 )
                                                                                        SWELLING TIME  4.8000E+01
0 ELM ID-POINT          R          Z          THETA        RZ                          VON MISES   TRESCA       TEMP.

    1 -  5    STRESS  -2.3525E-07 -3.4218E+01 -2.3525E-07  9.4112E-14                  3.4218E+01  3.4218E+01     550.0
            E.STRAIN   6.5385E-06 -2.1795E-05  6.5385E-06  1.5585E-19
            T.STRAIN   0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
            S.STRAIN   2.1795E-05  2.1795E-05  2.1795E-05  0.0000E+00
              STRAIN   2.8334E-05  0.0000E+00  2.8334E-05  1.5585E-19

    5 -  5    STRESS  -2.3525E-07 -3.4218E+01 -2.3525E-07  5.3194E-14                  3.4218E+01  3.4218E+01     550.0
            E.STRAIN   6.5385E-06 -2.1795E-05  6.5385E-06  8.8091E-20
            T.STRAIN   0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
            S.STRAIN   2.1795E-05  2.1795E-05  2.1795E-05  0.0000E+00
              STRAIN   2.8334E-05  0.0000E+00  2.8334E-05  8.8091E-20
1   VP-88                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    5
    SWELLING PROBLEM USING SUB.XSWELL

                                  T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R          ( STEP NUM.   5 )
                                                                                        SWELLING TIME  2.4000E+02
0     POINT-ID          D1          D2          D3          D4          D5          D6

          1        3.54169E-03    0.00000E+00
          2        3.89588E-03    0.00000E+00
         50        6.72921E-03    0.00000E+00
         51        7.08339E-03    0.00000E+00
0

                                  N O D A L   P O I N T   R E A C T I O N                  ( STEP NUM   5 )
                                                                                        SWELLING TIME  2.4000E+02
0     POINT-ID          D1          D2          D3          D4          D5          D6

          1        0.00000E+00    8.95830E+02
          2        0.00000E+00    3.94165E+03
         50        0.00000E+00   -8.60830E+03
         51        0.00000E+00   -1.79165E+03
0

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N          ( STEP NUM   5 )
                                                                                        SWELLING TIME  2.4000E+02
0 ELM ID-POINT          R          Z          THETA        RZ                          VON MISES   TRESCA       TEMP.

    1 -  5    STRESS   6.5055E-05 -4.2773E+03  6.5055E-05  4.7424E-12                  4.2773E+03  4.2773E+03     550.0
            E.STRAIN   8.1731E-04 -2.7244E-03  8.1731E-04  7.8537E-18
            T.STRAIN   0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
            S.STRAIN   2.7244E-03  2.7244E-03  2.7244E-03  0.0000E+00
              STRAIN   3.5417E-03  0.0000E+00  3.5417E-03  7.8537E-18

    5 -  5    STRESS   6.5055E-05 -4.2773E+03  6.5055E-05 -2.2382E-12                  4.2773E+03  4.2773E+03     550.0
            E.STRAIN   8.1731E-04 -2.7244E-03  8.1731E-04 -3.7066E-18
            T.STRAIN   0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00
            S.STRAIN   2.7244E-03  2.7244E-03  2.7244E-03  0.0000E+00
              STRAIN   3.5417E-03  0.0000E+00  3.5417E-03 -3.7066E-18
1   VP-88                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    6
    SWELLING PROBLEM USING SUB.XSWELL

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . .  STATIC  TE
0       NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .      5          ( FROM    1 TO    5 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .      5
+                                                                 (      5+QAX8    )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .     28
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .      34
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .        10
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         8.9
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
           LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . .      0.1          ( 42.86 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .    0.1          ( 57.14 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .     0.1 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      55 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .      0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

5.1.3 弾性係数マトリックスを定義するユーザーサブプログラム XELMAT

(1) 問題

図 5.1.3-1 に示すような縦／横の長さ 10mm、板厚 1.0mm の仮想の平面構造において中央から上下 1mm の幅 2mm 部分を積層構造として取り扱う。材料定数は仮想なものを用いるが、積層構造部は異方性、他の部分は等方性とする。各部分の材料定数を表 5.1.3-1 に示す。なお、積層構造部の弾性特性マトリックスは式 (5.1.3-1) はユーザーサブプログラム XELMAT により定義する。

$$\left[E^e\right]=\frac{E_y}{1-n\nu_y{}^2}\begin{bmatrix} n & n\nu_y & 0 \\ n\nu_y & 1 & 0 \\ 0 & 0 & m(1-n\nu_y{}^2) \end{bmatrix} \qquad (5.1.3\text{-}1)$$

ここで、n=Ex/Ey、m=Gxy/Ey である。

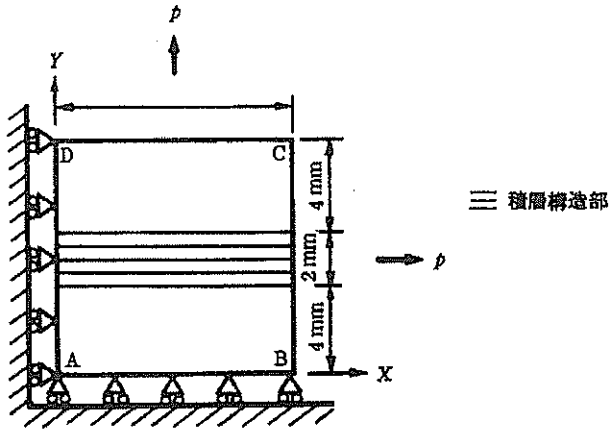


図 5.1.3-1　平面構造

表 5.1.3-1　材料定数

	Ex (kg/mm²)	Ey (kg/mm²)	Gxy (kg/mm²)	νx	νy
積層構造部	2.0×10^4	2.0×10^3	2.0×10^3	0.3	0.3
その他	2.0×10^1	2.0×10^4	7692.3	0.3	0.3

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 5.1.3-2 に示すように、4 節点四辺形平面応力要素 QMEM4 により X 方向、Y 方向 5 等分割で有限要素モデルを作成する。境界条件は面 AB に沿って Y 方向変位、面 AD に沿って X方向変位を拘束する。負荷条件は面 BC および面 DC に単位圧力1.0kg/mm^2 を与える。

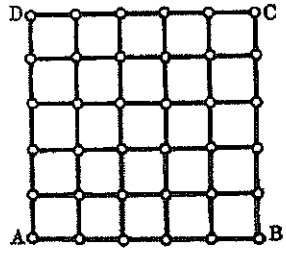


図 5.1.3-2　有限要素モデル

(3) 解析結果

表 5.1.3-2 および表 5.1.3-3 に図 5.1.3-2 の AC 線上の節点変位および要素応力について汎用構造解析コード ANSYS の解と比較して示す。

表 5.1.3-2　節点変位（mm）

節点番号	成分	FINAS の解	ANSYS の解
1	U_X	0.0	0.0
	U_Y	0.0	0.0
12	U_X	-4.05352E-06	-0.405353E-05
	U_Y	-9.34616E-05	-0.934616E-04
23	U_X	1.35863E-06	0.135866E-05
	U_Y	-1.78197E-04	-0.178197E-03
34	U_X	1.62460E-05	0.162460E-04
	U_Y	-3.14399E-04	-0.314399E-03
45	U_X	-8.38702E-05	-0.838702E-04
	U_Y	-3.71886E-04	-0.371886E-03
56	U_X	-2.44033E-04	-0.244033E-03
	U_Y	-3.46879E-04	-0.346879E-03

表 5.1.3-3　要素応力（kg/mm²）

要素番号	成　分	FINAS の解	ANSYS の解
1	σ_X	-3.7163E-01	-0.37163
	σ_Y	-1.0623E-00	-1.0623
	τ_{XY}	1.0994E-02	0.10994E-01
7	σ_X	-3.4653E-01	-0.34653
	σ_Y	-1.0699E-00	-1.0699
	τ_{XY}	7.6269E-02	0.76269E-01
13	σ_X	-3.1262E+00	-3.1262
	σ_Y	-1.0844E+00	-1.0844
	τ_{XY}	1.2555E-02	0.12555E-01
19	σ_X	-3.6422E-01	-0.36422
	σ_Y	-9.6830E-01	-0.9683
	τ_{XY}	-2.4741E-01	-0.24741
25	σ_X	-9.9887E-01	-0.99887
	σ_Y	-9.8960E-01	-0.98960
	τ_{XY}	1.5526E-01	0.15526E-01

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 5.1.3-4 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0SYSTEM    0/0
FINAS
TITLE     VP-131
SUBTITLE  STATIC ANALYSIS DELIBERATED MATERIAL ANISOTROPY
STATIC    E
NOPRINT   DESCR
MODEL
$         VP-131
$         ANISOTROPY ELASTIC MATRIX ( USED XELMAT )
NODE
**NLOOP1      6   10       0.0       2.0
    1                      0.0       0.0                      5         1    6
    6                     10.0       0.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1     QMEM4
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2   11   12                      5         2   10
   11    1    1    2   21   22   31   32                      5
   16    1    1    1   31   32   41   42                      5         2   10
MATERIAL
    1
          E          20000.0
          NU             0.3
    2                                                         -1
GEOMETRY
    1    1      1.0
BOUNDARY
    1
              1    6              2
              1   51   10         1
              1   56              3
FORCE
    1
         1   21   25    1    4    1    2       1.0       1.0
         1    5   25    5    3    1    2       1.0       1.0
HISTORY
INTERVAL
          BOUN      1
          FORC      1
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.3-5　ユーザーサブプログラム XELMAT

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      SUBROUTINE  XELMAT(IEXN, IECOD, NCMP, IP, ISTEP, TIME, TEMP, GEOM,

     *                   CORD, DISP, SIG, EPS, DMAT)
C
      IMPLICIT  REAL*8(A-H, O-Z)
      REAL*8    NN, MM
      DIMENSION GEOM(1), CORD(1), DISP(1), SIG(1), EPS(1),
     *          DMAT(NCMP, NCMP)
C~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
      EX   = 20000.0
      EY   = 2000.0
      VX   = 0.3
      VY   = 0.3
      GXY  = 2000.0
C~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
      NN = EX  / EY
      MM = GXY / EY
      E1 = (EY*NN)                 / (1.0-NN*VY*VY)
      E2 = (EY*NN*VY)              / (1.0-NN*VY*VY)
      E3 = (EY)                    / (1.0-NN*VY*VY)
      E4 = (EY*MM*(1.0-NN*VY*VY)) / (1.0-NN*VY*VY)
C
      DMAT(1,1) = E1
      DMAT(2,1) = E2
      DMAT(3,1) = 0.0
      DMAT(1,2) = E2
      DMAT(2,2) = E3
      DMAT(3,2) = 0.0
      DMAT(1,3) = 0.0
      DMAT(2,3) = 0.0
      DMAT(3,3) = E4
C
      RETURN
      END
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
```

表 5.1.3-6　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

      SYSTEM    0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                  FINAS
                  TITLE     VP-131
                  SUBTITLE  STATIC ANALYSIS DELIBERATED MATERIAL ANISOTROPY
                  STATIC    E
                  NOPRINT   DESCR
1     VP-131                                                       FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    2
      STATIC ANALYSIS DELIBERATED MATERIAL ANISOTROPY

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1         2         3         4         5         6         7         8
                  1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
            0-    MODEL
                  $         VP-131
                  $         ANISOTROPY ELASTIC MATRIX ( USED XELMAT )
            1-    NODE
            2-    **NLOOP1      6   10       0.0       2.0
            3-       1                       0.0       0.0                  5         1    6
            4-       6                      10.0       0.0
            5-    **END1
            6-    ELEMENT TYPE
            7-       1     QMEM4
            8-    CONNECTION
            9-       1    1    1    1    1    2   11   12                  5         2   10
           10-      11    1    1    2   21   22   31   32                  5
           11-      16    1    1    1   31   32   41   42                  5         2   10
           12-    MATERIAL
           13-       1
           14-             E          20000.0
           15-             NU             0.3
           16-       2                                                     -1
           17-    GEOMETRY
           18-       1    1      1.0
           19-    BOUNDARY
           20-       1
           21-                 1    6             2
           22-                 1   51   10        1
           23-                 1   56             3
           24-    FORCE
           25-       1
           26-             1   21   25    1    4    1    2       1.0       1.0
           27-             1    5   25    5    3    1    2       1.0       1.0
           28-    HISTORY
           29-    INTERVAL
           30-             BOUN      1
           31-             FORC      1
           32-    END MODEL
1     VP-131                                                       FINAS   VERSION 13.0   01/22/98      PAGE    3
      STATIC ANALYSIS DELIBERATED MATERIAL ANISOTROPY

                          T O T A L   D I S P L A C E M E N T   V E C T O R                 ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID            D1            D2            D3            D4            D5            D6

            1          0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
            2         -6.53499E-06   0.00000E+00   0.00000E+00
            3         -2.06871E-05   0.00000E+00   0.00000E+00
            4         -5.18804E-05   0.00000E+00   0.00000E+00
            5         -1.07713E-04   0.00000E+00   0.00000E+00
            6         -1.87389E-04   0.00000E+00   0.00000E+00
           11          0.00000E+00  -9.66972E-05   0.00000E+00
           12         -4.05352E-06  -9.34616E-05   0.00000E+00
           13         -1.21891E-05  -8.34994E-05   0.00000E+00
           14         -3.07394E-05  -6.85054E-05   0.00000E+00
           15         -6.82507E-05  -6.10827E-05   0.00000E+00
           16         -1.32284E-04  -1.10309E-04   0.00000E+00
           21          0.00000E+00  -1.96268E-04   0.00000E+00
           22         -1.66801E-06  -1.91951E-04   0.00000E+00
           23          1.35884E-06  -1.76197E-04   0.00000E+00
           24          1.27727E-05  -1.55606E-04   0.00000E+00
           25          3.17137E-05  -1.38511E-04   0.00000E+00
           26          4.13822E-05  -1.78017E-04   0.00000E+00
           31          0.00000E+00  -3.00139E-04   0.00000E+00
           32         -1.94396E-06  -3.04210E-04   0.00000E+00
           33          2.23343E-06  -3.12570E-04   0.00000E+00
           34          1.62460E-05  -3.14399E-04   0.00000E+00
           35          3.73351E-05  -2.92699E-04   0.00000E+00
           36          4.73032E-05  -2.20595E-04   0.00000E+00
           41          0.00000E+00  -3.96510E-04   0.00000E+00
           42         -1.22502E-05  -4.00888E-04   0.00000E+00
           43         -2.70722E-05  -4.09367E-04   0.00000E+00
           44         -4.80356E-05  -4.07219E-04   0.00000E+00
           45         -8.33702E-05  -3.71696E-04   0.00000E+00
           46         -1.50700E-04  -2.72642E-04   0.00000E+00
           51          0.00000E+00  -4.85589E-04   0.00000E+00
           52         -1.68553E-05  -4.88896E-04   0.00000E+00
```

