

有限要素法による応力解析コード“PLASTIC”的  
マニュアルと応用例

“Manual and Examples of Finite Element Method code PLASTIC”

Sep. 1980

動力炉・核燃料開発事業団

東 海 事 業 所

TOKAI WORKS

POWER REACTOR & NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION

複製あるいは入手については、下記にお問い合わせください。

茨城県那珂郡東海村 〒 319-11

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所技術部技術課 東海(02928)2-1111 内線355

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to ;

Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation,

Tokai, Ibaraki, Post No 319-11, Japan.

1980年 9月

## 有限要素法による応力解析コード“PLASTIC”のマニュアルと応用例

"Manual and Examples of Finite Element Method code PLASTIC"

立花 利道\* 金子 洋光\*\* 本田 裕\*\*\*

## 要 旨

二次元問題の詳細な応力解析を得るため、有限要素法解析コード“PLASTIC”を開発した。本コードは任意の形状、物体に対して任意の外力を作用させた場合、どの様に変形するか、どの様な応力およびひずみを示すかを予測するために開発した応力解析コードである。

本コードを使用して、核燃料ペレット、被覆管およびペレット／被覆管の応力(ひずみ)解析を行い、ATR燃料棒、FBR燃料ピンの開発に役立てた。本報告はコードの使用方法と内容説明および解析例を示すものである。

---

\* 東海事業所プルトニウム燃料部開発課開発係

\*\* 東海事業所プルトニウム燃料部開発課開発係長

\*\*\* 東海事業所プルトニウム燃料部部長代理(開発課長兼務)

**有限要素法による応力解析コード "PLASTIC" の  
マニュアルと応用例**

**目 次**

1. PLASTIC コードの概要 .....	1
1.1 PLASTIC コードの基本 .....	1
1.2 計算フローチャート .....	1
1.3 PLASTIC コードの特長 .....	1
 2. PLASTIC コードにおける解析方法 .....	4
2.1 節点変位の計算方法 .....	4
2.2 節点変位を計算する方法の具体例 .....	9
2.3 応力の計算方法 .....	14
2.4 塑性計算方法 .....	15
2.5 摩擦すべり現象の取扱い方法 .....	16
 3. PLASTIC コードによる計算実行準備 .....	17
3.1 解析構想 .....	17
3.2 諸準備 .....	17
 4. 入力データの作成方法 .....	20
4.1 要素の入力方法 .....	20
4.2 節点の入力方法 .....	21
4.3 要素および節点の入力データ例 .....	29
4.4 物性値の入力 .....	29
4.5 拘束すべき節点の入力 .....	33
4.6 外荷重の入力 .....	37
4.7 線ひずみ出力の指示入力 .....	44
4.8 入力データの総合説明 .....	44
 5. 入力データ例集 .....	50
5.1 内圧を受ける円筒管 (1) .....	50
5.2 内圧を受ける円筒管 (2) .....	50

5.3 摩擦を考慮する場合の入力データ .....	50	
5.4 板材の単純引張り .....	59	
6. プロッタルーチン .....	63	
6.1 プロッタ実行の流れ .....	63	
6.2 プロッタに必要なデータの入力 .....	63	
7. PLASTIC コード中の記号説明 .....	67	
8. PLASTIC コードによる応力／ひずみ解析例 .....	68	
8.1 DFR 332/5 燃料被覆管局所過熱変形解析 .....	68	
8.2 ジルカロイ-2 被覆管のPCM Iによる局所ひずみ解析 .....	68	
8.3 燃料ペレットの変形解析 .....	68	
8.4 常陽被覆管の応力解析 .....	68	
8.5 応力／ひずみ解析例のリスト .....	68	
9. あとがき .....	85	
10. 参考文献 .....	86	
添付資料 .....	PLASTIC コードプログラムリスト .....	87

## 1. PLASTIC コード概要

本コードは燃料および被覆管の応力／ひずみ解析を目的として、プルトニウム燃料部開発課において開発したものである。その概要を下記に示す。

### 1.1 PLASTIC コードの基本

PLASTIC コードによる応力／ひずみの解法として有限要素法が使用されている。従って、任意の形状（二次元）、任意の外力に対して適用が可能である。以下に、本コードの基本的な内容を列挙する。

- 1) 要素分割数の最大は 500 個であり、節点数は最大 350 個まで可能である。
- 2) 解析座標は X-Y または  $r-\theta$  である。
- 3) 平面応力問題、平面ひずみ問題ともに適用可能な二次元解析コードである。（現在、三次元への拡張に関し開発中である。）
- 4) 弾性および塑性解析ができる。弾性-塑性の降伏判定には Von Mises の yield criterion <sup>3)</sup> が使用されている。
- 5) 解析として、任意の物体がある外力を受けたとき、各部分がどのように変形し、どのような応力分布（およびひずみ分布）になるかを計算する。
- 6) 二物体間の機械的摩擦すべり現象も考慮できる。

### 1.2 計算フローチャート

PLASTIC のフローダイヤグラムを図 1 に示す。

### 1.3 PLASTIC コードの特長

本コードには以下の特長がある。

- 1) 節点および要素の自動構成、自動読み込み機能を有する。（詳細説明は第 4 章参照）
- 2) 塑性解析に直接反復法が使用されているが、計算時間短縮化のため、ひずみエネルギー等価による改良型直接反復法が備えられている。（図 2 参照）
- 3) プロッタールーチンが付加されており、変形、ひずみ応力分布が図として得ることができる。
- 4) 要素の形状は三角形または四角形または三角形と四角形の併用でも良い。

---

\* 応力／ひずみ（力／変位）を解析しようとする物体を有限個の要素に分割し、応力は各要素内で一定、外力は節点を通じて伝わるとするものである <sup>1), 2)</sup>。

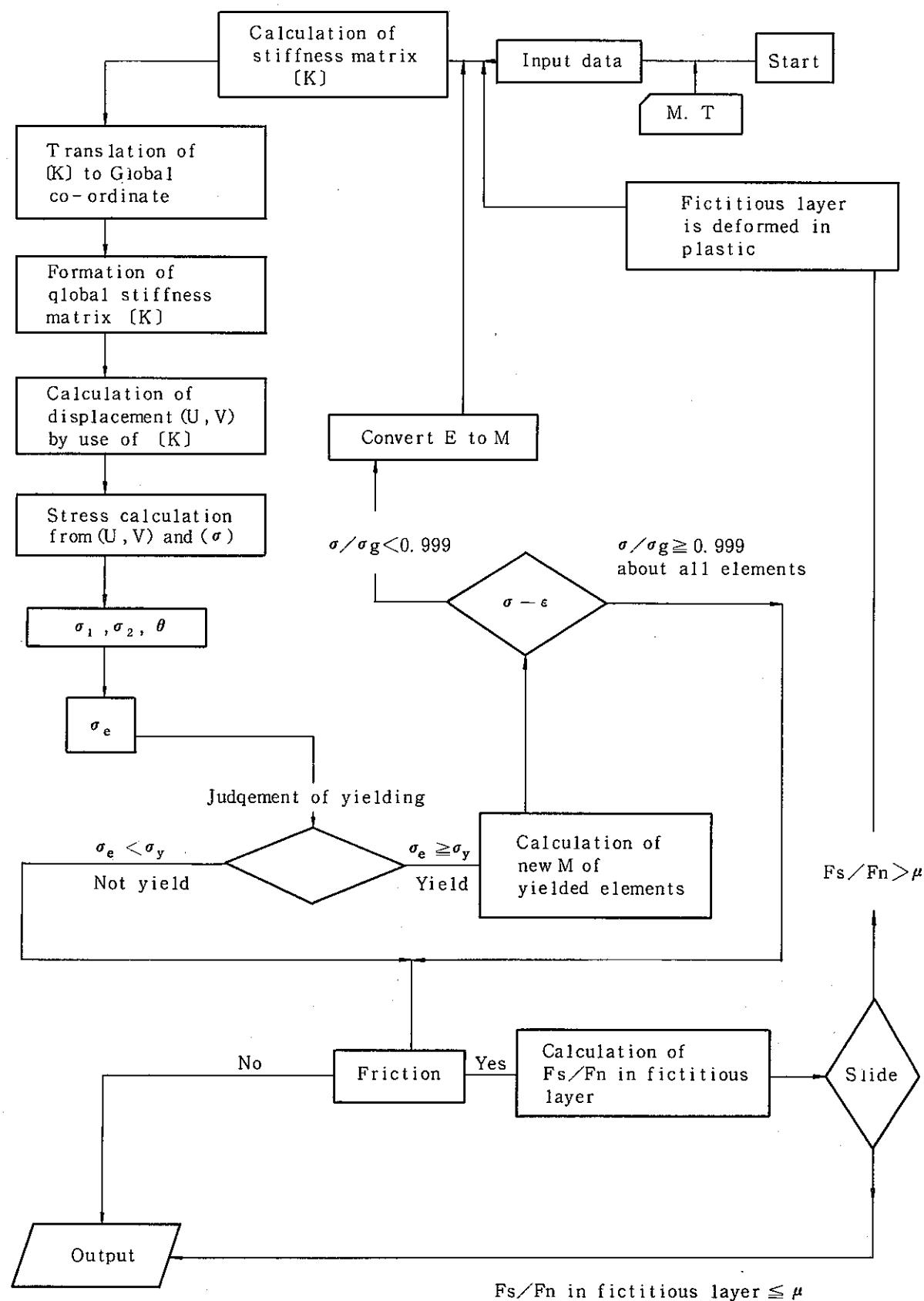


図1. Flow diagram for "PLASTIC" code.

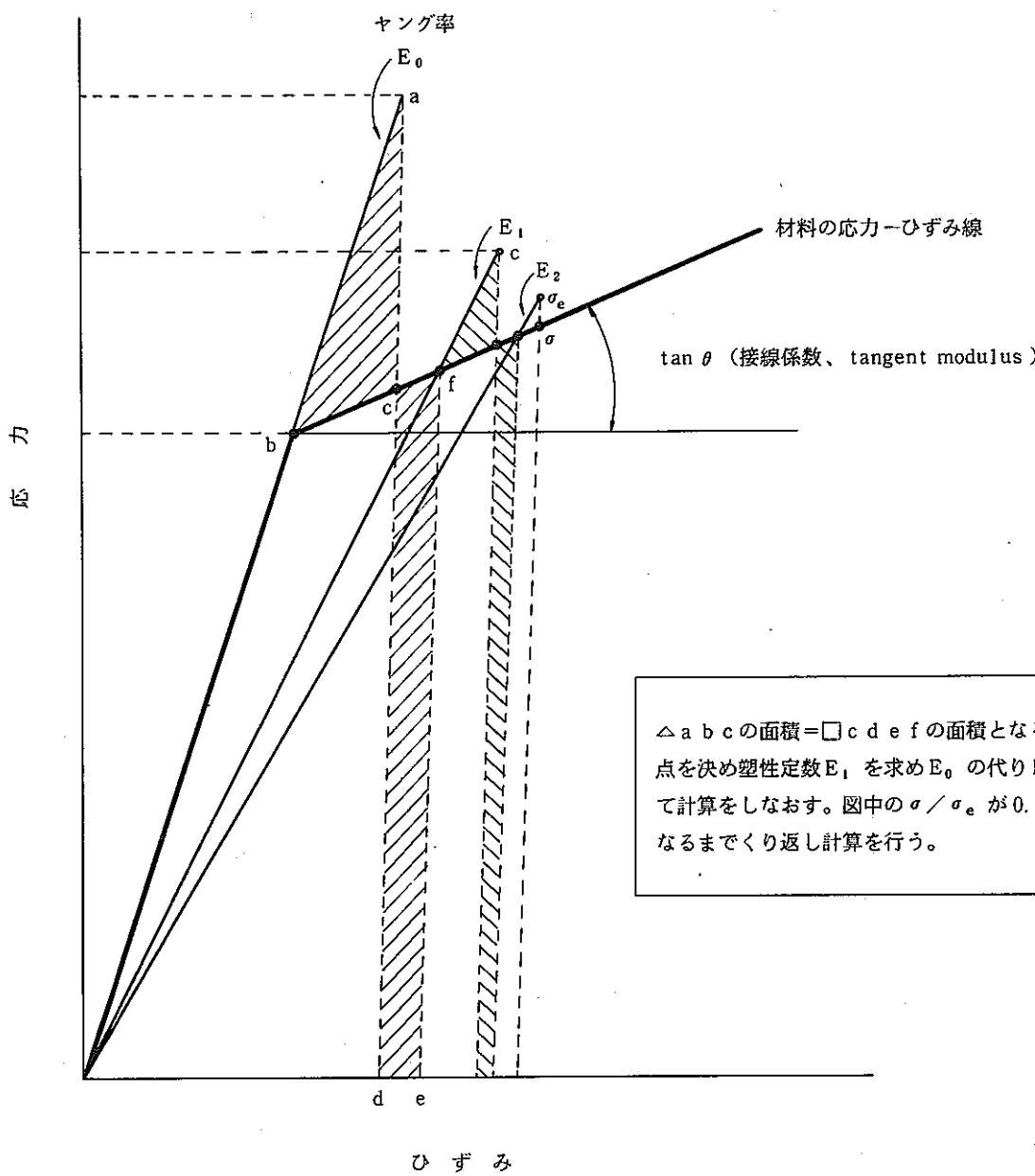


図 2. 改良型直接反復法

## 2. PLASTIC コードにおける解析方法

本コードで使用されている節点力-節点変位関係式、要素内応力-接点変位関係式は一般的に有限要素法で使用されているものと基本的に同じである。以下に、任意の外力が作用したときどのようにして変位と応力を求めるかを本コードに沿って説明する。

## 2.1 節点変位の計算方法

物体に外力が作用したとき、その外力は物体全体に伝播する。物体の変位（変形）は、その強さ（剛性）によって決定される。<sup>1)</sup> PLASTIC コードにおいて今、有限個の要素に分割したとする。ここで各要素は特有の剛性をもっている。要素の剛性を  $K$ 、要素を構成する節点（三角形要素の場合は要素一つに対して三個の節点がある）の変位を  $u$ 、節点に働いている力を  $f$  とする。これをベクトルで下記の式(1)で表わすとする。

$$[K] \times \{u\} = \{f\} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

[K]は剛性マトリックス

二次元の場合で、三角形要素(図3参照)とし(1)式中の項を詳しく表わすと

$$\{u\} = \left\{ \begin{array}{l} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{array} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

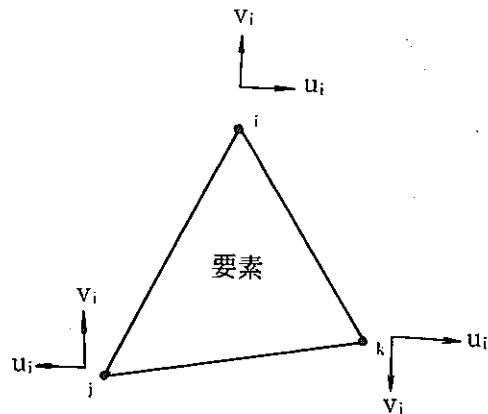


図3 三角形要素の節点と変位

$$\{f\} = \left\{ \begin{array}{l} f_i \\ g_i \\ f_j \\ g_j \\ f_k \\ g_k \end{array} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (2) \text{ となる。}$$

また [K] は

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{16} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{16} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{16} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{16} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{16} \end{bmatrix} \cdots \text{(3)とする}$$

次に式(1)について説明する。

要素内の変位場を簡単な式の形に仮定する。この際、任意の定ひずみ状態を表現できるように、また近似式の自由度が要素の自由度に一致するように近似式を作る。三角形要素の場合要素一つに対して節点数が 3, 1 節点当たりの自由度が 2 (X と Y) であるから自由度は  $3 \times 2 = 6$  となる。従って要素内の変位は次の(4)式で示すことができる。

$$\left. \begin{array}{l} u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \\ v = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y \end{array} \right\} \cdots \text{(4)}$$

この係数 ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ ) を使って、節点変位を表わせる。（なぜなら各要素内の変位は一定と仮定するから）

$$\left. \begin{array}{l} u_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i \\ v_i = \beta_1 + \beta_2 x_i + \beta_3 y_i \\ u_j = \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j \\ v_j = \beta_1 + \beta_2 x_j + \beta_3 y_j \\ u_k = \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k \\ v_k = \beta_1 + \beta_2 x_k + \beta_3 y_k \end{array} \right\} \cdots \text{(5)}$$

これを  $\alpha_2, \alpha_3, \beta_2, \beta_3$  について解くと

$$\left. \begin{aligned} \alpha_2 &= \{(y_j - y_k)u_i + (y_k - y_i)u_j + (y_i - y_j)u_k\} / \Delta \\ \alpha_3 &= \{(y_j - y_k)v_i + (y_k - y_i)v_j + (y_i - y_j)v_k\} / \Delta \\ \beta_2 &= \{(x_k - x_j)u_i + (x_i - x_k)u_j + (x_k - x_j)u_k\} / \Delta \\ \beta_3 &= \{(x_k - x_j)v_i + (x_i - x_k)v_j + (x_k - x_j)v_k\} / \Delta \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$\alpha_1, \beta_1$  については後で使わないので解く事を省略した。

ここでは $\Delta$ は次の行列式である。

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix} \quad (7)$$

ところで、変位とひずみとの関係は

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} \\ \epsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

である。ただし  $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$  はそれぞれ  $x$  方向ひずみ、 $y$  方向ひずみ、せん断ひずみである。

(4), (8)式より  $\epsilon_x = \alpha_2, \epsilon_y = \beta_3, \gamma_{xy} = \alpha_3 + \beta_2$  従って  $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$  は(6), (7)式を使って次式で示される。

$$\{\epsilon\} = [B] \{u_e\} \quad (9)$$

ただし、

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}, \quad \{u_e\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{Bmatrix},$$

$$[B] = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} y_j - y_k & y_k - y_i & 0 & y_i - y_j & 0 & x \\ 0 & x_k - x_i & 0 & x_i - x_k & 0 & x_j - x_i \\ x_k - x_i & y_i - y_k & x_i - x_k & y_k - y_i & x_j - x_i & y_i - y_j \end{bmatrix} \quad \dots \quad (10)$$

応力とひずみとの間には Hook の法則を使うと

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon\} \quad \dots \quad (11)$$

で示される。

具体的に示すと

平面応力解析の場合

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad \dots \quad (12)$$

平面ひずみ解析の場合

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ \frac{1}{1-\nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad \dots \quad (13)$$

である。

ここで  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$  はそれぞれ  $x$  方向応力,  $y$  方向応力, せん断応力であり,  $E$  は縦弾性係数

(ヤング率),  $\nu$  はポアソン比である。ここでひずみエネルギー<sup>1)</sup>は

$$U = f_{ff_e} \frac{1}{2} \{ \varepsilon \}^T \{ \sigma \} dV \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

である。要素(三角形)の面積を  $S$ , 厚みを  $\delta$  とすれば (9), (11) 式を使って (14) 式は次式で示される。

ここで  $hS[B]^T[D][B] = [Ke]$  .....(16) と置くと

一方、節点に  $\{f\}$  の力が作用し  $\{u_e\}$  の変位を生じたとすれば、外部でのポテンシャルエネルギーの減少は  $\{u_e\}^T \{f\} = u_i f_i + v_i g_i + u_j f_j + v_j g_j + u_k f_k + v_k g_k$  である。

従って全ポテンシャルエネルギーを II とすると

今、平衡状態を求めるようとしているのだから、全ポテンシャルエネルギーが最小になるような変位場を考えるには

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial \Pi}{\partial u_i} = 0 \quad \frac{\partial \Pi}{\partial u_j} = 0 \quad \frac{\partial \Pi}{\partial u_k} = 0 \\ \frac{\partial \Pi}{\partial v_i} = 0 \quad \frac{\partial \Pi}{\partial v_j} = 0 \quad \frac{\partial \Pi}{\partial v_k} = 0 \end{array} \right\} \dots \dots \dots \quad (19)$$

になるようすればよい。このため(18式を展開して成分  $u_i, v_i, u_j, v_j, u_k, v_k$  で表わし式(19)の微分式を実行すると、結局次式となる。

$$[Ke] \{ u_e \} = \{ f \} \quad (20)$$

節点変位を求めるには(20)式（または冒頭で示した(1)式）を解けば良い。

次の 2.2 節に、節点変化を求める具体例を示す。

## 2.2 節点変位を計算する方法の具体例

図4のモデル図を例に節点変位の計算を試みる。説明を簡単にするため、トラス構造を例にとる。<sup>4)</sup>

図4によると要素は①～⑤で節点は1～4である。節点4と2にx, y方向の荷重がそれぞれ4(H<sub>4</sub>, V<sub>4</sub>), 2(0, V<sub>2</sub>)作用し、節点1と3は固定されているとする。剛性はkで示し、X, Yは力、u, vは変位とする。2.1節により[力] = [剛性] × [変位]<sup>2)</sup>であるからそれぞれ①～④の要素について下記の式(1)～(5)ができる。

要素①に関して

$$\begin{Bmatrix} X_1^{(1)} \\ Y_1^{(1)} \\ X_2^{(1)} \\ Y_2^{(1)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11}^{(1)} & k_{12}^{(1)} & k_{13}^{(1)} & k_{14}^{(1)} \\ k_{21}^{(1)} & k_{22}^{(1)} & k_{23}^{(1)} & k_{24}^{(1)} \\ k_{31}^{(1)} & k_{32}^{(1)} & k_{33}^{(1)} & k_{34}^{(1)} \\ k_{41}^{(1)} & k_{42}^{(1)} & k_{43}^{(1)} & k_{44}^{(1)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix} \quad \dots \quad (1)$$

要素②に関して

$$\begin{Bmatrix} X_2^{(2)} \\ Y_2^{(2)} \\ X_3^{(2)} \\ Y_3^{(2)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11}^{(2)} & k_{12}^{(2)} & k_{13}^{(2)} & k_{14}^{(2)} \\ k_{21}^{(2)} & k_{22}^{(2)} & k_{23}^{(2)} & k_{24}^{(2)} \\ k_{31}^{(2)} & k_{32}^{(2)} & k_{33}^{(2)} & k_{34}^{(2)} \\ k_{41}^{(2)} & k_{42}^{(2)} & k_{43}^{(2)} & k_{44}^{(2)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} \quad \dots \quad (2)$$

要素③に関して

$$\begin{Bmatrix} X_1^{(3)} \\ Y_1^{(3)} \\ X_4^{(3)} \\ Y_4^{(3)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11}^{(3)} & k_{12}^{(3)} & k_{13}^{(3)} & k_{14}^{(3)} \\ k_{21}^{(3)} & k_{22}^{(3)} & k_{23}^{(3)} & k_{24}^{(3)} \\ k_{31}^{(3)} & k_{32}^{(3)} & k_{33}^{(3)} & k_{34}^{(3)} \\ k_{41}^{(3)} & k_{42}^{(3)} & k_{43}^{(3)} & k_{44}^{(3)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_4 \\ v_4 \end{Bmatrix} \quad \dots \quad (3)$$

要素④に関して

$$\begin{Bmatrix} X_4^{(4)} \\ Y_4^{(4)} \\ X_2^{(4)} \\ Y_2^{(4)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11}^{(4)} & k_{12}^{(4)} & k_{13}^{(4)} & k_{14}^{(4)} \\ k_{21}^{(4)} & k_{22}^{(4)} & k_{23}^{(4)} & k_{24}^{(4)} \\ k_{31}^{(4)} & k_{32}^{(4)} & k_{33}^{(4)} & k_{34}^{(4)} \\ k_{41}^{(4)} & k_{42}^{(4)} & k_{43}^{(4)} & k_{44}^{(4)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_4 \\ v_4 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix} \quad \dots \quad (4)$$

要素⑤に関して

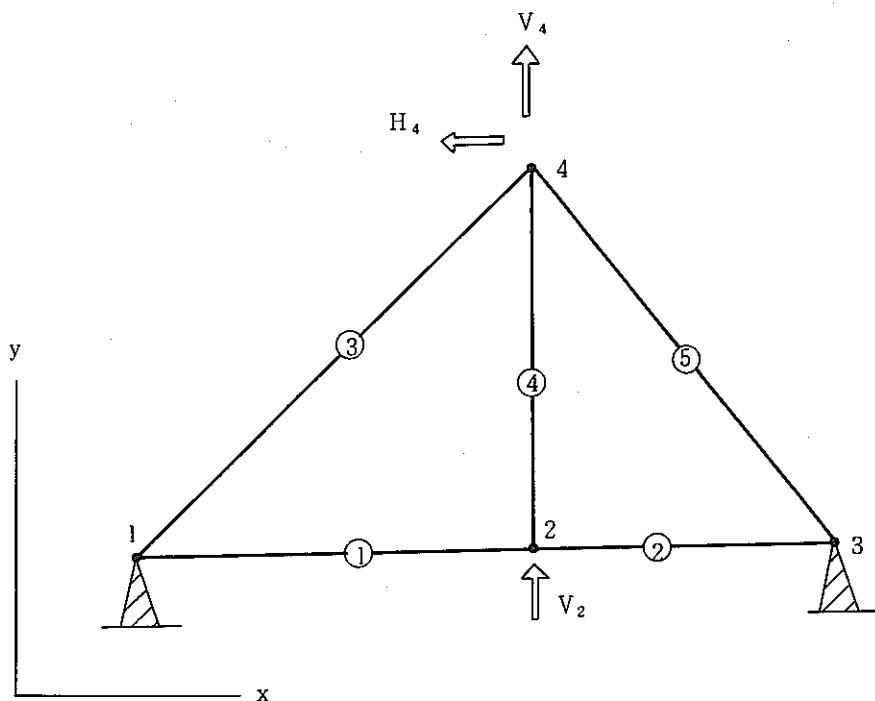
$$\begin{Bmatrix} X_4^{(5)} \\ Y_4^{(5)} \\ X_3^{(5)} \\ Y_3^{(5)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11}^{(5)} & k_{12}^{(5)} & k_{13}^{(5)} & k_{14}^{(5)} \\ k_{21}^{(5)} & k_{22}^{(5)} & k_{23}^{(5)} & k_{24}^{(5)} \\ k_{31}^{(5)} & k_{32}^{(5)} & k_{33}^{(5)} & k_{34}^{(5)} \\ k_{41}^{(5)} & k_{42}^{(5)} & k_{43}^{(5)} & k_{44}^{(5)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_4 \\ v_4 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} \quad \dots \quad (5)$$

ここで、節点4に作用している力のつりあいについて考えてみる。節点4には要素③④⑤が結合されているから、この節点の内力としては、3つの要素からの寄与を考えなければならない。すなわち

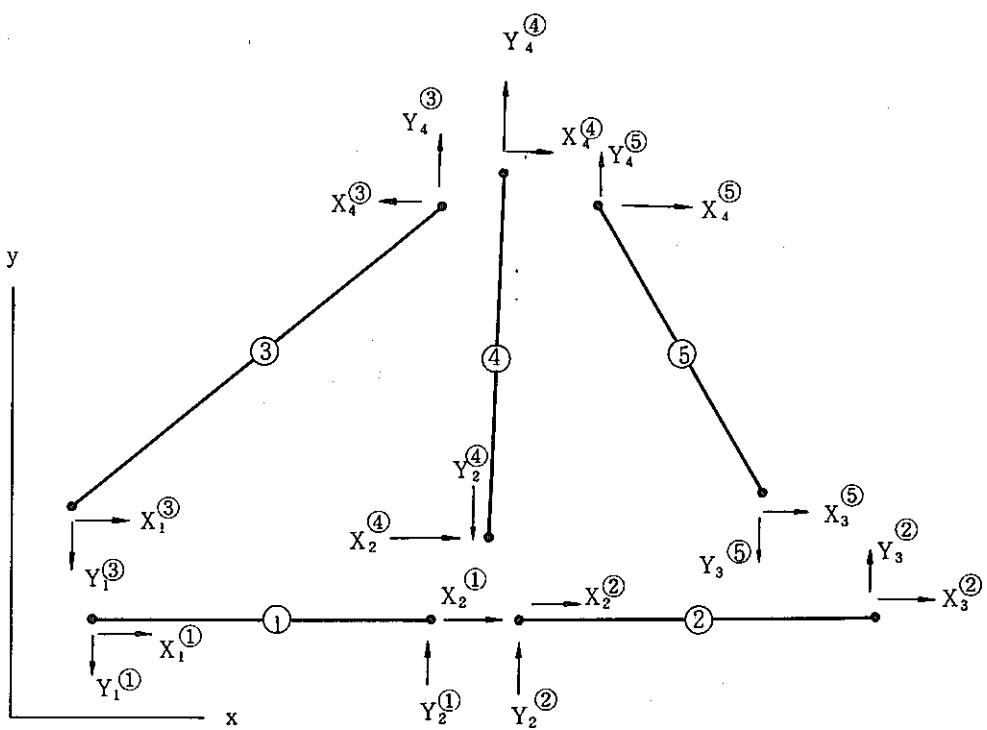
要素③からは x方向に X<sub>4</sub><sup>(3)</sup>, y方向に Y<sub>4</sub><sup>(3)</sup>要素④からは " X<sub>4</sub><sup>(4)</sup>, " Y<sub>4</sub><sup>(4)</sup>要素⑤からは " X<sub>4</sub><sup>(5)</sup>, " Y<sub>4</sub><sup>(5)</sup>

という内力が節点4に作用している。これらを合計すれば、

$$x\text{方向に } X_4^{(3)} + X_4^{(4)} + X_4^{(5)} = F_{x4}$$



(a)



(b)

図 4. 骨組構造体のモデル図

$$y\text{ 方向に } Y_4^{(3)} + Y_4^{(4)} + Y_4^{(5)} = F_y \quad 4$$

が節点4に内力として作用していることになる。

ところで、この節点4には $x$ 方向に $H_4$ 、 $y$ 方向に $V_4$ という外力が作用しており、これとこの節点での内力( $F_{x4}$ と $F_{y4}$ )とは平衡(つりあい)の条件を満足しているはずであるから、つぎのような式が成立する。

ところで、右辺の  $X_4^3$ ,  $X_4^4$ , …,  $Y_4^5$  は要素③④⑤に関する剛性方程式（4.3～5）で、節点変位の関数として表わされているから、それらを代入すると、

$$\begin{aligned} H_4 &= (k_{31}^3 u_1 + k_{32}^3 v_1 + k_{33}^3 u_4 + k_{34}^3 v_4) + (k_{11}^4 u_4 + k_{12}^4 v_4 + k_{13}^4 u_2 + k_{14}^4 v_2) \\ &\quad + (k_{11}^5 u_4 + k_{12}^5 v_4 + k_{13}^5 u_3 + k_{14}^5 v_3) \\ &= k_{31}^3 u_1 + k_{32}^3 v_1 + k_{13}^4 u_2 + k_{14}^4 v_2 + k_{13}^5 u_3 + k_{14}^5 v_3 \\ &\quad + (k_{33}^3 + k_{11}^4 + k_{11}^5) u_4 + (k_{34}^3 + k_{12}^4 + k_{12}^5) v_4 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} V_4 &= (k_{41}^3 u_1 + k_{42}^3 v_1 + k_{43}^3 u_4 + k_{44}^3 v_4) + (k_{21}^4 u_4 + k_{22}^4 v_4 + k_{23}^4 u_2 + k_{24}^4 v_2) \\ &\quad + (k_{21}^5 u_4 + k_{22}^5 v_4 + k_{23}^5 u_3 + k_{24}^5 v_3) \\ &= k_{41}^3 u_1 + k_{42}^3 v_1 + k_{23}^4 u_2 + k_{24}^4 v_2 + k_{23}^5 u_3 + k_{24}^5 v_3 \\ &\quad + (k_{43}^3 + k_{21}^4 + k_{21}^5) u_4 + (k_{44}^3 + k_{22}^4 + k_{22}^5) v_4 \end{aligned} \quad (9)$$

節点 2についても同様に、平衡条件式はつぎのようになる。

式(10)の左辺の零は、節点2において $x$ 方向の外力が作用していないことを示している。節点1の場合と同様に、式(1)～(2), (4)を用いて右辺を節点変位で表わすと

$$0 = (k_{31}^1 u_1 + k_{32}^1 v_1 + k_{33}^1 u_2 + k_{34}^1 v_2) + (k_{11}^2 u_2 + k_{12}^2 v_2 + k_{13}^2 u_3 + k_{14}^2 v_3) \\ + (k_{31}^4 u_4 + k_{32}^4 v_4 + k_{33}^4 u_2 + k_{34}^4 v_2) \\ = k_{31}^1 u_1 + k_{32}^1 v_1 + (k_{33}^1 + k_{11}^2 + k_{33}^4) u_2 + (k_{34}^1 + k_{12}^2 + k_{34}^4) v_2 \\ + k_{13}^2 u_3 + k_{14}^2 v_3 + k_{31}^4 u_4 + k_{32}^4 v_4 \dots \quad (12)$$

つぎに節点 1について考える。節点 1に作用する内力は

$$\begin{array}{ll} \text{x 方向に} & X_1^1 + X_1^3 = F_{x1} \\ \text{y 方向に} & Y_1^1 + Y_1^3 = F_{y1} \end{array}$$

である。ところで節点1では、 $x$ 方向および $y$ 方向の変位が拘束されているので、節点1には $x$ 方向および $y$ 方向の反力が生じているはずである。その値は未知であるが一応、

$$\left. \begin{array}{l} x \text{ 方向の未知反力を } R_1 \\ y \text{ 方向の未知反力を } Q_1 \end{array} \right\}$$

すると、未知反力と内力は平衡の条件を満たしているはずであるから、つぎのような式が成り立つ。

前と同様に式(1), (3)を用いて右辺を節点変位で表わすと、つぎのようになる。

$$R_1 = (k_{11}^1 u_1 + k_{12}^1 v_1 + k_{13}^1 u_2 + k_{14}^1 v_2) + (k_{11}^3 u_1 + k_{12}^3 v_1 + k_{13}^3 u_4 + k_{14}^3 v_4) \\ = (k_{11}^1 + k_{11}^3) u_1 + (k_{12}^1 + k_{12}^3) v_1 + k_{13}^1 u_2 + k_{14}^1 v_2 \\ + k_{13}^3 u_4 + k_{14}^3 v_4 \dots \quad (16)$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= (k_{11}^1 u_1 + k_{12}^1 v_1 + k_{23}^1 u_2 + k_{24}^1 v_2) + (k_{21}^3 u_1 + k_{22}^3 v_1 + k_{23}^3 u_4 + k_{24}^3 v_4) \\ &= (k_{11}^1 + k_{21}^3) u_1 + (k_{12}^1 + k_{22}^3) v_1 + k_{23}^1 u_2 + k_{24}^1 v_2 \\ &\quad + k_{23}^3 u_4 + k_{24}^3 v_4 \end{aligned} \quad (17)$$

最後に節点 3について考える。節点 3に作用する内力は

$$x \text{ 方向に} \quad X_3^2 + X_3^5 = F_{x,3}$$

$$y\text{ 方向に } Y_3^2 + Y_3^5 = F_y \cdot 3$$

である。節点3では $x$ 方向には抱束がなく、外力も作用していないので、

である。 $y$  方向については変位が拘束されているので、 $y$  方向に反力が生じているはずである。この未知の反力を  $O_3$  とすると、

$$Q_3 = F_{y3} = Y_3^2 + Y_3^5 \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

となる。式(4.18～19)の右辺に式(2), (5)を代入するとつきのようになる。

$$Q_3 = (k_{41}^2 u_2 + k_{42}^2 v_2 + k_{43}^2 u_3 + k_{44}^2 v_3) + (k_{41}^5 u_4 + k_{42}^5 v_4 + k_{43}^5 u_3 + k_{44}^5 v_3) \\ = k_{41}^2 u_2 + k_{42}^2 v_2 + (k_{43}^2 + k_{43}^5) u_3 + (k_{44}^2 + k_{44}^5) v_3 \\ + k_{41}^5 u_4 + k_{42}^5 v_4 \dots \quad (21)$$

これですべての節点の平衡条件が、節点に作用する外力（または未知反力）と節点変位の関係として表わされたことになる。各節点で2つ平衡条件式（ $x$ 方向および $y$ 方向）が成立しており、この場合には節点が4つあるので、合計8つの平衡条件式(8)～(9), (12)～(13), (16)～(17), (20)～(21)があるが、これをマトリックス表示すると次ページの式(22)のようになる。

あるいは

$$\begin{array}{c|c}
 \left( \begin{array}{c} R_1 \\ Q_1 \\ 0 \\ V_2 \\ Q \\ Q_3 \\ H_4 \\ V_4 \end{array} \right) & = \left( \begin{array}{c} F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ F_{x3} \\ F_{y3} \\ F_{x4} \\ F_{y4} \end{array} \right) = \\
 \downarrow P & \downarrow F
 \end{array}
 \begin{array}{c|c}
 \left( \begin{array}{ccccccccc} k_{11}^1 + k_{11}^3 & k_{12}^1 + k_{12}^3 & k_{13}^1 & k_{14}^1 & 0 & 0 & k_{13}^3 & k_{14}^3 & u_1 \\ k_{21}^1 + k_{21}^3 & k_{22}^1 + k_{22}^3 & k_{23}^1 & k_{24}^1 & 0 & 0 & k_{23}^3 & k_{24}^3 & v_1 \\ k_{31}^1 & k_{32}^1 & k_{33}^1 + k_{31}^2 + k_{33}^2 & k_{34}^1 + k_{32}^2 + k_{34}^2 & k_{33}^1 & k_{34}^1 & k_{31}^4 & k_{32}^4 & u_2 \\ k_{41}^1 & k_{42}^1 & k_{43}^1 + k_{41}^2 + k_{43}^2 & k_{44}^1 + k_{42}^2 + k_{44}^2 & k_{43}^1 & k_{44}^1 & k_{41}^4 & k_{42}^4 & v_2 \\ 0 & 0 & k_{51}^2 & k_{52}^2 & k_{53}^2 + k_{51}^3 + k_{53}^3 & k_{54}^2 + k_{52}^3 + k_{54}^3 & k_{51}^5 & k_{52}^5 & u_3 \\ 0 & 0 & k_{51}^2 & k_{52}^2 & k_{53}^2 + k_{51}^3 + k_{53}^3 & k_{54}^2 + k_{52}^3 + k_{54}^3 & k_{51}^5 & k_{52}^5 & v_3 \\ k_{31}^3 & k_{32}^3 & k_{13}^4 & k_{14}^4 & k_{13}^5 & k_{14}^5 & k_{33}^3 + k_{11}^4 + k_{33}^4 & k_{34}^3 + k_{12}^4 + k_{34}^4 & u_4 \\ k_{41}^3 & k_{42}^3 & k_{23}^4 & k_{24}^4 & k_{23}^5 & k_{24}^5 & k_{43}^3 + k_{21}^4 + k_{43}^4 & k_{44}^3 + k_{22}^4 + k_{44}^4 & v_4 \end{array} \right) \downarrow K \quad \left( \begin{array}{c} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{array} \right) \downarrow d
 \end{array}$$

初期条件より

$$\begin{aligned}
 F_{x2} &= 0 \\
 F_{y2} &= V_2 \\
 F_{x4} &= H_4 \\
 F_{y4} &= V_4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_1 &= 0 \\
 v_1 &= 0 \\
 v_3 &= 0
 \end{aligned}$$

未知変数は  $F_{x1}, F_{y1}, F_{y3}, u_2, v_2, u_3, u_4, v_4$  である。(22)式を未知の節点変位に関する連立1次方程式として解くのであるが、式(22)の左辺の外力ベクトルの成分は節点番号の順に、同じ節点番号については、 $x$ 方向の節点力を前に、 $y$ 方向の節点力を後にするように、機械的に並べたものであり、そのうちには未知の項(未知反力  $R_1, Q_1, Q_3$ )もあり、また、右辺の節点変位ベクトルの成分は、節点力ベクトルの成分にあわせて、“節点変位ベクトルと節点力ベクトルの対応則”を満足させるように並べたものなので、そのうちには既知の項( $u_1, v_1, v_3$ )があつたりして、このままでは未知節点変位に関する連立1次方程式として取り扱うことができない。そこで式(22)を少し変形してみよう。

式(22)の節点外力ベクトルの成分のうち、未知反力を示す  $R_1, Q_1, Q_3$  をベクトルの後にまわし、あきができたところは順次前のほうにつめてやると、

$$\begin{array}{c|ccccc|ccc|c}
 0 & k_{33}^1 + k_{11}^2 & k_{34}^1 + k_{12}^2 & k_{13}^2 & k_{31}^4 & k_{32}^4 & k_{31}^1 & k_{32}^1 & k_{14}^2 & u_2 \\
 V_2 & k_{43}^1 + k_{21}^2 & k_{44}^1 + k_{22}^2 & k_{23}^2 & k_{41}^4 & k_{42}^4 & k_{41}^1 & k_{42}^1 & k_{24}^2 & v_2 \\
 0 & k_{31}^2 & k_{32}^2 & k_{33}^2 + k_{33}^5 & k_{31}^5 & k_{32}^5 & 0 & 0 & k_{34}^2 + k_{34}^5 & u_3 \\
 H_4 & k_{13}^4 & k_{14}^4 & k_{13}^5 & k_{33}^3 + k_{11}^1 & k_{34}^3 + k_{12}^1 & k_{31}^3 & k_{32}^3 & k_{14}^5 & u_4 \\
 V_4 & k_{23}^4 & k_{24}^4 & k_{23}^5 & k_{43}^3 + k_{21}^1 & k_{44}^3 + k_{22}^1 & k_{41}^3 & k_{42}^3 & k_{24}^5 & v_4 \\
 \hline
 R_1 & k_{13}^1 & k_{14}^1 & 0 & k_{13}^1 & k_{14}^1 & k_{11}^1 + k_{11}^3 & k_{12}^1 + k_{12}^3 & 0 & u_1 \\
 Q_1 & k_{23}^1 & k_{24}^1 & 0 & k_{23}^1 & k_{24}^1 & k_{21}^1 + k_{21}^3 & k_{22}^1 + k_{22}^3 & 0 & v_1 \\
 Q_3 & k_{41}^2 & k_{42}^2 & k_{43}^2 + k_{43}^5 & k_{41}^5 & k_{42}^5 & 0 & 0 & k_{44}^2 + k_{44}^5 & v_3
 \end{array} = |0| \quad (23)$$

ここで  $u_1, v_1, v_3 = 0$  であるので(23)式から次式(24)ができる。

$$\begin{array}{c|ccccc|ccc|c}
 0 & k_{33}^1 + k_{11}^2 & k_{34}^1 + k_{12}^2 & k_{13}^2 & k_{31}^4 & k_{32}^4 & k_{31}^1 & k_{32}^1 & u_2 \\
 V_2 & k_{43}^1 + k_{21}^2 & k_{44}^1 + k_{22}^2 & k_{23}^2 & k_{41}^4 & k_{42}^4 & k_{41}^1 & k_{42}^1 & v_2 \\
 0 & k_{31}^2 & k_{32}^2 & k_{33}^2 + k_{33}^5 & k_{31}^5 & k_{32}^5 & k_{31}^3 & k_{32}^3 & u_3 \\
 H_4 & k_{13}^4 & k_{14}^4 & k_{13}^5 & k_{33}^3 + k_{11}^1 & k_{34}^3 + k_{12}^1 & k_{31}^3 & k_{32}^3 & v_4 \\
 V_4 & k_{23}^4 & k_{24}^4 & k_{23}^5 & k_{43}^3 + k_{21}^1 & k_{44}^3 + k_{22}^1 & k_{41}^3 & k_{42}^3 & u_4
 \end{array} \quad (24)$$

この(24)式を解けば未知節点変位  $u_2, v_2, u_3, u_4, v_4$  を求めることができる。(未知の節点変位に関する連立一次方程式を解く)

次いで未知節点力  $R_1, Q_2, Q_3$  が求まる。<sup>5)</sup>

(要素の応力はここで求めた節点変位を使用し決められる。10章参照)

## 2.3 応力の計算方法

要素内の応力は 2.1, 2.2 で示した節点変位から求める。

2.1 節(9)式より要素のひずみは節点変位で下記に示される。

$$\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = [B] \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{pmatrix} \quad (1)$$

要素の応力は 2.1 節(11)式により

$$\begin{Bmatrix} \sigma x \\ \sigma y \\ Txy \end{Bmatrix} = [D] \begin{Bmatrix} \epsilon x \\ \epsilon y \\ r_{xy} \end{Bmatrix} \quad \dots \quad (2)$$

である。

(1), (2)より要素の応力は次式の様に節点変位で示される。

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma x \\ \sigma y \\ Txy \end{array} \right\} = [D][B] \left\{ \begin{array}{l} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{array} \right\} \dots \dots \dots \quad (3)$$

(3)式により節点変位から要素応力を求めることができる。なお各要素の最大主応力値( $\sigma_1$ )、最小主応力値( $\sigma_2$ )とその傾き( $\alpha$ )はモールの応力円から次式で求められる。<sup>5)</sup>

$$\sigma_1 = \frac{\sigma x + \sigma y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma x - \sigma y}{2}\right)^2 + \tau xy^2} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma x + \sigma y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma x - \sigma y}{2}\right)^2 + \tau xy^2} \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

## 2.4 塑性計算方法

本コードで塑性計算は次の手順で行なわれる。

- 1) まず弾性体と扱い、構造体全ての弾性応力を 2.1, 2.2, 2.3 節の方法で求める。
  - 2) 下記の式(7)に従って、全ての要素の等価応力を計算する。:

- 3) Von Mises の yield criterion に従って、降伏かどうかを全要素について判定する。つまり等価応力が降伏応力より大きければその要素は降伏、すなわち塑性変形するものと判定する。

4) 降伏と判定された要素は第一章 1.3 節の図 2 で示された方法により塑性定数を計算し縦弾性係数と入れ替えを行い 1) に戻る。

5) 1) ~ 4) をくりかえして、降伏と判定された全ての要素の  $\sigma_e$  が単純化した応力 - ひずみ線（物性値としての入力値）に合致させる。（図 2 参照）

本コードでは  $\sigma_e$  が入力設定してある応力 - ひずみ線上に 1 % 以内の誤差範囲に入るまで 1) ~ 4) のステップをくり返すようにしてある。

## 2.5 摩擦すべり現象の取り扱い方法

本コードでは摩擦すべり現象も取り扱うことができる。摩擦すべり現象として、摩擦すべり面に仮想的な中間層を設定し、この層が局部的に塑性変形を引きおこさせることにより摩擦すべりを模擬するものである。これは筆者らが、燃料ペレットと被覆管との間の摩擦係数測定実験の際摩擦すべり痕跡は局所的に塑性変形を引き起していたという電子顕微鏡による観察結果を基礎としているものである。以下に、摩擦すべり現象の取り扱い手順を示す。

まず最初は、摩擦すべりは生じないものとして弾性、塑性計算を行なう。（但し、摩擦すべりを生じる部分に細かな要素で構成する中間層をあらかじめ構成しておく）。次にその層の要素の応力比（摩擦すべり方向の応力  $\sigma_T$  とそれに垂直な方向の応力  $\sigma_N$  との比  $\sigma_T/\sigma_N$ ）を計算する。

$|\sigma_T|/|\sigma_N|$  と摩擦係数  $\mu$ （入力設定値）とを比較し、 $|\sigma_T|/|\sigma_N| > \mu$  なら  $|\sigma_T| > \mu |\sigma_N|$  となり摩擦すべりが生じなければならない。（摩擦による抱束力よりもすべりずれようとする力の方が大きい）。この判定をされた要素はその要素の等価応力  $\sigma_e$  よりも低目の新しい降伏強さを再設定する。（本コードでは新しい降伏強さ  $\sigma_y^N = 0.95 \times \sigma_e$  としている）。この判定と新しい降伏強さの再設定を中間層中の全ての要素について自動的に行う。 $\sigma_y^N$  を再設定したら、本コードの最初のステップ（2.4 節のステップ 1）にもどり再計算をする。これは中間層の要素の  $|\sigma_T|/|\sigma_N|$  が  $\mu$  より小さくなるまでくり返し計算を行う。

### 3. PLASTIC コードによる計算実行準備

#### 3.1 解析構想

解析対照物を有限要素にモデル化するに際し対称性をできるかぎり利用し有限要素モデルの節点数、要素数を節約する。節点は最大350節点、要素は最大500要素まで可能であるが、節点数、要素数が少いほど演算時間は少くて済む。しかし、応力（または歪）が急激に変化すると予想される場所（形状が複雑に変化している場所など）では他の場所より小さな要素で構成するように有限要素モデルを作成する。具体的に述べるとまず応力（ひずみ）解析しようとする物体を二次元座標上に描く。本コードで使える座標系はX-Y直角座標かまたは $r-\theta$ 座標である。この際、対称性を考慮する事により必要な場所だけモデル図を描く。次に適当に要素分割する。要素の形状は三角形および四角形のいづれでも良い。但し、形状が複雑であったり外力荷重の作用する所であったり、他より大きく変形すると予想される所の要素の大きさは他の要素より小さくする。本コードでは通常100～300要素で充分精度の高い解析が得られている。次に解析方法の種類を決める。本コードでは平面応力問題<sup>①</sup>および平面ひずみ問題<sup>②③</sup>いづれの場合にも適用できる。しかし、弾性論より平面ひずみ解析の際は $\sigma_z = 0$ としているため、本コードでは厚みは1.0と自動的に設定されるようになっている。また、塑性計算の際、塑性体の変形に伴う体積変化はないと言う定義により塑性領域のボアソン比（ν）は自動的に0.5に設定されるため、塑性解析を行うときは平面ひずみ解析は不可能である。なぜなら平面ひずみ弾性論では応力とひずみとの関係式中の分母に $1 - 2\nu$ 項があるためである。従って、塑性解析を行うときは平面応力問題として取り扱う注意が必要である。

#### 3.2 諸準備

応力（ひずみ）解析を行う際、以下に述べる諸物性値、境界条件および外荷重条件が必要である。

##### 1) 物性値の準備

各要素ごとに、次の物性値が必要である。

- ① ヤング率 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )
- ② 応力-ひずみ線(図2に示す様な単純化した応力-ひずみ線 …… Simplified stress-strain relation を使用する)
- ③ 降伏強さ (Yield Strength,  $\text{kg}/\text{mm}^2$ )
- ④ 接線係数 (Tangent Modulus,  $\text{kg}/\text{mm}^2$  …… 図2参照)

① 平面応力問題(Plane stress Problem) …… 3次元物体を2次元で解析する際、厚み方向応力 $\sigma_z = 0$ と仮定する。<sup>6)</sup>従って、厚みが薄い物体の解析に適している。

②③ 平面ひずみ問題(Plane strain Problem) …… 3次元物体を2次元で解析する際、厚み方向ひずみ $\epsilon_z = 0$ と仮定する。<sup>6)</sup>この場合は厚みが大きい物体の解析に適している。

⑤ 摩擦係数 (  $\mu$ , 無次元 )

⑥ ポアソン比 (  $\nu$ , 無次元 )

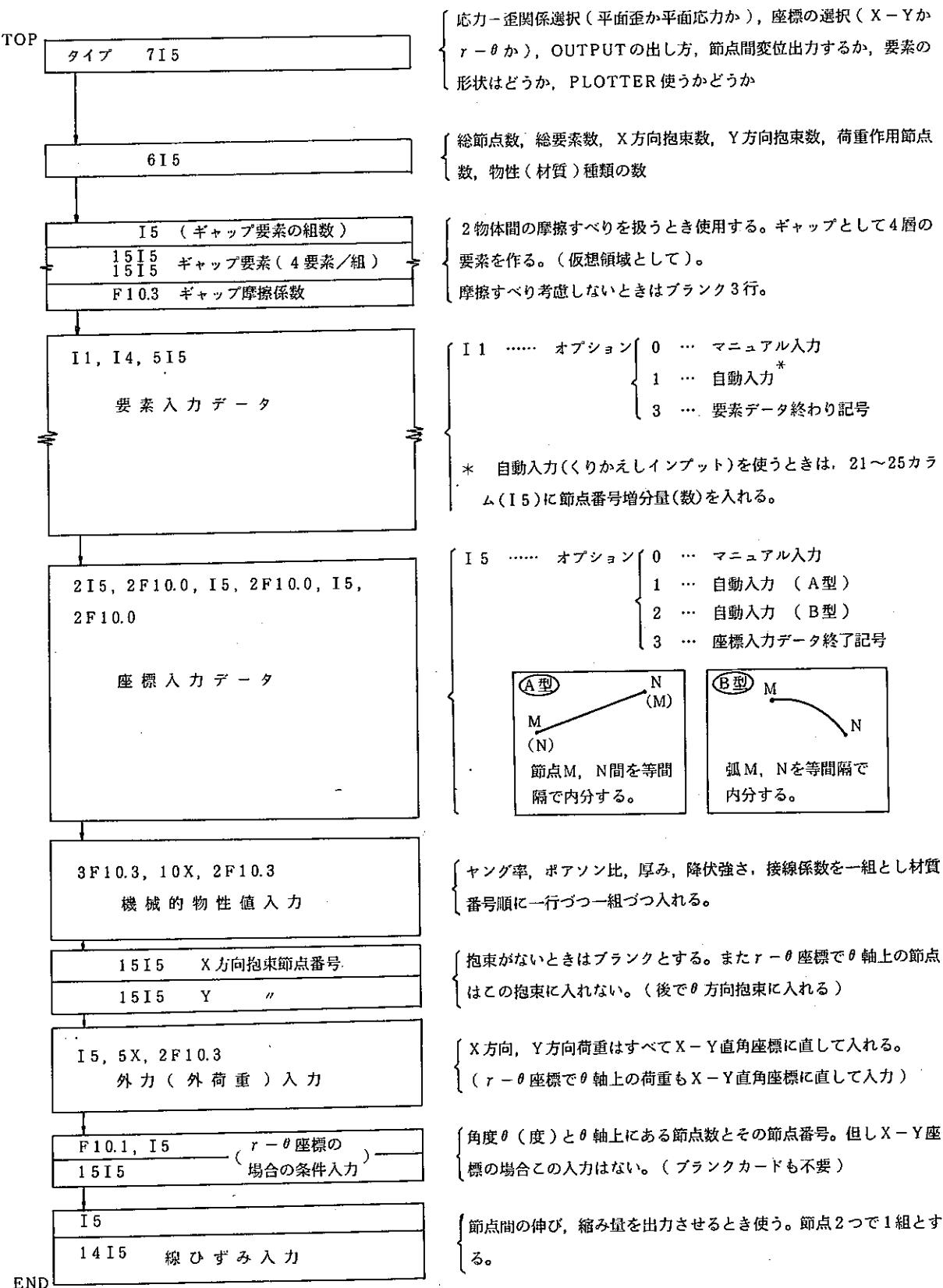
2) 境界条件の設定

X 方向, Y 方向あるいは  $\theta$  方向に拘束されるべき節点番号を決定する。但し  $r - \theta$  座標の場合  
 $\theta$  方向にのみ変位すべき節点番号も決定しておく。

3) 外荷重の設定

物体を変形させようとする入力荷重をセットする。入力荷重は節点に作用させるように荷重値  
を集中荷重方式 (第 4 章 詳細説明) により決定しておく。但し、本コードでは  $r - \theta$  座標系を使  
用する際も節点に作用させる荷重は X-Y 直角座標系として X, Y 方向荷重値を決めるこことに注  
意する必要がある。

本コードで入力すべきデータの順序および概略説明を次ページに示す。



## 4 入力データの作成方法

入力データの作成方法および具体例を次に示す。

### 4.1 要素の入力

本コードでは要素の入力方法としてマニュアル入力と自動入力の二つの方法が可能である。図5.6の問題を例とし、要素の入出データをマニュアル入力と自動入力の二つの例を示す。

#### 1) マニュアル入力の場合

図5中の1～12は節点番号であり、①～⑥は要素番号である。

要素①は節点2, 1, 5, 6で構成されている。

これを、ここでは①(2, 1, 5, 6)と書くとする。

同様に要素②, ③, ④, ⑤, ⑥は

②(3, 2, 6, 7, )

③(4, 3, 7, 8, )

④(5, 9, 10, 6, )

⑤(6, 10, 11, 7, )

⑥(8, 7, 11, 12, )となる。

本コードでは要素を構成する節点の表示順序は三角形要素、四角形要素とも反時計回りとする。

これは要素の剛性を求める演算の中で、その要素を構成する節点の座標から要素の面積を求める過程があるからである。

#### 2) 自動入力の場合

要素および節点の番号付けを規則化することにより、要素の自動読み込みルーチンが使用できる。

つまり最初の代表となる要素の番号とそれを構成する節点番号を与えておき、あとはそのくり返しである様に要素および節点の番号付けをしておけばよい。

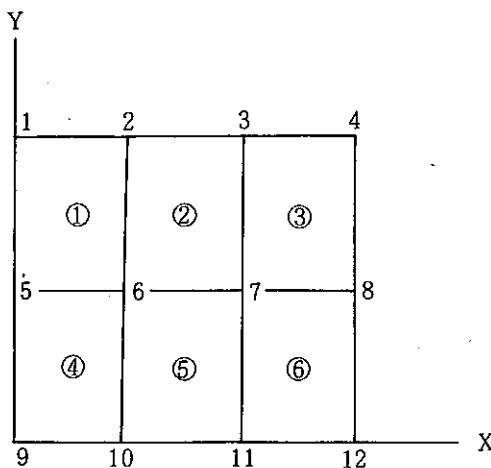


図5 要素分割図

図6をもとに要素構成データを自動入力方法で示すと、要素①は節点2, 1, 9, 10で構成されている。以下これを①(2, 1, 9, 10)と表記することとする。

同様に、②(3, 2, 10, 11)

③(4, 3, 11, 12)

④(5, 4, 12, 13)

:

:

⑦(8, 7, 15, 16)

これをみると要素③～⑥は要素①, ②のくりかえしである。

つまり①要素構成節点に2を加えれば要素③になり、さらに2を加えれば要素⑤になる。同様に②要素構成節点に2を加えれば要素④になり、さらに2を加えれば要素⑥になる。但し要素⑦は自動入力からはづさねばならない。

なぜなら①②③④⑤⑥⑦と、2組づつのペアからはづれているからである。

以下同様に⑧～⑬は自動入力、⑯～⑳も自動入力、㉑～㉕も自動入力できる。以上まとめると、要素構成データは表1に示す様になる。本コードでは要素構成データを入力データとして作る際、マニュアル入力あるいは自動入力あるいはマニュアルと自動入力との組み合せのいづれでも可能になっている。但し、マニュアル入力か自動入力か区別するために要素マニュアル入力の場合、第一カラムに0(またはブランク)を、要素自動入力の場合は第一カラムに1を入れることが必要である。

また、要素入力データの後のカード(行)の第一カラムに要素入力データの終了を示す印として3を入れることも必要である。(表1参照)

#### 4.2 節点の入力

節点の入力データとしては、節点番号と、その位置を示す座標(X, Y座標)である。節点データの入力方法としては要素入力の場合と同じくマニュアル入力と自動入力の二種類がある。

##### 1) 節点のマニュアル入力

図7を例として、節点入力データをマニュアル方式で作成してみる。節点番号1は座標x=0, y=3.0であり、これを1(0.000, 3.000)と示す。

節点2は同様に2(1.000, 3.000)となる。

順次同様に行うと次の通りとなる。

3(2.000, 3.000)

4(3.000, 3.000)

5(3.500, 3.000)

6(4.000, 3.000)

7(4.500, 3.000)

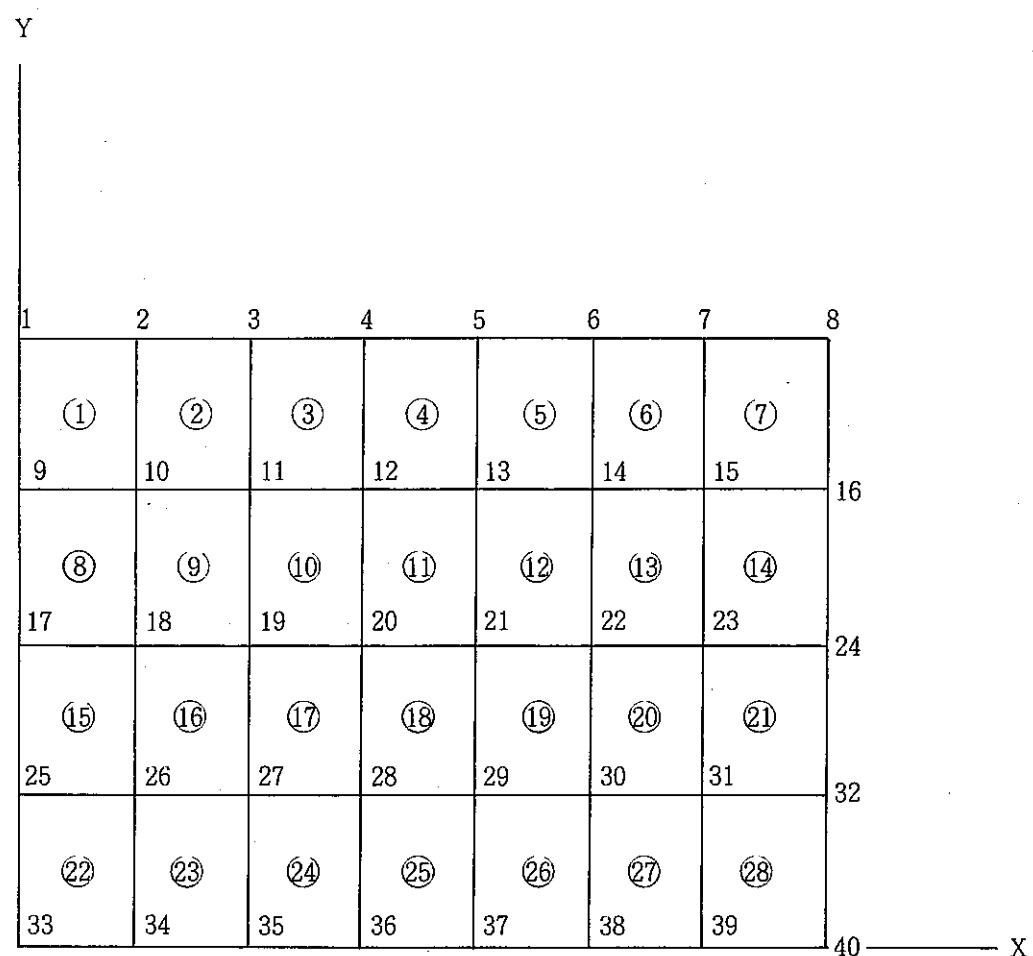


図 6 要素分割例

PNC - PU

表 1 図 6 の要素の自動入力例

## INPUT DATA FORM

JOB NUMBER	MAIN PROGRAM LABEL								KEYPUNCH RECORD DATE KEYPUNCHED BY VERIFIED BY	NO. OF CARDS	PAGE	OF																		
	PROBLEM				MODIFICATION						PAGE	OF																		
	CODED BY				DATE						PAGE	OF																		
01	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0										
02																														
03	1	2	1	9	10	1																								
04	2	3	2	10	11	1																								
05	1	2	3	6	2																									
1																														
06	7	8	7	15	16	2																								
07	8	10	9	17	18	1																								
08	9	11	10	18	19																									
09	1	8	9	10	13	2																								
10	14	16	15	23	24	1																								
11	15	18	17	25	26	1																								
12	16	19	18	26	27	1																								
13	15	16	17	20	2																									
14	21	24	23	31	32	1																								
15	22	26	25	33	34	1																								
16	23	27	26	34	35	1																								
17	22	23	24	27	2																									
18	28	32	31	39	40	1																								
19	3																													
20																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

```

8 ( 5.000 , 3.000 )
9 ( 0.000 , 2.250 )
10 ( 1.000 , 2.250 )
11 ( 2.000 , 2.250 )
:
:
39 ( 4.500 , 0.000 )
40 ( 5.000 , 0.000 )