53	-4.54395E-05	-4.93831E-04	0.00000E+00
54	-9.59450E-05	-4.85125E-04	0.00000E+00
55	-1.70466E-04	-4.35638E-04	0.00000E+00
56	-2.44033E-04	-3.46879E-04	0.00000E+00

1 VP-131 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 4
STATIC ANALYSIS DELIBERATED MATERIAL ANISOTROPY

NODAL POINT REACTION (STEP NUM. 1)

0

POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	3.69768E-01	1.05929E+00	0.00000E+00			
2	0.00000E+00	2.05869E+00	0.00000E+00			
3	0.00000E+00	1.69312E+00	0.00000E+00			
4	0.00000E+00	1.71937E+00	0.00000E+00			
5	0.00000E+00	1.95354E+00	0.00000E+00			
6	0.00000E+00	1.31600E+00	0.00000E+00			
11	7.21220E-01	0.00000E+00	0.00000E+00			
21	3.78891E+00	0.00000E+00	0.00000E+00			
31	3.83383E+00	0.00000E+00	0.00000E+00			
41	8.49696E-01	0.00000E+00	0.00000E+00			
51	4.39575E-01	0.00000E+00	0.00000E+00			

0

TOTAL STRESS AND STRAIN (STEP NUM. 1)

0 ELM. ID-POINT		X	Y	XY	VON MISES	TRESCA
1 - 5	STRESS	-3.7163E-01	-1.0623E+00	1.0994E-02	9.3389E-01	1.0625E+00
	STRAIN	-2.8471E-06	-4.7540E-05	1.4293E-06		
2 - 5	STRESS	-4.1415E-01	-1.0091E+00	4.0272E-02	8.8129E-01	1.0118E+00
	STRAIN	-5.5719E-06	-4.4240E-05	5.2354E-06		
3 - 5	STRESS	-5.2387E-01	-9.1719E-01	8.5833E-02	8.1073E-01	9.3510E-01
	STRAIN	-1.2436E-05	-3.8001E-05	1.1156E-05		
4 - 5	STRESS	-7.2649E-01	-8.6589E-01	1.3082E-01	8.3656E-01	9.4442E-01
	STRAIN	-2.3336E-06	-3.2397E-05	1.7007E-05		
5 - 5	STRESS	-9.8213E-01	-1.1456E+00	4.8697E-02	1.0891E+00	1.1577E+00
	STRAIN	-3.0922E-05	-4.2849E-05	6.3306E-06		
6 - 5	STRESS	-3.5792E-01	-1.0977E+00	1.9088E-02	9.7020E-01	1.0982E+00
	STRAIN	-1.4304E-06	-4.9517E-05	2.4814E-06		
7 - 5	STRESS	-3.4853E-01	-1.0699E+00	7.6269E-02	9.5475E-01	1.0779E+00
	STRAIN	-1.2772E-06	-4.6299E-05	9.9150E-06		
8 - 5	STRESS	-3.3688E-01	-1.0107E+00	1.8201E-01	9.4507E-01	1.0588E+00
	STRAIN	-1.7941E-06	-4.5449E-05	2.3661E-05		
9 - 5	STRESS	-3.7324E-01	-9.3461E-01	3.2308E-01	9.8843E-01	1.0810E+00
	STRAIN	-4.6426E-06	-4.1132E-05	4.1998E-05		
10 - 5	STRESS	-5.3794E-01	-8.6707E-01	3.5557E-01	9.6913E-01	1.1096E+00
	STRAIN	-1.3591E-05	-3.6264E-05	4.6225E-05		

1 VP-131 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 5
STATIC ANALYSIS DELIBERATED MATERIAL ANISOTROPY

TOTAL STRESS AND STRAIN (STEP NUM. 1)

0 ELM. ID-POINT		X	Y	XY	VON MISES	TRESCA
11 - 5	STRESS	-3.4224E+00	-1.1348E+00	-2.1060E-05	3.0194E+00	3.4224E+00
	STRAIN	-9.0299E-07	-5.4030E-05	-1.0530E-06		
12 - 5	STRESS	-3.3391E+00	-1.1250E+00	3.0016E-03	2.9426E+00	3.3391E+00
	STRAIN	1.8010E-06	-6.1653E-05	1.5008E-06		
13 - 5	STRESS	-3.1262E+00	-1.0844E+00	1.2555E-02	2.7494E+00	3.1262E+00
	STRAIN	6.3587E-06	-7.3292E-05	6.2776E-06		
14 - 5	STRESS	-2.6962E+00	-9.6545E-01	2.3845E-02	2.3865E+00	2.6965E+00
	STRAIN	1.0009E-05	-7.8295E-05	1.1922E-05		
15 - 5	STRESS	-1.9726E+00	-8.9028E-01	2.2170E-02	1.7342E+00	1.9730E+00
	STRAIN	4.9092E-06	-4.8241E-05	1.1085E-05		
16 - 5	STRESS	-3.9620E-01	-1.0841E+00	-3.6087E-02	9.5217E-01	1.0860E+00
	STRAIN	-3.5486E-06	-4.8262E-05	-4.6987E-06		
17 - 5	STRESS	-3.7740E-01	-1.0606E+00	-1.0856E-01	9.6832E-01	1.0970E+00
	STRAIN	-2.6811E-06	-4.8369E-05	-1.4113E-05		
18 - 5	STRESS	-3.5075E-01	-1.0533E+00	-1.7936E-01	9.7957E-01	1.0864E+00
	STRAIN	-1.7378E-06	-4.7404E-05	-2.3317E-05		
19 - 5	STRESS	-3.6422E-01	-9.8830E-01	-2.4741E-01	9.4933E-01	1.0587E+00
	STRAIN	-3.6863E-06	-4.2952E-05	-3.2163E-05		
20 - 5	STRESS	-5.2842E-01	-8.1370E-01	-2.8396E-01	8.6791E-01	9.8883E-01
	STRAIN	-1.4215E-05	-3.2759E-05	-3.6915E-05		
21 - 5	STRESS	-4.5183E-01	-1.0210E+00	-2.3639E-02	8.6710E-01	1.0220E+00
	STRAIN	-7.2784E-06	-4.4272E-05	-3.0730E-06		

```
     22 -  5    STRESS  -5.2279E-01 -1.0192E+00 -6.9971E-02                                  8.9104E-01  1.0289E+00
                STRAIN  -1.0852E-05 -4.3119E-05 -9.0962E-06

     23 -  5    STRESS  -6.6033E-01 -1.0099E+00 -1.0658E-01                                  9.0731E-01  1.0399E+00
                STRAIN  -1.7867E-05 -4.0592E-05 -1.3858E-05

     24 -  5    STRESS  -8.3985E-01 -9.6024E-01 -9.5548E-02                                  9.2105E-01  1.0130E+00
                STRAIN  -2.7569E-05 -3.5414E-05 -1.2421E-05

     25 -  5    STRESS  -9.9887E-01 -9.8960E-01  1.5526E-02                                  9.9483E-01  1.0104E+00
                STRAIN  -3.5099E-05 -3.4497E-05  2.0183E-06
1    VP-131                                                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     6
     STATIC ANALYSIS DELIBERATED MATERIAL ANISOTROPY

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . .  STATIC  E
0         NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . .        1          ( FROM     1 TO     1 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .       25
+                                                                  (      25*QMEM4   )
0         NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .       36
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .       60
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       15
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       12.3
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         STRESS DATA RECOVERY . . . . . . . . .      0.0          ( 33.33 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .     0.0          ( 66.67 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .      0.1 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .       42 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .       0 BLOCKS
                              ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

5.1.4 線膨張係数を定義するユーザーサブプログラム XEXPA

(1) 問題

図 5.1.4-1 に示すような横 20.0mm、横 10.0mm、板厚 1.0mm の初期温度 500℃一定の仮想の平面構造において熱弾性解析を行なう。材料定数は弾性係数 19800kg/mm^2、ポアソン比 0.3 とし、線膨張係数は X 方向係数 20.60×10^{-6} 1/℃、Y 方向係数 20.28×10^{-6} 1/℃、をユーザサブプログラム XEXPA により定義する。

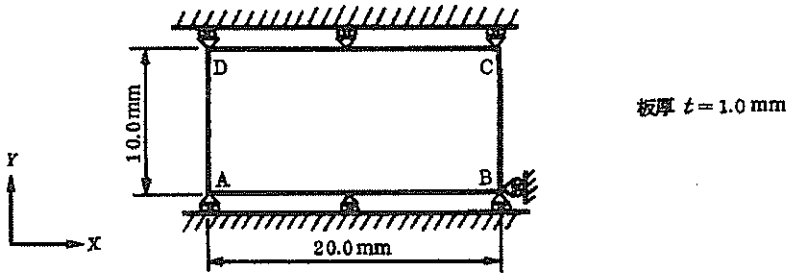


図 5.1.4-1　平面構造

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 5.1.4-2 に示すように、4 節点四辺形平面応力要素 QMEM4 を用いて有限要素モデルを作成する。境界条件は面 AB および DC に沿って Y 方向変位、点 B において X 方向変位を拘束する。

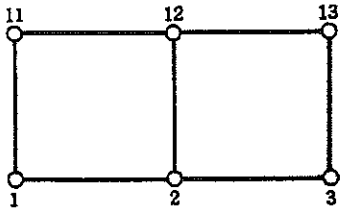


図 5.1.4-2　有限要素モデル

負荷条件としては、構造全体を図 5.1.4-3 に示されるように 1 から 5 ステップは 250℃下降、6 から 10 ステップは 250℃上昇する温度変化を与える。

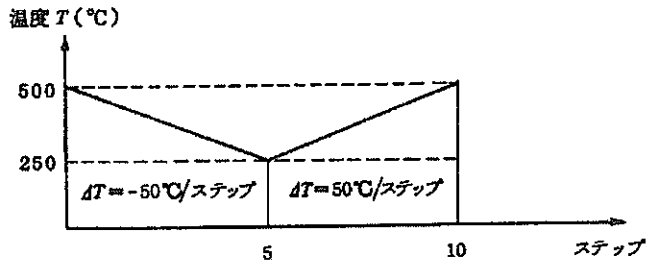


図 5.1.4-3　温度変化履歴

(3) 理論解

・温度 T=250℃の場合

熱ひずみ　$\varepsilon^{T}_{X}=\alpha_{X}\Delta T,\quad \varepsilon^{T}_{Y}=\alpha_{Y}\Delta T,\quad \gamma^{T}_{XY}=\alpha_{XY}\Delta T$　(5.1.4-1)

弾性ひずみ　$\varepsilon^{e}_{Y}=-\varepsilon^{T}_{X},\quad \varepsilon^{e}_{X}=-\nu\ \varepsilon^{e}_{Y},\quad \gamma^{e}_{XY}=0$　(5.1.4-2)

応力　$\sigma_{x}=(E/(1-\nu^{2}))(\varepsilon^{e}_{X}+\nu\ \varepsilon^{e}_{Y})$　(5.1.4-3)

$\sigma_{Y}=(E/(1-\nu^{2}))(\nu\ \varepsilon^{e}_{X}+\varepsilon^{e}_{Y})$　(5.1.4-4)

$\tau_{XY}=0$　(5.1.4-5)

・温度 T=500℃の場合

明らかに熱ひずみは 0 であり、したがって弾性ひずみ、応力も 0 である。

(4) 解析結果

表 5.1.4-1 に温度 250℃および 500℃における応力、ひずみを示す。

表 5.1.4-1 各温度における応力、ひずみ

温度	応力／ひずみ	FINAS の解	理論解
T=250(℃)	σ_X	5.8065E-05	0.0
	σ_Y	1.0039E+02	100.386
	τ_{XY}	1.9352E-17	0.0
	ε_X	-6.6710E-03	-6.671×10^{-3}
	ε_Y	0.0	0.0
	γ_{XY}	2.5411E-21	0.0
	ε^e_X	-1.5210E-03	-1.521×10^{-3}
	ε^e_Y	5.0700E-03	5.07×10^{-3}
	γ^e_{XY}	2.5411E-21	
	ε^T_X	-5.1500E-03	-5.15×10^{-3}
	ε^T_Y	-5.0700E-03	-5.07×10^{-3}
	γ^T_{XY}	0.0	0.0
T=500(℃)	σ_X	-3.0013E-11	0.0
	σ_Y	1.5259E-05	0.0
	τ_{XY}	2.1319E-15	0.0
	ε_X	1.0012E-08	0.0
	ε_Y	0.0	0.0
	γ_{XY}	2.7994E-19	0.0
	ε^e_X	0.0	0.0
	ε^e_Y	-6.5193E-09	0.0
	γ^e_{XY}	2.7994E-19	0.0
	ε^T_X	5.5879E-09	0.0
	ε^T_Y	6.5193E-09	0.0
	γ^T_{XY}	0.0	0.0

(5) 入力データと解析結果のリスト

表 5.1.4-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........OSYSTEM    0/0
FINAS
TITLE     VP-144
SUBTITLE  THERMAL EXPANSION USING USER-SUBROUTINE XEXPA
STATIC    TE
NOPRINT   DESC
MODEL
$         VP-144
$         THERMAL EXPANSION USING USER-SUBROUTINE XEXPA
NODE
**NLOOP1      2   10       0.0      10.0
    1                      0.0       0.0                        2         1    3
    3                     20.0       0.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1     QMEM4
GEOMETRY
    1    1       1.0
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2   11   12                       2    1
MATERIAL
    1                                                  -1
          E            19800.0
          NU               0.3
BOUNDARY
    1
              1    3              2
             11   13              2
              1   13              3
REFERENCE TEMP
                                500.0
TEMPERATURE
    1
              1    3                 1.0
             11   13                 1.0
HISTORY
INTERVAL      5
          BOUN     1
          TEMP     1    -250.0
INTERVAL      5
          BOUN     1
          TEMP     1     250.0
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
OTIME1        1    5   10                                        62
DISP      ALL      1
ELM       ALL           1
REAC      ALL      1
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.4-3　ユーザーサブプログラム XEXPA

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      SUBROUTINE  XEXPA(IELM, IECOD, NCOMP, IP, ISTEP, RTEMP, T, ALP)
C
      IMPLICIT      REAL*8  (A-H, O-Z)
      DIMENSION     ALP(1)
C
      ALP(1) = 20.60E-6
      ALP(2) = 20.28E-6
C
      RETURN
      END
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.4-4　解析結果のリスト

```
1      S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

     SYSTEM    0/0
1                                                                                  FINAS   VERSION 13.0
01/22/98      PAGE     1


                                  A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                              1         2         3         4         5         6         7         8
                     1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                     FINAS
                     TITLE     VP-144
                     SUBTITLE  THERMAL EXPANSION USING USER-SUBROUTINE XEXPA
                     STATIC    TE
                     NOPRINT   DESC
1    VP-144                                                                        FINAS   VERSION 13.0
01/22/98      PAGE     2
     THERMAL EXPANSION USING USER-SUBROUTINE XEXPA

                                                M O D E L   D A T A   I M A G E
0                              1         2         3         4         5         6         7         8
                     1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
               0-    MODEL
                     $         VP-144
                     $         THERMAL EXPANSION USING USER-SUBROUTINE XEXPA
               1-    NODE
               2-    **NLOOP1      2   10       0.0      10.0
               3-        1                      0.0       0.0                        2         1    3
               4-        3                     20.0       0.0
               5-    **END1
               6-    ELEMENT TYPE
               7-        1     QMEM4
               8-    GEOMETRY
               9-        1    1       1.0
              10-    CONNECTION
              11-        1    1    1    1    1    2   11   12                        2    1
              12-    MATERIAL
              13-        1                                                      -1
              14-              E            19800.0
              15-              NU               0.3
              16-    BOUNDARY
              17-        1
              18-                  1    3              2
              19-                 11   13              2
              20-                  1   13              3
              21-    REFERENCE TEMP
              22-                                  500.0
              23-    TEMPERATURE
              24-        1
              25-                  1    3                1.0
              26-                 11   13                1.0
              27-    HISTORY
              28-    INTERVAL      5
              29-              BOUN     1
              30-              TEMP     1    -250.0
              31-    INTERVAL      5
              32-              BOUN     1
              33-              TEMP     1     250.0
              34-    END MODEL
1    VP-144                                                                        FINAS   VERSION 13.0
01/22/98      PAGE     3
     THERMAL EXPANSION USING USER-SUBROUTINE XEXPA

                                  O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                              1         2         3         4         5         6         7         8
                     1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                     OUTPUT
                     PRINT SELECT
                     OTIME1        1    5   10                                                  62
                     DISP      ALL      1
```

```
                ELM      ALL          1
                REAC     ALL      1
                END OUTPUT
                END FINAS
1    VP-144                                                          FINAS   VERSION 13.0
01/22/98      PAGE     4
     THERMAL EXPANSION USING USER-SUBROUTINE XEXPA

                          TOTAL   DISPLACEMENT   VECTOR                    (STEP
NUM.   5 )
0      POINT-ID            D1              D2              D3              D4              D5
D6

             1        3.96700E-02     0.00000E+00     0.00000E+00
             2       -2.70400E-02     0.00000E+00     0.00000E+00
             3       -9.37500E-02     0.00000E+00     0.00000E+00
            11        3.96700E-02     0.00000E+00     0.00000E+00
            12       -2.70400E-02     0.00000E+00     0.00000E+00
            13       -9.37500E-02     0.00000E+00     0.00000E+00
0

                                NODAL   POINT   REACTION                    (STEP
NUM.   5 )
0      POINT-ID            D1              D2              D3              D4              D5
D6

             1        0.00000E+00    -5.01930E+02     0.00000E+00
             2        0.00000E+00    -1.00386E+03     0.00000E+00
             3        0.00000E+00    -5.01930E+02     0.00000E+00
            11        0.00000E+00     5.01930E+02     0.00000E+00
            12        0.00000E+00     1.00386E+03     0.00000E+00
            13        0.00000E+00     5.01930E+02     0.00000E+00
0

                                 TOTAL   STRESS   AND   STRAIN              (STEP
NUM.   5 )
0 ELM.ID-POINT              X          Y          XY                                  VON
MISES    TRESCA        TEMP.

     1    -        5                STRESS            1.3150E-06        1.0039E+02        6.1925E-16
1.0039E+02  1.0039E+02      250.0
             E.STRAIN  -1.5210E-03  5.0700E-03  8.1315E-20
             T.STRAIN  -5.1500E-03 -5.0700E-03  0.0000E+00
               STRAIN  -6.6710E-03  0.0000E+00  8.1315E-20

     2    -        5                STRESS            1.3150E-06        1.0039E+02     -1.6513E-15
1.0039E+02  1.0039E+02      250.0
             E.STRAIN  -1.5210E-03  5.0700E-03 -2.1684E-19
             T.STRAIN  -5.1500E-03 -5.0700E-03  0.0000E+00
               STRAIN  -6.6710E-03  0.0000E+00 -2.1684E-19
1    VP-144                                                          FINAS   VERSION 13.0
01/22/98      PAGE     5
     THERMAL EXPANSION USING USER-SUBROUTINE XEXPA

                          TOTAL   DISPLACEMENT   VECTOR                    (STEP
NUM.  10 )
0      POINT-ID            D1              D2              D3              D4              D5
D6

             1       -7.81250E-03     0.00000E+00     0.00000E+00
             2       -7.81250E-03     0.00000E+00     0.00000E+00
             3       -7.81250E-03     0.00000E+00     0.00000E+00
            11       -7.81250E-03     0.00000E+00     0.00000E+00
            12       -7.81250E-03     0.00000E+00     0.00000E+00
            13       -7.81250E-03     0.00000E+00     0.00000E+00
0

                                NODAL   POINT   REACTION                    (STEP
NUM.  10 )
0      POINT-ID            D1              D2              D3              D4              D5
```

```
D6

              1          0.00000E+00    -1.18614E-05     0.00000E+00
              2          0.00000E+00    -2.37228E-05     0.00000E+00
              3          0.00000E+00    -1.18614E-05     0.00000E+00
             11          0.00000E+00     1.18614E-05     0.00000E+00
             12          0.00000E+00     2.37228E-05     0.00000E+00
             13          0.00000E+00     1.18614E-05     0.00000E+00
0

                                        T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N              ( STEP
NUM.  10 )
0 ELM. ID-POINT              X           Y          XY                                                VON
MISES    TRESCA        TEMP.

     1    -        5                  STRESS            1.1369E-13        1.9073E-06    -8.2566E-16
1.9073E-06  1.9073E-06      500.0
             E.STRAIN   0.0000E+00  0.0000E+00 -1.0842E-19
             T.STRAIN  -2.3283E-10  0.0000E+00  0.0000E+00
               STRAIN  -1.1642E-10  0.0000E+00 -1.0842E-19

     2    -        5                  STRESS            1.1369E-13        1.9073E-06    -8.2566E-16
1.9073E-06  1.9073E-06      500.0
             E.STRAIN   0.0000E+00  0.0000E+00 -1.0842E-19
             T.STRAIN  -2.3283E-10  0.0000E+00  0.0000E+00
               STRAIN  -1.1642E-10  0.0000E+00 -1.0842E-19
1    VP-144                                                                    FINAS   VERSION 13.0
01/22/98      PAGE     6
     THERMAL EXPANSION USING USER-SUBROUTINE XEXPA

0                  F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . .  STATIC  TE
0         NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .       10          ( FROM     1 TO    10 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .        2
+                                                                    (       2*QMEM4   )
0         NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .        6
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .        6
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          5
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .          3.2
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .      0.0          ( 22.22 % )
0         STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
             LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES  . .      0.0          ( 11.11 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .      0.1          ( 66.67 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .      0.2 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .       46 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .       0 BLOCKS
                              ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

5.1.5 荷重を定義するユーザーサブプログラム XEFORC

(1) 問題

図 5.1.5-1 に示すように直官部の長さ 2700mm、呼び径 1 B（外径 34mm）、呼び厚さ（板厚 1.65mm）のパイプの先端が長さ 150mm の部分だけ 45° 曲げられている。この水平片持ちのパイプに放出反力が作用するパイプホイップ問題の非線形直接積分法解析を行う。なお、反力の作用点は放出口付け根の折れ曲がり点で、作用方向は放出口に沿った方向であり、変形に追従して変化する。この放出反力をユーザーサブプログラム XEFORC を用いて定義する。弾性係数は 1.98×10^{4}kg/mm^2、ポアソン比は 0.3 および質量密度は 8.1939×10^{-10}kg・sec^2/mm^4 とする。

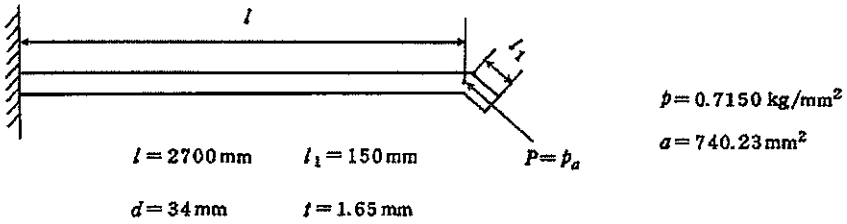


図 5.1.5-1　先端が曲った水平片持ちパイプ

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 5.1.5-2 のように、有限要素モデルは 3 次元梁要素 BEAM2 を用いて、30 分割で行う。境界条件はパイプの一端を完全拘束する。負荷条件として、初期にパイプの自重 8.03×10^{-6}kg/mm^3 を考慮し、放出反力 529.264kg が負荷される。作用点は折れ曲がり点とし変形により作用角度が変化する。大変形解析のオプションは Updated Lagrangian 定式を適用する。解析は時間増分 0.005sec を用いて 0.1sec まで行う。