```

これを入力データシートに 1 ~ 10 カラムに節点番号, 11 ~ 20 カラムに X 座標, 20 ~ 30 カラムに Y 座標を節点 1 につき 1 行づつ記入する。節点の入力の最後の次の行の第 5 カラムに節点入力データの終了を示す印として 3 を記入する。

## 2) 節点の自動入力

節点の自動入力方式は二種類ある。(オプション 1, 2) 一つは, ある節点 M と N とがあり, 直線 M - N 間に等間隔に別な節点がいくつか存在する場合と, もう一つは M と N とがある曲率を持つ円弧上にあり, その  $\widehat{MN}$  間に等間隔に別な節点がいくつか存在する場合である。

### (a) 節点が直線上に等間隔にある場合(オプション 1)

図 8 を例として節点入力データを作成してみる。

図 8 で節点 1 ~ 8 と節点 9 ~ 16 および節点 17 ~ 16 が等間隔節点を有するとする。

最初に節点 1 ~ 8 について考えると, 節点 2 ~ 7 は節点 1 の座標 (3.00, 9.00) と節点 8 の座標 (10.00, 9.00) とを結ぶ直線の内分する点上に存在している。内分する点の総数は 6 個である。

節点入力データシートへの記入方法としては, 節点 1 の番号, その x, y, 座標, 次に節点 8 の番号とその x, y 座標, その次に内分する節点の数を全て 1 行で記入する。具体的には,

1 3.00 9.00 8 10.00 9.00 6 という様になる。

同様に節点 9 ~ 16 は

9 2.20 6.00 16 12.00 6.00 6 となる。

節点 17 ~ 16 について同様に行うと

17 1.00 2.00 24 10.80 5.40 6 となる。但し, 節点 17 ~ 24 は続  
き番号であるが節点 16 は節点 17 からの続き番号ではないので自動入力からはづさねばなら  
ない。しかし, この場合節点 16 は節点 9 ~ 16 でカバーされている。

このタイプの自動入力の場合は第 5 カラムに 1 という数字を記入しておく。

図 8 の節点の入力を自動入力方式でデータシートに記入したのを表 2 に示す。

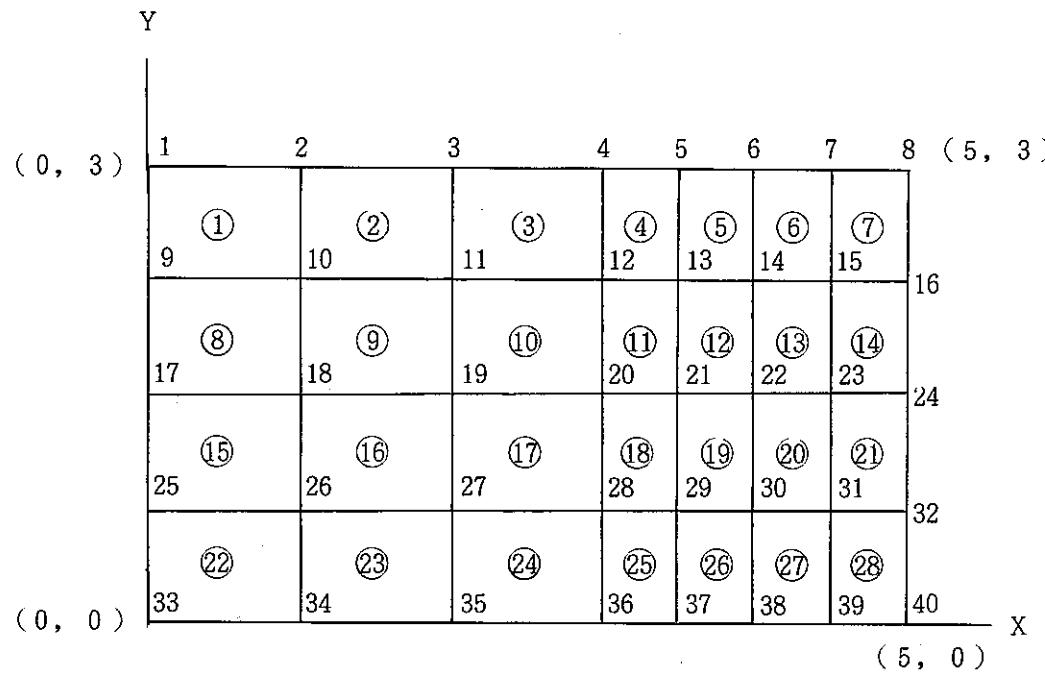


図 7 要素および節点の表示例

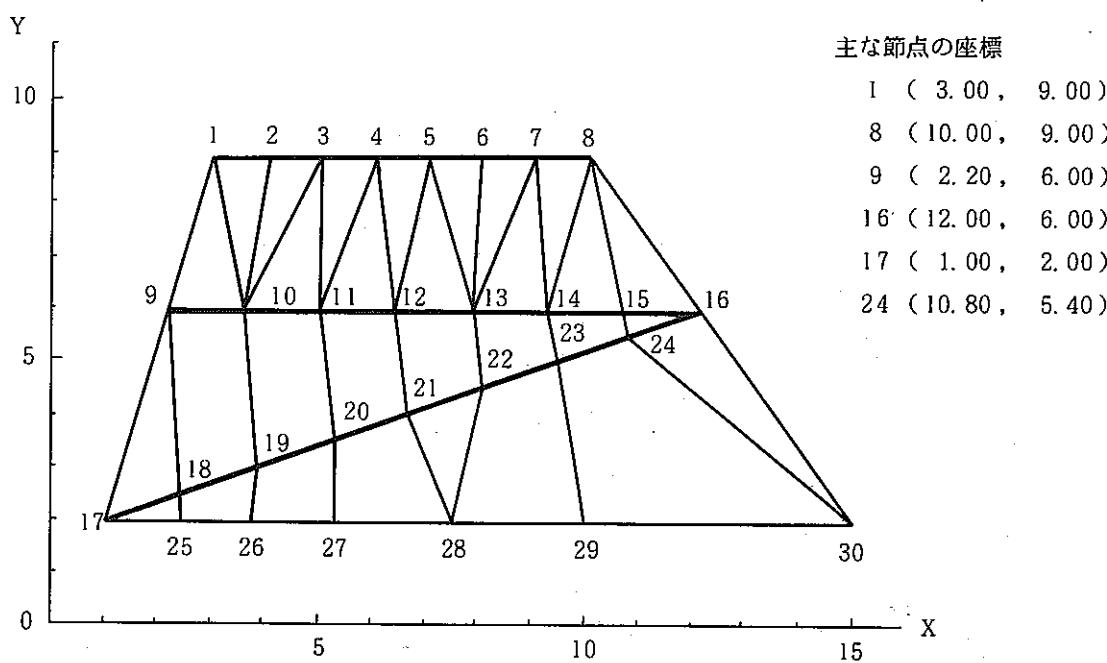


図 8 節点が直線上に等間隔に存在する解析モデル図の例

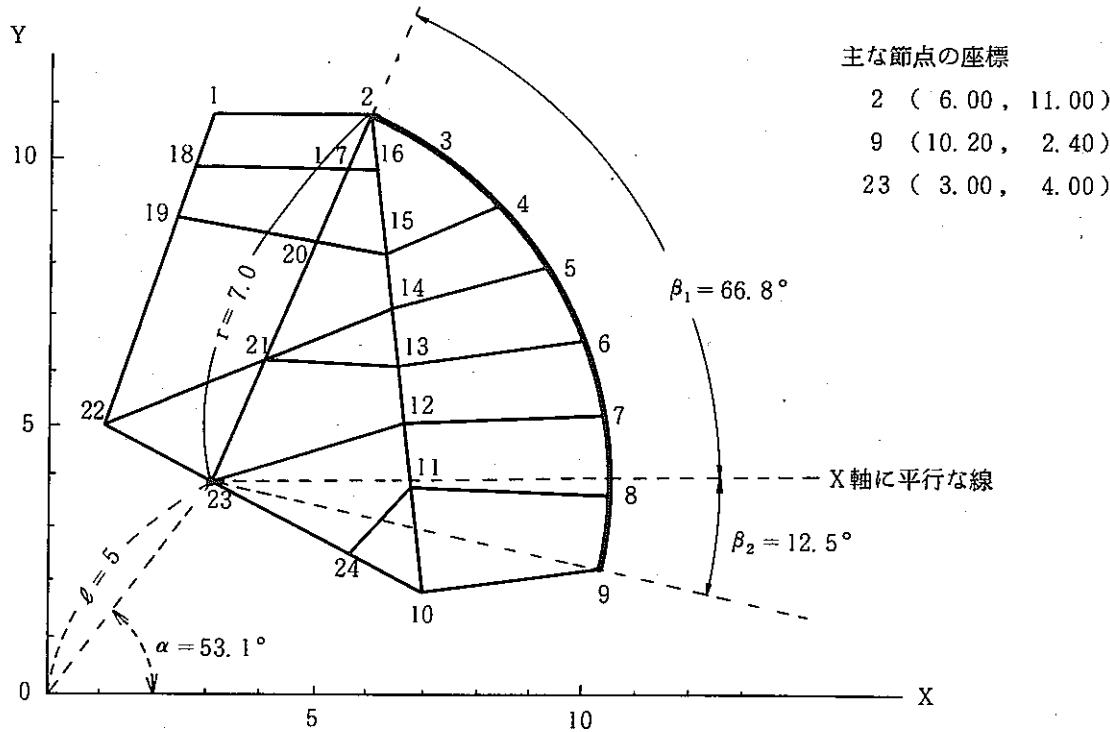


図 9 節点が円弧上に等間隔に存在する解析モデル図の例

PNC - PU

表 2 図 8 の節点の入力データ

## INPUT DATA FORM

JOB NUMBER	MAIN PROGRAM LABEL										KEYPUNCH RECORD DATE	NO. OF CARDS	PAGE	OF						
	PROBLEM					MODIFICATION							KEYPUNCHED BY							
	CODED BY					DATE							VERIFIED BY							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			1	2	3	4	5	6	7	8
01		1	1	3.000		9.000		8	10.000		9.000		6							
02		1	9	2.200		6.000		16	12.000		6.000		6							
03		1	17	1.000		2.000		24	10.800		5.400		6							
04			26	2.400		2.000														
05			26	3.800		2.000														
06			27	5.300		2.000														
07			28	7.500		2.000														
08			29	10.000		2.000														
09			30	15.000		2.000														
10			3																	
11	..... 節点入力データ終了を示す。																			
12																				
13																				
14																				
15.																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

PNC - PU

表 3 図 9 の節点の入力データ

## INPUT DATA FORM

JOB NUMBER		MAIN PROGRAM LABEL										KEYPUNCH RECORD		DATE	PAGE	OF	
PROBLEM		MODIFICATION										KEYPUNCHED BY		NO. OF CARDS			
CODED BY		DATE										VERIFIED BY					
01		1	3.	0	0	0	1	1.	0	0	0						
02	:2:	2	7.	0	0	0	6	6.	8	0	0	9	7.	0	0	0	
03	オ	10	7.	0	0	0	2.	0	0	0							
04	ブ	11	6.	8	0	0	4.	0	0	0							
05	シ	12	6.	6	0	0	5.	2	0	0							
06	ヨ	13	6.	5	0	0	6.	2	0	0							
07	ン	14	6.	4	0	0	7.	2	0	0							
08	番	15	6.	2	0	0	8.	3	0	0							
09	号	16	6.	1	0	0	9.	9	0	0							
10		17	5.	5	0	0	9.	9	0	0							
11		18	2.	5	0	0	1	0.	0	0							
12		19	2.	3	0	0	9.	0	0	0							
13		20	5.	0	0	0	8.	5	0	0							
14		21	4.	0	0	0	6.	3	0	0							
15		22	1.	0	0	0	5.	0	0	0							
16		23	3.	0	0	0	4.	0	0	0							
17		24	5.	6	0	0	2.	7	0	0							
18	:3:																
19	..... 節点データ終了の意味																
20																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0						

## (b) 節点が円弧上に等間隔にある場合(オプション2)

図9の節点2～9が同一円弧上に等間隔に並んでいる場合も節点2と9を与える事により節点3～8は自動的に読み込まれる。この場合、入力データとして必要なのは、円弧の半径と円の中の座標原点( $x = 0, y = 0$ )からの距離およびx軸からの角度と、節点2と9のx軸からのそれぞれの角度である。角度は常に座標x軸からの反時計回りであり(度)で示す。

図9の節点2～9に関し、節点の自動入力データとして必要な値を示すと、

節点2と9の半径 = 7.0

節点2の円弧の中心を原点とする反時計回り角度  $\beta_1 = 66.8^\circ$

節点9の円弧の中心を原点とする反時計回り角度  $\beta_2 = -12.5^\circ$

円弧の中心の座標原点からの距離  $\ell = 5.0$

円弧の中心の座標原点からの反時計回り角度  $\alpha = 53.1^\circ$

および節点2と9の円弧を等間隔に内分している節点の数6である。

入力データシートへの記入する順序としては、次の様になる。

(節点)	( $r$ )	( $\beta$ )	(節点)	( $r$ )	( $\beta_2$ )	(内分点数)	( $\ell$ )	( $\alpha$ )
2	7.0	66.8	9	7.0	-12.5	6	5.0	53.1

図9の節点データの入力を一部自動入力方式を使い、入力データシートに記入すると、表3となる。

なお、要素番号および節点番号の付けかたは、任意でも可能であるが、本コードは計算機の容量に対して比較的要素数、節点数が大きい場合も処理できるようにマトリックス分割法が採用されているため、要素および節点の番号付けは、なるべく連続する方が望ましい。(番号はモデル図で上から下とか、左から右とか、なるべく統一して付けた方が分割マトリックスの大きさを節約できる)

## 4.3 要素および節点の入力データ例

要素データおよび節点データのデータシートへの記入例を表4～表6にモデル図と共に示す。

## 4.4 物性値の入力

物性データとしては3章3.2で示した通り、ヤング率、ポアソン比、降伏強さ、接線係数、摩擦係数がある。一つの解析モデルに対して摩擦係数値は一種類しか使えないが、それ以外の物性値は一つの解析モデル内で変化しても良い。

たとえば図13に示す様に、物性値の違いが三種類あるとする。要素①②③⑥⑦⑧のグループと要素④⑤⑨⑩のグループおよび要素⑪～⑯の三グループがあるとする。各々グループ内では、どの

表 4 図 10 の要素自動入力データ例

## INPUT DATA FORM

PAGE OF

JOB NUMBER PROBLEM CODED BY	MAIN PROGRAM LABEL								KEYPUNCH RECORD								NO. OF CARDS							
					MODIFICATION				DATE				KEYPUNCHED BY											
	1		2		3		4		5		6		7		8									
	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890						
01																								
02																								
03																								
04																								
05	1	2	1	9	10	1																		
06	2	3	2	10	11	1																		
07	1	2	3	6	12																			
08	7	8	7	15	16	1																		
09	8	10	9	17	18	1																		
10	9	11	10	18	19																			
11	8	9	10	13	12																			
12	14	16	15	23	24	1																		
13	15	18	17	25	26	1																		
14	16	19	18	26	27	1																		
15	15	16	17	20	12																			
16	21	24	23	31	32	1																		
17	22	26	25	33	34	1																		
18	23	27	26	34	35	1																		
19	22	23	24	27	12																			
20	28	32	31	39	40	1																		
	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					

要素 1 マニュアルインプット

要素 2 "

要素①②のように要素③～⑥を節点番号は2づつ加えて構成する。  
但し③～⑥の材質番号=物性値種類番号は①②と同じとして  
処理されるので注意

(0, 3) 1 2 3 4 5 6 7 8 (5, 3)  
(0, 2, 250) ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑨ 10 11 12 13 14 15 16 (5, 2, 250)  
(0, 1, 500) ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ 17 18 19 20 21 22 23 24 (5, 1, 500)  
(0, 0, 750) ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ⑳ 25 26 27 28 29 30 31 32 (5, 0, 750)  
(0, 0) 33 34 35 36 37 38 39 40 (5, 0)

X

図 10 要素分割図

表 5 図 11 の節点座標の自動入力データ例

## INPUT DATA FORM

JOB NUMBER										MAIN PROGRAM LABEL										KEYPUNCH RECORD										PAGE	OF										
PROBLEM										MODIFICATION										DATE										KEYPUNCHED BY		VERIFIED BY									
CODED BY										DATE																															
01	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0											
02	1	9	-1.	0	0	0	-1.	0	0	0	13	7.	0	0	-1.	0	0	3																							
03	3										0																														
04																																									
05																																									
06																																									
07																																									
08																																									
09																																									
10																																									
11																																									
12																																									
13																																									
14																																									
15																																									
16																																									
17																																									
18																																									
19																																									
20																																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	8

8

節点座標はたとえば次のとおりとする。

1 ( 7.000, 0.000 )  
8 ( 0.000, 0.000 )  
9 ( -1.000, -1.000 )  
13 ( 7.000, -1.000 )

節点1～8の間隔は7等分され節点2～7があり、  
節点9～13の間隔は4等分され節点10～12がある  
とする。

図11 節点の自動読み取り例

PNC - PU

表 6 節点座標自動読み取りの2例

## INPUT DATA FORM

PAGE OF

JOB NUMBER	MAIN PROGRAM LABEL	KEYPUNCH RECORD DATE	NO. OF CARDS
PROBLEM	MODIFICATION		
CODED BY	DATE	KEYPUNCHED BY	
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
01 2 1 12.000	20.000	6 12.000	40.000
02 2 1 14.000	120.000	5 14.000	60.000
03 オプション2を入れる		3 11.000	45.000
04	Y	番 号	X
05	6	節点	2 3 4
06	5	1	5
07	4		
08	3		
09	2		
10	1		
11	12.0	40°	120°
12	10.0	20°	60°
13	14.0	45°	
14	11.0		
15			
16			
17	図12-1 節点の自動読み取り例		
18	( 節点 1,6 だけ示しこの間は自動読み取り )		
19	とする場合の例		
20			
12:	5 6 7 8 9 0 8		

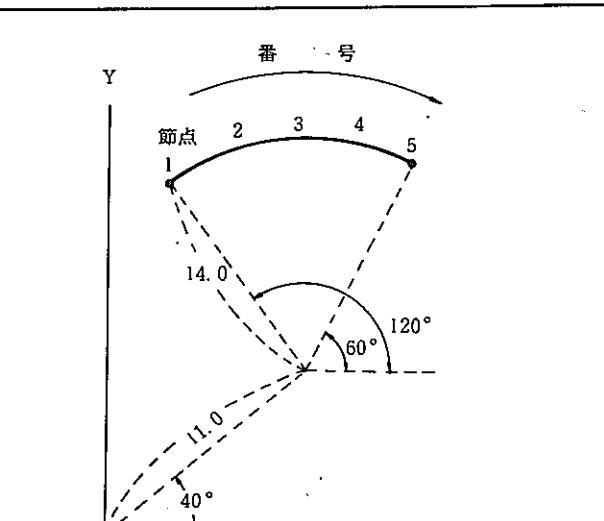


図12-2 節点の自動読み取り例

( 節点 1,5 だけ示し、この間は自動読み取り )  
とする場合の例

要素も同じ物性値であるが、他のグループとは異なる物性値を持つ場合、要素入力データに物性番号を入れて区別する。（図13の場合1, 2, 3の三種類である。）

摩擦係数値以外の物性値は、ヤング率、ボアソン比、降伏強さ、接線係数をひと組として節点入力データ終了を示す番号3の次に一行づつ物性値の組数だけ入れる。この一行づつ入れる順番と要素入力データの物性番号とは互に一致させねばならない。ここで注意すべきことは図13において、仮に要素①～⑤まで要素の自動入力できるとしても、要素一つずつ入力するマニュアル入力方式を使わねばならない。なぜなら要素①～③と要素④～⑤とでは物性値が異なるからである。但し、要素⑪～⑯は物性値上同一グループであるから、要素の自動入力方式が使える。

なお、摩擦係数値の入力はギャップ要素指定の次の行に行う。（要素入力の前の行に入れる）

摩擦現象を考慮しない問題を取り扱うときは、ギャップ要素組数、ギャップ要素番号、摩擦係数値は不要であり、その代り要素入力データの前3行をブランクにする。

#### 4.5 拘束すべき節点の入力

節点の拘束条件を有効に使用することにより、解析対照とする物体の要素数を減らすことができる。

##### 1) X-Y座標系の場合

説明を単純にするため図14に示す直方体（長さ $2\ell$ 、巾 $2W$ 、厚み $h$ ）の単純引張の場合について、その拘束条件を以下に示す。

この場合、X方向に引張力が働いているものとし、対称性を考えると、部分⑥だけ解析すれば良いことになる。このためには拘束条件が必要となる。図14の(1), (2)において $\bar{d}\bar{c}$ はx方向には変位してはならないし、 $\bar{b}\bar{c}$ はy方向に変位してはならない事になる。これを図14の(3)の節点番号で示すと、

x方向に拘束されるべき節点番号は12, 13, 14, 15, 16であり、

y方向に拘束されるべき節点番号は5, 10, 11, 16となる。

拘束条件の入力方法としては、X, Y方向拘束されるべき節点の数と、その節点番号を入力する。データシートへの記入方法としては、拘束節点数（X, Y二種類）は最初の行に、拘束節点番号は物性データの次の行にX方向拘束節点番号、Y方向拘束節点番号の順で一行づつ入れる。X, Y方向のうち、一方向（x方向かy方向かの一方）しか拘束されるべき節点がないときは、一行ブランクとなる。

本コードではX方向拘束、Y方向拘束節点数は最大各50節点まで可能である。入力方式としてX, Y方向いずれも一行にI5タイプで15節点まで入力することができるが、15節点以上ある場合は、次の行にまたがっても良い。

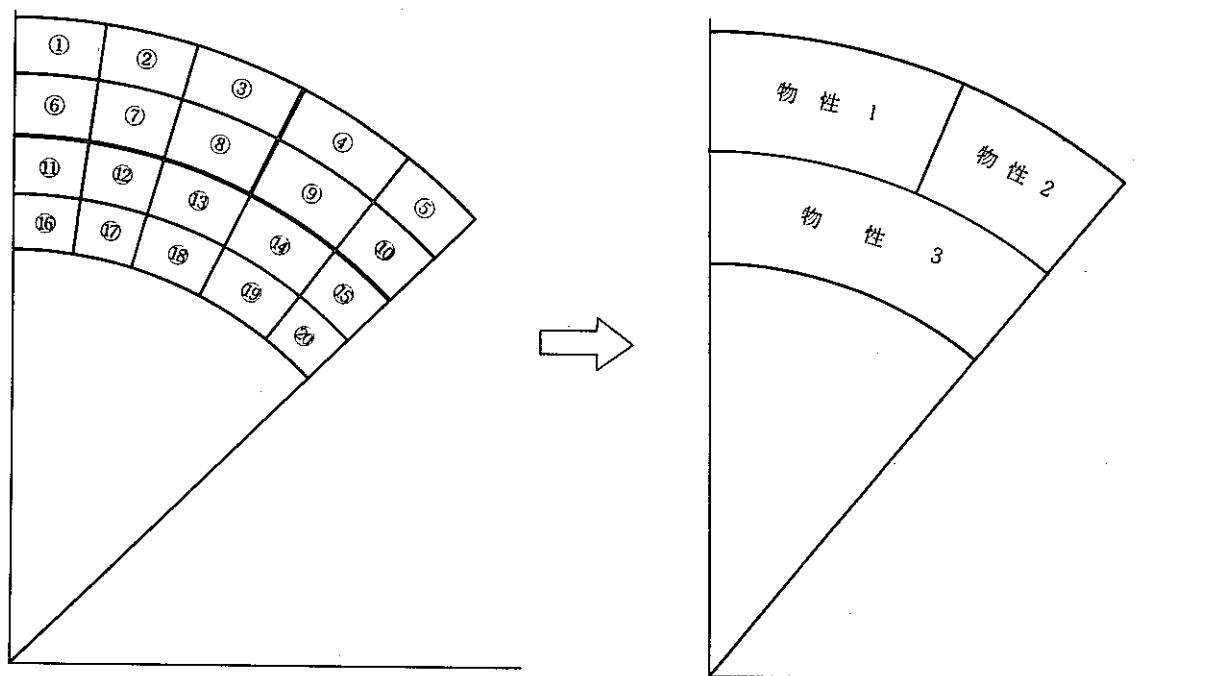


図 13 物性値データと要素との関係例

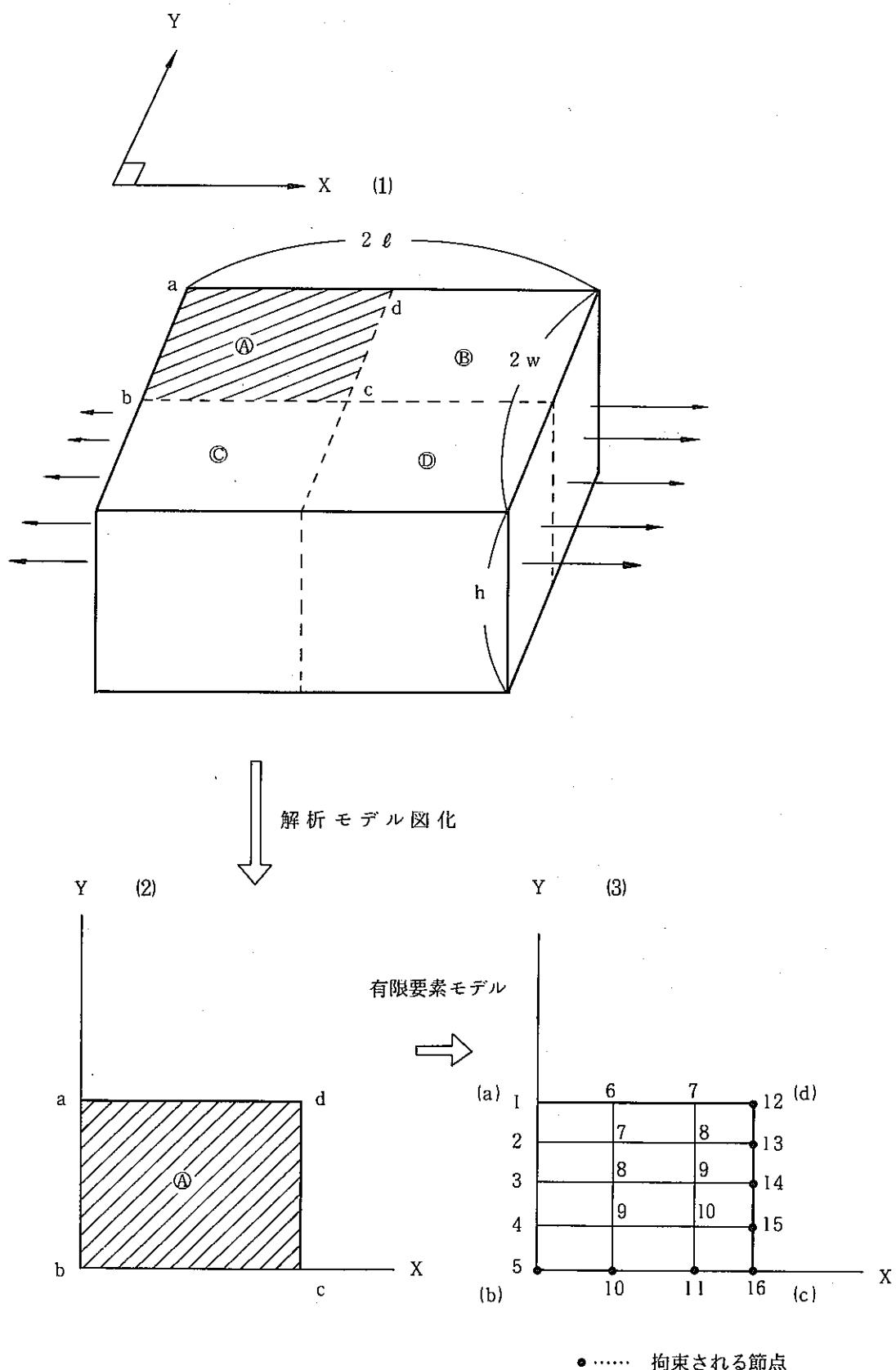
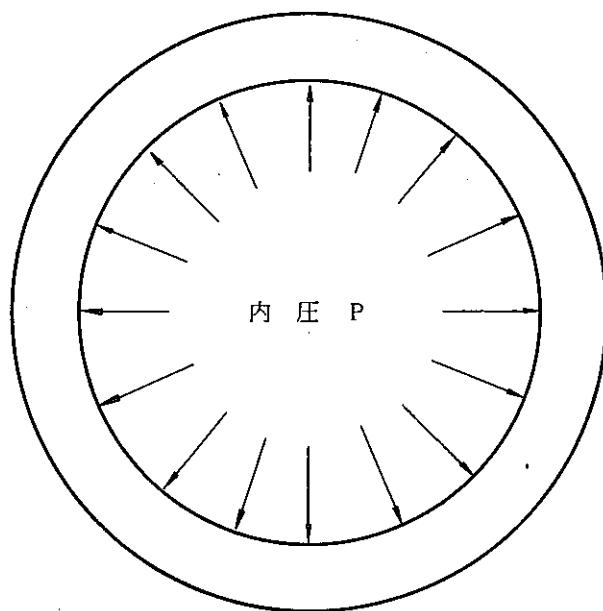
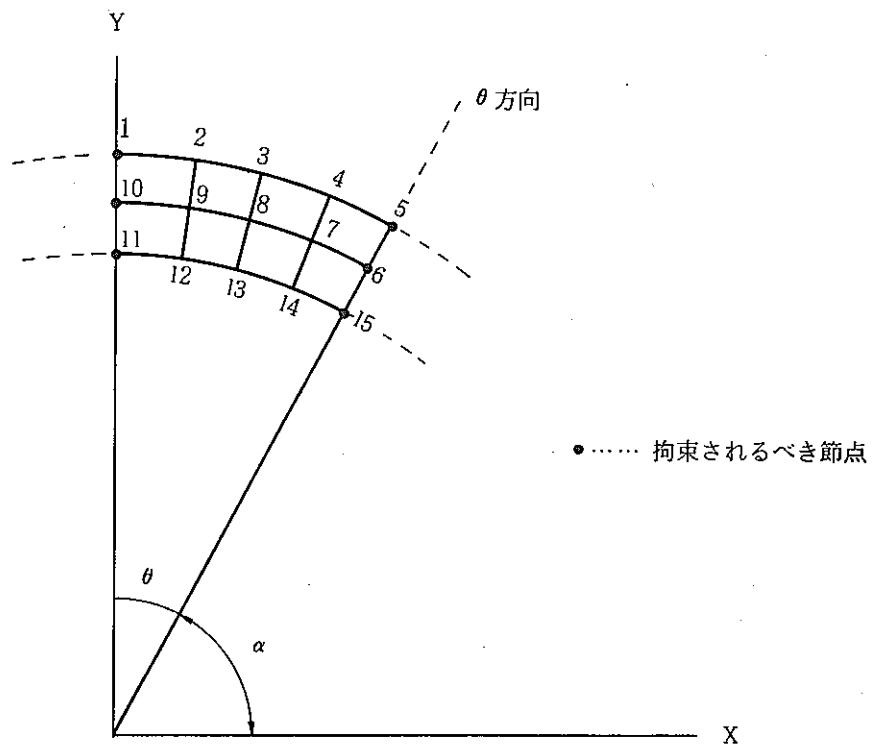


図 14 解析モデル図化および節点拘束



(a) 内圧をうける円管



(b) 有限要素モデル例

図 15 解析モデル図および拘束節点

2)  $r - \theta$  座標系の場合

この場合は、X-Y座標と違って拘束条件が異なる。図15の場合を例に示す。この図は均一な内圧  $p$  により円管が拡がろうとする場合である。この場合、円周方向どの場所でも均一であるから図15の(b)に示すモデルが使える。(a)の円管が均一に拡がるるには(b)のモデル解析に使用する場合、節点1, 10, 11はX方向に変位しないようにせねばならない。また、節点5, 6, 15は $\theta$ 方向しか変位できないようにせねばならない。Y方向の拘束は不要である。データシートへの記入方法としては、X方向拘束節点番号の記入はX-Y座標の場合と同じくする。但しY方向拘束はないのであるからブランクとする。 $\theta$ 方向のみ変位を許される節点番号は、その数と角度 $\alpha$ と共に外荷重入力(4章4.6で詳細説明)の次の行に入力する。ここで注意すべきことは角度 $\alpha$ は常にX軸からの反時計回りの開き角度で示すことである。