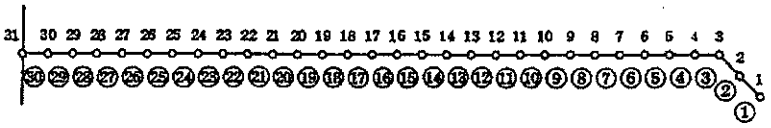


図 5.1.5-2　有限要素モデル

(3) 解析結果

図 5.1.5-3、図 5.1.5-4 はそれぞれ自由端のたわみおよび長手方向の変位の時刻暦であり、図 5.1.5-5 は各時刻における変形図である。

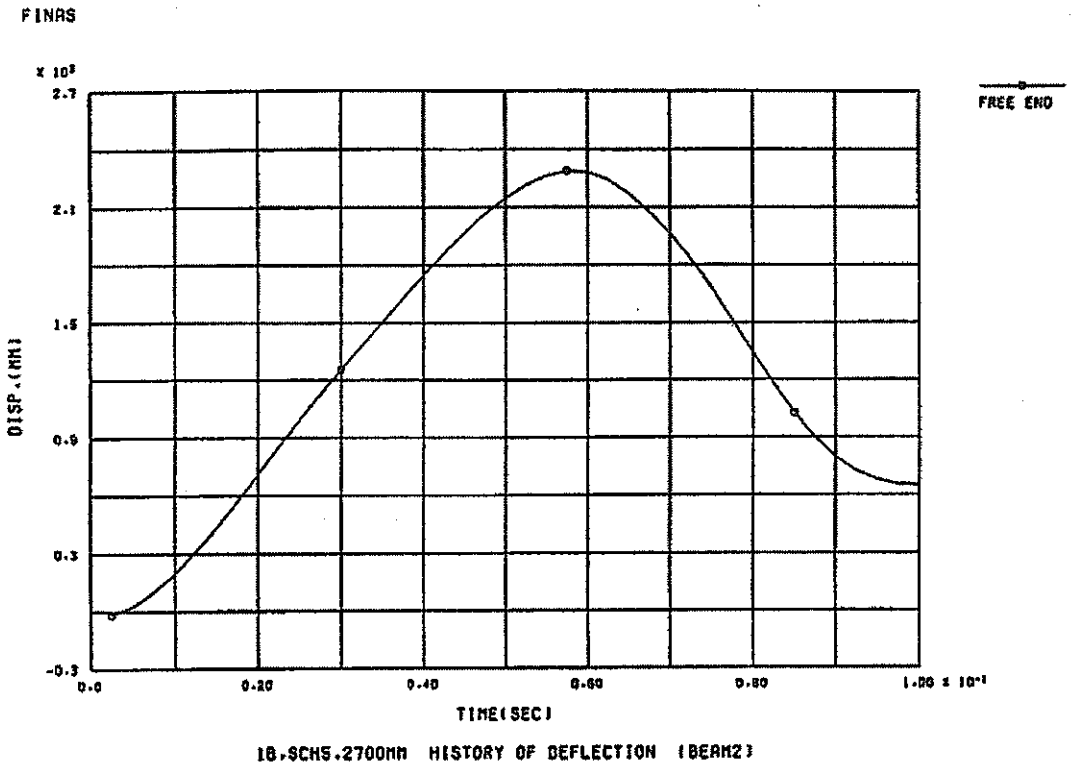


図 5.1.5-3 自由端のたわみの時刻暦

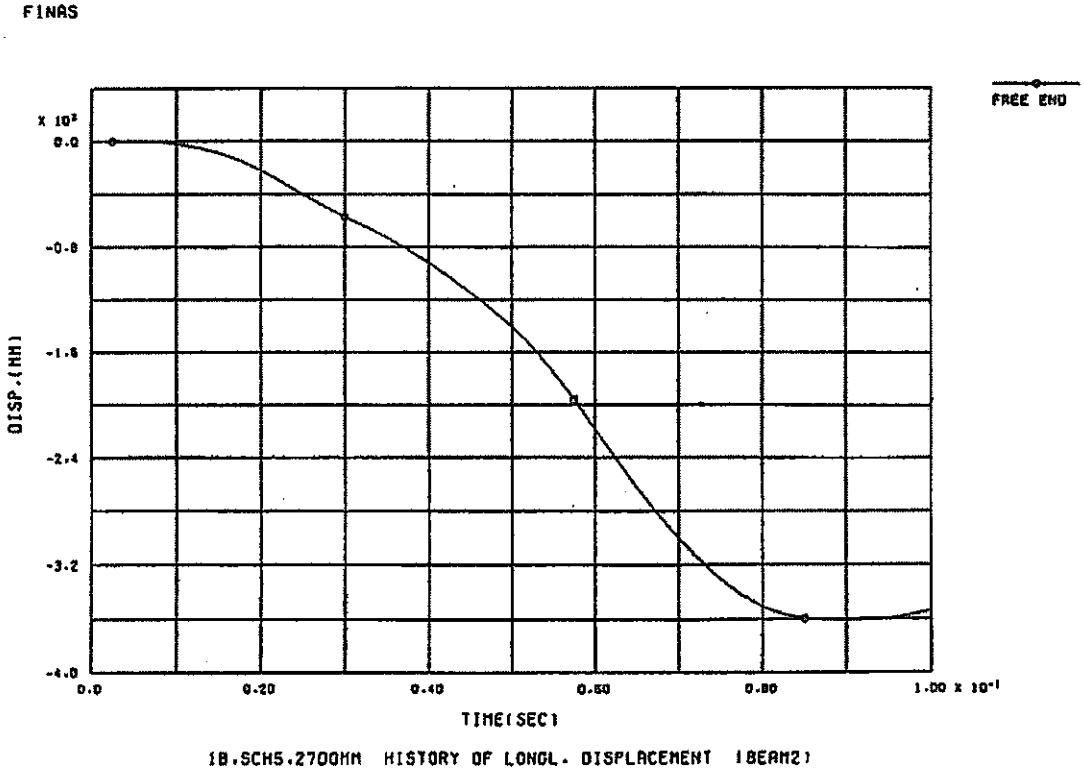


図 5.1.5-4 自由端の長手方向変位の時刻暦

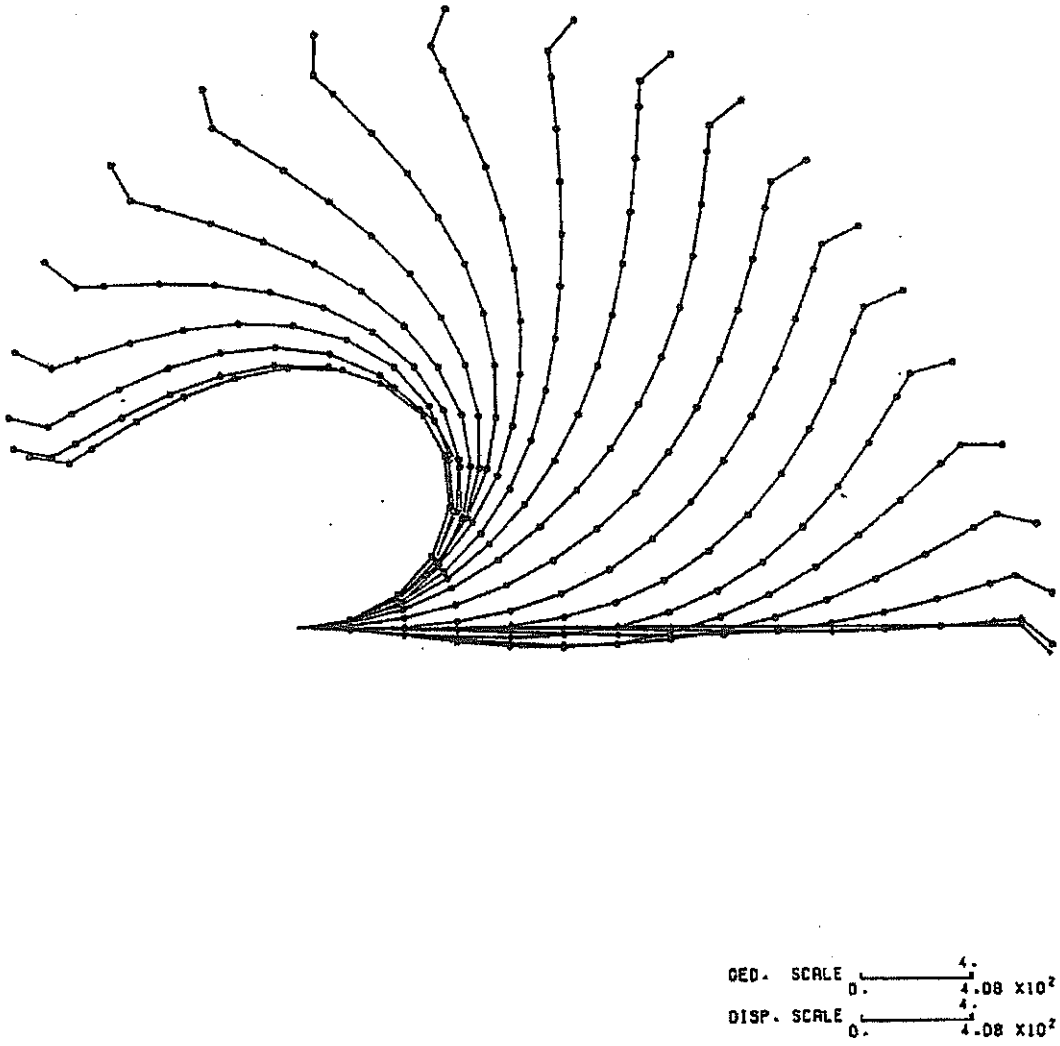

DED. SCALE 0. 4. 4.08 X10²
DISP. SCALE 0. 4. 4.08 X10²
DEFORMATION
1B.SCH5.2700MM BEAM2

図 5.1.5-5　変形図

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 5.1.5-1 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
FINAS
TITLE     1B,SCH5,2700MM  DYNAMIC ANALYSIS  (BEAM2)
DYNAMIC   ND   E
SAVE
CONTROL
     LARGE DISP    1
     LUMP MASS
MODEL
NODE
    1              2806.066  -106.066     0.0                 2         1    3
    3              2700.0       0.0       0.0                 2         1    5
    5              2600.0       0.0       0.0                26         1   31
   31                 0.0       0.0       0.0
  100                 0.0       1.0       0.0
ELEMENT TYPE
    1     BEAM2         1
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2  100
    2    1    1    1    2    3  100
    3    1    1    1    3    4  100
    4    1    1    1    4    5  100
    5    1    1    1    5    6  100
    6    1    1    1    6    7  100
    7    1    1    1    7    8  100
    8    1    1    1    8    9  100
    9    1    1    1    9   10  100
   10    1    1    1   10   11  100
   11    1    1    1   11   12  100
   12    1    1    1   12   13  100
   13    1    1    1   13   14  100
   14    1    1    1   14   15  100
   15    1    1    1   15   16  100
   16    1    1    1   16   17  100
   17    1    1    1   17   18  100
   18    1    1    1   18   19  100
   19    1    1    1   19   20  100
   20    1    1    1   20   21  100
   21    1    1    1   21   22  100
   22    1    1    1   22   23  100
   23    1    1    1   23   24  100
   24    1    1    1   24   25  100
   25    1    1    1   25   26  100
   26    1    1    1   26   27  100
   27    1    1    1   27   28  100
   28    1    1    1   28   29  100
   29    1    1    1   29   30  100
   30    1    1    1   30   31  100
GEOMETRY
    1    4     15.35      17.0     15.35      17.0
MATERIAL
    1
          E          1.9800E4
          NU         0.0
          RHO        8.1939-10
BOUNDARY
    1
             31                    1    6
              2   30    2          3
              1   29    2          3    5
INIT DISPLACEMENT
              1                    1     -1.52203
              2                    1     -0.760996
```

```
            1                    2     -30.0655
            2                    2     -29.3045
            3                    2     -28.5435
            4                    2     -27.8261
            5                    2     -27.1089
            6                    2     -25.6753
            7                    2     -24.2440
            8                    2     -22.8163
            9                    2     -21.3942
           10                    2     -19.9799
           11                    2     -18.5759
           12                    2     -17.1853
           13                    2     -15.8115
           14                    2     -14.4581
           15                    2     -13.1293
           16                    2     -11.8295
           17                    2     -10.5636
           18                    2      -9.33685
           19                    2      -8.15474
           20                    2      -7.02329
           21                    2      -5.94884
           22                    2     -4.93810
           23                    2     -3.99814                    0.0
           24                    2     -3.13643
           25                    2     -2.36080                    0.0
           26                    2     -1.67945
           27                    2     -1.10094                    0.0
           28                    2     -0.634240
           29                    2     -0.288657                   0.0
           30                    2     -0.0738886
            1                    6     -0.0143502
            3                    6     -0.0143487
            5                    6     -0.0143423
            7                    6     -0.0142979
            9                    6     -0.0141863
           11                    6     -0.0139778
           13                    6     -0.0136426
           15                    6     -0.0131507
           17                    6     -0.0124725
           19                    6     -0.0115780
           21                    6     -0.0104375
           23                    6     -0.0090211
           25                    6     -0.0072989
           27                    6     -0.0052413
           29                    6     -0.0028182
FORCE
   1
        5    1                    1    3   1.0       1.0       1.0
TIME SERIES
   1
    F2      16        1.0
          529.264   529.264   529.264   529.264   529.264   529.264   529.264
          529.264   529.264   529.264   529.264   529.264   529.264   529.264
          529.264   529.264
RESPONSE
    TIME    0.1       400
         FORC     1   1.0        1
         BOUN     1
END MODEL
OUTPUT
PRINT SELECT
DISP      ALL
REAC      NONE
ELM       NONE NONE
```

```
$
POST TAPE
DISP      ALL
REAC      ALL
NPST      ALL       TOP  MID  BOT
OUTSYS    GLOBAL
$
END OUTPUT
END FINAS
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
OTIME2        1   10 1500   10
NSET1         1    1    3    7   11   15   19   23   27
NSET1         2   31
ESET1         1    5    8
IPSET1        1   83   74  101   92
$
PRINT SELECT
DISP          1    1
REAC          2    1
ELM           1    1    1
$
XYPLOT
FRAME     A4H
XTITLE    TIME(SEC)
YTITLE    DISP.(MM)
CURVE         1              10FREE END
PTITLE    1B,SCH5,2700MM  HISTORY OF DEFLECTION  (BEAM2)
PLOT1     DISP2    3                                          RTIME
$
PTITLE    1B,SCH5,2700MM  HISTORY OF LONGL. DISPLACEMENT  (BEAM2)
PLOT1     DISP1    3                                          RTIME
$
POST TAPE
DISP      ALL
ELM       NONE
$
STRUCTURE PLOT
SCALE     0.03333
VSCALE    0.03333
PTITLE    1B,SCH5,2700MM  (BEAM2)
AXES      Z    X    Y
VIEW      0.0       0.0       0.0
FRAME     A4V
DPLOT
$
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
        0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.5-2　ユーザーサブプログラム XEFORC

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      SUBROUTINE XEFORC( ISTEP,TIME,IEXN,IECOD,IDMAT,IECT,GDAT,XN,
     +                   DISP,EF,PD )
C
C     USER'S SUBROUTINE
C       FOR  PIPE WHIP PROBLEM  (VPXXXX)
C       USING BEAM2 ELEMENT
C
      INTEGER       IECT(1)
      DIMENSION     GDAT(1),XN(1),DISP(1),EF(1),PD(1)
      DIMENSION     XX(6)  ,TR(2)
C
      DO  1000  I = 1,12
         PD(I) = 0.0
 1000 CONTINUE
C
      XX(1) = XN(1)+DISP(1)
      XX(2) = XN(2)+DISP(2)
      XX(3) = XN(3)+DISP(3)
C
      XX(4) = XN(4)+DISP(7)
      XX(5) = XN(5)+DISP(8)
      XX(6) = XN(6)+DISP(9)
C
      TR(1) = XX(4)-XX(1)
      TR(2) = XX(5)-XX(2)
      SR    = TR(1)**2 + TR(2)**2
      SR    = SQRT( SR )
      TR(1) = TR(1)/SR
      TR(2) = TR(2)/SR
C
      PD(7) = EF(2)*TR(1)
      PD(8) = EF(2)*TR(2)
C
      RETURN
      END
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.5-3　解析結果のリスト

```
                    A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                  1         2         3         4         5         6         7         8
             1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
             FINAS
             TITLE     1B.SCH5.2700MM  DYNAMIC ANALYSIS  (BEAM2)
             DYNAMIC   HD   E
             SAVE
             CONTROL
                 LARGE DISP    1
                 LUMP MASS
1    1B.SCH5.2700MM  DYNAMIC ANALYSIS  (BEAM2)                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    2

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                  1         2         3         4         5         6         7         8
             1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
        0-   MODEL
        1-   NODE
        2-       1              2200.066  -106.066     0.0              2         1    3
        3-       3              2700.0      0.0        0.0              2         1    5
        4-       5              2600.0      0.0        0.0             26         1   31
        5-      31                 0.0      0.0        0.0
        6-     100                 0.0      1.0        0.0
        7-   ELEMENT TYPE
        8-       1     BEAM2         1
        9-   CONNECTION
       10-       1    1    1    1    1    2  100
       11-       2    1    1    1    2    3  100
       12-       3    1    1    1    3    4  100
       13-       4    1    1    1    4    5  100
       14-       5    1    1    1    5    6  100
       15-       6    1    1    1    6    7  100
       16-       7    1    1    1    7    8  100
       17-       8    1    1    1    8    9  100
       18-       9    1    1    1    9   10  100
       19-      10    1    1    1   10   11  100
       20-      11    1    1    1   11   12  100
       21-      12    1    1    1   12   13  100
       22-      13    1    1    1   13   14  100
       23-      14    1    1    1   14   15  100
       24-      15    1    1    1   15   16  100
       25-      16    1    1    1   16   17  100
       26-      17    1    1    1   17   18  100
       27-      18    1    1    1   18   19  100
       28-      19    1    1    1   19   20  100
       29-      20    1    1    1   20   21  100
       30-      21    1    1    1   21   22  100
       31-      22    1    1    1   22   23  100
       32-      23    1    1    1   23   24  100
       33-      24    1    1    1   24   25  100
       34-      25    1    1    1   25   26  100
       35-      26    1    1    1   26   27  100
       36-      27    1    1    1   27   28  100
       37-      28    1    1    1   28   29  100
       38-      29    1    1    1   29   30  100
       39-      30    1    1    1   30   31  100
       40-   GEOMETRY
       41-       1    4     15.35      17.0     15.35      17.0
       42-   MATERIAL
       43-       1
       44-            E         1.9800E4
       45-            NU        0.0
       46-            RHO       8.1939-10
       47-   BOUNDARY
       48-       1
       49-              31                  1    6
1    1B.SCH5.2700MM  DYNAMIC ANALYSIS  (BEAM2)                          FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE    3

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                  1         2         3         4         5         6         7         8
             1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
       50-                2   30    2         3
       51-                1   29    2         3    5
       52-   INIT DISPLACEMENT
       53-                1                   1     -1.52203
       54-                2                   1     -0.780996
       55-                1                   2     -30.0655
       56-                2                   2     -29.3045
       57-                3                   2     -28.5435
       58-                4                   2     -27.8261
       59-                5                   2     -27.1069
       60-                6                   2     -25.6753
       61-                7                   2     -24.2440
       62-                8                   2     -22.8163
       63-                9                   2     -21.3942
       64-               10                   2     -19.9799
       65-               11                   2     -18.5759
       66-               12                   2     -17.1853
       67-               13                   2     -15.8115
       68-               14                   2     -14.4581
       69-               15                   2     -13.1293
       70-               16                   2     -11.8295
```

```
          71-          17          2    -10.5636
          72-          18          2     -9.33685
          73-          19          2     -8.15474
          74-          20          2     -7.02328
          75-          21          2     -5.94884
          76-          22          2    -4.93810
          77-          23          2    -3.99814          0.0
          78-          24          2    -3.13643
          79-          25          2    -2.36080          0.0
          80-          26          2    -1.67945
          81-          27          2    -1.10094          0.0
          82-          28          2    -0.634240
          83-          29          2    -0.288657         0.0
          84-          30          2    -0.0738886
          85-           1          6    -0.0143502
          86-           3          6    -0.0143487
          87-           5          6    -0.0143423
          88-           7          6    -0.0142979
          89-           9          6    -0.0141863
          90-          11          6    -0.0139778
          91-          13          6    -0.0136426
          92-          15          6    -0.0131507
          93-          17          6    -0.0124725
          94-          19          6    -0.0115780
          95-          21          6    -0.0104375
          96-          23          6    -0.0090211
          97-          25          6    -0.0072989
          98-          27          6    -0.0052413
          99-          29          6    -0.0028182
1   1B,SCH5,2700MM  DYNAMIC ANALYSIS  (BEAM2)                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    4

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                    1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
         100-   FORCE
         101-       1
         102-           5   1                 1   3  1.0       1.0       1.0
         103-   TIME SERIES
         104-       1
         105-       F2      16        1.0
         106-              529.264   529.264   529.264   529.264   529.264   529.264   529.264
         107-              529.264   529.264   529.264   529.264   529.264   529.264   529.264
         108-              529.264   529.264
         109-   RESPONSE
         110-       TIME    0.1       400
         111-           FORC     1   1.0       1
         112-           BOUN     1
         113-   END MODEL
1   1B,SCH5,2700MM  DYNAMIC ANALYSIS  (BEAM2)                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    5

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                    1         2         3         4         5         6         7         8
                1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                OUTPUT
                PRINT SELECT
                DISP      ALL
                REAC      NONE
                ELM       NONE NONE
                $
                POST TAPE
                DISP      ALL
                REAC      ALL
                NPST      ALL       TOP  MID  BOT
                OUTSYS    GLOBAL
                $
                END OUTPUT
                END FINAS
1   1B,SCH5,2700MM  DYNAMIC ANALYSIS  (BEAM2)                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    6

                                  C O N T R O L   D A T A   D E S C R I P T I O N

   ---------------
   CONTROL DATA
   ---------------

      GEOMETRICAL NONLINEAR ANALYSIS
          UPDATED LAGRANGIAN JAUMANN STRESS RATE FORMULATION( LARGE DISPLACEMENTS, LARGE ROTATIONS, LARGE STRAINS )

      LUMPED MASS OPTION IS USED

1   1B,SCH5,2700MM  DYNAMIC ANALYSIS  (BEAM2)                    FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    7

                                  M O D E L   D A T A   D E S C R I P T I O N

   ----------------
   NODAL COORDINATE
   ----------------

      NUMBER OF NODAL POINTS .....      32
```

NODE	X1	X2	X3
1	2806.07	-108.088	0.000000E+00
2	2753.03	-53.0339	0.000000E+00
3	2700.00	0.000000E+00	0.000000E+00
4	2650.00	0.000000E+00	0.000000E+00
5	2600.00	0.000000E+00	0.000000E+00
6	2500.00	0.000000E+00	0.000000E+00
7	2400.00	0.000000E+00	0.000000E+00
8	2300.00	0.000000E+00	0.000000E+00
9	2200.00	0.000000E+00	0.000000E+00
10	2100.00	0.000000E+00	0.000000E+00
11	2000.00	0.000000E+00	0.000000E+00
12	1900.00	0.000000E+00	0.000000E+00
13	1800.00	0.000000E+00	0.000000E+00
14	1700.00	0.000000E+00	0.000000E+00
15	1600.00	0.000000E+00	0.000000E+00
16	1500.00	0.000000E+00	0.000000E+00
17	1400.00	0.000000E+00	0.000000E+00
18	1300.00	0.000000E+00	0.000000E+00
19	1200.00	0.000000E+00	0.000000E+00
20	1100.00	0.000000E+00	0.000000E+00
21	1000.00	0.000000E+00	0.000000E+00
22	900.000	0.000000E+00	0.000000E+00
23	800.000	0.000000E+00	0.000000E+00
24	700.000	0.000000E+00	0.000000E+00
25	600.000	0.000000E+00	0.000000E+00
26	500.000	0.000000E+00	0.000000E+00
27	400.000	0.000000E+00	0.000000E+00
28	300.000	0.000000E+00	0.000000E+00
29	200.000	0.000000E+00	0.000000E+00
30	100.000	0.000000E+00	0.000000E+00
31	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
*			
100	0.000000E+00	1.00000	0.000000E+00

MAXIMUM	NODE- 1	NODE- 100	NODE- 1	NODE-
VALUE	2806.07	1.00000	0.000000E+00	
MINIMUM	NODE- 31	NODE- 1	NODE- 1	NODE-
VALUE	0.000000E+00	-108.088	0.000000E+00	

1B.SCH5.2700MM DYNAMIC ANALYSIS (BEAM2) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 8

MODEL DATA DESCRIPTION

ELEMENT TYPE

TYPE	NAME	STIC- 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BEAM2	1	5	12	3	0	0	0	0	0	0

ELEMENT CONNECTION

NUMBER OF ELEMENTS ... 30

ELEMENT	TYPE	GEOM	MAT	NODES		
1	1	1	1	1	2	100
2	1	1	1	2	3	100
3	1	1	1	3	4	100
4	1	1	1	4	5	100
5	1	1	1	5	6	100
6	1	1	1	6	7	100
7	1	1	1	7	8	100
8	1	1	1	8	9	100
9	1	1	1	9	10	100
10	1	1	1	10	11	100
11	1	1	1	11	12	100
12	1	1	1	12	13	100
13	1	1	1	13	14	100
14	1	1	1	14	15	100
15	1	1	1	15	16	100
16	1	1	1	16	17	100
17	1	1	1	17	18	100
18	1	1	1	18	19	100
19	1	1	1	19	20	100
20	1	1	1	20	21	100
21	1	1	1	21	22	100
22	1	1	1	22	23	100
23	1	1	1	23	24	100
24	1	1	1	24	25	100
25	1	1	1	25	26	100
26	1	1	1	26	27	100
27	1	1	1	27	28	100
28	1	1	1	28	29	100
29	1	1	1	29	30	100
30	1	1	1	30	31	100

1 1B, SCH5, 2700MM DYNAMIC ANALYSIS (BEAM2) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 129

TOTAL DISPLACEMENT VECTOR (STEP NUM. 40)
TIME 1.0000E-01

0 POINT-ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	-1.52203E+00	-3.00655E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.43502E-02
2	-7.60998E-01	-2.93045E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	-2.85435E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.43487E-02
4	0.00000E+00	-2.78261E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	-2.71089E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.43423E-02
6	0.00000E+00	-2.56753E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	-2.42440E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.42979E-02
8	0.00000E+00	-2.28163E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	-2.13942E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.41883E-02
10	0.00000E+00	-1.99799E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	0.00000E+00	-1.85759E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.39776E-02
12	0.00000E+00	-1.71853E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
13	0.00000E+00	-1.58115E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.38426E-02
14	0.00000E+00	-1.44581E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
15	0.00000E+00	-1.31293E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.31507E-02
16	0.00000E+00	-1.18295E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
17	0.00000E+00	-1.05636E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.24725E-02
18	0.00000E+00	-9.33985E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
19	0.00000E+00	-8.15474E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.16780E-02
20	0.00000E+00	-7.02329E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
21	0.00000E+00	-5.94384E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.04375E-02
22	0.00000E+00	-4.93810E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
23	0.00000E+00	-3.99814E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-9.02110E-03
24	0.00000E+00	-3.13643E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
25	0.00000E+00	-2.36080E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-7.29899E-03
26	0.00000E+00	-1.67945E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
27	0.00000E+00	-1.10094E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-5.24130E-03
28	0.00000E+00	-6.34240E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
29	0.00000E+00	-2.89057E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.81820E-03
30	0.00000E+00	-7.38886E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

1 1B, SCH5, 2700MM DYNAMIC ANALYSIS (BEAM2) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 130

NODAL POINT VELOCITIES (STEP NUM. 40)
TIME 1.0000E-01

0 POINT-ID	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
11	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
12	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
13	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
14	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
15	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
16	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
17	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
18	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
19	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
20	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
21	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
22	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
23	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
24	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
25	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
26	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
27	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

1 1B, SCH5, 2700MM DYNAMIC ANALYSIS (BEAM2) FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 131

NODAL POINT ACCELERATIONS (STEP NUM. 40)
TIME 1.0000E-01

0 POINT-ID	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
7	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

```
          11        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          12        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          13        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          14        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          15        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          16        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          17        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          18        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          19        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          20        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          21        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          22        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          23        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          24        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          25        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          26        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          27        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          28        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          29        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          30        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
          31        0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00   0.00000E+00
1   1B.SCH5.2700MM  DYNAMIC ANALYSIS  (BEAM2)                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE   132


0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0   ANALYSIS MODEL INFORMATION
0       ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . .  DYNAMIC NO  E
0       NUMBER OF TIME STEPS . . . . . . . . . .      40          ( FROM     1 TO    40 )
0       NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .      30
+                                                                 (      30*BEAM2   )
0       NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .      32
0       NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .     120
0       MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         8
0       AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .         5.4
0
    EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0       ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .      2.0          ( 20.30 % )
0       LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .      0.0          (  0.34 % )
0       MATRIX ASSEMBLY AND DECOMPOSITION . . .      0.3          (  3.38 % )
0       STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
            LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . .      6.4          ( 65.14 % )
0       OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .      1.1          ( 10.83 % )
0       TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .      9.9 SECONDS
0
    STORAGE DEVICE INFORMATION
0       DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      224 BLOCKS
0       AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .     2587 BLOCKS
```

5.1.6 粘弾塑性ひずみを定義するユーザーサブプログラム XVISCO

(1) 問題

5.1.6-1 に示すような長さ 10.0in.、断面積 1.0in.^{2} をあるひずみ速度で引張るときの粘弾塑性解析を行う。粘弾塑性ひずみを評価する統一型構成式モデルとしては Chaboche モデルを適用し、粘弾塑性ひずみはユーザーサブプログラム XVISCO を用いて定義する。弾性係数は 185000MPa、初期降伏応力は 82MPa とする。

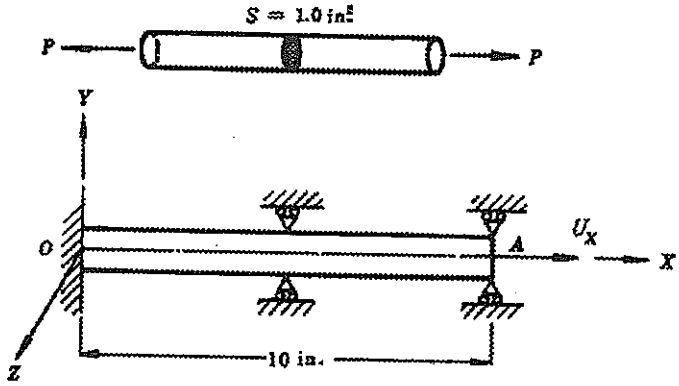


図 5.1.6-1 単軸引張モデル

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 5.1.6-2 のように、有限要素モデルは 3 次元棒要素 ROD2 を用いて行う。境界条件は 0 点を完全拘束、OA に沿って Y 方向および Z 方向変位を拘束する。A 点にひずみ速度 10^{-5}/sec で X 方向変位が 0.05in まで単調に引張る。

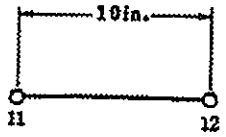


図 5.1.6-2 有限要素モデル

Chaboche モデルの単軸問題における基礎式は次式らで与えられる。

$$\dot{\varepsilon}^v = \left(\frac{3/2\left|S - \sum \alpha_j\right| - R - k}{K} \right)^n \frac{S - \sum \alpha_i}{\left|S - \sum \alpha_j\right|} \qquad (5.1.6\text{-}1)$$

$$\dot{\alpha}_j = C_j \left(\frac{2}{3} a_j \dot{\varepsilon}^v - \alpha_j \left|\dot{\varepsilon}^v\right| \right) \qquad (5.1.6\text{-}2)$$

$$\dot{R} = b(Q - R)\left|\dot{\varepsilon}^{v}\right| \qquad (5.1.6\text{-}3)$$

ここで、$\dot{\varepsilon}^{v}$は粘塑性ひずみ速度、Sは偏差応力、αは背応力(back stress)、Rは抗応力(drag stress)、kは初期降伏応力、K、n、C、a、b、Qは材料パラメータである。