## 4.6 外荷重の入力

本コードでは、ある物体に任意の外荷重を作用させると、どの様に変形するか、どの様な応力状態になるかを解析するものであるため、外荷重の入力が必要である。外荷重の作用させ方として外荷重を節点への分布荷重として与える。

X-Y座標系と $r - \theta$ 座標系とでは外荷重の入力方法が異なるので注意が必要である。

## 1) 単純分布荷重の場合

図16(a)に示す様に、境界上で一様な分布荷重  $p$  が作用している場合には(b)図のように、境界上有る節点間の長さ  $l$  に板厚  $h$  と分布荷重  $p$  とを乗じたものを、半分ずつ両側の節点に振りわけて、端部以外の節点ではこれらの値を加え合わせる。そして、これらの節点が集中荷重を受ける問題に置きかえて計算すればよい。

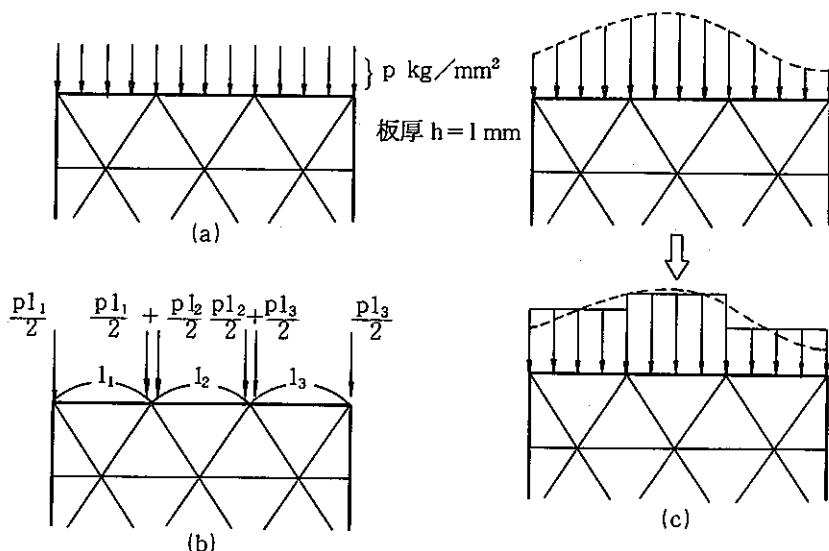


図16 分布荷重

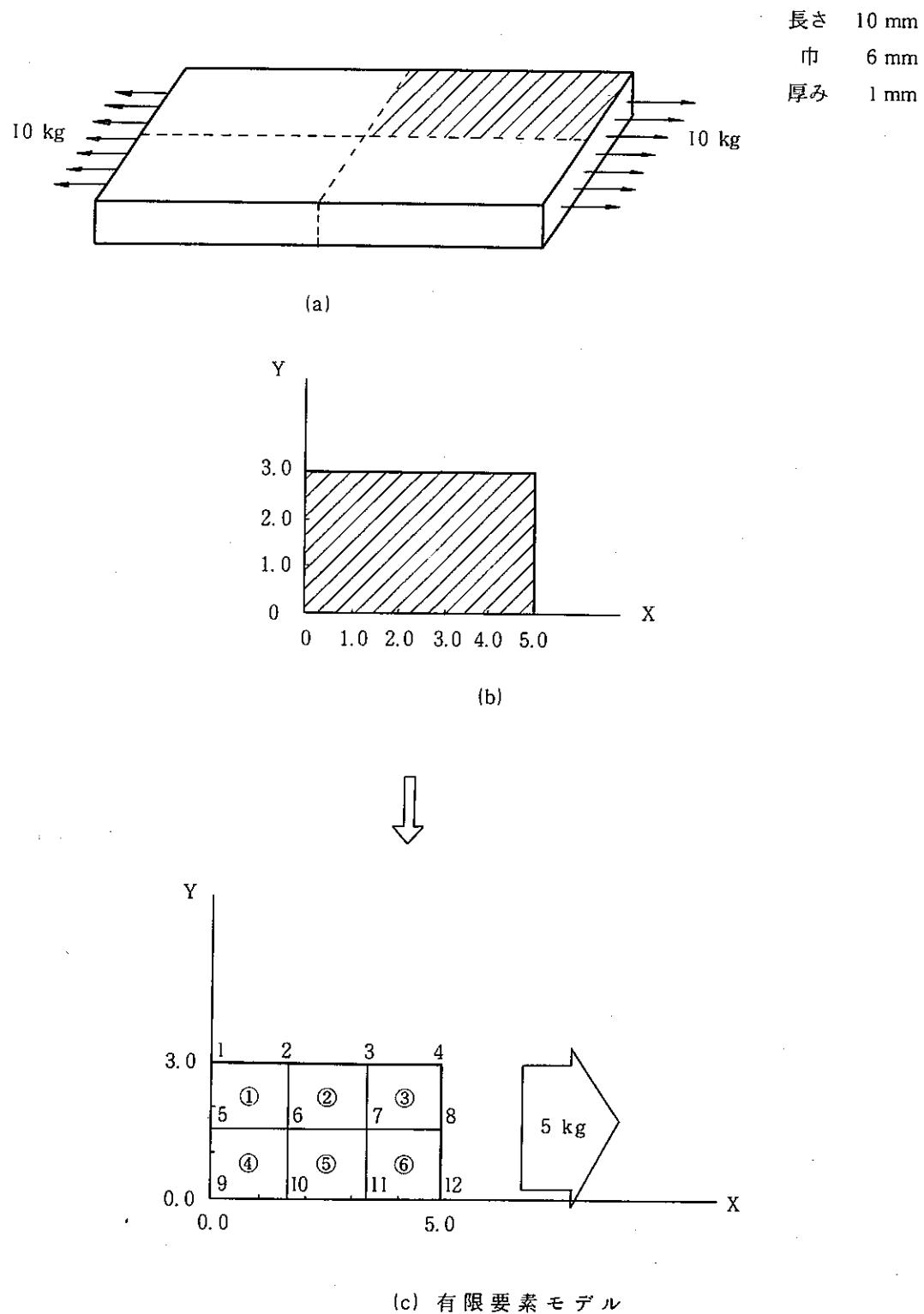


図 17 外荷重入力例図

しかしながら、(c)図のように、分布荷重が等分布でない場合には、この分布荷重を細線で示すように合力が等しい階段状の分布荷重に置きかえてから、上に述べた計算を行なって等価な集中荷重を求める。これは、要素の剛性マトリックスを求めるときになされた仮定、すなわち、要素内で応力が一定であるという条件と一致させるためである。

したがって、このような問題で境界付近の応力値を正確に再現したい場合には、この付近の分割をこまかくして分布荷重の曲線をこまかい階段で近似することが必要である。

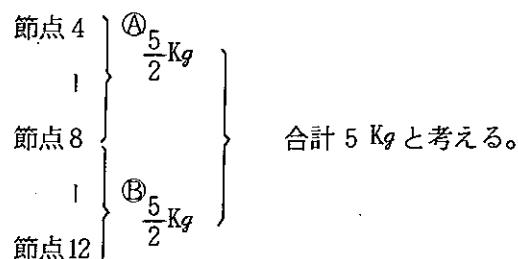
図17に示す板材の単純引張を例として外荷重入力値の決め方を具体的に説明する。

図17(a)で考えるとX方向に10Kgの2分の1コが働くようにする。(X軸を軸として2分の1対象であるから)

従って図17(b)(c)で見ると、節点4, 8, 12に5Kg作用するように決める。

この決め方は、節点4-節点8に $\frac{5}{2}$ Kg, 節点8-節点12に $\frac{5}{2}$ Kg作用させると考える。

つまり、



Ⓐの $\frac{5}{2}$ Kg, Ⓑの $\frac{5}{2}$ Kgを節点に作用する力として振り分けると、

$$\text{Ⓐの } \frac{5}{2} \text{ Kg } \text{は節点 } 4 \text{ に } \frac{5}{2} \div 2 = \frac{5}{4} \text{ Kg}$$

と節点8に $\frac{5}{2} \div 2 = \frac{5}{4}$ Kgに振り分けられる。

$$\text{Ⓑの } \frac{5}{2} \text{ Kg } \text{は節点 } 8 \text{ に } \frac{5}{2} \div 2 = \frac{5}{4} \text{ Kg}$$

と節点12に $\frac{5}{2} \div 2 = \frac{5}{4}$ Kgに振り分けられる。

まとめると、外力のセット値は、

節点4は、 $\frac{5}{4}$ Kg X方向へ作用 と

8は、 $(\frac{5}{4} + \frac{5}{4})$ Kg X方向へ作用 と

12は、 $\frac{5}{4}$ Kg X方向へ作用 となる。

(4, 8, 12に作用する力の合計値は5Kgとなる。)

つまり、

節点	X 方向外力 (Kg)	Y 方向外力 (Kg)
4	( 1. 250 ,	0. 000 )
8	( 2. 500 ,	0. 000 )
12	( 1. 250 ,	0. 000 )

となる。

## 2) 対称軸をもつ分布荷重の場合

図18に示すように円筒管に内圧(外圧) $p$ が作用していると仮定した場合、図18(a)に示す角度 $\alpha$ (任意)で表わされる部分だけ解析対象にすればよい。このときの圧力 $p$ に対する荷重を計算してみる。

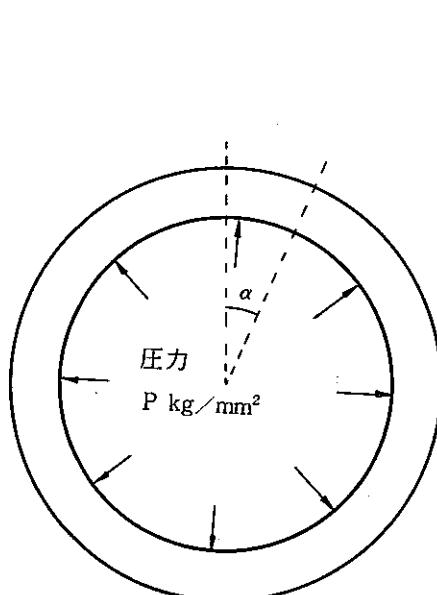
内圧 $p$ であるから、これを内荷重 $L$ (方向は半径方向)に換算すると、

$$L = p \times 2 \pi r T \quad \text{となる。}$$

角度 $\alpha$ の部分での内荷重 $L'$ は

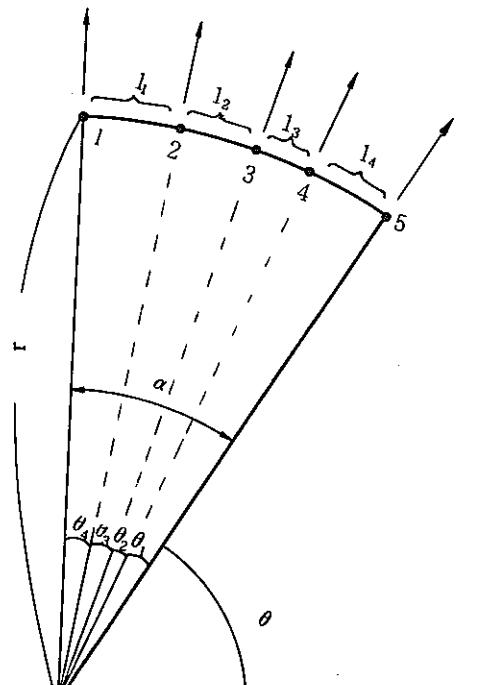
$$L' = L \times \frac{\alpha}{360} = \frac{p r \pi T}{180} \quad \text{となる。}$$

すなわち、節点1-2-3-4-5に $L'$  Kgだけ半径方向に作用すると考える。



内半径 $r$ 、厚み $T$ とする。

(a)



(b)

図18 円筒に内圧(外圧)が作用する場合の分布荷重

さらに  $L'$  Kg を細く分けると、

$\ell_1$  ( 節点 1 - 2 ) には  $L' \times \frac{\ell_1}{\ell_0}$  Kg 作用していると考える。

$\ell_2$  ( " 2 - 3 ) には  $L' \times \frac{\ell_2}{\ell_0}$  " "

$\ell_3$  ( " 3 - 4 ) には  $L' \times \frac{\ell_3}{\ell_0}$  " "

$\ell_4$  ( " 4 - 5 ) には  $L' \times \frac{\ell_4}{\ell_0}$  " "

( 但し,  $\ell_0 = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_4$  )

次に  $\ell_1$  に作用している半径方向荷重  $L' \times \frac{\ell_1}{\ell_0}$

節点 1 と 2 とに振り分けると 節点 1 に  $L' \times \frac{\ell_1}{\ell_0} / 2$  (Kg)

節点 2 に  $L' \times \frac{\ell_1}{\ell_0} / 2$  (Kg)

同様に  $\ell_2, \ell_3, \ell_4$  について行うと 節点 2 に  $L' \times \frac{\ell_2}{\ell_0} / 2$  (Kg)

節点 3 に  $L' \times \frac{\ell_2}{\ell_0} / 2$  (Kg)

節点 3 に  $L' \times \frac{\ell_3}{\ell_0} / 2$  (Kg)

節点 4 に  $L' \times \frac{\ell_3}{\ell_0} / 2$  (Kg)

節点 4 に  $L' \times \frac{\ell_4}{\ell_0} / 2$  (Kg)

節点 5 に  $L' \times \frac{\ell_4}{\ell_0} / 2$  (Kg)

作用していると考えることができる。

それぞれの荷重を節点 1, 2, 3, 4, 5 それぞれについてまとめると、半径方向に作用する荷重は次の様になる。

節点 1 .....  $L' \times \frac{\ell_1}{2\ell_0}$

節点 2 .....  $L' \times \frac{\ell_1 + \ell_2}{2\ell_0}$

節点 3 .....  $L' \times \frac{\ell_2 + \ell_3}{2\ell_0}$

節点 4 .....  $L' \times \frac{\ell_3 + \ell_4}{2\ell_0}$

節点 5 .....  $L' \times \frac{\ell_4}{2\ell_0}$

さて、次にこれらは半径方向荷重であり、これを X-Y 直角座標で入力データするために半径方向荷重を X-Y 直角座標で考えると、

節点 1 に作用する X 方向荷重 ( $^1F_x$ ), Y 方向荷重 ( $^1F_y$ ) はそれぞれ

$$^1F_x = L' \times \frac{\ell_1}{2\ell_0} \times \cos (\theta + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

$$^1F_y = L' \times \frac{\ell_1}{2\ell_0} \times \sin (\theta + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \text{ となる。}$$

同様に節点 2, 3, 4, 5 に関して、それぞれ

$$\begin{cases} ^2F_x = L' \times \frac{\ell_1 + \ell_2}{2\ell_0} \cos (\theta + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ ^2F_y = L' \times \frac{\ell_1 + \ell_2}{2\ell_0} \sin (\theta + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} ^3F_x = L' \times \frac{\ell_2 + \ell_3}{2\ell_0} \cos (\theta + \theta_1 + \theta_2) \\ ^3F_y = L' \times \frac{\ell_2 + \ell_3}{2\ell_0} \sin (\theta + \theta_1 + \theta_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} ^4F_x = L' \times \frac{\ell_3 + \ell_4}{2\ell_0} \cos (\theta + \theta_1) \\ ^4F_y = L' \times \frac{\ell_3 + \ell_4}{2\ell_0} \sin (\theta + \theta_1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} ^5F_x = L' \times \frac{\ell_4}{2\ell_0} \cos \theta \\ ^5F_y = L' \times \frac{\ell_4}{2\ell_0} \sin \theta \end{cases}$$

となる。これを荷重入力データとすればよい。

次に図 19 を使って外荷重入力値の求め方の具体例を示す。図 19 は円管が内側から合計 120 Kg の力を受けているものとする。今、 $r - \theta$  座標を使い 30° 分だけを解析する。

AB には、 $240 \times 30/360 = 20$  Kg の荷重が半径方向に作用していることになる(図(b))。

図(c)に示す有限要素モデルで解析する場合、弧  $\widehat{10 \ 11 \ 12}$  には  $20$  Kg 半径方向に作用しているから、弧  $\widehat{10 \ 11}$ , 弧  $\widehat{11 \ 12}$  には、それぞれ  $10$  Kg づつ作用していると考えられる。この荷重を節点に働く力として振りわけると 4.6 節 2) で示した様に、

節点 10 に ..... 5 Kg

節点 11 に ..... 10 Kg

節点 12 に ..... 5 Kg となる。

この力の方向は、いずれも半径方向である。

本コードでの荷重入力方式は常に X-Y 直角座標で考えるものとしているから、

節点 10 には x, y 方向荷重として、  
それぞれ  $0.5 \text{ Kg}$  となる。

節点 11 の場合は、

$$^{11}F_x = 10 \times \cos 75^\circ = 2.59 (\text{Kg})$$

$$^{11}F_y = 10 \times \sin 75^\circ = 9.66 (\text{Kg})$$

同様に節点 12 に対しては

$$^{12}F_x = 5 \times \cos 60^\circ = 2.50 (\text{Kg})$$

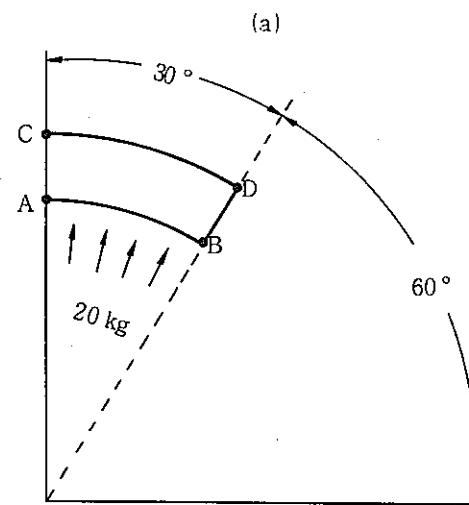
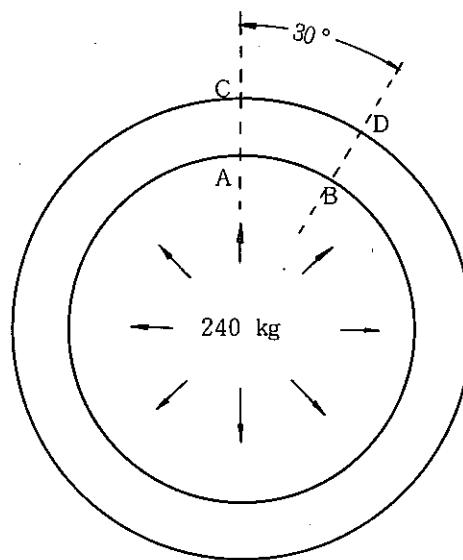
$$^{12}F_y = 5 \times \sin 60^\circ = 4.33 (\text{Kg})$$

となる。(図(d)参照)

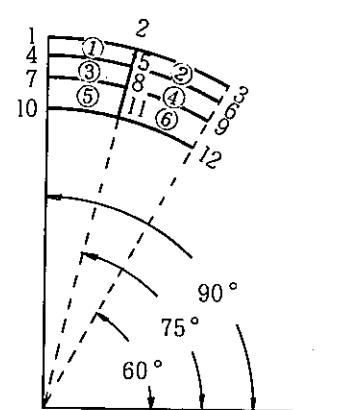
まとめると、荷重入力値として

節点番号	x 方向荷重	y 方向荷重
10	0.00	5.00
11	2.59	9.66
12	2.50	4.33

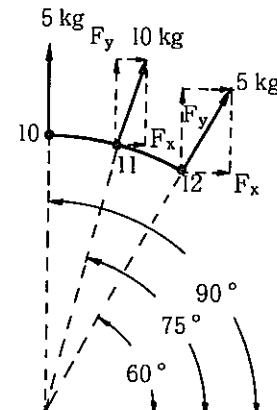
となる。



(b)



(c)



(d)

図19  $r - \theta$  座標モデルでの  
荷重入力例

## 4.7 線ひずみ出力の指示入力

ここで述べる線ひずみとは、節点間距離の変化率を示すもので、下記の様にして決定されるものである。

$$\epsilon_l = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 \quad (\%)$$

ここで

$\epsilon_l$  : 線ひずみ (%)

$l$  : 変形後の節点間の長さ (mm)

$l_0$  : 変形前の節点間の長さ (mm)

また  $l$ ,  $l_0$  は節点 A, B の変形前後の座標 (X-Y) をそれぞれ

A ( $x_A$   $y_A$ )

A ( $x_A'$   $y_A'$ )

B ( $x_B$   $y_B$ )

B ( $x_B'$   $y_B'$ ) とすると、

$$l_0 = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$$

$$l = \sqrt{(x_A' - x_B')^2 + (y_A' - y_B')^2} \quad \text{である。}$$

但し、 $x_A' = x_A + u$  (x 方向変位)

$y_A' = y_A + v$  (y 方向変位) の関係がある。

線ひずみ出力の指示方法としては、二節点の番号を一組と数えて、線ひずみを出力させようとする組数と対となる節点番号を示す。

## 4.8 入力データの総合説明

3章 3.2 で本コードの入力データ全体について既略説明を示したが、ここで入力データシートへの具体的記入方法を示す。

入力データは下記に示す順序で作成する。

ここで注意することは不必要的ブランクカード(ブランク行)を挿入しないことである。

Card 1 (1515)

1 NSTRES 0/1=平面ひずみ/平面応力

2 IWH 0/1=角度固定境界条件なし/あり

3 IRINT 0/1/2=最終結果のみプリント/毎回プリント/最初と最後を

プリント

4 ILENG      } 後に ILENG から NIT までのひずみの平均を求めるための  
 5 NIT      } エレメント番号 ( ILENG=0 のときは平均値を計算しない )  
 6 JSWTCH    0 / 1 = DELTA4 / DELTA3 \*  
               \* DELTA4 … 3.4 角形混合要素使うとき。  
               "     3   … 3 角形のみ要素を使うとき。

## Card 2 (15I5)

1	NODT	総節点数	
2	NELT	総要素数	
3	KOX	x 方向 fix の境界条件を与える節点の総数	
4	KOY	y       "	
5	NF	荷重を与える節点総数	
6	NMAT	マテリアルの種類の数	
7	NUT	ブランク	
8	MAXM		
9	MAXN		

## Card 3 (I5)

1 NCKC      gap 要素の数

## Card 4 (15I5)

1		摩擦を考慮しない ときは、代りにブ ランクカード (ブ ランク行) を 3 枚 (3 行) 入れる。	
2	((Nop(I, J), I=1, 4), J=1, NCKC)		
15	ギャップ要素番号 (4つ一組で入れる)		

## Card 5 (3F10.3)

1 EMU      ギャップ要素中の摩擦係数値

## Card 6 要素結合用データ

## Card 7 節点座標用データ

## Card 8 (6E10.3) …… NMAT 枚

1. E      ヤング率
2. PO      ポアソン比
3. T      厚さ
4. SO      ブランク

5. SY 降伏強さ  
6. AAA 接線係数

## Card 9 (15 I 5)

1  
( KOKX(I), I=1, KOX ) x 方向固定境界節点番号  
15

## Card 10 (15 I 5)

1  
( KOKY(I), I=1, KOX ) y 方向固定境界節点番号  
15

## Card 11 (I 5, 5 X, 2 F 10. 3) ..... NF 枚

1 NO 荷重の与えられる節点番号  
2 FX X 方向荷重  
3 FY Y 方向荷重

## Card 12 (F 10. 1, I 5) IWH=0 のとき, 不必要

1 ANGL 固定する角度  
2 NANGL 固定する節点の総数

## Card 13 (15 I 5)

1  
( NOANGL(I), I=1, NANGL ) 角度固定節点番号  
15

## Card 14 (15 I 5)

1 LMAX 長さを求める節点の組の総数

Card 15 (14 I 5)

1

{ I M A T

LMAX組の節点番号

14

次に上記の入力データにある要素結合用データ（4.1節での説明参照）と節点座標データ（4.2節での説明参照）について、それぞれ表7.8に示す。

表 7 要素入力説明表

JOB NUMBER		MAIN PROGRAM LABEL						KEYPUNCH RECORD		DATE		NO. OF CARDS	
PROBLEM		MODIFICATION						KEYPUNCHED BY					
CODED BY		DATE						VERIFIED BY					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2
01													
02	K N K(1)	K N K(2)	K N K(3)	K N K(4)	K N K(5)	K N K(6)							
03	(I 7)	(I 5)	(I 5)	(I 5)	(I 5)	(I 5)							
04	KOP						Subroutine DELTA3 を使用するときは、このカラムに KNK(6) のデータを入力。(JSWTCHE=1のとき) " DELTA4 を使用するときで、三角形要素入力の時はブランクにしておく。(JSWTCHE=0のとき)						
05	(II)												

$K \bar{O} P$ により3種類のオプションがあり、要素dataのおわりとして、最後は必ず  $K \bar{O} P = 3$  のカードが必要である。節点番号は反時計回りに入力。

$K \bar{O} P = 0$  マニュアルインプット (一要素のみ定義)

1 くり返しインプット

3 data おわり

$k \bar{o} p$	KNK(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	備考
0	要素番号	節点番号 i	節点番号 j	節点番号 k	節点番号 l	マテリアル番号	三角形要素のときは KNK(5) はブランクでよい。
1	要素番号 I	要素番号 J	要素番号 K	要素番号 L	節点番号増分	-	I ~ J を K ~ l まで節点番号増分に従って作る。
3	-	-	-	-	-	-	data 終り

表 8 節点入力説明表

JOB NUMBER		MAIN PROGRAM LABEL		KEYPUNCH RECORD		DATE		NO OF CARDS	
PROBLEM		MODIFICATION		KEYPUNCHED BY					
CODED BY		DATE		VERIFIED BY					
		1	2	3	4	5	6	7	8
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
01									
02	NOP	M	XM	YM	N	XN	YN	L	XC
03	(15)	(15)	(F10.0)	(F10.0)	(15)	(F10.0)	(F10.0)	(15)	(F10.0)
04									
05									

NOPにより5種類のオプションがあり、座標データの終わりとして、最後は必ずNOP=3のCardが必要である。番号はバンド幅を最小にするようにつける。

NOP = 0 マニュアル入力(一点のみ与える)

- 1 直線内挿(二点間を等分割する)
- 2 円周内挿( " )
- 3 dataおわり
- 4 平行移動(既に入力してある節点を平行移動)

- 49 -

NOP	M	XM	YM	N	XN	YN	L	XC	YC	備考
0	節点番号	x(or r, θ) 座標	y(or r, θ) 座標	-	-	-	-	-	-	
1	"	"	"	節点番号	x(or r, θ) 座標	y(or r, θ) 座標	内点数	-	-	MとNの間にし点内挿する。
2	"	x(or r) 座標	y(or z) 座標	"	x(or r) 座標	y(or z) 座標	"	中心から の距離	角度	(XC, YC)を中心にして内挿 (L>0 左まわり, L<0 右)
3	-	(999)	-	-	-	-	-	-	-	data終り, (r, θ)入力の時 Col. 8~10に999を入力
4	=1 y軸に平行 =2 x軸に平行	節点番号	節点番号	節点番号増分	M=1のときのみ x(or r)座標	M=2のときのみ y(or z)座標	平行移動の節点数	-	-	節点XMからYMをMに応じて 平行移動する。

## 5 入力データ例集

本コード用入力データを有限要素解析モデル図と共に種々の例を示す。

### 5.1 内圧をうける円筒管(1)

表8に解析モデル図と共に入力データを示す。これは外半径6.0 mm, 内半径2.0 mm の円管が内荷重720 kg を受ける場合である。円管のうち30°分だけを取り出し, 総節点数16個, 総要素数9個で解析する場合である。

### 5.2 内圧をうける円筒管(2)

図20(a)に示す円筒管(外半径3.150 mm, 内半径2.800 mm, 肉厚10.0 mm)が内圧19 Kg/cm<sup>2</sup> の内圧を受ける場合を(b)の有限要素モデルで解析する際の入力データを表9に示す。この場合総節点数は25個で, 総要素数は16個である。

### 5.3 摩擦を考慮する場合の入力データ

物体A, B間が摩擦すべりを生ずるものとして解析する場合, 入力データとして第3行目(総節点数, 総要素数入力の次の行)にギャップ要素の組数(図21参照), 次の行からはギャップ要素番号そしてその後の行にギャップ摩擦係数値を入力する。

(ギャップ摩擦係数値の次の行は要素データとなり) 順次4.8節で説明したデータを入力する。

摩擦を考慮するときの入力データを図21の例をもとに作成すると, 表10になる。(摩擦係数値は1.5と仮定した)

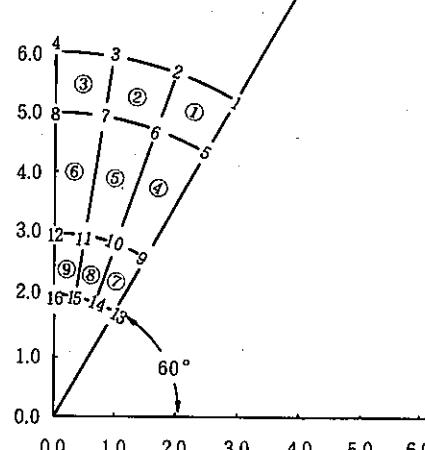
なお, 摩擦ギャップ要素の物性値は, 本コード使用の際, 物体A, B間の平均値を採用した。

PNC - PU

表 8 入力データ例（その 1）

## INPUT DATA FORM

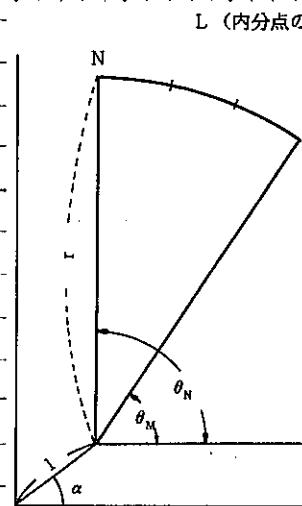
JOB NUMBER		MAIN PROGRAM LABEL										KEYPUNCH RECORD		PAGE	OF
PROBLEM												DATE		NO OF CARDS	
CODED BY		三角形要素のみの 場合は 1 とする										KEYPUNCHED BY			
												VERIFIED BY			
01		1	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
03		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
04		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
05		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
06		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
07		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
08		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
09		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
11	16	9	4	0	4	1	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
13	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
14	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
17	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
18	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
19	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	1	1	2	6	5	1	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	2	2	3	7	6	2	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	3	3	4	8	7	3	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	4	4	5	9	8	4	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	5	5	6	10	9	5	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	6	6	7	11	10	6	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	7	7	8	12	11	7	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	8	8	9	13	12	8	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮



PNC - PU

(その2)

## **INPUT DATA FORM**



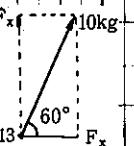
PNC - PU

(その3)

## INPUT DATA FORM

PAGE OF

JOB NUMBER		MAIN PROGRAM LABEL								KEYPUNCH RECORD DATE		NO. OF CARDS								
PROBLEM		MODIFICATION								KEYPUNCHED BY										
CODED BY		DATE								VERIFIED BY										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
01	3																			
02	...節点座標入力データおわり																			
03																				
04	200000.0		0.300		2.000					22.500		220.000		....	....	....	....	....	....	....
05																				
06																				
07																				
08																				
09																				
10																				
11																				
12																				
13	4	8	12	16		X方向拘束 節点No.														
14						Y方向拘束節点No. (ないときはブランク)														
15																				
16	荷重節点番号		X方向荷重		Y方向荷重															
17	13		5.000		8.660															
18	14		6.840		18.800															
19	15		3.480		19.700															
20	16		0.000		10.000															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

(注) X方向固定点  
節点No.13の荷重は

$$F_x = 10 \times \cos 60^\circ = 5.00 \text{ kg}$$

$$F_y = 10 \times \sin 60^\circ = 8.660 \text{ kg}$$

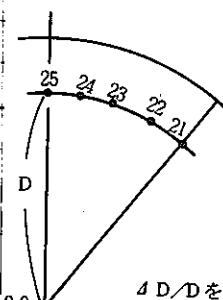
PNC - PU

(その4)