(3) 解析結果

図5.1.6-3は応力-ひずみ履歴、図5.1.6-4はChabocheの解を示している。

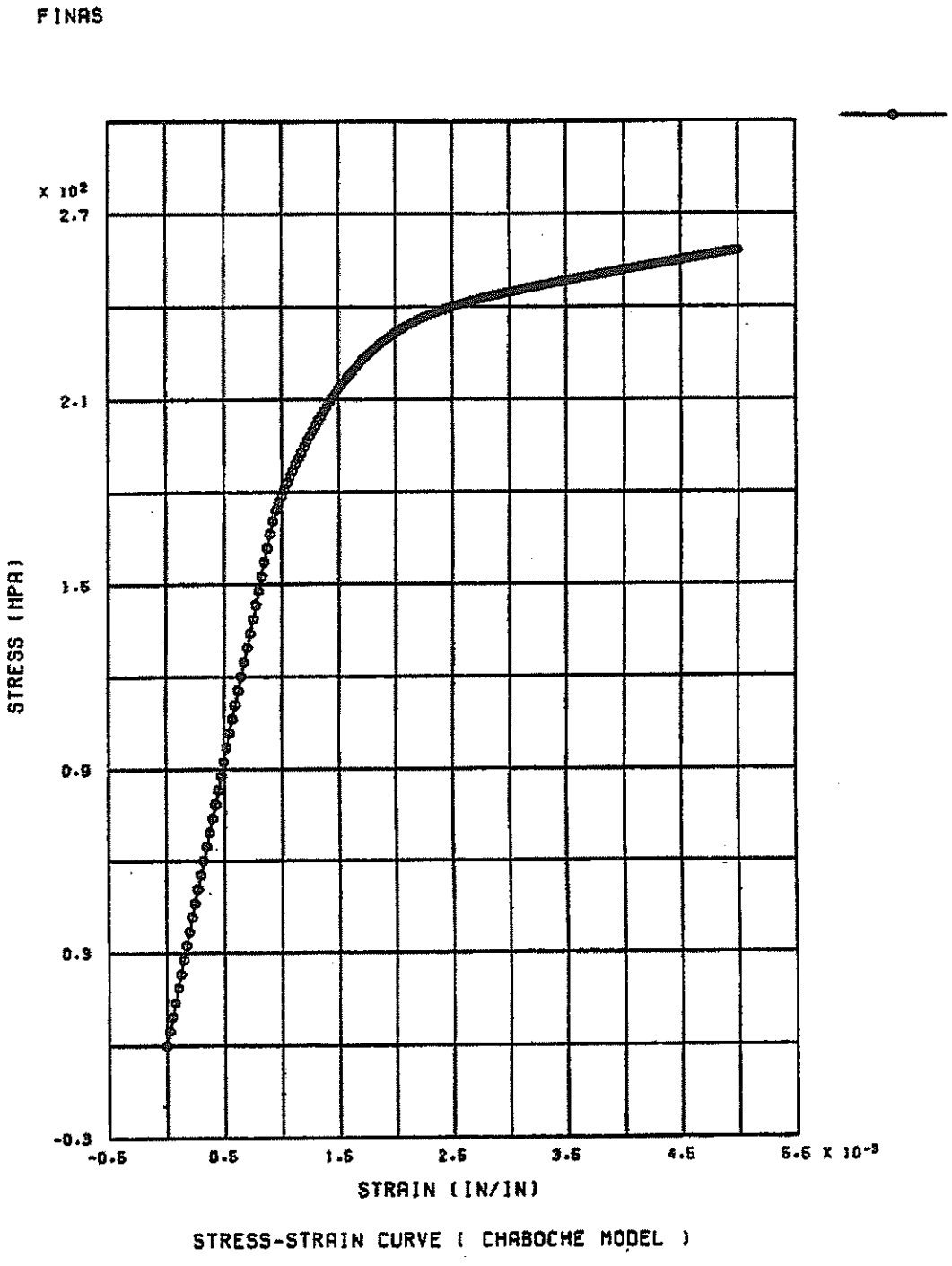
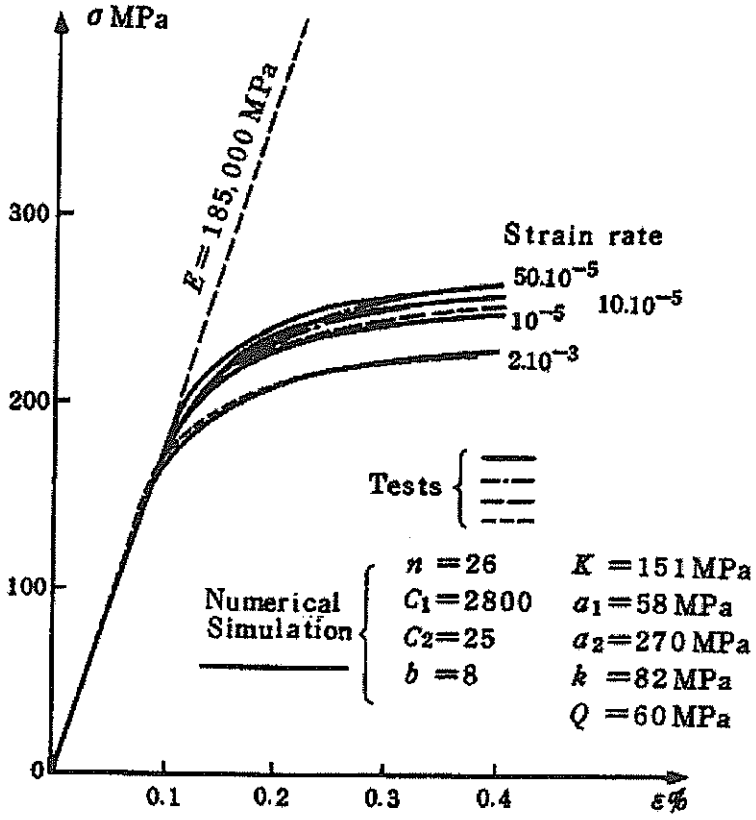


図 5.1.6-3 応力-ひずみ履歴



Tensile test results for different strain rates on 316L at room temperature

図 5.1.6-4 Chaboche の参照解

(4) 入力データ

表 5.1.6-1 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
STATIC    E
TITLE     VP161
SUBTITLE  VISCO-PLASTICITY MODEL ( CHABOCHE MODEL )
NOPRINT   DES
MODEL
$    VP161
$    VISCO-PLASTICITY MODEL ( CHABOCHE MODEL )
NODE
   11                 0.0       0.0
   12                10.0       0.0
ELEMENT TYPE
    1     ROD2
CONNECTION
    1    1    1    1   11   12
GEOMETRY
    1    2       1.0       1.0
MATERIAL
    1                  1    1
          E          185000.0
$          SIGY            82.0
          SIGY             0.0
          VISCO     F11     1
BOUNDARY
    1
             11                  1    3       0.0
             12                  2    3       0.0
             12                  1            1.0
HISTORY
INTERVAL      1
          BOUN     1       0.0
INTERVAL    200          500.0
          BOUN     1      0.05
END MODEL
OUTPUT
OTIME1        1  201
PRINT SELECT
DISP      NONE
REAC      NONE
ELM       ALL           1
XYPLOT
PTITLE    STRESS-STRAIN CURVE ( CHABOCHE MODEL )
XTITLE    STRAIN (IN/IN)
YTITLE    STRESS (MPA)
PLOT3     EPS1     1     STRS1    1
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.6-2　ユーザープログラム XVISCO

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      SUBROUTINE  XVISCO(IELM, IECOD, NCOMP, IP, TIME, TEMP, SIG, AA, RSIG,
     *                   RKAPPA, EPSIB, EPSI, DTIME, DTEMP, DEPSI, DAA, DRSIG)
C
C            CHABOCHE MODEL
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      DIMENSION  SIG(6), AA(6,1), EPSI(6), DEPSI(6), DAA(6,1)
C
      DATA       RN    / 24.0    /
     *          ,RK    / 151.0   /
     *          ,ERR6  / 1.0D-6  /
     *          ,ZERO  / 0.0     /
     *          ,RO    / 82.0    /
      DATA       C1,C2 / 2800.0,  25.0 /
     *          ,A1,A2 /   58.0, 270.0 /
      DATA       B,Q / 8.0, 60.0 /
C
      ABS(XXXXXX) = DABS(XXXXXX)
C
C
C           VISCO-PLASTIC STRAIN
C
      SIGA     = SIG(1)-1.5*AA(1,1)
C
      F        = ABS(SIGA)-RSIG-RO
C
      IFUGO    = 1.0
      IF( F        .LT.ZERO )          GO TO 100
      IF( ABS(F)   .LE.ERR6 )          GO TO 100
C
      IF( ABS(SIGA).LE.ERR6 )          GO TO 100
      IF( SIGA     .LT.ZERO ) IFUGO = -1.0
      DEPSI(1) = IFUGO*((F/RK)**RN)*DTIME
      GO TO 120
C
  100 DEPSI(1) = 0.0
C
C           BACK STRESS
C
  120 DAA(1,2) = C1*(2.0*A1*DEPSI(1)/3.0-AA(1,2)*ABS(DEPSI(1)))
      DAA(1,3) = C2*(2.0*A2*DEPSI(1)/3.0-AA(1,3)*ABS(DEPSI(1)))
      DAA(1,1) = DAA(1,2)+DAA(1,3)
C
C           DRAG STRESS
C
      DRSIG    = B*(Q-RSIG)*ABS(DEPSI(1))
C
      RETURN
      END
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.1.6-3　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM   0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 FINAS
                 STATIC    E
                 TITLE     VP181
                 SUBTITLE  VISCO-PLASTICITY MODEL ( CHABOCHE MODEL )
                 NOPRINT   DES
1   VP181                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
    VISCO-PLASTICITY MODEL ( CHABOCHE MODEL )

                                  M O D E L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
           0-    MODEL
                 $    VP181
                 $    VISCO-PLASTICITY MODEL ( CHABOCHE MODEL )
           1-    NODE
           2-      11                 0.0       0.0
           3-      12                10.0       0.0
           4-    ELEMENT TYPE
           5-       1     ROD2
           6-    CONNECTION
           7-       1    1    1    1   11   12
           8-    GEOMETRY
           9-       1    2       1.0       1.0
          10-    MATERIAL
          11-       1                   1    1
          12-            E            185000.0
                 $          SIGY            92.0
          13-            SIGY             0.0
          14-            VISCO     Ft1      1
          15-    BOUNDARY
          16-       1
          17-              11                  1    3       0.0
          18-              12                  2    3       0.0
          19-              12                  1            1.0
          20-    HISTORY
          21-    INTERVAL      1
          22-            BOUN     1       0.0
          23-    INTERVAL    200          500.0
          24-            BOUN     1       0.05
          25-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4302,   MATERIAL ID     1
        POISSON RATIO IS MISSING
1   VP181                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
    VISCO-PLASTICITY MODEL ( CHABOCHE MODEL )

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 OUTPUT
                 OTIME1        1  201
                 PRINT SELECT
                 DISP      NONE
                 REAC      NONE
                 ELM       ALL          1
                 XYPLOT
                 PTITLE    STRESS-STRAIN CURVE ( CHABOCHE MODEL )
                 XTITLE    STRAIN (IN/IN)
                 YTITLE    STRESS (MPA)
                 PLOT3     EPS1     1     STRS1    1
                 END OUTPUT
                 END FINAS
1   VP181                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    4
    VISCO-PLASTICITY MODEL ( CHABOCHE MODEL )

                                  T O T A L   S T R E S S   A N D   S T R A I N          ( STEP NUM  201 )
                                                                                          REAL TIME  5.0000E+02
0 ELM ID-POINT              X                                                          VON MISES    TRESCA

     1 - 1    STRESS   2.5830E+02                                                      2.5830E+02  2.5830E+02
            E.STRAIN   1.3962E-03
            V.STRAIN   3.6038E-03                                                      3.6038E-03
              STRAIN   5.0000E-03
1   VP181                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    5
    VISCO-PLASTICITY MODEL ( CHABOCHE MODEL )


      X Y - P L O T T E R   I N F O R M A T I O N

0      PLOT   1.   TYPE 3    COMMAND NUMBER    1.      STRESS-STRAIN CURVE ( CHABOCHE MODEL )
0                  CURVE  1, EPS 1     VS.  STRS1
                           YMIN(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT X= 0.00000E+00    YMAX(ALL DATA)= 2.58298E+02  AT X= 4.99999E-03
                           XMIN(ALL DATA)= 0.00000E+00  AT Y= 0.00000E+00    XMAX(ALL DATA)= 4.99999E-03  AT Y= 2.58298E+02
1   VP181                                                          FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    6
    VISCO-PLASTICITY MODEL ( CHABOCHE MODEL )
```

```
0              F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0        ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . STATIC  E
0        NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . .     201          ( FROM     1 TO   201 )
0        NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . .       1
+                                                                  (       1*ROD2    )
0        NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . .       2
0        NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . .       0
0        MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       0
0        AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .     0.0
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0        ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . .     0.2          ( 14.29 % )
0        LOAD VECTOR FORMATION . . . . . . . . .    0.1          (  4.08 % )
0        STRESS DATA RECOVERY  AND UPDATING
             LOAD VECTOR FOR NONLINEARITIES . .     0.2          ( 12.24 % )
0        OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .    1.1          ( 69.39 % )
0        TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . .    '1.6 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0        DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      33 BLOCKS
0        AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .      0 BLOCKS
                          ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

5.2 温度解析

5.2.1 熱伝達係数を定義するユーザーサブプログラム XFILM

(1) 問題

図 5.2.1-1 に示すような内径 24mm、管厚 2mm の無限円筒の定常熱伝導解析を行う。熱伝導係数は 0.35kcal/m·hr℃として、円筒の内側は温水を通し、外側は大気にさらすような熱伝達境界を考える。内側、外側の熱伝達係数はそれぞれ 4150kcal/m²·hr℃、7.5kcal/m²·hr℃とする。ただし、内側の熱伝達係数はユーザーサブプログラム XFILM を用いて与える。

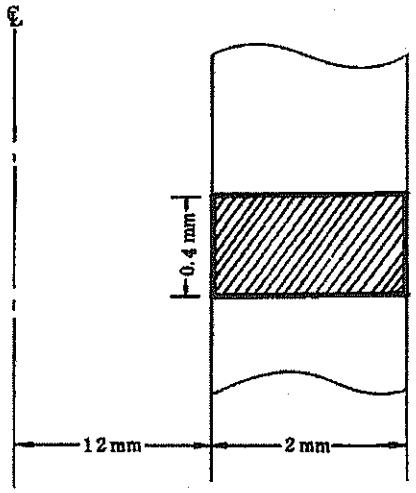


図 5.2.1-1 無限円筒モデル

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 5.2.1-2 のように、有限要素モデルは熱伝導 8 節点四辺形軸対称要素 HQAX8、熱伝達 3 節点軸対称要素 FCAX3 を用いて行う。入熱条件として温水の温度を 70℃、大気の温度を 20℃を与える。

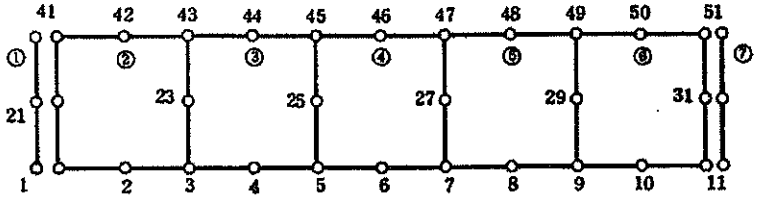


図 5.2.1-2 有限要素モデル

(3) 理論解

円筒の内外の温度が Ta_1、Ta_2、管表面の熱伝達が α_1、α_2 の場合、内径 R_1、外径 R_2、熱伝導係数 k の円筒を通過する熱量 Q, 管の内外表面温度 T_1、T_2 および半径方向 R の温度分布 T は次のように与えられる。[9)]

$$Q = \frac{2\pi(Ta_1 - Ta_2)}{\frac{1}{\alpha_1 R_1} + \frac{1}{k}\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) + \frac{1}{\alpha_2 R_2}} \qquad (5.2.1\text{-}1)$$

$$T_1 = Ta_1 - \frac{Q}{2\pi R_1 \alpha_1} \qquad (5.2.1\text{-}2)$$

$$T_2 = Ta_2 + \frac{Q}{2\pi R_2 \alpha_2} \qquad (5.2.1\text{-}3)$$

熱伝達要素における通過熱量と節点 1、6、11 の温度を理論解と比較して表に示す。

$$T = T_1 - (T_1 - T_2)\ln\left(\frac{R}{R_1}\right) / \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \qquad (5.2.1\text{-}4)$$

(4) 解析結果

表 5.2.1-1 通過熱量 (kcal/hr?℃)

要素番号	FINAS の解	理論解
1	1.25861E-02	1.25861×10^{-2}
2	-1.25861E-02	-1.25861×10^{-2}

表 5.2.1-2 節点温度 (℃)

節点番号	FINAS の解	理論解
1	6.98994E+01	69.8994
6	6.87542E+01	68.7542
11	6.76938E+01	67.6938

(4) 入力データ

表 5.2.1-3 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
NOPRINT   DES
TITLE     VP-514
SUBTITLE  CONVECTION BOUNDARY,USING SUB.XFILM
HEAT
MODEL
$    VP-514
$    STEADY HEAT TRANSFER ANALYSIS (LINEAR PROBLEM)
$    CONVECTIVE BOUNDARY CONDITION,USING SUB.XFILM
$
NODE
**NLOOP1      2   40       0.0    0.0004
    1         2          0.012       0.0                      10         1   11
   11         2          0.014       0.0
**END1
   21         2          0.012    0.0002                       5         2   31
   31         2          0.014    0.0002
ELEMENT TYPE
    1     HQAX8
    2     FCAX3
CONNECTION
    1    2        11    1   21   41
    2    1         1    1    2    3   21   23   41   42   43    5    2
    7    2        12   11   31   51
MATERIAL
    1
          K               0.35
FILM COEFFICIENT
   11     USER
   12            7.5
CONVECTION
    1
              1                      70.0      70.0      70.0
              7                      20.0      20.0      20.0
HISTORY
INTERVAL
          CONV     1       1.0
END MODEL
OUTPUT
$  THESE OUTPUT CONTROL CARDS ARE ONES FOR VERIFICATION RUN
NSET1     1    1    3    9    10   11   23   30   45   51
PRINT SELECT
TEMP      1
ELM       ALL
END OUTPUT
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.2.1-4　ユーザープログラム XFILM

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      SUBROUTINE  XFILM(IELM, IP, TN, TS, TIME, DTS, DTIME, HH)
C        TO DEFINE THE SAME VALUE OF FILM COEFFICIENT
C       FOR ALL FILM ELEMENTS.
C
C              H = 4150.0 (KCAL/M**2*H*C)
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
      HH  = 4150.0
C
      RETURN
      END
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5. 2. 1-5　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM   0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1

                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 FINAS
                 NOPRINT   DES
                 TITLE     VP-514
                 SUBTITLE  CONVECTION BOUNDARY,USING SUB.XFILM
                 HEAT
1   VP-514                                                         FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
    CONVECTION BOUNDARY,USING SUB.XFILM

                                    M O D E L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
            0-   MODEL
                 $    VP-514
                 $    STEADY HEAT TRANSFER ANALYSIS (LINEAR PROBLEM)
                 $    CONVECTIVE BOUNDARY CONDITION,USING SUB.XFILM
                 $
            1-   NODE
            2-   **NLOOP1      2   40       0.0    0.0004
            3-      1          2          0.012      0.0                    10        1   11
            4-     11          2          0.014      0.0
            5-   **END1
            6-     21          2          0.012    0.0002                    5        2   31
            7-     31          2          0.014    0.0002
            8-   ELEMENT TYPE
            9-      1      HQAX8
           10-      2      FCAX3
           11-   CONNECTION
           12-      1    2        11    1   21   41
           13-      2    1         1    1    2    3   21   23   41   42   43    5    2
           14-      7    2        12   11   31   51
           15-   MATERIAL
           16-      1
           17-             K              0.35
           18-   FILM COEFFICIENT
           19-     11      USER
           20-     12            7.5
           21-   CONVECTION
           22-      1
           23-                1                    70.0      70.0      70.0
           24-                7                    20.0      20.0      20.0
           25-   HISTORY
           26-   INTERVAL
           27-             CONV     1       1.0
           28-   END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4901,   MATERIAL ID     1
        SPECIFIC HEAT DATA IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4902,   MATERIAL ID     1
        DENSITY IS MISSING
1   VP-514                                                         FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
    CONVECTION BOUNDARY,USING SUB.XFILM

                          O U T P U T   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                       1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 OUTPUT
                 $  THESE OUTPUT CONTROL CARDS ARE ONES FOR VERIFICATION RUN
                 HSET1     1    1    3    9   10   11   23   30   45   51
                 PRINT SELECT
                 TEMP      1
                 ELM       ALL
                 END OUTPUT
                 END FINAS
1   VP-514                                                         FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    4
    CONVECTION BOUNDARY,USING SUB.XFILM

                                  N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                 ( STEP NUM.   1 )
0     POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

            1     6.95994E+01
            3     6.94303E+01
            9     6.81086E+01
           10     6.78997E+01
           11     6.76938E+01
           23     6.94303E+01
           45     6.69760E+01
           51     6.76938E+01
0

                                        H E A T   F L U X                                         ( STEP NUM.   1 )
0 ELM ID-POINT                F1            F2            F3
0     2 -  5   HT.FLUX    4.10516E+02  -4.07454E-11
0     3 -  5   HT.FLUX    3.97482E+02   3.05590E-11
0     4 -  5   HT.FLUX    3.85250E+02   3.05590E-11
0     5 -  5   HT.FLUX    3.73748E+02   0.00000E+00
```

```
0     6 - 5   HT.FLUX    3.02913E+02  -3.05590E-11
0

                                        H E A T   F L O W                                  ( STEP NUM   1 )
0 ELM. ID                  0
0     1        HT.FLOW    1.25861E-02
0     7        HT.FLOW   -1.25861E-02
1    VP-514                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/93      PAGE     5
     CONVECTION BOUNDARY,USING SUB.XFILM

0                F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . HEAT
0         NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .        1          ( FROM     1 TO     1 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .        7
+                                                                    (       5*HQAX6   )
                                                                    (       2*FCAX3   )
0         NUMBER OF MODES . . . . . . . . . . . . .       26
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .        28
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .           8
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .           5.6
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         COMPUTATION OF HEAT FLOW AND FLUX . . .       0.0          ( 50.00 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .       0.0          ( 50.00 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .      0.0 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . . .       19 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .         0 BLOCKS
                              ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

5.2.2 直交異方性材料のための材料座標系を定義するユーザーサブプログラム XMCORD

(1) 問題

図 5.2.2 -1 に示すように、一辺が 20mm、板厚 1.0mm の正方板が全体座標系の X 軸から反時計回りに 30° 傾いている仮想の平面構造を取り扱う。その正方板の熱伝導係数の異方性主軸が全体座標系の主軸と一致しない場合に、その材料座標系をユーザーサブプログラム XMCORD で定義して定常熱伝導解析を行なう。

材料座標系は全体座標系の X 軸から反時計回りに 30° 回転しているとし、その材料座標系における x 方向、y 方向の熱伝導係数はそれぞれ 4.86x10-6kcal/mm sec℃、4.86x10^{-7}kcal/mm sec℃とする。係数は直交異方性、他の部分は等方性として定常熱伝導解析を行なう。それぞれの構造部で用いる熱伝導係数は表 4.1.4-1 に示す。

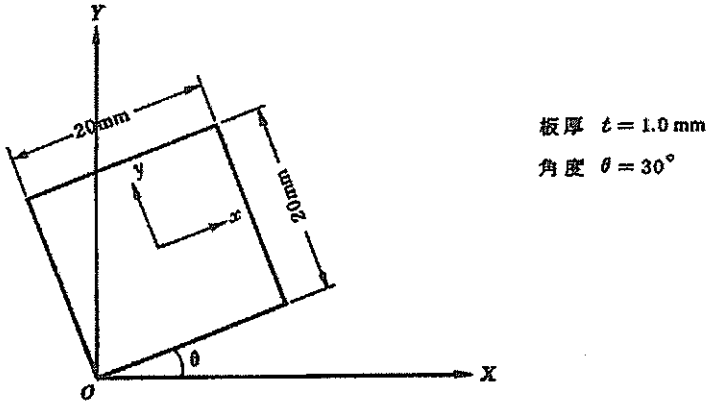


図 5.2.2-1 平面構造

(2) 有限要素モデルと解析条件

図 5.2.2 -2 のように有限要素モデルは熱伝導 4 節点四辺形要素 HQMEM4 を用いて、半径方向 10、軸方向 10 の等分割で行なう。境界条件は平板の左下隅に 100℃、右上隅に 0℃の規定温度を与え、他は断熱条件とする。

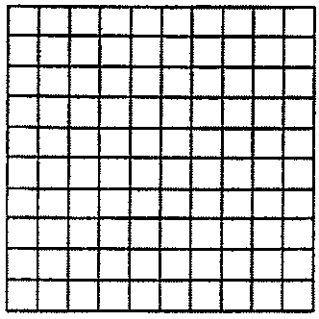


図 5.2.2-2　有限要素モデル

(3) 解析結果

図 5.2.2-3 の A-A´ 断面に沿う温度分布を汎用構造解析コード ANSYS の解と比較して表 5.2.2-1 に示す。

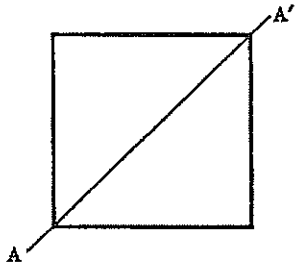


図 5.2.2-3　温度分布表示断面

表 5.2.2-1　A-A´ 断面に沿う温度分布（℃）

節点番号	FINAS の解	ANSYS の解
1	1.0000E+02	100.000
22	7.40573E+01	74.057
43	6.59523E+01	65.957
64	6.02685E+01	60.268
85	5.50624E+01	55.062
106	5.00001E+01	50.000
127	4.49377E+01	44.938
148	3.97317E+01	39.732
169	3.40478E+01	34.048
190	2.59429E+01	25.943
211	0.0	0.000

(4) 入力データと解析結果のリスト

表 5.2.2-2 入力データイメージ

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
SYSTEM    0/0
FINAS
HEAT
NOPRINT   DES
TITLE     VP-527
SUBTITLE  TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD
MODEL
$    VP-527
$    TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD
COORDINATE SYSTEM
    1    1                 0.0       0.0          1.732050801.0
                          -1.01.73205080
NODE
**NLOOP1      11   20       0.0       2.0
    1    1                 0.0       0.0                       10             11
   11    1                20.0       0.0
**END1
ELEMENT TYPE
    1     HQMEM4
GEOMETRY
    1    1       1.0
CONNECTION
    1    1    1    1    1    2   21   22                       10        10   20
MATERIAL
    1
          KXX          4.86E-6
          KYY          4.86E-7
          M COORD   USER
SPECIFIED TEMPERATURE
    1
             1                    100.0
           211                      0.0
HISTORY
INTERVAL
          SPEC     1        1.0
END MODEL
END FINAS
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.2.2-3　ユーザーサブプログラム XMCORD

```
         1         2         3         4         5         6         7         8
1........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0.........0
      SUBROUTINE  XMCORD(IELM,NDIM,TCOORD)
C
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
      DIMENSION  TCOORD(NDIM,1)
C
      TCOORD(1,1) = 8.660254D-01
      TCOORD(1,2) = 0.5
      TCOORD(2,1) =-TCOORD(1,2)
      TCOORD(2,2) = TCOORD(1,1)
C
      RETURN
      END
1........1.........2.........3.........4.........5.........6.........7.........8
         0         0         0         0         0         0         0         0
```

表 5.2.2-4　解析結果のリスト

```
1     S Y S T E M   P A R A M E T E R   C A R D S

    SYSTEM   0/0
1                                                                  FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    1


                          A N A L Y S I S   C O N T R O L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
                 FINAS
                 HEAT
                 NOPRINT   DES
                 TITLE     VP-527
                 SUBTITLE  TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD
1   VP-527                                                         FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    2
    TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD

                                     M O D E L   D A T A   I M A G E
0                        1        2        3        4        5        6        7        8
                 1...:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0....:....0
           0-    MODEL
                 $    VP-527
                 $    TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD
           1-    COORDINATE SYSTEM
           2-       1    1                 0.0       0.0          1.732050801.0
           3-                             -1.01.73205080
           4-    NODE
           5-    **NLOOP1     11   20       0.0       2.0
           6-       1    1                 0.0       0.0                   10            11
           7-      11    1                20.0       0.0
           8-    **END1
           9-    ELEMENT TYPE
          10-       1     HOMEM4
          11-    GEOMETRY
          12-       1    1       1.0
          13-    CONNECTION
          14-       1    1    1    1    1    2   21   22                   10        10   20
          15-    MATERIAL
          16-       1
          17-              KXX          4.86E-6
          18-              KYY          4.86E-7
          19-              M COORD   USER
          20-    SPECIFIED TEMPERATURE
          21-       1
          22-                 1                    100.0
          23-               211                      0.0
          24-    HISTORY
          25-    INTERVAL
          26-              SPEC     1       1.0
          27-    END MODEL
0*** USER WARNING MESSAGE  4901,   MATERIAL ID     1
        SPECIFIC HEAT DATA IS MISSING
0*** USER WARNING MESSAGE  4902,   MATERIAL ID     1
        DENSITY IS MISSING
1   VP-527                                                         FINAS   VERSION 13.0   01/22/98     PAGE    3
    TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD

                                  N O D E   P O I N T   T E M P E R A T U R E                  ( STEP NUM   1 )
0     POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP          POINT-ID      TEMP

            1    1.00000E+02          86    5.77379E+01         171    4.14883E+01
            2    8.20387E+01          87    5.95793E+01         181    3.36173E+01
            3    7.39983E+01          88    6.10224E+01         182    3.36308E+01
            4    7.00597E+01          89    6.22600E+01         183    3.36149E+01
            5    6.80547E+01          90    6.34007E+01         184    3.34814E+01
            6    6.70559E+01          91    6.44646E+01         185    3.30847E+01
            7    6.66011E+01         101    3.83645E+01         186    3.22113E+01
            8    6.64300E+01         102    4.03081E+01         187    3.05704E+01
            9    6.63876E+01         103    4.24123E+01         188    2.78331E+01
           10    6.63882E+01         104    4.47212E+01         189    2.39505E+01
           11    6.63878E+01         105    4.72693E+01         190    2.07388E+01
           21    7.12561E+01         106    5.00000E+01         191    2.87439E+01
           22    7.92612E+01         107    5.27307E+01         201    3.36122E+01
           23    7.60495E+01         108    5.52788E+01         202    3.36136E+01
           24    7.21689E+01         109    5.75377E+01         203    3.36124E+01
           25    6.94296E+01         110    5.96919E+01         204    3.35700E+01
           26    6.77687E+01         111    6.16355E+01         205    3.33989E+01
           27    6.69184E+01         121    3.55354E+01         206    3.29441E+01
           28    6.65186E+01         122    3.65993E+01         207    3.19453E+01
           29    6.63851E+01         123    3.77400E+01         208    2.99412E+01
           30    6.63692E+01         124    3.89776E+01         209    2.60037E+01
           31    6.63827E+01         125    4.04207E+01         210    1.79813E+01
           41    5.65137E+01         126    4.22621E+01         211    0.00000E+00
           42    6.38230E+01         127    4.46982E+01
           43    6.64457E+01         128    4.77233E+01
           44    6.91655E+01         129    5.09275E+01
           45    6.82995E+01         130    5.40315E+01
           46    6.72803E+01         131    5.89804E+01
           47    6.65346E+01         141    3.41745E+01
           48    6.61793E+01         142    3.46131E+01
           49    6.61014E+01         143    3.50441E+01
           50    6.61760E+01         144    3.54025E+01
           51    6.62921E+01         145    3.56926E+01
```