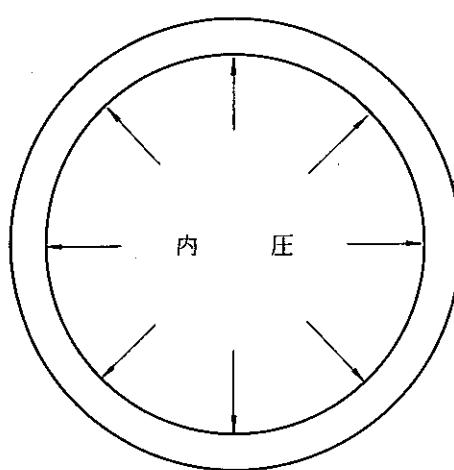
## INPUT DATA FORM

JOB NUMBER		MAIN PROGRAM LABEL										KEYPUNCH RECORD DATE		PAGE OF									
PROBLEM		MODIFICATION					KEYPUNCHED BY					NO. OF CARDS											
CODED BY		DATE					VERIFIED BY																
01		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		
02		6	0.	0	0		4					θ	方向拘束節点 (4ヶ所)										
03		1	5		9		13					θ = 60.0.	θ 方向拘束節点 No										
04			15	15																			
05		節点間長さの変化																					
06		(線ひずみ)																					
07		1	1																				
08		: 1	2		2		3		3		4		5		6		6		7		8		
09		1	0		1	1		1	2		4		1		1	3			7		9		
10			14	15															1	0			
11		4 D/D 計算 (NDESL = 1 のとき)																					
12																							
13		5																					
14		2	1		2	2		2	3		2	4		2	5								
15				入力データ完了																			
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		

データ例



4 D/D を計算



## &lt;入力データ&gt;

外半径	3.150 mm
内半径	2.800 "
肉厚	10.00 "
内圧	19 kg/cm <sup>2</sup> (約18.7気圧)
ヤング率	15931 ~ 15785 kg/mm <sup>2</sup>
ボアソン比	0.310
降伏強さ	13.10 ~ 12.95 kg/mm <sup>2</sup>
接線係数	6330 ~ 6450 kg/mm <sup>2</sup>

図20-(a) 内圧をうける円筒管 (SUS 316 製)

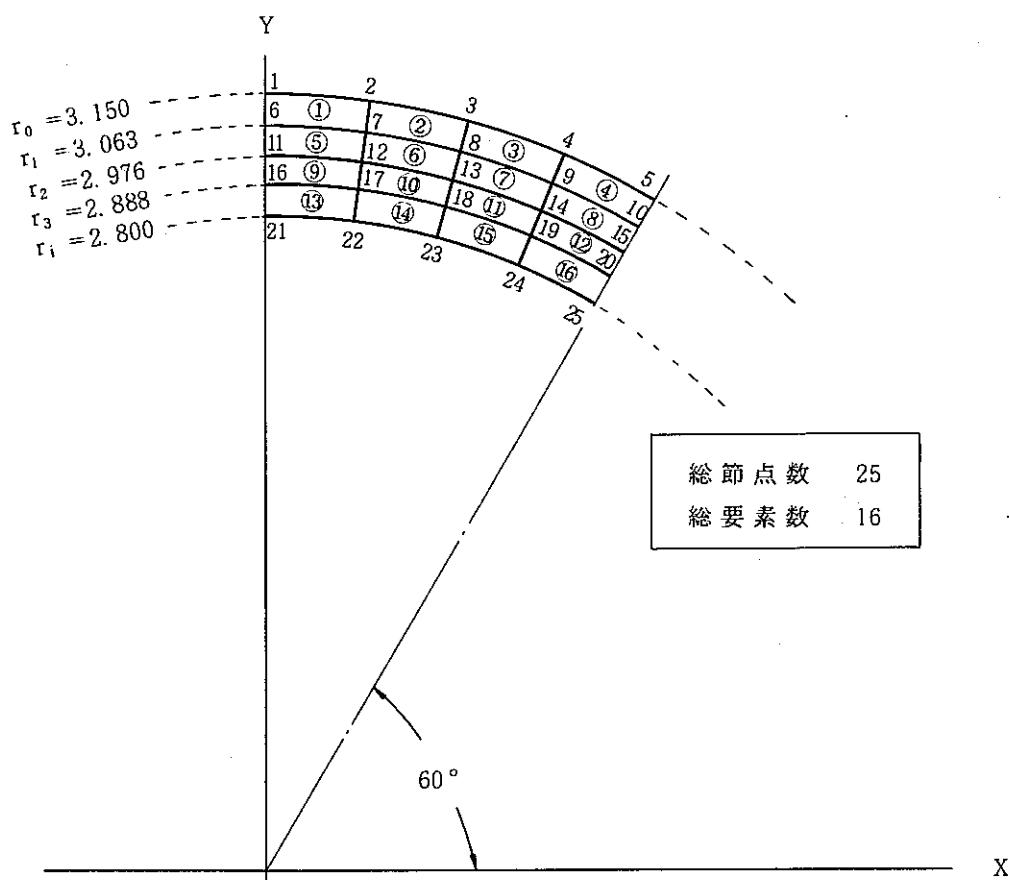


図20-(b) PLASTICコード解析用モデル図

図20 内圧をうける円筒管の解析モデル

表9 図20の入力データ

1	1	1	1	20	5	4	1
25	16	5					
1	1	6	7	2	1		
2	2	7	8	3	1		
1	1	3	4	2			
5	6	11	12	7	2		
6	7	12	13	8	2		
1	5	6	7	8	2		
9	11	16	17	12	3		
10	12	17	18	13	3		
1	9	10	11	12	2		
13	16	21	22	17	4		
14	17	22	23	18	4		
1	13	14	15	16	2		
3							
2	1	3.150	90.00	5	3.150	60.00	3
2	6	3.063	90.00	10	3.063	60.00	3
2	11	2.976	90.00	15	2.976	60.00	3
2	16	2.888	90.00	20	2.888	60.00	3
2	21	2.800	90.00	25	2.800	60.00	3
3							
15931.0		0.310	10.00	7.895	13.100	6330.0	
15883.8		0.310	10.00	7.816	13.050	6370.0	
15832.3		0.310	10.00	7.737	13.000	6410.0	
15785.1		0.310	10.00	7.658	12.950	6450.0	
1	6	11	16	21			
21		0.000	0.353				
22		0.092	0.701				
23		0.183	0.683				
24		0.271	0.653				
25		0.177	0.306				
60.00		5					
5	10	15	20	25			
25							
1	2	2	3	3	4	4	5
9	10	11	12	12	13	13	14
18	19	19	20	21	22	22	23
2	22	3	23	4	24	5	25

\*----.----1----.----2----.----3----.----4----.----5----.----6----.----7--

TOTAL RECORDS 42

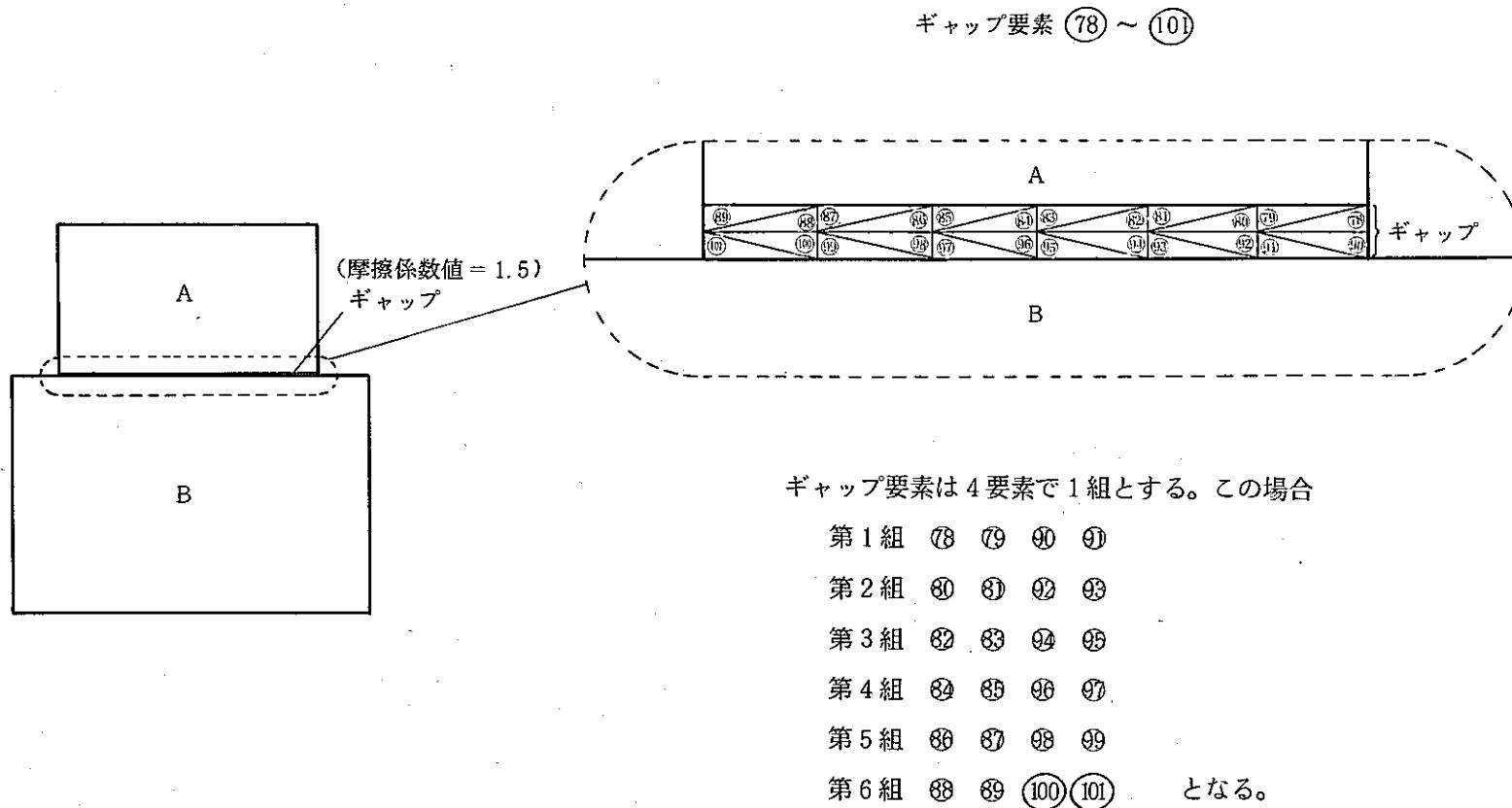


図 21 ギャップ要素の取扱い図

PNC - PU

表 10 ギャップ要素および摩擦係数値の入力

## **INPUT DATA FORM**

#### 5.4 板材の単純引張

4章 4.6 で示した図 17 を例に入力データの作成を試みる。

図 17 は長さ 10 mm, 巾 6 mm, 厚み 1 mm の板 (ヤング率 = 21000.0 Kg/mm<sup>2</sup>, ポアソン比 = 0.30, 降伏強さ 22.5 Kg/mm<sup>2</sup>, 接線係数 220.0 と仮定) が長さ方向に 10Kg の力で引張力を受ける場合である。

本コードで解析する際の入力データとして表 11 に示す。

PNC - PU

表 11 図 17 の入力データ例（その 1）

## INPUT DATA FORM

JOB NUMBER PROBLEM CODED BY	MAIN PROGRAM LABEL								KEYPUNCH RECORD KEYPUNCHED BY VERIFIED BY	DATE	NO. OF CARDS	PAGE	OF	
	1	2	3	4	5	6	7	8						
	1	2	3	4	5	6	7	8						
	1	2	3	4	5	6	7	8						
01	1	0	0	0	要素の形が全て三角形のときは1 それ以外のときはすべて0									
02	⋮	⋮	⋮	⋮										
03	⋮	⋮	⋮	⋮	節点間変化(線ひずみ)マットしたとき1 節点間変化(線ひずみ)マットしないとき0									
04	⋮	⋮	⋮	⋮	最終結果のみ出力のときは0 途中結果も含めて出力のときは1 (I 5タイプ)									
05	⋮	⋮	⋮	⋮	最初と最後だけ出力のときは2									
06	⋮	⋮	⋮	⋮	X-Y座標のときは1 (I 5タイプ) X-Y座標のときは0									
07	⋮	⋮	⋮	⋮	平面応力問題のときは1 (I 5タイプ) 平面ひずみ問題のときは0									
08	⋮	⋮	⋮	⋮										
09	⋮	⋮	⋮	⋮										
10	12	6	3	4	3	1								
11	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
12	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
13	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
14	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
15	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
16	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
17	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
18	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
19	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
20	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	

PNC - PU

(その2)

## **INPUT DATA FORM**

PAGE OF

JOB NUMBER	MAIN PROGRAM LABEL										KEYPUNCH RECORD										DATE	NO. OF CARDS								
PROBLEM	MODIFICATION										KEYPUNCHED BY																			
CODED BY	DATE										VERIFIED BY																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
01																														
02																														
03	要素番号(15)																													
04		…要素を構成させている節点番号																												
05	1	2	1	5	6	1																								
06	2	3	2	6	7	1																								
07	3	4	3	7	8	1																								
08	4	6	5	9	10	1																								
09	5	7	6	10	11	1																								
10	6	8	7	11	12	1																								
11	3	要素データは終りであることを示す(必ず3を入れる)	…	…第1カラムに入れるに注意																										
12			0 . 0			3 . 0	0	0																						
13		2	1 . 6 6 7			3 . 0	0	0																						
14		3	3 . 3 3 3			3 . 0	0	0																						
15		4	5 . 0 0 0			3 . 0	0	0																						
16		5	0 . 0			1 . 5	0	0																						
17		6	1 . 6 6 7			1 . 5	0	0																						
18		7	3 . 3 3 3			1 . 5	0	0																						
19		8	5 . 0 0 0			1 . 5	0	0																						
20		9	0 . 0 0 0			0 . 0	0	0																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

### 節点番号

X座標  
(F10.3)

Y座標  
( F 10.3 )

10

PNC - PU

(その3)

## INPUT DATA FORM

PAGE OF

JOB NUMBER PROBLEM CODED BY	MAIN PROGRAM LABEL			KEYPUNCH RECORD DATE			NO. OF CARDS		
				KEYPUNCHED BY					
	MODIFICATION DATE			VERIFIED BY					
01	1	2	3	4	5	6	7	8	
02	1 0	1 . 6 6 7	0 . 0						
03	1 1	3 . 3 3 3	0 . 0						
04	1 2	5 . 0 0 0	0 . 0						
05	2 1 0 0 0 . 0	0 . 3 0 0	1 . 0 0 0	2 2 . 5 0 0	2 2 0 . 0 0 0				
06	デシグ率	ボーリング比	厚み	降伏強さ	接線係数				
07									
08	1	5	9	X方向拘束節点番号(順不同でも良い)	I 5				
09	9	1 0	1 1	Y方向拘束節点番号( )	I 5				
10	4		1 . 2 5 0	0 . 0 0 0					
11	8		2 . 5 0 0	0 . 0 0 0					
12	12		1 . 2 5 0	0 . 0 0 0	入力完了				
13									
14	... 節点番号	... X方向荷重(外力)	... Y方向荷重(外力)						
15.	( I 5 )	( P 1 0 3 )	( F 1 0 3 )						
16									
17									
18									
19									
20									
	1	2	3	4	5	6	7	8	

## 6 プロッターチン

PLASTICコードで応力、ひずみを計算した結果は、次の方法により図表示できる。

但し、プロッタ入力データの第一行目(715)の7番目(35カラムに相当)に1を入れること。

プロッターで表示される図は次の3種類である。

- ① …… 変形後の形状
- ② …… 主応力分布(主応力の大きさとその方向が矢印で記される)
- ③ …… 節点間の伸び、伸び量

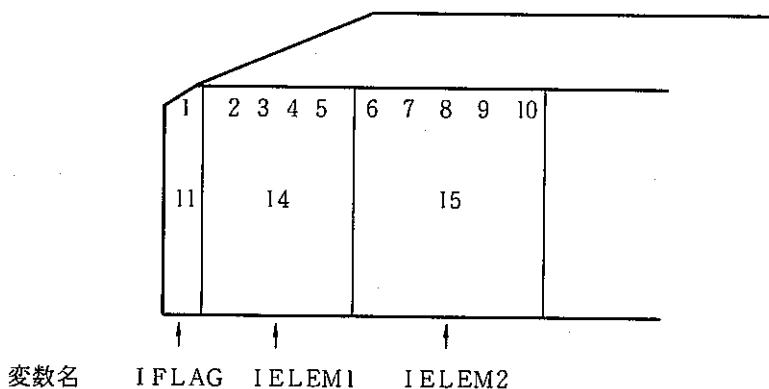
### 6.1 プロッター実行の流れ

流れ図を図22に示す。

### 6.2 プロッタに必要なデータの入力

次に示す入力データ(プロッター用)が必要である。(図22参照)

主応力をプロットする要素番号と基準要素番号の指定



以下の約束で要素を指定する。

IFLAG = 0

IELEM1が主応力をPLOTする要素番号

(IELEM2は無視される)

IFLAG = 1

IELEM1 ~ IELEM2が主応力をPLOTするELEMENT番号

IFLAG = 2

DATAの終りを示し、この時のIELEM1が主応力のPLOTの基準ELEMENT番号となる。このとき主応力基準要素No.IELEM1に入れてもよい。

(必ずIFLAG = 2のカードを最後に付ける。)

また、プロッタによる主応力分布およびひずみ分布の出力例をそれぞれ図23と図24に示す。

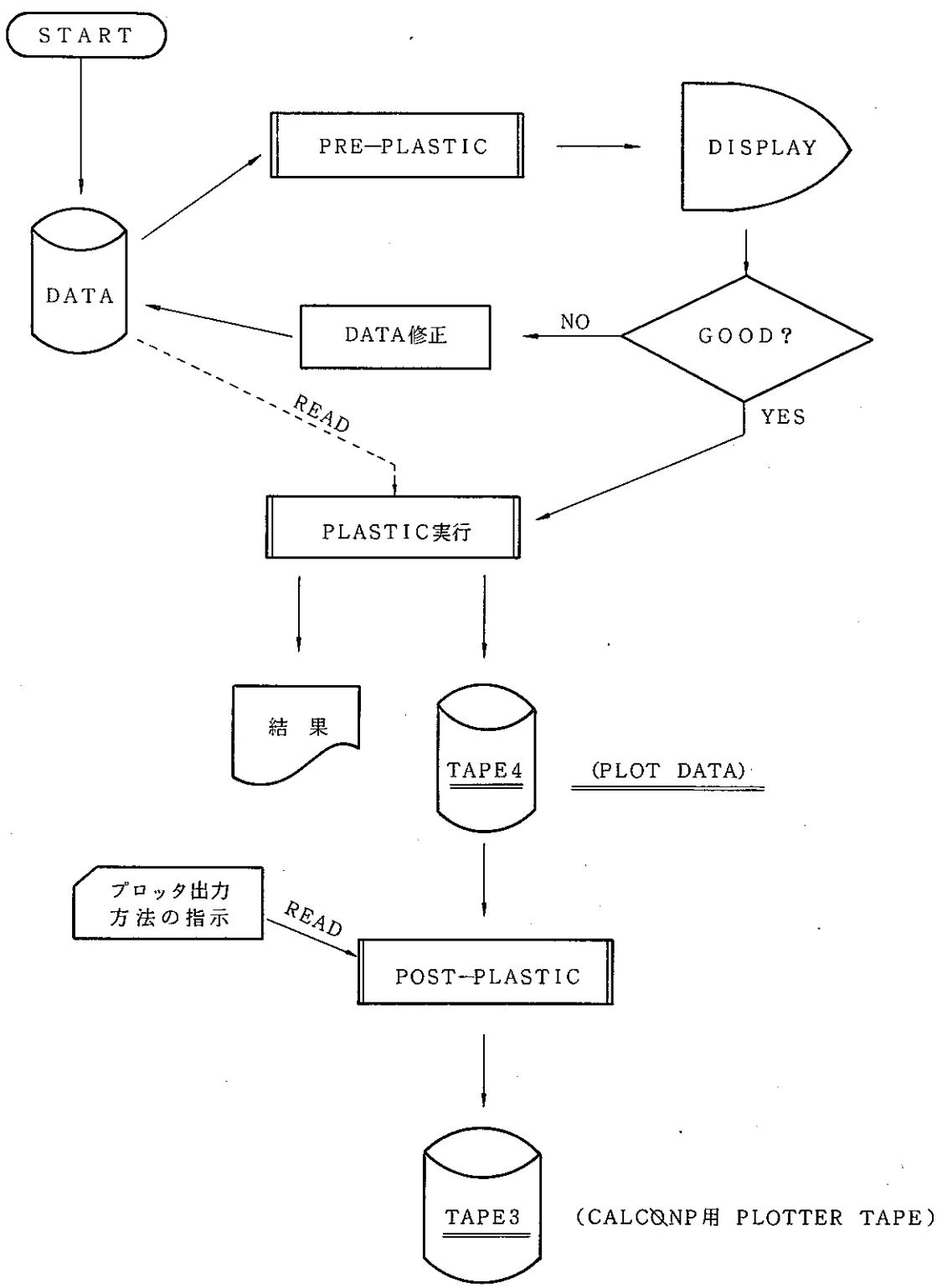


図22 PLASTIC用プロッターの流れ説明図

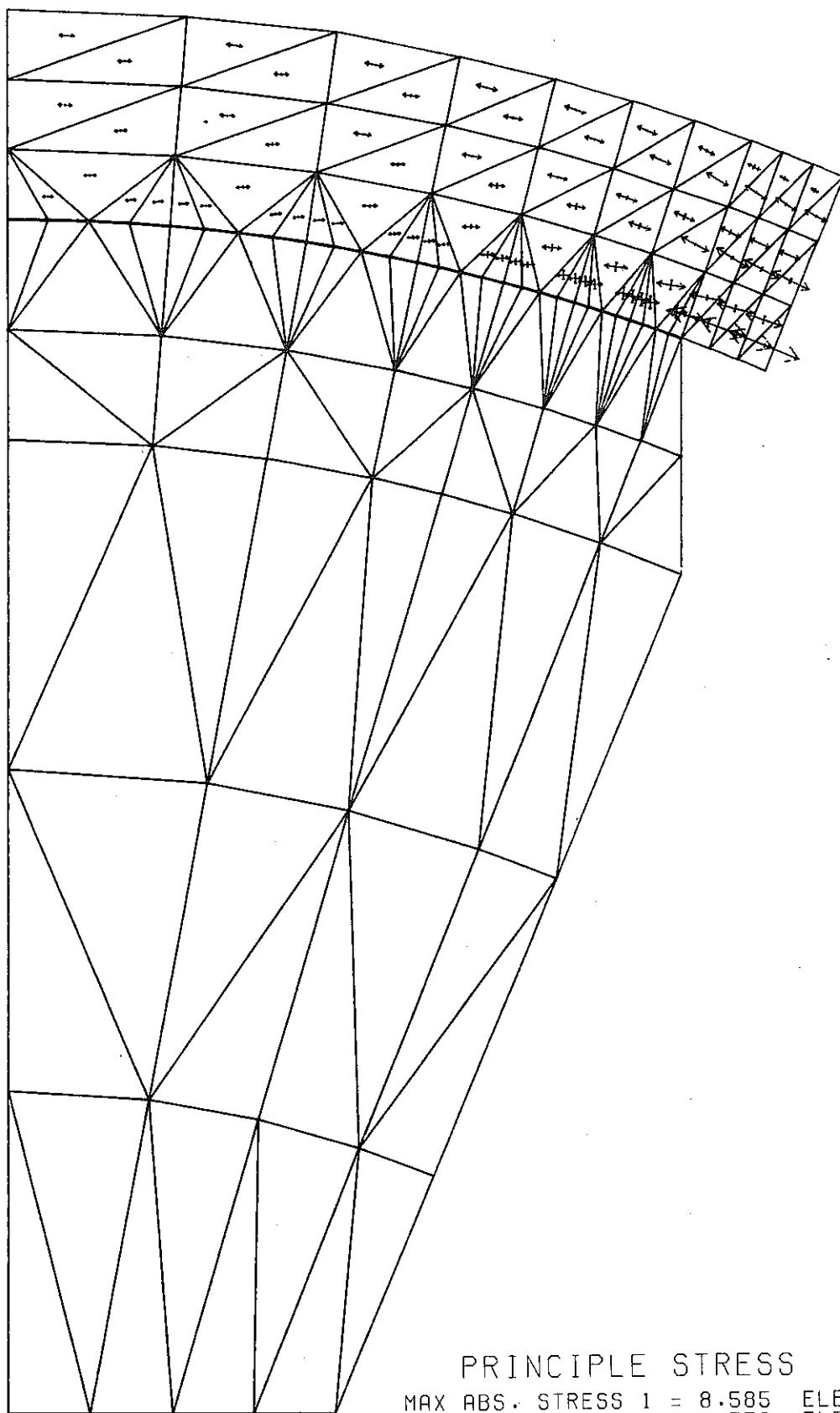


図 23 主応力分布図プロット出力例

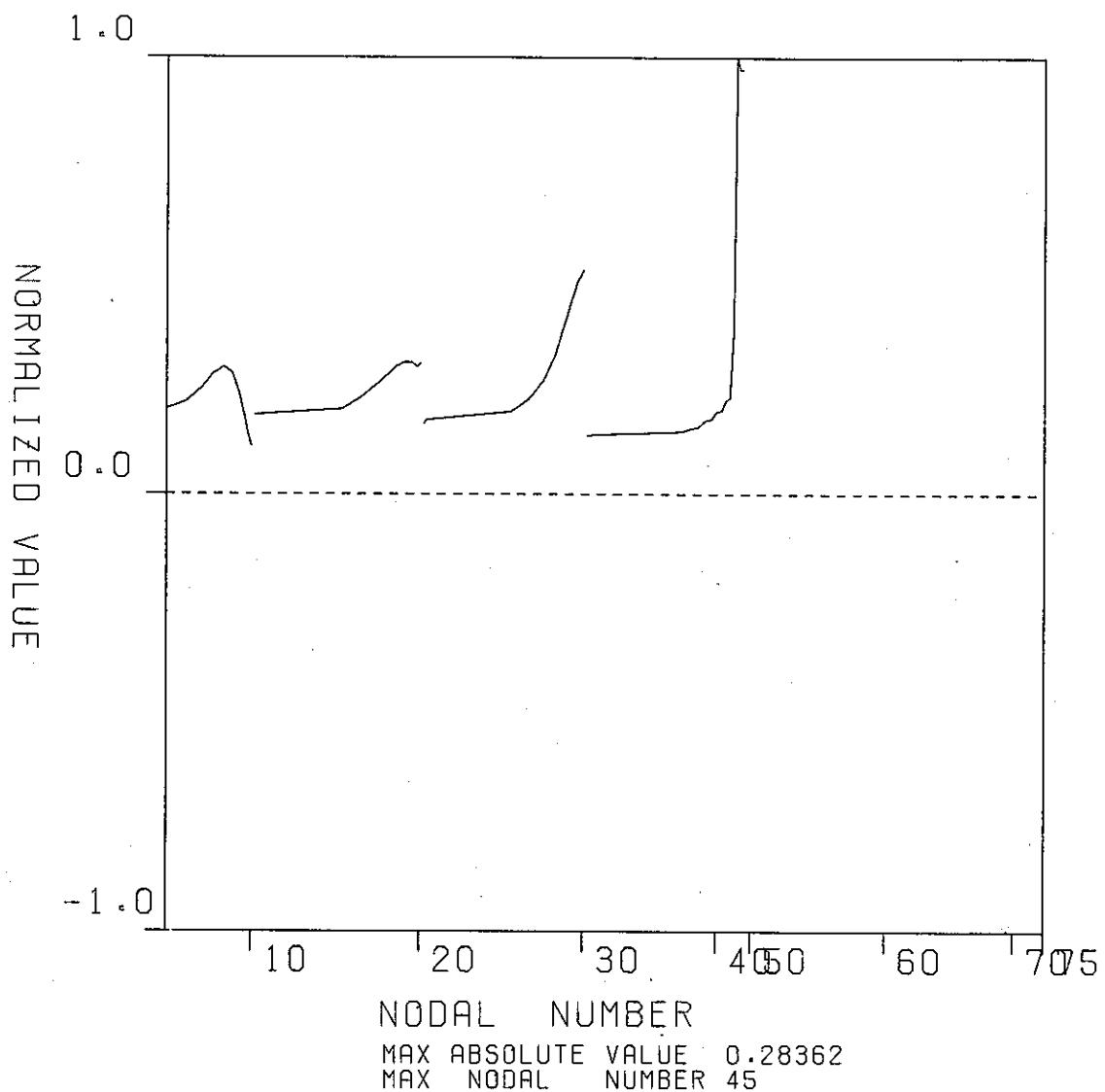


図 24 ひずみ分布プロット出力例

## 7 PLASTIC コード中の記号説明

PLASTIC コードに使われている主な記号と、その意味を下記に列挙する。

NODT	全節点数 (MAX 350)
NELT	全要素数 (MAX 500)
X(I)	節点の X 座標 (単位 mm)
Y(I)	節点の Y 座標 (単位 mm)
F(X)	節点の X 方向入力荷重 (単位 Kg)
F(Y)	節点の Y 方向入力荷重 (単位 Kg)
U	節点の X 方向変位 (単位 mm)
V	節点の Y 方向変位 (単位 mm)
RX	節点の X 方向反力 (入力荷重に対し結果として生ずる力)
RY	節点の Y 方向反力 (入力荷重に対し結果として生ずる力)
X+U	節点の変位後の X 座標 (単位 mm)
Y+V	節点の変位後の Y 座標 (単位 mm)
SX	要素の X 方向応力値 (Kg/mm <sup>2</sup> )
SY	要素の Y 方向応力値 (Kg/mm <sup>2</sup> )
SXY	要素のせん断応力値 (Kg/mm <sup>2</sup> )
S1	要素の最大主応力値 (Kg/mm <sup>2</sup> )
S2	要素の最少主応力値 (Kg/mm <sup>2</sup> )
ANGLE	要素の最大主応力値 S1 の方向
TSM7	要素の Normal 方向応力 (要素の重心点基準)
TSM8	要素の接線方向応力 (要素の重心点基準)
ICKC	$TSM8/TSM7 \geq$ 摩擦係数 (FMU) のとき * 印
TSM9	$TSM8/TSM7$
EQ, STRESS	要素の等価応力 (Kg/mm <sup>2</sup> )
PLASTIC MO	要素の塑性定数 (Kg/mm <sup>2</sup> )
ITERATION	直接反復法の近似状態 (= 1 のとき収束)
FINAL STRAIN	EQ. STRESS/PLASTIC MO.
FINAL STRESS	図 15 参照
NEW YIELD STRESS	摩擦すべりするためのギャップ要素中の降伏強さ (Kg/mm <sup>2</sup> )
FMU	摩擦係数 (> 0)
E	ヤング率 (Kg/mm <sup>2</sup> )
PO	ポアソン比
PP	ポアソン比

## 8 PLASTICコードによる応力／ひずみ解析例

PLASTICコードを使用し、今まで実際に解析を行った主な実例を以下に示す。

### 8.1 DFR 332/5 燃料被覆管局所過熱変形解析

炉内で冷却材Na中にVoidが発生し、局所的に冷却能力が低下し、高速炉燃料被覆管外表面で局所的温度の急上昇が生じたとし、このとき被覆管は内圧(40気圧)によって、どのように変形し破損するかを解析した解析結果を図25, 26に示す。(詳細はSN841-74-25参照)

### 8.2 ジルカロイ-2被覆管のPCM Iによる局所ひずみ解析

半径方向にクラックを有するペレットがジルカロイ-2被覆管を押し抜けようとする際、被覆管内面に発生する局所的ひずみを計算し、PCM Iによる被覆管破損の位置の予測をした解析結果を図27, 28に示す。(詳細はPNCT81-79-37参照)

### 8.3 燃料ペレットの変形解析 9)～11)

$\text{UO}_2$ ペレットを高温(1600°C)で、径方向に圧縮すると、どのように変形し、どのように割れるかをPLASTICコードで予測計算し、実験結果と比較した。(図29～32参照)  
(詳細はPNCT831-74-01およびN841-73-34, J. Nucl. Sci. and Tech. 16 (1979) P. 266～277)

### 8.4 常陽被覆管の応力解析

常陽被覆管が局所的に減肉を生じた場合と均一に減肉された場合とで、内圧を受けたとき、応力分布はどうなるかを解析した。

均一減肉被覆管の場合の計算モデルと結果を図33, 34に示す。

また、図23についてのPLASTICコードによる計算結果リストを表12に示す。

### 8.5 応力／ひずみ 解析例のリスト

現在まで、本コードを利用して燃料および被覆管に関して種々の解析を行った。ここで、その解析目的と解析結果の要旨を表13に示す。

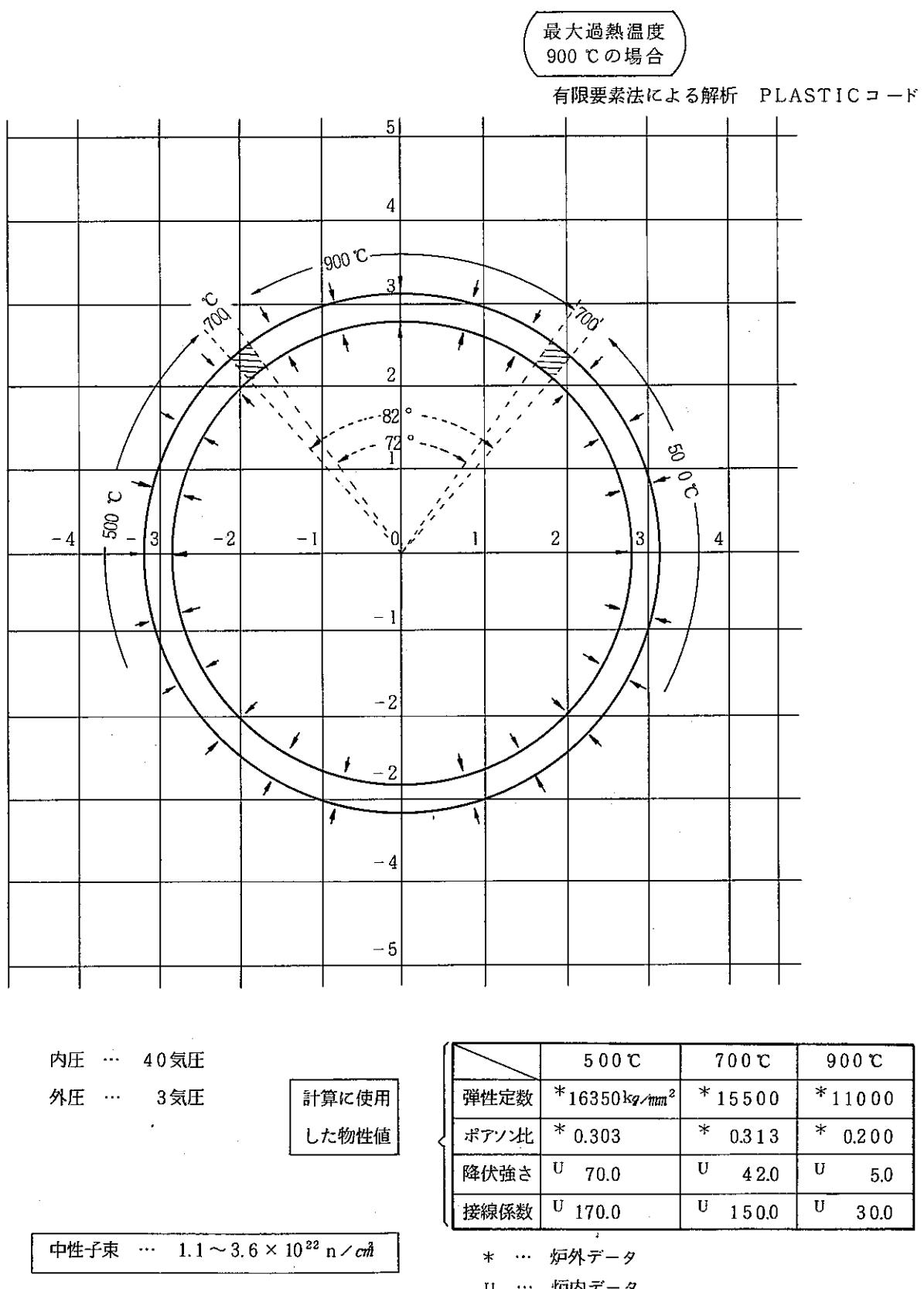
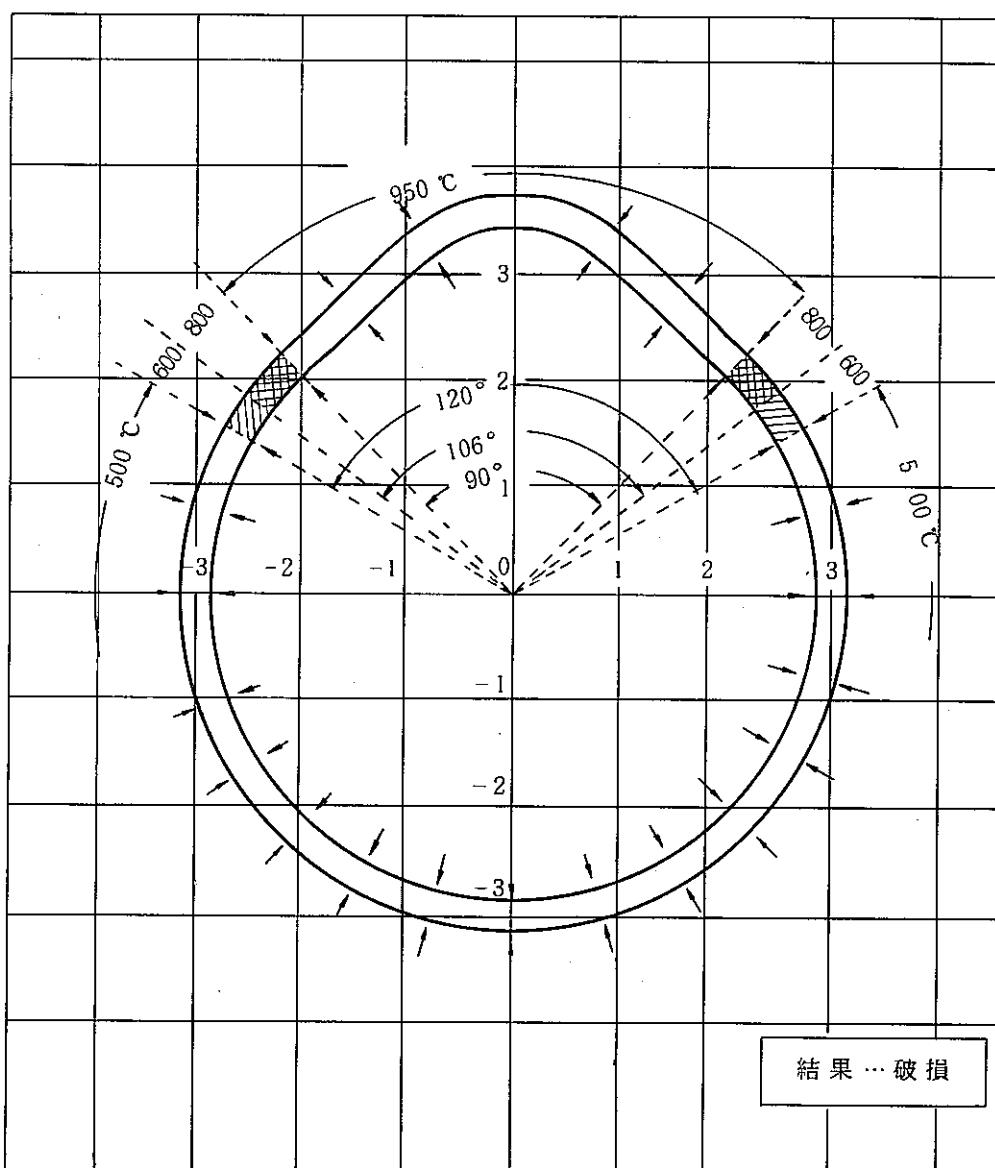


図 25 冷間加工した 316 ステンレス鋼の高速炉照射中における  
局部過熱変形推測計算結果

最大過熱温度  
950 °C の場合

有限要素法による解析 PLASTIC コード



内圧 … 40気圧

外圧 … 3気圧

中性子束 …  $1.1 \sim 3.6 \times 10^{22} n/cm^2$

計算に使用  
した物性値

	500 °C	600 °C	800 °C	950 °C
弾性定数	* 16350 kg/mm <sup>2</sup>	* 15500	* 13500	* 10000
ボアソン比	* 0.303	* 0.313	* 0.257	* 0.160
降伏強さ	U 70.0	U 42.0	U 12.5	U 2.0
接線係数	U 170.0	U 150.0	U 80.0	U 10.0

\*…炉外データー

U…炉内データー

ひずみ速度

…  $1.58 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$

図 26 冷間加工した 316 ステンレス鋼の高速炉照射下における  
局部過熱変形推測計算結果

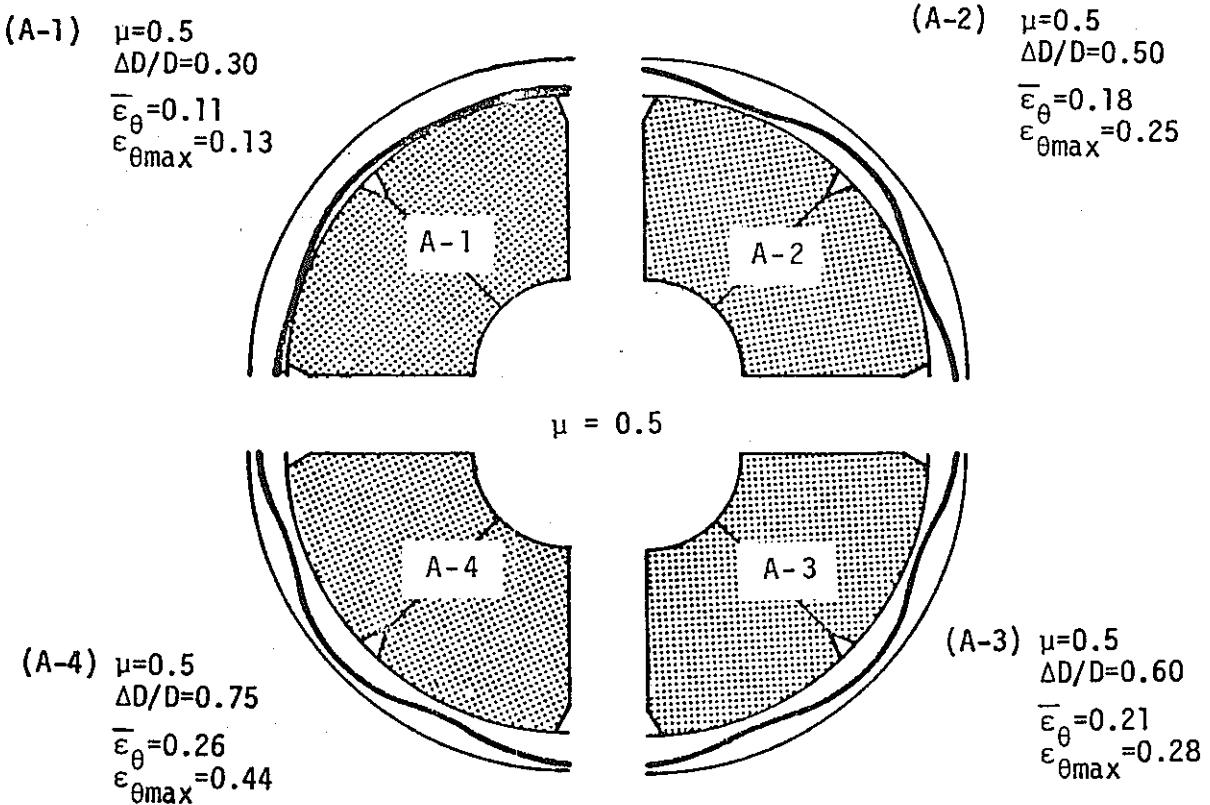


Fig.27 Calculation results of hoop strain distributions at inner surface of Zry-2 cladding by expansion of cracked pellet.

$\mu$  : Friction coefficient  
 $\Delta D/D(\%)$ : Displacement of cracked pellet after contact with the cladding  
 $\bar{\epsilon}_\theta$  : Mean tensile hoop strain  
 $\epsilon_{\theta\max}$  : Maximum tensile hoop strain

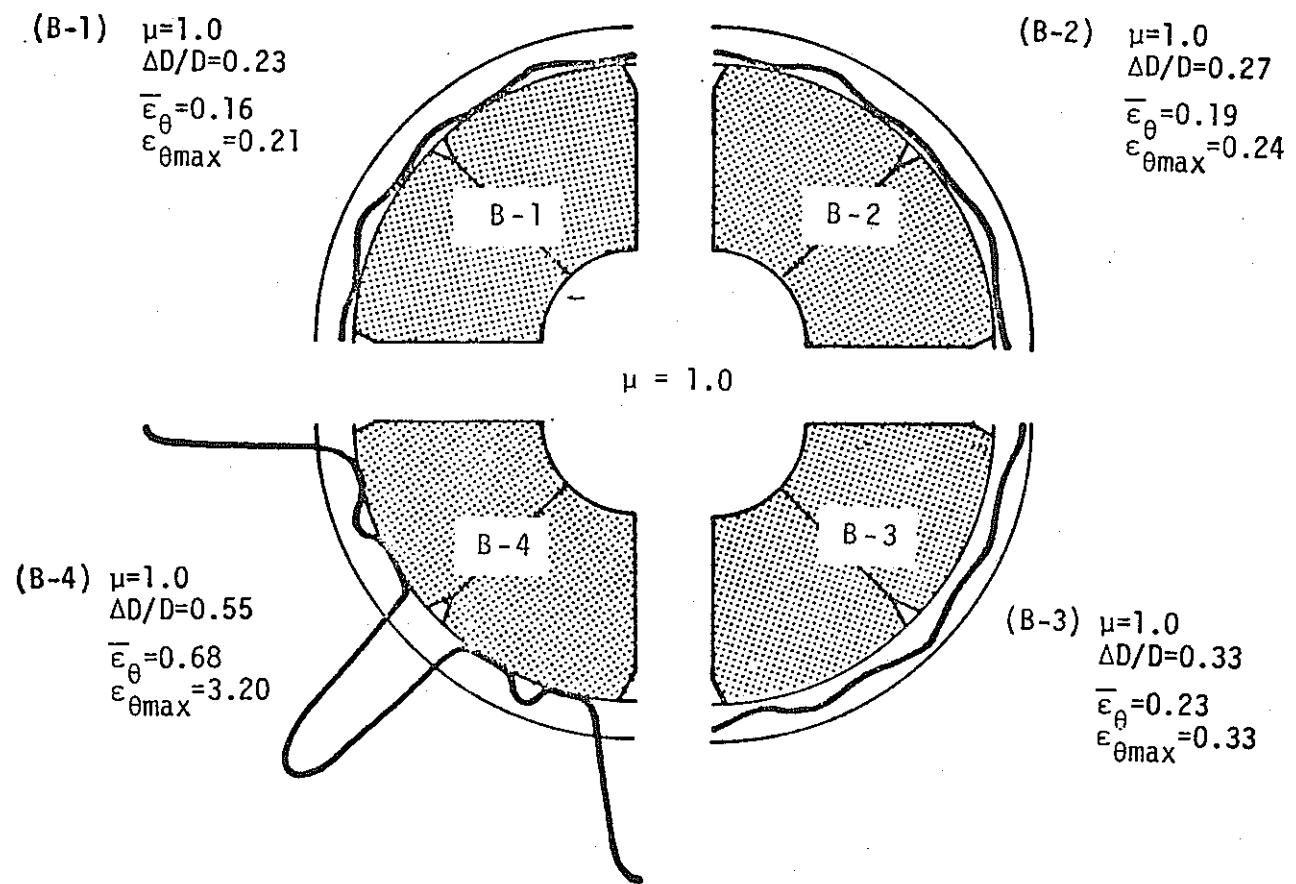


Fig.28 Calculation results of hoop strain distributions at inner surface of Zry-2 cladding by expansion of cracked pellet.

$\mu$ : Friction coefficient
$\Delta D/D(\%)$ : Displacement of cracked pellet after contact with the cladding
$\bar{\epsilon}_\theta$ : Mean tensile,hoop strain
$\epsilon_{\theta\max}$ : Maximum tensile hoop strain

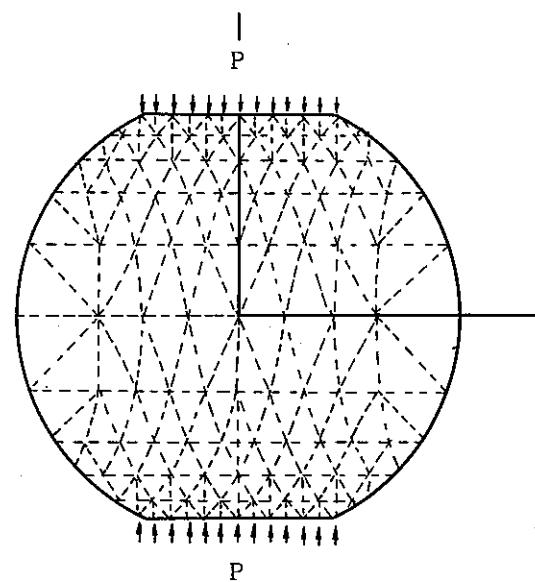


Fig.29 A plane stress region dived into finite elements.

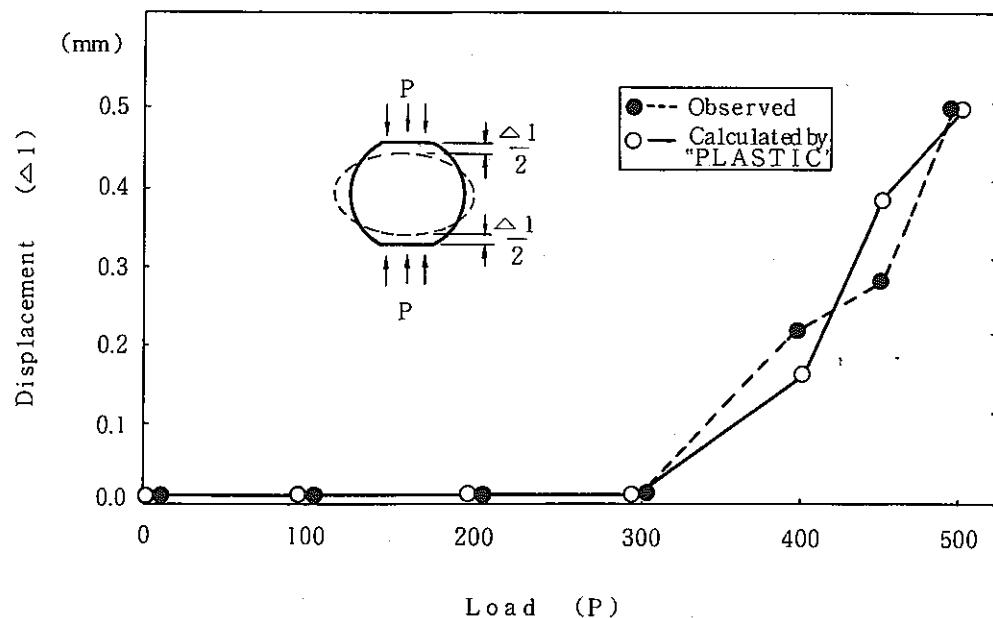


Fig.30 Comparision between measurements and calculations of high temperature deformation of UO<sub>2</sub> pellets.

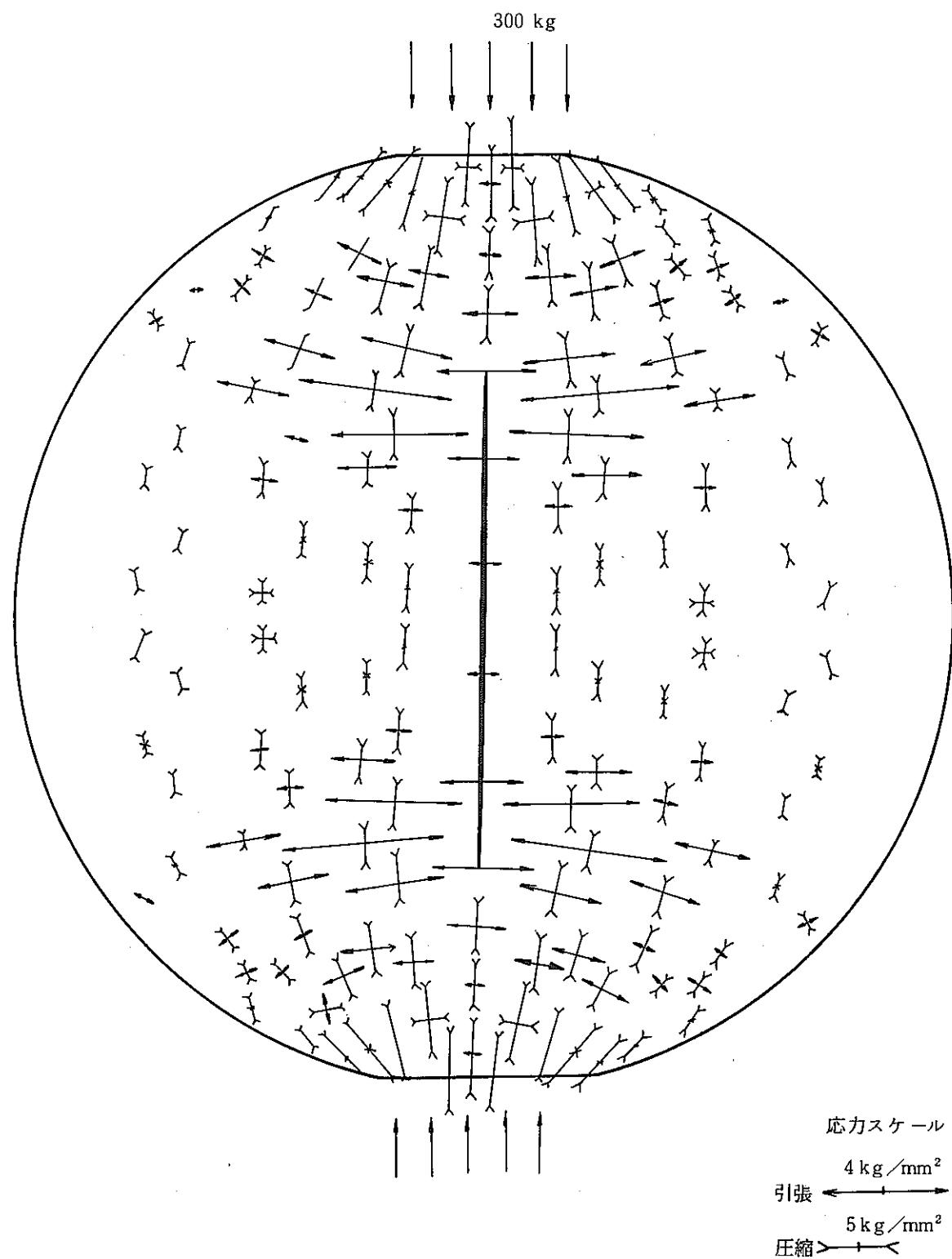


図 31  $\text{UO}_2$  ペレットの一次クラック発生後の応力分布  
 (PLASTIC コードによる計算結果)

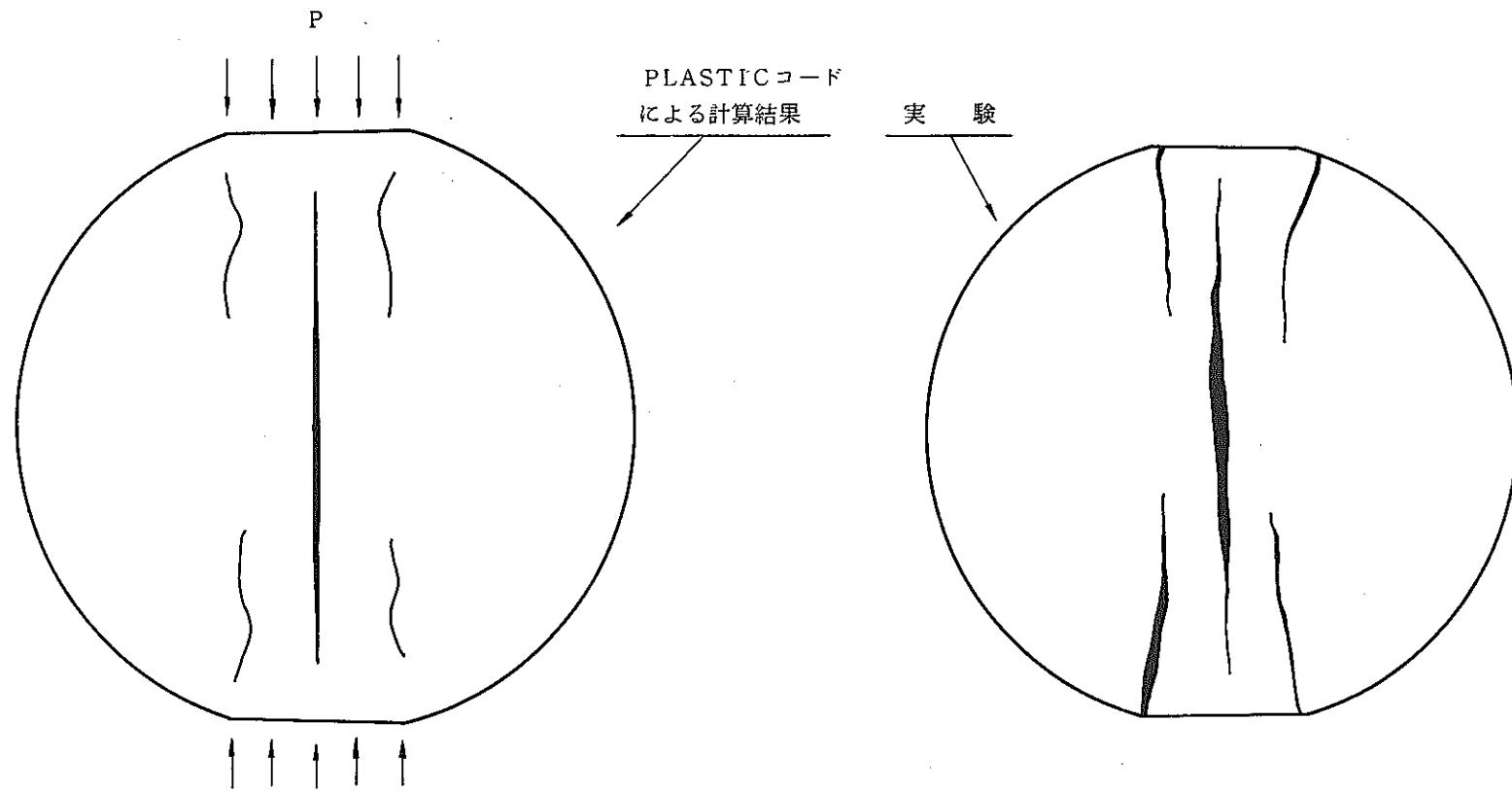


図 32 計算によるクラックの発生の推測と実験との比較

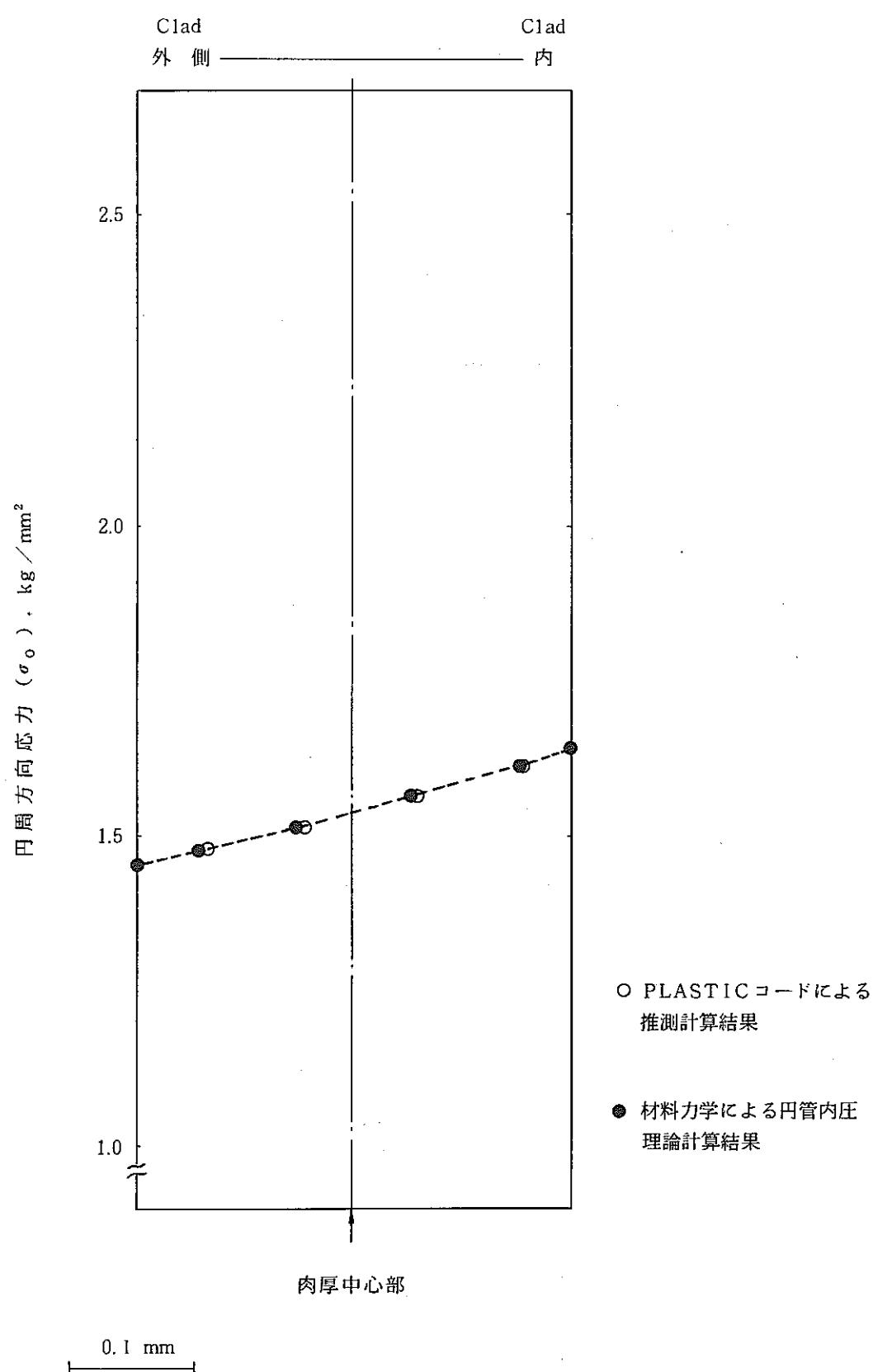


図 34 被覆管応力分布（解析モデルは図 33）  
(内圧  $19 \text{ kg}/\text{cm}^2$  の場合)