61	4.99801E+01	146	3.60828E+01
62	5.30297E+01	147	3.69009E+01
63	5.78505E+01	148	3.86453E+01
64	6.11547E+01	149	4.23495E+01
65	6.30991E+01	150	4.63713E+01
66	6.39372E+01	151	5.03199E+01
67	6.43074E+01	161	3.37078E+01
68	6.45975E+01	162	3.38240E+01
69	6.49559E+01	163	3.38986E+01
70	6.53869E+01	164	3.38207E+01
71	6.59255E+01	165	3.34854E+01
81	4.30396E+01	166	3.27397E+01
82	4.59685E+01	167	3.17005E+01
83	4.90725E+01	168	3.08345E+01
84	5.22762E+01	169	3.15543E+01
85	5.53018E+01	170	3.61770E+01

1 VP-527 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 4

TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD

HEAT FLUX (STEP NUM. 1)

0	ELM ID-POINT		F1	F2	F3
0	1 - 5	HT. FLUX	2.43004E-05	1.71613E-05	
0	2 - 5	HT. FLUX	1.09402E-05	5.61487E-06	
0	3 - 5	HT. FLUX	5.39323E-06	2.05960E-06	
0	4 - 5	HT. FLUX	2.81527E-06	8.69592E-07	
0	5 - 5	HT. FLUX	1.48750E-06	4.17549E-07	
0	6 - 5	HT. FLUX	7.54905E-07	2.15444E-07	
0	7 - 5	HT. FLUX	3.43820E-07	1.09725E-07	
0	8 - 5	HT. FLUX	1.24861E-07	4.92874E-08	
0	9 - 5	HT. FLUX	2.55305E-08	1.58915E-08	
0	10 - 5	HT. FLUX	-3.69730E-09	1.59803E-09	
0	11 - 5	HT. FLUX	8.06381E-07	4.82347E-06	
0	12 - 5	HT. FLUX	9.58188E-06	8.43054E-06	
0	13 - 5	HT. FLUX	7.99966E-06	5.68527E-06	
0	14 - 5	HT. FLUX	5.34932E-06	3.33765E-06	
0	15 - 5	HT. FLUX	3.30889E-06	1.92391E-06	
0	16 - 5	HT. FLUX	1.93628E-06	1.11819E-06	
0	17 - 5	HT. FLUX	1.04914E-06	6.40464E-07	
0	18 - 5	HT. FLUX	4.94088E-07	3.46144E-07	
0	19 - 5	HT. FLUX	1.70540E-07	1.60533E-07	
0	20 - 5	HT. FLUX	1.23459E-08	5.06961E-08	
0	21 - 5	HT. FLUX	2.92278E-07	3.13007E-06	
0	22 - 5	HT. FLUX	1.79857E-06	4.19503E-06	
0	23 - 5	HT. FLUX	4.92728E-06	5.42600E-06	
0	24 - 5	HT. FLUX	5.24012E-06	4.70619E-06	
0	25 - 5	HT. FLUX	4.22514E-06	3.46089E-06	

1 VP-527 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 5

TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD

HEAT FLUX (STEP NUM. 1)

0	ELM ID-POINT		F1	F2	F3
0	26 - 5	HT. FLUX	2.96278E-06	2.35999E-06	
0	27 - 5	HT. FLUX	1.86497E-06	1.53494E-06	
0	28 - 5	HT. FLUX	1.02717E-06	9.44072E-07	
0	29 - 5	HT. FLUX	4.39937E-07	5.24516E-07	
0	30 - 5	HT. FLUX	7.21819E-08	2.33160E-07	
0	31 - 5	HT. FLUX	2.95370E-07	2.39051E-06	
0	32 - 5	HT. FLUX	9.78838E-07	3.03795E-06	
0	33 - 5	HT. FLUX	1.94934E-06	3.71696E-06	
0	34 - 5	HT. FLUX	3.21619E-06	4.23160E-06	
0	35 - 5	HT. FLUX	3.54419E-06	3.97831E-06	
0	36 - 5	HT. FLUX	3.09160E-06	3.26776E-06	
0	37 - 5	HT. FLUX	2.29953E-06	2.45906E-06	
0	38 - 5	HT. FLUX	1.46453E-06	1.72058E-06	
0	39 - 5	HT. FLUX	7.37018E-07	1.10464E-06	
0	40 - 5	HT. FLUX	1.70110E-07	6.10290E-07	
0	41 - 5	HT. FLUX	3.05720E-07	1.77406E-06	
0	42 - 5	HT. FLUX	9.29585E-07	2.39699E-06	
0	43 - 5	HT. FLUX	1.54016E-06	3.00307E-06	
0	44 - 5	HT. FLUX	2.13236E-06	3.51599E-06	
0	45 - 5	HT. FLUX	2.60205E-06	3.78063E-06	
0	46 - 5	HT. FLUX	2.80156E-06	3.59500E-06	
0	47 - 5	HT. FLUX	2.20413E-06	3.06249E-06	
0	48 - 5	HT. FLUX	1.59253E-06	2.43376E-06	
0	49 - 5	HT. FLUX	9.13012E-07	1.77306E-06	
0	50 - 5	HT. FLUX	2.63786E-07	1.15781E-06	

1 VP-527 FINAS VERSION 13.0 01/22/98 PAGE 6

TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD

HEAT FLUX (STEP NUM. 1)

0	ELM ID-POINT		F1	F2	F3
0	51 - 5	HT. FLUX	2.63789E-07	1.15761E-06	
0	52 - 5	HT. FLUX	9.13012E-07	1.77306E-06	
0	53 - 5	HT. FLUX	1.59253E-06	2.43376E-06	
0	54 - 5	HT. FLUX	2.20413E-06	3.06249E-06	
0	55 - 5	HT. FLUX	2.80150E-06	3.59500E-06	
0	56 - 5	HT. FLUX	2.60203E-06	3.78063E-06	
0	57 - 5	HT. FLUX	2.13236E-06	3.51599E-06	
0	58 - 5	HT. FLUX	1.54016E-06	3.00307E-06	
0	59 - 5	HT. FLUX	9.29584E-07	2.39699E-06	
0	60 - 5	HT. FLUX	3.05720E-07	1.77406E-06	
0	61 - 5	HT. FLUX	1.70110E-07	6.10290E-07	
0	62 - 5	HT. FLUX	7.37018E-07	1.10464E-06	

```
0    63 -  5   HT.FLUX    1.46853E-06   1.72058E-06
0    64 -  5   HT.FLUX    2.29953E-06   2.45806E-06
0    65 -  5   HT.FLUX    3.09160E-06   3.26776E-06
0    66 -  5   HT.FLUX    3.54419E-06   3.97651E-06
0    67 -  5   HT.FLUX    3.21619E-06   4.23160E-06
0    68 -  5   HT.FLUX    1.94934E-06   3.71698E-06
0    69 -  5   HT.FLUX    9.78838E-07   3.03795E-06
0    70 -  5   HT.FLUX    2.95371E-07   2.39051E-06
0    71 -  5   HT.FLUX    7.21819E-08   2.33160E-07
0    72 -  5   HT.FLUX    4.39937E-07   5.24517E-07
0    73 -  5   HT.FLUX    1.02717E-06   9.44072E-07
0    74 -  5   HT.FLUX    1.86497E-06   1.53494E-06
0    75 -  5   HT.FLUX    2.96278E-06   2.35998E-06
1    VP-527                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     7
     TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD

                                        H E A T   F L U X                                  ( STEP NUM    1 )
0 ELM ID-POINT              F1            F2            F3
0    76 -  5   HT.FLUX    4.22514E-06   3.46069E-06
0    77 -  5   HT.FLUX    5.24012E-06   4.70619E-06
0    78 -  5   HT.FLUX    4.92728E-06   5.42600E-06
0    79 -  5   HT.FLUX    1.79857E-06   4.19503E-06
0    80 -  5   HT.FLUX    2.92276E-07   3.13007E-06
0    81 -  5   HT.FLUX    1.23459E-08   5.08981E-08
0    82 -  5   HT.FLUX    1.70540E-07   1.80533E-07
0    83 -  5   HT.FLUX    4.94088E-07   3.46144E-07
0    84 -  5   HT.FLUX    1.04914E-06   6.40463E-07
0    85 -  5   HT.FLUX    1.93626E-06   1.11619E-06
0    86 -  5   HT.FLUX    3.30889E-06   1.92391E-06
0    87 -  5   HT.FLUX    5.34932E-06   3.33785E-06
0    88 -  5   HT.FLUX    7.99967E-06   5.68527E-06
0    89 -  5   HT.FLUX    9.58166E-06   8.43054E-06
0    90 -  5   HT.FLUX    8.06362E-07   4.82347E-06
0    91 -  5   HT.FLUX   -3.69730E-09   1.59803E-09
0    92 -  5   HT.FLUX    2.55305E-08   1.58915E-08
0    93 -  5   HT.FLUX    1.24881E-07   4.92874E-08
0    94 -  5   HT.FLUX    3.43820E-07   1.09725E-07
0    95 -  5   HT.FLUX    7.54905E-07   2.15443E-07
0    96 -  5   HT.FLUX    1.48750E-06   4.17548E-07
0    97 -  5   HT.FLUX    2.81527E-06   8.69592E-07
0    98 -  5   HT.FLUX    5.39322E-06   2.05960E-06
0    99 -  5   HT.FLUX    1.09402E-05   5.81487E-06
0   100 -  5   HT.FLUX    2.43004E-05   1.71613E-05
1    VP-527                                                    FINAS   VERSION 13.0    01/22/98      PAGE     8
     TWO DIMENSIONAL ORTHOTROPIC PROBLEM USING SUB.XMCORD

0                 F I N A S   E X E C U T I O N   S U M M A R Y

0    ANALYSIS MODEL INFORMATION
0         ANALYSIS TYPE . . . . . . . . . . . . . . HEAT
0         NUMBER OF LOAD STEPS . . . . . . . . . .      1          ( FROM     1 TO     1 )
0         NUMBER OF ELEMENTS . . . . . . . . . . .    100
+                                                                  (     100*HOMEN4  )
0         NUMBER OF NODES . . . . . . . . . . . . .    121
0         NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS . . . . . . .    119
0         MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .       13
0         AVERAGE NUMBER OF ACTIVE COLUMNS . . .      12.0
0
     EXECUTION TIME LOG (CPU TIMES IN SECONDS)
0         ELEMENT MATRICES FORMATION . . . . . . .    0.0          ( 33.33 % )
0         OTHERS (DATA INPUT, PRINT OUT, ETC.). .     0.0          ( 66.67 % )
0         TOTAL EXECUTION TIME . . . . . . . . . .    0.1 SECONDS
0
     STORAGE DEVICE INFORMATION
0         DISK SPACE UTILIZED FOR WORK . . . . .      26 BLOCKS
0         AMOUNT OF NEW RESTART TAPE FILE . . . .      0 BLOCKS
                              ( 'SAVE' OPTION INACTIVE )
```

参考文献

基礎編

1）最上武雄、応用力学上巻、金原出版株式会社.

2）鷲津久一朗　他４名、有限要素法ハンドブック、II 応用編、培風館、1983.

3）Timoshenko, S. P. and Goodier, J. N.、Theory of Elasticity third Edition、McGRAW-HILL.

4）非弾性解析プログラムの調査と試用(II)、非弾性解析プログラム調査分科会、日本機械学会、1975.

5）S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger 、Theory of Plates and Shell、McGRAW-HILL.

6）非弾性構造解析法の実用化に関する研究(II)、日本機械学会、1979.
高速炉設計用応力ーひずみ関係式及びクリープ式、PNC 高速増殖炉開発本部、1980

7）小西一郎、高岡宣善、構造動力学、丸善、1973.

8）Timoshenko, S. P. et al. 、Vibration Problems in Engineering 4th Edition、John Wiley & Sons、1974 (谷口、田村共訳、新版工業振動学、コロナ社、1977).

9）槌田昭　他３名、伝熱工学演習、学献社、1980.

応用編

10) K. V. Munch、 Reort Nr. 91、A Collection of Problems Solved with ASKA、ISD UNIVERSITAT STUTTGART、August、1970.

11) SAP IV、BATHE, K. J.、WILSON, E. L. and PETERSON, F. E.、EERC 73-11、COLLEGE of ENGINEERING UNIVERSITY OF CALIFORNIA、1974.

12) 非弾性構造解析法実用化研究分化会、EPICC 標準問題、日本機械学会、1977.

13) Corum, J. M. and Richerdson, M.、Elevated-Temperature Test of Simply-Supported Beams and Circular Plates Subjected to Time-Varying Loadings、Pressure Vessels And Piping : Verification and Qualification of Inelastic Analysis Computer Programs、ASME、1975、pp. 13-25.

14) Corum, J. M.、Appendix. Material Property Data for Elastic-Plastic-Creep Analysis of Benchmark Problems、Pressure Vessels And Piping : Verification and Qualification of Inelastic Analysis Computer Programs、ASME、1975、pp. 99-109.

15) Clinard, J. A.、Corum, J. M. and Sartory, W. K.、Comparison of Typical Inelastic Analysis Predictions with Benchmark Problem Experimental Results、Pressure Vessels And Piping : Verification and Qualification of Inelastic Analysis Computer Programs、ASME、1975、pp. 79-98.

16) O. C. Zeinkiewicz、The Finite Element Method in Engineering Science、McGRAW-HILL 1971.

17) E. Ramm、A plate/shell element for large deflections and rotations、in Formulation and Computational Algorithms in Finite Element Analysis、(Eds. K. J. Bathe、T. Oden and W. Wunderlich)、MIT Press、1977.
18) 非弾性解析の設計への適用方法に関する研究(I)、非弾性解析の設計適用方法研究分科会、日本機械機学会、1980.
19) 仲町英治、板材成形、弾性と加工（日本塑性加工学会誌)、第31巻　第350号、1989, pp. 311-316
20) 仲町英治、R. H. ﾘｺﾞﾅｰ、板成形過程の有限要素シミュレーション（剛・粘塑性および弾塑性解析の比較)、平成元年度、塑性加工春季講演会講論文集、pp. 391-394.
21) Y. Huang、Y. Hwa、T. Hirakawa、Y. Yamada、"The elastic-plastic analysis of close-path drawing of tube with moving mamdrel"、"Proc. 3rd International conference steel roll、1985、pp. 515-520.
22) Carl S. Gran and T. Y. Yang、NASTRAN and SAP IV applications on the seismic response of column-supported cooling towers、Comput. Structures、Vol. 8、1978.
23) Crede, C. E.、Shock and Vibration Concept in Engineering Design、Prentice-Hall.
24) Desalvo, G. J. and Swanson, J. A.、ANSYS Engineering Analysis System Example Mannual、Swanson Analysis System、1979、Example Problem No. 2.
25) 岩田耕司、北村誠司、森下正樹、久保文男、汎用構造解析プログラムFINASによる流体―構造練成振動解析―スロッシング問題への適用と検証、第１２回構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、日本鋼構造協会、1988
26) ANSYS Verification Manual、Verification Problem Vo. 125.