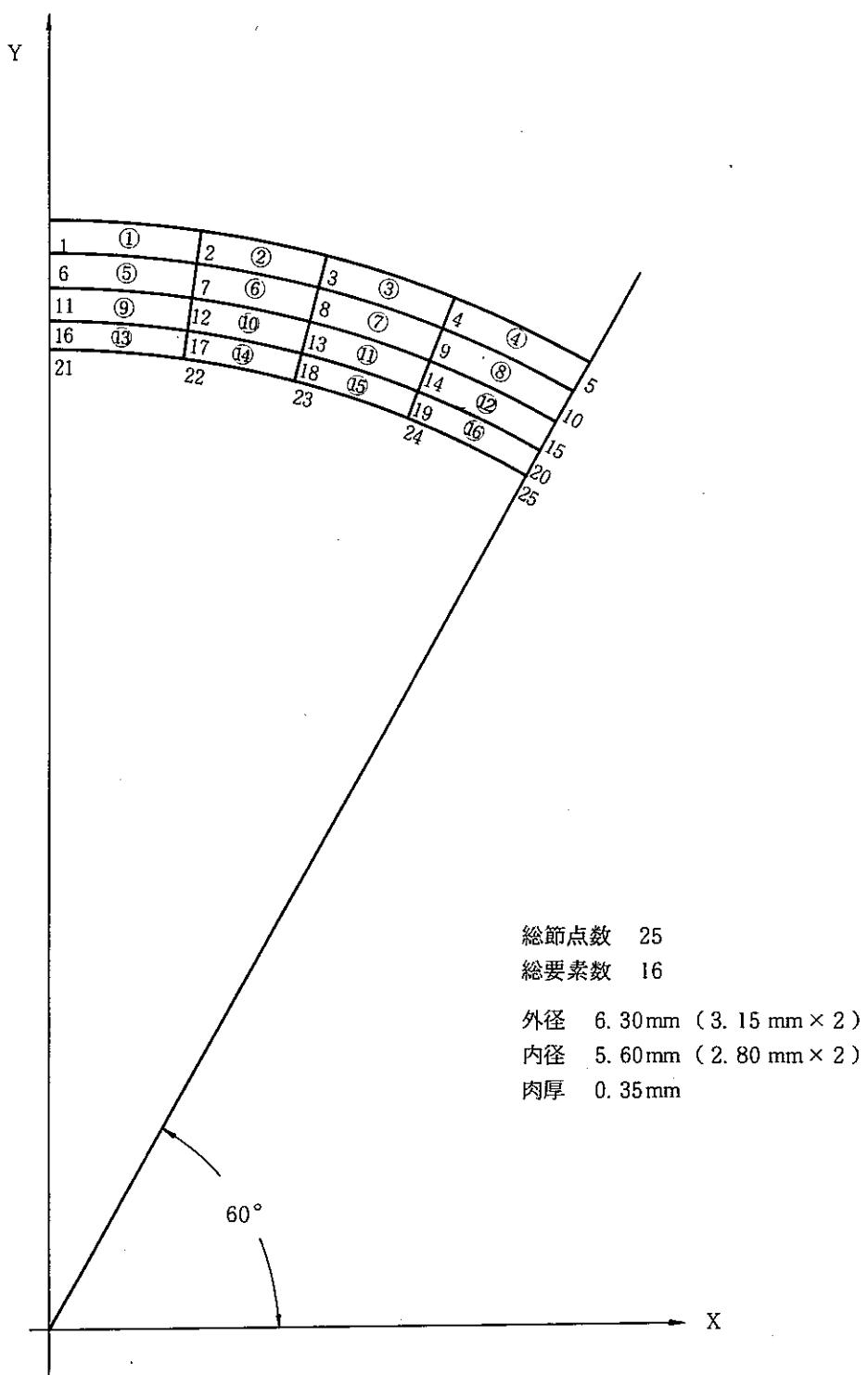


図33 常陽被覆管の要素分割図

表 12 内圧円筒管の計算結果出力例(図33参照)(その1)

ELEM.NO.	NODE NO.				THICKNESS	ELASTIC M.	POISSON,R.	SIGMA 0	Y-STRENGTH	STRAIN HARD
1	1	6	7	2	10.000	15931.000	0.310	7.895	13.100	6330.000
2	2	7	8	3	10.000	15931.000	0.310	7.895	13.100	6330.000
3	3	8	9	4	10.000	15931.000	0.310	7.895	13.100	6330.000
4	4	9	10	5	10.000	15931.000	0.310	7.895	13.100	6330.000
5	6	11	12	7	10.000	15883.800	0.310	7.816	13.050	6370.000
6	7	12	13	8	10.000	15883.800	0.310	7.816	13.050	6370.000
7	8	13	14	9	10.000	15883.800	0.310	7.816	13.050	6370.000
8	9	14	15	10	10.000	15883.800	0.310	7.816	13.050	6370.000
9	11	16	17	12	10.000	15832.300	0.310	7.737	13.000	6410.000
10	12	17	18	13	10.000	15832.300	0.310	7.737	13.000	6410.000
11	13	18	19	14	10.000	15832.300	0.310	7.737	13.000	6410.000
12	14	19	20	15	10.000	15832.300	0.310	7.737	13.000	6410.000
13	16	21	22	17	10.000	15785.100	0.310	7.658	12.950	6450.000
14	17	22	23	18	10.000	15785.100	0.310	7.658	12.950	6450.000
15	18	23	24	19	10.000	15785.100	0.310	7.658	12.950	6450.000
16	19	24	25	20	10.000	15785.100	0.310	7.658	12.950	6450.000

\*\*\*\*\* FIXED NODAL POINT IN X-DIRECTION \*\*\*\*\*

1 6 11 16 21

\*\*\*\*\* FIXED NODAL POINT IN Y-DIRECTION \*\*\*\*\*

(その2)

\*\*\*\*\* DIMENSION(X,Y) AND FORCE(FX,FY) \*\*\*\*\*

	X(I)	Y(I)	FX(I)	FY(I)
1	-0.000	3.150	0.0	0.0
2	0.411	3.123	0.0	0.0
3	0.815	3.043	0.0	0.0
4	1.205	2.910	0.0	0.0
5	1.575	2.728	0.0	0.0
6	-0.000	3.063	0.0	0.0
7	0.400	3.037	0.0	0.0
8	0.793	2.959	0.0	0.0
9	1.172	2.830	0.0	0.0
10	1.531	2.653	0.0	0.0
11	-0.000	2.976	0.0	0.0
12	0.388	2.951	0.0	0.0
13	0.770	2.875	0.0	0.0
14	1.139	2.749	0.0	0.0
15	1.488	2.577	0.0	0.0
16	-0.000	2.888	0.0	0.0
17	0.377	2.863	0.0	0.0
18	0.747	2.790	0.0	0.0
19	1.105	2.668	0.0	0.0
20	1.444	2.501	0.0	0.0
21	-0.000	2.800	0.0	0.353
22	0.365	2.776	0.092	0.701
23	0.725	2.705	0.183	0.683
24	1.072	2.587	0.271	0.653
25	1.400	2.425	0.177	0.306

UNIT =  
1  
16

(その3)

TOTAL ITERATION COUNT = 1

SEN.NO.	NODE-NODE	LENGTH(MM) PRE.	LENGTH(MM) AFTER	LENGTH(MM) PRE.	LENGTH(MM) AFTER	SEN-HIZUMI (PERCENT)	SEN-HIZUMI (PERCENT)	NODE-NODE
1	1 2	0.4120D+00	0.4121D+00	0.4120397	0.4120775	0.9172D-02	0.0092	1 2
2	2 3	0.4120D+00	0.4121D+00	0.4120397	0.4120775	0.9175D-02	0.0092	2 3
3	3 4	0.4120D+00	0.4121D+00	0.4120397	0.4120775	0.9177D-02	0.0092	3 4
4	4 5	0.4120D+00	0.4121D+00	0.4120397	0.4120775	0.9179D-02	0.0092	4 5
5	6 7	0.4007D+00	0.4007D+00	0.4006596	0.4006977	0.9520D-02	0.0095	6 7
6	7 8	0.4007D+00	0.4007D+00	0.4006596	0.4006977	0.9521D-02	0.0095	7 8
7	8 9	0.4007D+00	0.4007D+00	0.4006596	0.4006977	0.9522D-02	0.0095	8 9
8	9 10	0.4007D+00	0.4007D+00	0.4006596	0.4006977	0.9523D-02	0.0095	9 10
9	11 12	0.3893D+00	0.3893D+00	0.3892794	0.3893180	0.9898D-02	0.0099	11 12
10	12 13	0.3893D+00	0.3893D+00	0.3892794	0.3893180	0.9899D-02	0.0099	12 13
11	13 14	0.3893D+00	0.3893D+00	0.3892794	0.3893180	0.9899D-02	0.0099	13 14
12	14 15	0.3893D+00	0.3893D+00	0.3892794	0.3893180	0.9898D-02	0.0099	14 15
13	16 17	0.3778D+00	0.3778D+00	0.3777685	0.3778074	0.1032D-01	0.0103	16 17
14	17 18	0.3778D+00	0.3778D+00	0.3777685	0.3778074	0.1032D-01	0.0103	17 18
15	18 19	0.3778D+00	0.3778D+00	0.3777685	0.3778074	0.1031D-01	0.0103	18 19
16	19 20	0.3778D+00	0.3778D+00	0.3777685	0.3778074	0.1031D-01	0.0103	19 20
17	21 22	0.3663D+00	0.3663D+00	0.3662575	0.3662970	0.1077D-01	0.0108	21 22
18	22 23	0.3663D+00	0.3663D+00	0.3662575	0.3662970	0.1077D-01	0.0108	22 23
19	23 24	0.3663D+00	0.3663D+00	0.3662575	0.3662970	0.1077D-01	0.0108	23 24
20	24 25	0.3663D+00	0.3663D+00	0.3662575	0.3662970	0.1077D-01	0.0108	24 25
21	1 21	0.3500D+00	0.3500D+00	0.3500000	0.3499874	-0.3589D-02	-0.0036	1 21
22	2 22	0.3500D+00	0.3500D+00	0.3500000	0.3499874	-0.3591D-02	-0.0036	2 22
23	3 23	0.3500D+00	0.3500D+00	0.3500000	0.3499874	-0.3591D-02	-0.0036	3 23
24	4 24	0.3500D+00	0.3500D+00	0.3500000	0.3499874	-0.3590D-02	-0.0036	4 24
25	5 25	0.3500D+00	0.3500D+00	0.3500000	0.3499874	-0.3590D-02	-0.0036	5 25

(その4)

## \*\*\*\*\* DISPLACEMENT AND LOAD \*\*\*\*\*

NODE NO.	U	V	RX	RY	X+U	Y+V	
1	0.0	0.2890D-03	-0.6072D+00	0.1279D-12	-0.00000	3.15029	1
2	0.3771D-04	0.2865D-03	-0.5085D-13	0.7105D-13	0.41120	3.12334	2
3	0.7480D-04	0.2792D-03	-0.6639D-13	-0.1634D-12	0.81535	3.04295	3
4	0.1106D-03	0.2671D-03	-0.7150D-13	-0.1208D-12	1.20556	2.91049	4
5	0.1445D-03	0.2504D-03	0.5267D+00	-0.3041D+00	1.57514	2.72823	5
6	0.0	0.2916D-03	-0.1307D+01	-0.2949D-12	-0.00000	3.06329	6
7	0.3806D-04	0.2891D-03	-0.5329D-14	-0.4192D-12	0.39984	3.03708	7
8	0.7549D-04	0.2817D-03	0.2642D-13	0.2842D-13	0.79284	2.95891	8
9	0.1116D-03	0.2695D-03	-0.7594D-13	-0.9237D-13	1.17227	2.83011	9
10	0.1459D-03	0.2526D-03	0.1132D+01	-0.6536D+00	1.53165	2.65289	10
11	0.0	0.2945D-03	-0.1350D+01	0.1457D-12	-0.00000	2.97629	11
12	0.3845D-04	0.2920D-03	0.1710D-13	0.1066D-13	0.38848	2.95083	12
13	0.7625D-04	0.2845D-03	-0.2975D-13	-0.2061D-12	0.77032	2.87488	13
14	0.1128D-03	0.2722D-03	0.3264D-13	0.7105D-14	1.13898	2.74974	14
15	0.1473D-03	0.2552D-03	0.1170D+01	-0.6752D+00	1.48815	2.57755	15
16	0.0	0.2978D-03	-0.1398D+01	-0.3624D-12	-0.00000	2.88830	16
17	0.3889D-04	0.2953D-03	-0.9659D-13	-0.6750D-12	0.37700	2.86359	17
18	0.7712D-04	0.2877D-03	-0.1230D-12	-0.3766D-12	0.74755	2.78988	18
19	0.1140D-03	0.2753D-03	-0.8493D-06	0.1593D-05	1.10530	2.66844	19
20	0.1490D-03	0.2580D-03	0.1210D+01	-0.6988D+00	1.44415	2.50134	20
21	0.0	0.3015D-03	-0.7298D+00	0.3530D+00	-0.00000	2.80030	21
22	0.3938D-04	0.2990D-03	0.9200D-01	0.7010D+00	0.36551	2.77634	22
23	0.7809D-04	0.2913D-03	0.1830D+00	0.6830D+00	0.72477	2.70488	23
24	0.1155D-03	0.2787D-03	0.2710D+00	0.6530D+00	1.07163	2.58714	24
25	0.1508D-03	0.2612D-03	0.8079D+00	-0.5823D-01	1.40015	2.42513	25

(その5)

## \*\*\*\*\* STRESS AND PRINCIPAL STRESS \*\*\*\*\*

ELEM.NO.	SX	SY	SXY	S1	S2	ANGLE	TSM7	TSM8	ICKC	TSM9
1	0.14760D+01	-0.13137D-01	-0.97953D-01	0.14825D+01	-0.19552D-01	176.3	-0.19552D-01	0.14825D+01	*	0.75820D+02
2	0.14256D+01	0.37598D-01	-0.28741D+00	0.14828D+01	-0.19560D-01	168.8	-0.19560D-01	0.14828D+01	*	0.75808D+02
3	0.13278D+01	0.13566D+00	-0.45733D+00	0.14831D+01	-0.19566D-01	161.3	-0.19566D-01	0.14831D+01	*	0.75799D+02
4	0.11893D+01	0.27437D+00	-0.59610D+00	0.14832D+01	-0.19576D-01	153.8	-0.19576D-01	0.14832D+01	*	0.75766D+02
5	0.15153D+01	-0.56599D-01	-0.10336D+00	0.15221D+01	-0.63366D-01	176.3	-0.63366D-01	0.15221D+01	*	0.24021D+02
6	0.14619D+01	-0.31129D-02	-0.30330D+00	0.15222D+01	-0.63420D-01	168.8	-0.63420D-01	0.15222D+01	*	0.24003D+02
7	0.13585D+01	0.10037D+00	-0.48260D+00	0.15223D+01	-0.63422D-01	161.3	-0.63422D-01	0.15223D+01	*	0.24003D+02
8	0.12121D+01	0.24672D+00	-0.62901D+00	0.15223D+01	-0.63454D-01	153.8	-0.63454D-01	0.15223D+01	*	0.23991D+02
9	0.15581D+01	-0.10412D+00	-0.10927D+00	0.15652D+01	-0.11128D+00	176.3	-0.11128D+00	0.15652D+01	*	0.14066D+02
10	0.15015D+01	-0.47630D-01	-0.32069D+00	0.15652D+01	-0.11139D+00	168.8	-0.11139D+00	0.15652D+01	*	0.14051D+02
11	0.13919D+01	0.61798D-01	-0.51024D+00	0.15651D+01	-0.11138D+00	161.3	-0.11138D+00	0.15651D+01	*	0.14052D+02
12	0.12370D+01	0.21647D+00	-0.66495D+00	0.15649D+01	-0.11143D+00	153.8	-0.11143D+00	0.15649D+01	*	0.14044D+02
13	0.16057D+01	-0.15625D+00	-0.11582D+00	0.16133D+01	-0.16383D+00	176.3	-0.16383D+00	0.16133D+01	*	0.98469D+01
14	0.15455D+01	-0.96442D-01	-0.33994D+00	0.16131D+01	-0.16404D+00	168.8	-0.16404D+00	0.16131D+01	*	0.98333D+01
15	0.14292D+01	0.19601D-01	-0.54082D+00	0.16128D+01	-0.16398D+00	161.3	-0.16398D+00	0.16128D+01	*	0.98354D+01
16	0.12648D+01	0.18347D+00	-0.70466D+00	0.16123D+01	-0.16405D+00	153.7	-0.16405D+00	0.16123D+01	*	0.98285D+01

(その6)

## \*\*\*\*\* EQUIVALENT STRESS AND APP. STRAIN \*\*\*\*\*

ELE.NO.	E0.STRFSS	PLASTIC M.	ITERATION	( FINAL STRAIN )	PERCENT	NO.	(FINAL STRESS)	NEW YIELD STRESS
1	1.4923	15931.0000	1.0000	0.9367D-04	0.0094	1	1.4923	13.10000
2	1.4927	15931.0000	1.0000	0.9370D-04	0.0094	2	1.4927	13.10000
3	1.4929	15931.0000	1.0000	0.9371D-04	0.0094	3	1.4929	13.10000
4	1.4931	15931.0000	1.0000	0.9372D-04	0.0094	4	1.4931	13.10000
5	1.5547	15883.8000	1.0000	0.9788D-04	0.0098	5	1.5547	13.05000
6	1.5549	15883.8000	1.0000	0.9789D-04	0.0098	6	1.5549	13.05000
7	1.5550	15883.8000	1.0000	0.9790D-04	0.0098	7	1.5550	13.05000
8	1.5550	15883.8000	1.0000	0.9790D-04	0.0098	8	1.5550	13.05000
9	1.6237	15832.3000	1.0000	0.1026D-03	0.0103	9	1.6237	13.00000
10	1.6238	15832.3000	1.0000	0.1026D-03	0.0103	10	1.6238	13.00000
11	1.6237	15832.3000	1.0000	0.1026D-03	0.0103	11	1.6237	13.00000
12	1.6235	15832.3000	1.0000	0.1025D-03	0.0103	12	1.6235	13.00000
13	1.7011	15785.1000	1.0000	0.1078D-03	0.0108	13	1.7011	12.95000
14	1.7010	15785.1000	1.0000	0.1078D-03	0.0108	14	1.7010	12.95000
15	1.7007	15785.1000	1.0000	0.1077D-03	0.0108	15	1.7007	12.95000
16	1.7003	15785.1000	1.0000	0.1077D-03	0.0108	16	1.7003	12.95000

1 20 AV HIZUM(PERCENT)= 0.00994

FRIC.SLIP COUNT= 0

ENDENDENDENDE GG(KK)=AAA\*1.001\*\* NEW METHOD \*P0160.\*\*\* PLASTIC.FORT

\*\*\*\*\*FPNC=SQRT(MU+1/ISM9+1) = 1.\*\*\*\*\* PO,PP = 0.3 (PLASTIC REGION) \*\*\*\*\* S. 55 5. 15 \*\*\*

\*\*\* CPU= 8 SEC. \*\*\* FRIC.COE.= 0.0

表 13 PLASTIC コードによる応力／ひずみ解析実例

	報告書タイトル	年	報告書No	PLASTICコードによる解析目的と内容
①	UO <sub>2</sub> の高温強度と破壊(I)	1973	N 841-73-31	PLASTICコードによるUO <sub>2</sub> 変形と破壊の予測精度のチェック(小変形計算での評価)
②	Quantitative analysis of Elastic-Plastic deformation of UO <sub>2</sub> by means of Finite element method	1974	PNCT831-74-01	PLASTICコードによるUO <sub>2</sub> の塑性変形予測精度のチェック(大変形、塑性計算の評価)
③	DFR 332/5 照射後試験結果の報告	1974	SN 841-74-25	局所的に過熱された316被覆管が内圧をうけたとき、どのように変形し破損するか解析した結果、PIEと一致した。
④	Theoretical analysis of the deformations. Produced in fast reactor cladding having local overheated zone.	1975	PNCT831-75-01	同上
⑤	Fuel-cladding Mechanical Interaction (Structural analysis by FEM)	1978	PNCT831-78-02	SUS316被覆管と半径方向にクラックを有するペレットとが固着した状態を保ちながら、ペレットが被覆管を押し抜ける際、被覆管に発生する異常応力を計算した。
⑥	Fuel-cladding Mechanical Interaction(II). (Structural analysis by FEM)	1979	PNCT831-79-01	同上 (但し被覆管とペレットとの間の摩擦係数をパラメータとして計算した)
⑦	Effect of temperature and Deformation rate on fracture strength of Sintered Uranium dioxide	1979	J. Nucl. Scie. and Tech vol 16, No 4 (1979)	ペレットの圧裂破壊法で使用される一般式の拡張精度を得るために応力分布を計算し、一般式と比較した。
⑧	燃料の炉内挙動に関するハルデン計画グループ拡大会議およびATR照射試験	1979	N 860-79-04	Zry-2被覆管と半径方向クラック入りペレットが接触する際に発生する異常応力(ひずみ)を解析した。
⑨	Friction coefficient Measurements and analysis of local stress/strain in Zry-2 cladding	1979	PNCT81-79-37	同上
⑩	"	1979	Enlarged Halden Programme group meeting on fuel performance Experiments and Evaluation. 1979. Session 3/4	同上
⑪	燃料／被覆管機械的相互作用に関する簡便モデル式I)	1979	SN 841-79-41	同上
⑫	常陽被覆管の減肉による応力の変化		Internal report	316被覆管の肉厚が均一、不均一に減肉されたとき、応力分布はどのように変化するかを解析した。

## 9 あとがき

近年、原子力の分野においてその安全性および開発する上で複雑な形状の物体の応力／ひずみ解析が必要とされている。有限要素法はいかなる形状の物体にもその応力／ひずみ解析が実行できる利点を持つため、その利用は原子力開発の分野に広がってきた。有限要素法で解析を行うためには高性能大容量のコンピュータが必要である。高性能大型コンピュータの出現により有限要素法は、ますます実用性が高まつた。

ここで示した“PLASTIC”コードは動燃東海事業所に設置されている中型コンピュータ(FACOM M-160型)で利用できるようになっており、必要に応じて短期間で応力／ひずみ解析ができるものである。最近、本コードを使用しての諸問題の応力／ひずみ解析の要望が多々あり、広範囲な利用を期して今回報告書としてまとめたものである。本コードは摩擦現象の取り扱いを例に見られるようにまだ充分に満足できるものとは言い難いが、弾塑性解析精度は高く、今後の広範囲な利用が期待できると考えられる。

また、引きつづき、所要計算時間の短縮化、摩擦現象取り扱い方法の改善などを計り、本コードの改良を進めていく必要がある。同時に本コードの拡大を行い、三次元PLASTICコードの開発を進める予定である。

最後に、本コード開発の指針を示された東海事業所プルトニウム燃料部小泉益通部長、同部開発課古屋広高課長代理(現在九州大学工学部教授)および有益な御助言を示された大成建設(株)吉村信敏氏およびCRC(株)中澤甫夫氏、小幡秀雄氏、構造計画研究所(株)永瀬寛氏に謝意を表します。

## 10 参 考 文 献

- 1) 戸川; 日本機械学会誌, vol. 82 (1979) P. 37
- 2) O. C. タイエンキーヴィッチ, Y. K. チューン (吉譯訳); マトリックス有限要素法, 培風館 (昭 46 )
- 3) 川田, 河本, 横堀, 宮川; 材料強度工学ハンドブック, 朝倉書店 (昭 47 )
- 4) 三本木, 吉村; コンピュータによる構造工学講座 I - 1 - B, 培風館 (昭 46 )
- 5) 樋口, 斎藤; 弾性および材料力学, 養賢堂 (昭 44 )
- 6) B. JAOUL (諸住, 舟久保訳); 金属の塑性, 丸善 (昭 44 )

添付資料 ..... PLASTICコードプログラムリスト

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000001      SUBROUTINE PLDATA(NELM,NNOD,NNL,X,Y,LEM,NL,SIGMA1,SIGMA2,THETA,
*                           EPS,DELTA,NDUMY)          00000010
*                                         00000020
C
000002      DIMENSION X(1),Y(1),DELTA(2,1),SIGMA1(1),SIGMA2(1),
*                           THETA(1),NL(1),LEM(NDUMY,1),EPS(NDUMY,1) 00000030
*                                         00000040
C
000003      WRITE(4) NELM,NNOD,NNL          00000050
000004      WRITE(4) (X(I),I=1,NNOD)        00000060
000005      WRITE(4) (Y(I),I=1,NNOD)        00000070
000006      WRITE(4) ((LEM(I,J),I=1,NELM),J=1,4) 00000080
000007      NNL2 = NNL*2                  00000090
000008      WRITE(4) (NL(I),I=1,NNL2)       00000100
000009      WRITE(4) (SIGMA1(I),I=1,NELM)    00000110
000010      WRITE(4) (SIGMA2(I),I=1,NELM)    00000120
000011      WRITE(4) (THETA(I),I=1,NELM)     00000130
000012      WRITE(4) (EPS(I,1),I=1,NNL)       00000140
000013      WRITE(4) (DELTA(1,I),I=1,NNOD)    00000150
000014      WRITE(4) (DELTA(2,I),I=1,NNOD)    00000160
C
000015      RETURN                      00000170
000016      END                         00000180
*                                         00000190
*                                         00000200
*                                         00000210

```

STATISTICS:PROGRAM NAME=PLDATA SOURCE CARDS= 21 PROGRAM SIZE= 1936(000790)  
 DATA SIZE= 552(000228) PROCEDURE SIZE= 1384(000568)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
 NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEQ,NODEBUG,  
 EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
 DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0



FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 MAIN DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

C
000046    IF( JSWTCH .EQ. 1 ) GO TO 20          00000940
C...  IF( JSWTCH = 0 ) NARABA YOUSO WA SHIKAKKEI DE 00000950
C...      ROUTINE(DELTA4) NI TOBU.                00000960
000047    CALL DELTA4( KAKOM , NELT , 500 , IMAT ) 00000970
000048    GO TO 21                                00000980
C...  IF( JSWTCH = 1 ) NARABA YOUSO WA SANKAKKEI DE 00000990
C...      ROUTINE(DELTA3) NI TOBU.                00001000
000049    20 CALL DELTA3( KAKOM , NELT , 500 , IMAT ) 00001010
000050    21 CONTINUE                            00001020
000051    CALL ZAHYO(X,Y,NODT,350)               00001030
000052    IF(NMAT.EQ.0)                           GO TO 11 00001040
000053    DO 16 I=1,NMAT                         00001050
000054    READ(5,28)   (WD(J),J=1,6)            00001060
000055    28 FORMAT(6E10.3)                      00001080
000056    DO 18 L=1,NELT                         00001090
000057    IF(IMAT(L).NE.1)                      GO TO 18 00001100
000058    E (L) = WD(1)                          00001110
000059    PO (L) = WD(2)                        00001120
000060    T (L) = WD(3)                         00001130
000061    SO (L) = WD(4)                         00001140
000062    SY (L) = WD(5)                         00001150
000063    AAA(L) = WD(6)                        00001160
000064    18 CONTINUE                            00001170
000065    16 CONTINUE                            00001180
000066    GO TO 14                                00001190
000067    11 DO 15 I=1,NELT                      00001200
000068    15 READ(5,28)   E(I),PO(I),T(I),SO(I),SY(I),AAA(I) 00001210
000069    14 CONTINUE                            00001220
000070    DO 17 I=1,NELT                         00001230
000071    SO(I)=SY(I)*(1.0-AAA(I)/E(I))        00001240
000072    17 CONTINUE                            00001250
000073    WRITE(6,445) NOP(1,1),NOP(2,1),NOP(3,1),NOP(4,1),EMU 00001260
000074    .445 FORMAT(1H0,10X,3HN1=,15.5X,3HE1=,15.5X,3HE2=,15.5X, 00001270
         13HMU=,F10.5)                         00001280
000075    IF(NCKC.GT.1) WRITE(6,446) ((NOP(I,J),I=1,4),J=2,NCKC) 00001290
000076    446 FORMAT(14X,15.8X,15.8X,15.8X,15)           00001300
000077    READ(5,10) (NOKX(I),I=1,KOX)           00001310
000078    READ(5,10) (NOKY(I),I=1,KOY)           00001320
000079    NT=NODT*2                                00001330
000080    DO 30 I=1,NT                            00001340
000081    30 F(I)=0.                             00001350
000082    DO 35 I=1,NF                            00001360
000083    READ(5,40) NO,FX,FY                   00001370
000084    40 FORMAT(15.5X2F10.3)                 00001380
000085    F(2*NO-1)=FX                          00001390
000086    35 F(2*NO)=FY                         00001400
000087    IF(IWH.EQ.0) GO TO 444                00001410
000088    READ(5,111) ANGL,NANGL,(NOANGL(I),I=1,NANGL) 00001420
000089    111 FORMAT(F10.1,15/(1515))           00001430
000090    WRITE(6,899) ANGL,NANGL,(NOANGL(I),I=1,NANGL) 00001440
000091    899 FORMAT(1H0,3X,7HANGLE =,F10.2,5X,7HNANGL =,15//2X, 00001450
         1 52H***** FIXED NODAL POINT IN THETA-DIRECTION ***** // 00001460
         2 (1X,20I5))
C      ***** DATA PRINT *****
000092    444 WRITE(6,45) NODT,NELT,KOX,KOY,NF 00001480
000093    45 FORMAT(1H0,3X5HNODT=13,3X5HNELT=13,3X4HKOX=13,3X4HKOY=13 00001490
         1,3X3HNF=13)                           00001500
000094    DO 772 NE=1,NELT                      00001520
000095    NPLAS(NE)=0                          00001530
000096    NSLIP(NE)=0                          00001540
000097    772 CONTINUE                            00001550
000098    501 LOOP = LOOP + 1                  00001560
000099    IF(IRINT.NE.1.ANDLOOP.NE.1)          GO TO 105 00001570
000100    WRITE(6,49)   LOOP                  00001580
000101    49 FORMAT(1H1,//////,5X,17HITERATION COUNT =,15) 00001590
000102    WRITE(6,657)                         00001600
000103    657 FORMAT(1H1,/////////1X,8HELEM,NO.,8X,8HNODE NO.,3X,9HTHICKNESS,1X, 00001610
         110HELASTIC M.,1X,10HPOISSON.R.,2X,7HSIGMA 0.2X,10HY,STRENGTH, 00001620
         21X,11HSTRAIN HARD/)                   00001630
000104    60 FORMAT( 1H , 15 , 5X , 415 , 6F10.3 ) 00001640
000105    N=0                                    00001650
000106    DO 56 I=1,NELT                      00001660
000107    N=1+N                                00001670
000108    IF(N.NE.51) GO TO 55                00001680
000109    WRITE(6,657)                         00001690
000110    N=1                                    00001700
000111    55 TI = T(I)                          00001710
000112    EI = E(I)                            00001720
000113    POI = PO(I)                          00001730
000114    WRITE(6,60) I,(KAKOM(I,J),J=1,4),TI,EI,POI,SO(I),SY(I),AAA(I) 00001740
000115    56 CONTINUE                            00001750

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 MAIN DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000116      WRITE(6,72)                                     00001760
000117      72 FORMAT(1H0,1X48H***** FIXED NODAL POINT IN X-DIRECTION *****) 00001770
000118      WRITE(6,74) (NOKX(I),I=1,KOK)                00001780
000119      74 FORMAT(1H0,20I5)                           00001790
000120      WRITE(6,76)                                     00001800
000121      76 FORMAT(1H0,1X48H***** FIXED NODAL POINT IN Y-DIRECTION *****) 00001810
000122      WRITE(6,74) (NOKY(I),I=1,KOY)                00001820
000123      WRITE(6,78)                                     00001830
000124      WRITE(6,80)                                     00001840
000125      78 FORMAT(1H1,/////,1X,48H***** DIMENSION(X,Y) AND FORCE(FX,FY)) 00001850
1*****)
000126      80 FORMAT(1H0,14X4HX(I),6X4HY(I),6X5HFX(I),5X5HFY(I)/)        00001860
000127      NM=0                                         00001870
000128      DO 83 I=1,NODT                           00001880
000129      NM=1+NM                                     00001890
000130      IF(NM,NE,51) GO TO 81                      00001900
000131      WRITE(6,78)                               00001910
000132      WRITE(6,80)                               00001920
000133      NM=1                                         00001930
000134      81 WRITE(6,82) (I,X(I),Y(I),F(2*I-1),F(2*I)) 00001940
000135      82 FORMAT(1H ,15,5X4F10.3)                 00001950
000136      83 CONTINUE                                00001960
C...***** ASSEMBLY OF ELEMENT STIFFNESS MATRIX *****
000137      105 DO 110 I=1,350                         00001970
000138      110 NB(I) = 0                                00001980
000139      IF(LOOP,NE,1)                               GO TO 145 00001990
000140      LIJ=1                                         00002000
000141      DO 115 I=1,NELT                           00002010
000142      IF( KAKOM(I,4) .EQ. 0 ) GO TO 2000          00002020
C...  YOUSOGA SHIKAKKEI NARABA ISWTCH = 4 TO SURU. 00002030
000143      ISWTCH = 4                                00002040
000144      GO TO 2010                                00002050
C...  YOUSOGA SANKAKKEI NARABA ISWTCH = 3 TO SURU. 00002060
000145      2000 ISWTCH = 3                            00002070
000146      2010 CONTINUE                                00002080
000147      DO 115 J =1,ISWTCH                         00002090
000148      K = KAKOM(I,J)                           00002100
000149      115 NB(LIJ+K-1) = NB(LIJ+K-1) + 1          00002110
000150      NUNIT = 0                                 00002120
000151      NE1 = 1                                   00002130
000152      120 I = 1                                 00002140
000153      KF(I)=KAKOM(NE1,1)                         00002150
000154      DO 130 J=NE1,NELT                         00002160
000155      JJ = J                                   00002170
000156      IF( KAKOM(J,4) .EQ. 0 ) GO TO 2020          00002180
000157      ISWTCH = 4                                00002190
000158      GO TO 2030                                00002200
000159      2020 ISWTCH = 3                            00002210
000160      2030 CONTINUE                                00002220
000161      DO 130 L=1,ISWTCH                         00002230
000162      III = KAKOM(J,L)                           00002240
000163      DO 125 M=1,I                             00002250
000164      IF( III.EQ.KF(M)) GO TO 130               00002260
000165      125 CONTINUE                                00002270
000166      I = I + 1                                 00002280
000167      IF(I.GT.NUT) GO TO 135                  00002290
000168      KF(I)=III                                00002300
000169      130 CONTINUE                                00002310
000170      NUNIT = NUNIT + 1                          00002320
000171      IUT(NUNIT) = NELT                         00002330
000172      GO TO 140                                00002340
000173      135 NUNIT = NUNIT + 1                      00002350
000174      IUT(NUNIT) = JJ - 1                        00002360
000175      NE1 = JJ                                 00002370
000176      GO TO 120                                00002380
000177      140 WRITE(6,920) NUNIT,(IUT(I),I=1,NUNIT) 00002390
000178      920 FORMAT(10H UNIT = I10/(10!10))        00002400
000179      DO 143 I=1,NODT                           00002410
000180      143 IMAT(I) = NB(LIJ+I-1)                  00002420
000181      GO TO 149                                00002430
000182      145 DO 147 I=1,NODT                         00002440
000183      147 NB(LIJ+I-1) = IMAT(I)                  00002450
000184      149 CONTINUE                                00002460
C... TAPE3 O REWIND SURU.                         00002470
000185      REWIND 3                                  00002480
000186      CALL FORMK(SF,KF,NB,SZ,PF)                00002490
000187      CALL FORWD(SF,PF,KF,MF,SX,YS,SZ,DIS,SS,100,NOKX,NOKY) 00002500
000188      DO 150 I=1,NT                            00002510
000189      150 REAC(I) = 0.0                           00002520
C... TAPE3 O REWIND SURU.                         00002530
000190      REWIND 3                                  00002540
000191      REWIND 3                                  00002550
000192      REWIND 3                                  00002560

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 MAIN DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000191      DO 155 NE=1,NELT          00002570
C...  YOUSO GA SHIKAKKEI NO TOKI ( ISWTCH = 4 ) TO SURU. 00002580
C...  YOUSO GA SANKAKKEI NO TOKI ( ISWTCH = 3 ) TO SURU. 00002590
000192      IFC( KAKOM(NE,4) .EQ. 0 ) GO TO 2040           00002600
000193      ISWTCH = 4                           00002610
000194      ISWTC2 = 2*ISWTCH                   00002620
000195      GO TO 2050                         00002630
000196  2040 CONTINUE                      00002640
000197      ISWTCH = 3                           00002650
000198      ISWTC2 = 2*ISWTCH                   00002660
000199  2050 CONTINUE                      00002670
C...  TAPE3 KARA (STR)-MATRIX O YOMU.        00002680
C...  TAPE3 KARA (SM)-MATRIX O YOMU.        00002690
000200      READ( 3 ) STR , SM                 00002700
000201      XC=0.                           00002710
000202      YC=0.                           00002720
000203      DO 160 I=1,ISWTCH                00002730
C...  IA=KAKOM(NE,I)
000204      XC=XC+X(IA)                     00002740
000205      XC=YC+Y(IA)                     00002750
000206      YC=YC+Y(IA)                     00002760
000207      WD(2*I-1)=DIS(2*IA-1)           00002770
000208  160 WD(2*I)=DIS(2*IA)             00002780
000209      DO 165 I=1,3                  00002790
000210      WS(I)=0.                         00002800
000211      DO 165 K=1,ISWTC2              00002810
000212  165 WS(I)=WS(I)+STR(I,K)*WD(K)  00002820
000213      DO 170 I=1,3                  00002830
000214  170 TSM(NE,I)=WS(I)               00002840
000215      CALL PRST(WS(1),WS(2),WS(3),SA,SB,A) 00002850
000216      TSM(NE,4)=SA                  00002860
000217      TSM(NE,5)=SB                  00002870
000218      TSM(NE,6)=A                  00002880
000219      SG(NE)=SQRT(((TSM(NE,4)-TSM(NE,5))**2+TSM(NE,4)**2+TSM(NE,5)**2)/200002890 00002890
4,
000220      IF(NSLIP(NE),EQ.3) GO TO 174       00002900
C ++++++++
000221      Y2(NE)=SG(NE)*100./E(NE)         00002901
000222      TA(NE)=SG(NE)/E(NE)            00002910
000223      PL(NE)=(SO(NE)+(AAA(NE)*SG(NE)/E(NE)))/SG(NE) 00002920
000224      IF(NPLAS(NE),EQ.1) GO TO 771       00002930
000225      IF(NSLIP(NE),EQ.3) GO TO 174       00002940
000226      EPO(NE)=SY(NE)/E(NE)            00002950
000227      SSO(NE)=SY(NE)**2/E(NE)          00002960
000228      SS1(NE)=SG(NE)**2/E(NE)          00002970
000229      BB(NE)=SY(NE)-SY(NE)*AAA(NE)/E(NE)+SO(NE) 00002980
000230      CC(NE)=-(SO(NE)*SY(NE)+SG(NE)**2)/E(NE) 00002990
000231      EPS(NE)=(-BB(NE)+SQRT(BB(NE)**2-4*AAA(NE)*CC(NE)))/2/AAA(NE) 00003000
000232      SIG(NE)=SO(NE)+AAA(NE)*EPS(NE) 00003010
000233      GY(NE)=SIG(NE)/EPS(NE)          00003020
000234      C
000235      SS2(NE)=(SY(NE)+SIG(NE))*(EPS(NE)-EPO(NE))/2+SSO(NE) 00003030
000236      C
000236      DRA(NE)=SS1(NE)/SS2(NE)          00003040
000237      C
000237      Y2(NE)=TA(NE)*100               00003050
000238      SIG(NE)=ESIG(NE)                00003060
000238      GG(NE)=GY(NE)                  00003070
000239      C
000239      IF(SY(NE).GE.SG(NE)) PL(NE)=1.0 00003080
000240      IF(SY(NE).GE.SG(NE)) SIG(NE)=SG(NE) 00003090
000241      GO TO 471                      00003100
000242  771 CONTINUE                      00003110
000243      C
000243      IF(SY(NE).GE.SG(NE)) SIG(NE)=SG(NE)/E(NE) 00003120
000244      C
000244      X1(NE)=SG(NE)/GG(NE)          00003130
000245      C
000245      X2(NE)=SO(NE)/(GG(NE)-AAA(NE)) 00003140
000246      C
000246      Y1(NE)=SG(NE)                00003150
000247      C
000247      Y3(NE)=SG(NE)/GG(NE)+AAA(NE)+SO(NE) 00003160
000248      C
000248      SMEN1(NE)=0.5*ABS(X2(NE)*Y3(NE)-X2(NE)*Y1(NE)+X1(NE)*Y1(NE)) 00003170
000249      C
000249      FACB(NE)=2*Y3(NE)            00003180
000250      C
000250      FACC(NE)=2*SMEN1(NE)          00003190
000251      C
000251      EPX(NE)=(-FACB(NE)+SQRT(FACB(NE)**2-4*FACA(NE)*FACC(NE)))/ 00003200
000252      C
000252      3FACA(NE)/2                00003210
000253      C
000253      ESIG(NE)=SO(NE)+AAA(NE)*(X1(NE)+EPX(NE)) 00003220
000254      C
000254      TA(NE)=EPX(NE)+SG(NE)/GG(NE) 00003230
000255      C
000255      GG(NE)=ESIG(NE)/TA(NE)          00003240
000256      C
000256      IF(NSLIP(NE),EQ.3) GG(NE)=GG(NE)*0.90 00003250

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 MAIN DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000256      PL(NE)=SIG(NE)/SG(NE)          00003360
000257      Y2(NE)=TA(NE)*100            00003370
000258      IF(SY(NE).GE.SG(NE)) PL(NE)=1.0 00003380
000259      IF(SY(NE).GE.SG(NE)) SIG(NE)=SG(NE) 00003390
000260      174 IF(NSLIP(NE).EQ.3) E(NE)=GK(NE) 00003400
000261      471 CONTINUE                  00003410
000262      DO 180 I=1,ISWTC2            00003420
000263      WS(I)=0.                      00003430
000264      DO 180 K=1,ISWTC2            00003440
000265      180 WS(I)=WS(I)+SM(I,K)*WD(K) 00003450
000266      DO 185 I=1,ISWTCH            00003460
000267      IA=KAKOM(NE,I)              00003470
000268      DO 185 J=1,2                00003480
000269      IR=2*(IA-1)+J              00003490
000270      IW=2*(I-1)+J              00003500
000271      185 REAC(IR)=REAC(IR)+WS(IW) 00003510
000272      BETA=ATAN2(YC,XC)          00003520
000273      SBB=SIN(BETA)             00003530
000274      CBB=COS(BETA)             00003540
000275      SB2=SB2**2                 00003550
000276      CB2=CB2**2                 00003560
000277      SC2=SBB*CBB               00003570
000278      FFR=CB2*TSM(NE,1)+SB2*TSM(NE,2)+2.*SC2*TSM(NE,3) 00003580
000279      FFT=SB2*TSM(NE,1)+CB2*TSM(NE,2)-2.*SC2*TSM(NE,3) 00003590
000280      TSM(NE,7)=FFR              00003600
000281      TSM(NE,8)=FFT              00003610
000282      TSM(NE,9)=ABS(FFT/FFR)    00003620
000283      155 CONTINUE                  00003630
000284      DO 808 NE=1,NELT            00003640
000285      IF(SY(NE).GT.SG(NE)) 402,402,401 00003650
000286      402 CONTINUE                  00003660
000287      NPLAS(NE)=1                00003670
000288      E(NE)=GG(NE)              00003680
000289      PO(NE)=0.5                 00003690
000290      PP(NE)=0.5                 00003700
000291      401 CONTINUE                  00003710
000292      808 CONTINUE                  00003720
000293      S=1.01                     00003730
000294      DO 809 NE=1,NELT            00003740
000295      IF(S.GT.PL(NE)) S=PL(NE) 00003750
000296      IF(PL(NE).GT.0.990) GO TO 510 00003760
000297      NPLAS(NE)=1                00003770
000298      E(NE)=GG(NE)              00003780
000299      PO(NE)=0.5                 00003790
000300      PP(NE)=0.5                 00003800
000301      510 IF(PL(NE).GT.0.99) PL(NE)=1.0 00003810
000302      809 CONTINUE                  00003820
000303      IF(IRINT.GT.1) WRITE(6,6000) LOOP,S,ITER 00003830
000304      6000 FORMAT(' LOOP,S,ITER',I10,E13.5,I10) 00003840
000305      IF(S.GT.0.990) GO TO 666 00003850
000306      332 IF(IRINT-1) 501,820,810 00003860
000307      810 CONTINUE                  00003870
000308      WRITE(6,314)                00003880
000309      314 FORMAT(1H1//,' *** STRESS RATIO AND PLASTIC MODULOUS ***') 00003890
000310      1   /3(' ELEM.NO.      RATIO      PLASTIC M.') 00003900
000311      WRITE(6,316) (I,TSM(I,9),E(I),I=1,NELT) 00003910
000312      316 FORMAT(3(I11,2E13.5)) 00003920
000313      C CALL RSYSSEC(RES)          00003930
000314      C IF(RES.LE.60.) GO TO 820 00003940
000315      820 CONTINUE                  00003950
000316      C ***** PRINT OF CALCULATION RESULT ***** 00003960
000317      WRITE(6,200)                00003970
000318      200 FORMAT(1H1,////,1H0,1X,41H***** DISPLACEMENT AND LOAD *****) 00003980
000319      1***)
000320      210 FORMAT(1H ,I5,5X4E15.4) 00004000
000321      WRITE(6,205)                00004010
000322      205 FORMAT(1H0,1X8HNODF NO.,9X1HU,14X1HV,13X2HRX,13X2HRY/) 00004020
000323      NMM=0                      00004030
000324      DO 206 I=1,NODT            00004040
000325      NMM=1+NMM                  00004050
000326      IF(NMM.NE.51) GO TO 207 00004060
000327      207 WRITE(6,210) (I,DIS(2*I-1),DIS(2*I),REAC(2*I-1),REAC(2*I)) 00004070
000328      206 CONTINUE                  00004080
000329      WRITE(6,215)                00004090
000330      215 FORMAT(1H1,////,1H0,1X,47H***** STRESS AND PRINCIPAL STRESS 00004100
1*****)
                                         00004110
                                         00004120
                                         00004130
                                         00004140
                                         00004150
                                         00004160

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 MAIN DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000331    220 FORMAT(1H0,'ELEM.NO.      SX      SY      SXY      S1  00004170
1          S2      ANGLE     S(N)     S(T)     ICKC   S(T)/S(00004180
2N)     NO')/)
000332    230 FORMAT(1X,I5,5E13.5,F7.1,2X,2E13.5,3X,A1,3X,F9.3,1X,[5]      00004190
000333      NNM=0      00004200
000334      DO 216 I=1,NELT      00004210
000335      NNM=1+NNM      00004220
000336      ICKC=1H      00004230
000337      IF(TSM(I,9).GT.EMU) ICKC=iH#      00004240
000338      IF(NNM.NE.51) GO TO 225      00004250
000339      WRITE(6,215)      00004260
000340      WRITE(6,220)      00004270
000341      NNM=1      00004280
000342      225 WRITE(6,230) I,(TSM(I,J),J=1,8),ICKC,TSM(I,9)      00004290
000343      216 CONTINUE      00004310
000344      572 FORMAT(1H1,/////,1H0,1X,53H***** EQUIVALENT STRESS AND APP. S00004320
1TRAIN *****)
000345      WRITE(6,572)      00004330
000346      WRITE(6,527)      00004340
000347      527 FORMAT(1H0,1X,8HELEM.NO.,4X,BHE,STRESS,6X,10HPLASTIC M.,5X,9HITERA00004360
1TION,6X,10H( STRAIN /))
000348      900 FORMAT(1H ,I5,5X,F10.4,5X,F12.4,3X,F10.4,5X,E12.4)      00004380
000349      NNM=0      00004390
000350      DO 902 NE=1,NELT      00004400
000351      NNM=1+NNM      00004410
000352      IF(NNM.NE.51) GO TO 901      00004420
000353      WRITE(6,572)      00004430
000354      WRITE(6,527)      00004440
000355      NNM=1      00004450
000356      901 WRITE(6,900) NE,SG(NE),E(NE),PL(NE),TA(NE)      00004460
000357      902 CONTINUE      00004470
C       CALL RSYSSSEC(RES)      00004480
C       IF(RES.LE.60.) GO TO 993      00004490
000358      GO TO 501      00004500
000359      666 KONV=0      00004510
000360      TOSG=0      00004520
000361      IF(NCKC.EQ.0) GO TO 993      00004530
000362      DO 981 J=1,NCKC      00004531
000363      DO 982 II=1,MGAP      00004532
000364      KK=NOP(II,J)      00004533
000365      TOSG=TOSG+SG(KK)      00004534
000366      982 CONTINUE      00004535
000367      981 CONTINUE      00004536
000368      AVSG=TOSG/FLOAT(NCKC)/FLOAT(MGAP)      00004537
C*****#
C*****#
000369      DO 515 J=1,NCKC      00004538
000370      DO 516 II=1,MGAP      00004539
000371      KK=NOP(II,J)      00004540
C*** TOSG=TOSG+SG(KK)      00004550
C*** CKC=FLOAT(NCKC)      00004560
C*** CGAP=FLOAT(MGAP)      00004570
C*** AVSG=TOSG/CKC/CGAP      00004580
000372      SLSG(KK)=AVSG/SG(KK)      00004590
000373      IF(SLSG(KK).GE.1.0) SLSG(KK)=1.0      00004600
000374      516 CONTINUE      00004610
000375      515 CONTINUE      00004620
C *****#
000376      IF(NCKC.EQ.0) GO TO 993      00004630
000377      DO 664 J=1,NCKC      00004640
000378      DO 308 II=1,MGAP      00004650
000379      KK = NOP(II,J)      00004660
000380      IF(TSM(KK,9).GT.EMU) GO TO 309      00004670
C *****#
000381      308 CONTINUE      00004680
000382      GO TO 664      00004690
000383      309 CONTINUE      00004700
000384      KONV = 1      00004710
000385      DO 514 II=1,MGAP      00004720
000386      KK = NOP(II,J)      00004730
000387      NE = KK      00004740
000388      FPNC = SLSG(KK)*EMU/TSM(KK,9)      00004750
000389      GK(KK) = E(KK)*FPNC      00004760
C      SO(KK) = SY(KK)*(1.-AAA(KK)/E(KK))      00004770
000390      NSLIP(NE)=3      00004780
C *** E(NE) = GG(NE)      00004790
000391      514 CONTINUE      00004800
000392      664 CONTINUE      00004810
000393      663 CONTINUE      00004820
000394      ITER=ITER+1      00004830
C ++++++++

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 MAIN DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000395 IF(IRINT.EQ.0) GO TO 983          00004862
C ++++++*****+++++*****+
000396 WRITE(6,513)                      00004863
000397 513 FORMAT(1H1,11X,4HELEM,3X,7HE0,STRE,8X,2HGK,13X,4HTSM9,6X,4HSLSG,/0) 00004870
000398 DO 512 NE=1,NELT                  00004871
000399 WRITE(6,511) NE,SG(NE),E(NE),TSM(NE,9),SLSG(NE) 00004872
000400 511 FORMAT(6X,I5,5F15.4)           00004873
000401 512 CONTINUE                      00004874
000402 WRITE(6,509) TOSG,NCKC,MGAP,AV56  00004875
000403 509 FORMAT(1H ,10X,6HTO SG=,F10.4,3X,5HNCKC=,I5,3X,5HMGAP=,I5
1,3X,6HAV SG=,F10.4)                 00004876
C
C IF(RES.LE.60.) GO TO 993          00004877
000404 983 IF(ITER.GE.40) GO TO 993      00004878
000405 IF(KONV,NE.0) GO TO 105        00004879
000406 993 DO 1100 I=1,NODT            00004900
000407 XX(I)=X(I)+DIS(2*I-1)         00004910
000408 YY(I)=Y(I)+DIS(2*I)           00004920
000409 1100 CONTINUE                  00004930
000410 IF(IENG,EQ.0) GO TO 606        00004940
000411 WRITE(6,966) LOOP              00004950
000412 966 FORMAT(24H1PLASTIC ITERATION COU.=I5//)    00004960
000413 WRITE(6,668)                  00004970
000414 668 FORMAT(1H0,1X,7HSEN,NO.,3X,9HNODE-NODE,10X,10HLENGTH(MM),5X,
11HLENGTH(MM),5X,10HLENGTH(MM),5X,10HLENGTH(MM),5X,10HSEN-HIZUMI,
23X,10HSEN-HIZUMI,4X,9HNODE-NODE/) 00004980
000415 WRITE(6,669)                  00005000
000416 669 FORMAT(32X,4HPRE.,10X,5HAFTER,12X,4HPRE.,11X,5HAFTER,8X,
19H(PERCENT),4X,9H(PERCENT))       00005010
000417 IF(NST,NE.NST0) GO TO 710      00005020
000418 READ(5,10) LMAX               00005030
000419 READ(5,12) (IIMAT(2*L-1),IIMAT(2*L),L=1,LMAX) 00005040
000420 12 FORMAT(14I5)                00005050
000421 710 CONTINUE                  00005060
000422 DO 667 L=1,LMAX               00005070
000423 NLA = IIMAT(2*L-1)             00005080
000424 NLB = IIMAT(2*L)              00005090
000425 IF(NLA*NLB,EQ.0)             GO TO 667 00005100
000426 SEN1(L)=SQRT((X(NLA)-X(NLB))**2+(Y(NLA)-Y(NLB))**2) 00005110
000427 SEN2(L)=SQRT((XX(NLA)-XX(NLB))**2+(YY(NLA)-YY(NLB))**2) 00005120
000428 HIZU(L)=(SEN2(L)-SEN1(L))*100./SEN1(L) 00005130
000429 WRITE(6,700) L,NLA,NLB,SEN1(L),SEN2(L),SEN1(L),SEN2(L),HIZU(L),
1HIZU(L),NLA,NLB 00005140
000430 700 FORMAT(I5,5X,215,10X,E11.4,4X,E11.4,4X,F10.7,5X,F10.7,4X,E11.4,3
1X,F10.4,3X,215) 00005150
000431 667 CONTINUE                  00005160
000432 606 IF(IENG,NE.0)             GO TO 301 00005170
000433 WRITE(6,290) LOOP              00005180
000434 290 FORMAT(24H1PLASTIC ITERATION COU.=I5//1H0,1X
1,41H***** DISPLACEMENT AND LOAD ***** ) 00005190
000435 GO TO 302                  00005200
000436 301 WRITE(6,300)              00005210
000437 302 CONTINUE                  00005220
000438 300 FORMAT(1H1,////,1H0,1X,41H***** DISPLACEMENT AND LOAD *****) 00005230
000439 1***)
000440 310 FORMAT(1H ,I5,5X4E15.4,8X2F10.5,5X,I5) 00005240
000441 WRITE(6,305)                00005250
000442 305 FORMAT(1H0,1X8HNODE NO.,9X1HU,14X1HV,13X2HRX,13X2HRY,19X3HX+U,7
1X,3HY+V/) 00005260
000443 LN=0                         00005270
000444 DO 311 I=1,NODT              00005280
000445 LN=1+LN                      00005290
000446 IF(LN,NE.51) GO TO 312      00005300
000447 WRITE(6,300)                00005310
000448 WRITE(6,305)                00005320
000449 LN=1                         00005330
000450 312 WRITE(6,310) (I,DIS(2*I-1),DIS(2*I),REAC(2*I-1),REAC(2*I),
2XX(I),YY(I),I) 00005340
000451 311 CONTINUE                  00005350
000452 WRITE(6,315)                00005360
000453 315 FORMAT(1H1,////,1H0,1X,47H***** STRESS AND PRINCIPAL STRESS 00005370
1*****)
000454 WRITE(6,220)                00005380
000455 320 FORMAT(1H0,1X8HELEM,NO.,7X2HSX,11X2HSY,11X3HSXY,15X2HS1,11X2HS2,
110X5HANGLE/) 00005390
000456 330 FORMAT(I5,5X3E13.4,5X2E13.4,F10.1,5X,I5) 00005400
000457 LN=0                         00005410
000458 DO 326 I=1,NELT              00005420
000459 ICKC=1H                      00005430
000460 IF(TSM(I,9),GT,EMU) ICKC=1H* 00005440
000461 IF(NL,NE.51) GO TO 325      00005450

```

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09      MAIN      DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

000461      WRITE(6,315)                                     00005570
000462      WRITE(6,220)                                     00005580
000463      NLL=1                                         00005590
000464      325 WRITE(6,230) I,(TSM(I,J),J=1,8),ICKC,TSM(I,9),I 00005600
000465      326 CONTINUE                                    00005610
000466      WRITE(6,607)                                     00005620
000467      607 FORMAT(1H1,////,,1H0,1X,53H***** EQUIVALENT STRESS AND APP. S00005630
     1TRAIN *****)
000468      WRITE(6,537)                                     00005640
000469      537 FORMAT(1H0,1X,8HELEM,NO.,4X,8HE-STRESS,6X,10HPLASTIC M.,5X,9HITERA00005660
     1TION,4X,14H(FINAL STRAIN),6X,8HSTRAIN %,7X,3HNO /) 00005670
000470      660 FORMAT(1H ,15,5X,F10.4,5X,F12.4,3X,F10.4,5X,E12.4,5X,F10.4,5X,15) 00005680
000471      NLL=0                                         00005690
000472      DO 538 NE=1,NELT                                00005700
000473      NLL=1+NLL                                     00005710
000474      IF(NLL.NE.51) GO TO 608                      00005720
000475      WRITE(6,607)                                     00005730
000476      WRITE(6,537)                                     00005740
000477      NLL=1                                         00005750
000478      608 WRITE(6,660) NE,SG(NE),E(NE),PL(NE),TA(NE),Y2(NE),NE 00005760
000479      538 CONTINUE                                    00005770
000480      IF(ILENG.EQ.0) GO TO 1234                     00005780
000481      TOHI=0                                         00005790
000482      DO 4321 L=ILENG,NIT                           00005800
000483      4321 TOHI=TOHI+HIZU(L)                         00005810
000484      TAC=FLOAT(ILENG)                            00005820
000485      CAT=FLOAT(NIT)                             00005830
000486      TAB=CAT-TAC+1                            00005840
000487      SHEI=TOHI/TAB                            00005850
000488      WRITE(6,555) ILENG,NIT,SHEI,AVSG           00005860
000489      555 FORMAT(1H0,10X,15,5X,15,5X,18HAV HIZUM(PERCENT)=,F10.5,10X,
     131HAV EQ. STRESS OF LAYER(FINAL) =,F10.5)        00005870
C ++++++*****+
000490      1234 IF(NIT.EQ.0) GO TO 334                00005872
000491      WRITE(6,333) ITER,EMU                         00005880
000492      333 FORMAT(1H0,10X,16HFRIC,SLIP COUNT=,15,10X,11HFRIC, COE =,F7.3) 00005900
000493      IF(NDEL.EQ.0) GO TO 334                     00005910
000494      IF(NST.NE.NSTO) GO TO 711                  00005920
000495      READ(5,122) IHENI                           00005930
000496      READ(5,123) (INO(LNO),LNO=1,IHENI)          00005940
000497      711 CONTINUE                                 00005950
000498      122 FORMAT(I5)                               00005960
000499      123 FORMAT(14I5)                            00005970
000500      DO 124 LNO=1,IHENI                         00005980
000501      DELTAD(LNO)=SQRT((XX((INO(LNO))-X(INO(LNO)))**2+(YY((INO(LNO))
     + - Y(INO(LNO)))**2))**2)                      00005990
000502      D(LNO)=SQRT(X((INO(LNO))**2+Y((INO(LNO))**2))**2) 00006010
000503      DBAID(LNO)=(DELTAD(LNO)/D(LNO))*100.        00006020
000504      124 CONTINUE                                00006030
000505      TODEL=0                                      00006040
000506      DO 1007 LNO=1,IHENI                         00006050
000507      1007 TODEL=TODEL+DBAID(LNO)                 00006060
000508      TIHE=FLOAT(IHENI)                           00006070
000509      AVDBAI=TODEL/TIHE                          00006080
000510      WRITE(6,556)                                00006090
000511      556 FORMAT(1H ,10X,27HDELTAD/D PAIR NO. OF PELLET) 00006100
000512      WRITE(6,558) IHENI                         00006110
000513      558 FORMAT(1H0,/,15X,15)                   00006120
000514      WRITE(6,559)                                00006130
000515      559 FORMAT(1H ,3X,2HNO,3X,4HPAIR,8X,6HDELTAD,9X,1HD,7X,11HDELTAD/D(%)) 00006140
000516      DO 557 LNO=1,IHENI                         00006150
000517      WRITE(6,701) LNO,INO(LNO),DELTAD(LNO),D(LNO),DBAID(LNO) 00006160
000518      701 FORMAT(15,3X,15,4X,F10.5,3X,F10.5,5X,F10.5) 00006170
000519      557 CONTINUE                                00006180
000520      WRITE(6,702) AVDBAI                         00006190
000521      702 FORMAT(1H0,/,10X,23H*** AV. OF DELTAD/D(%)=,F10.5,4H *** ) 00006200
000522      334 WRITE(6,486)                           00006210
000523      486 FORMAT(1H0,/,1X,89HENENDEND 55.9.2.(3),FPNC=AVSG/SG*MU/(TSM9)
     1IF(AV/SG.GE.1) >>> 1.00 ** PLASTIC*** ) 00006220
000524      CALL CLOCK(ITIME)                         00006230
000525      WRITE(6,487) ITIME                         00006240
000526      487 FORMAT(1H0,/,10X,10H***** CPU=,I5,10H SEC *****) 00006250
000527      IF(NSTRES.EQ.1) GO TO 336                00006260
000528      NST=NST-1                                  00006270
000529      IF(NST.EQ.1) GO TO 336                  00006280
000530      EMU=FMU(NST)                            00006290
000531      ICNTC=ICNTC+1                            00006300
000532      WRITE(6,340) EMU                         00006320
000533      340 FORMAT(1H1,/,1X,15H*** FRIC,COE.=,F10.5,1X,4H*** ) 00006330
000534      GO TO 1000                                00006340
000535      336 CONTINUE                                00006350

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 MAIN DATE 80.09.17 TIME 17.29.14  
000536 CALL PLDATA(NELT,NODT,LMAX,X,Y,KAKOM,TIMAT,TSM(1,4),TSM(1,5)) 00006360  
1 ,TSM(1,6),HIZU,DIS,500) 00006370  
000537 STOP 00006380  
000538 END 00006390

DIAGNOSTIC MESSAGES FLAG(1),NAME=MAIN

JMK034I-1 191 THE VALUE OF THE DO PARAMETER POSSIBLY BE CHANGED IN THIS DO RANGE (NELT)

STATISTICS:PROGRAM NAME=MAIN SOURCE CARDS= 655 PROGRAM SIZE= 26224(006670)  
DATA SIZE= 12928(003280) PROCEDURE SIZE= 13296(0033F0)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEQ,NODEBUG,  
EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

1 DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09

DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

C      **** SUBROUTINE OF STIFFNESS MATRIX FOR DIMENSIONAL PROBLEM **** 00006400
000001      SUBROUTINE PLANSM(NSTRES,NE,KAKOM,X,Y,T,SM,STR,NODT,NELT) 00006410
000002      DIMENSION KAKOM(500,4),X(350),Y(350),T(500),SM(8,8),STR(3,8) 00006420
000003      1      ,B(3,8),D(3,3),W(2,2) 00006430
000004      COMMON/PL1/ W,E(500),G(500),GG(500),PO(500),PP(500) 00006440
000005      I=KAKOM(NE,1) 00006450
000006      J=KAKOM(NE,2) 00006460
000007      K=KAKOM(NE,3) 00006470
000008      X1=X(I) 00006480
000009      XJ=X(J) 00006490
000010      XK=X(K) 00006500
000011      Y1=Y(I) 00006510
000012      YJ=Y(J) 00006520
000013      YK=Y(K) 00006530
000014      AREA=0.5*((XK-XJ)*YI+(X1-XK)*YJ+(XJ-X1)*YK) 00006540
000015      IF(AREA.LE.0.) GO TO 100 00006550
000016      DO 10 I=1,3 00006560
000017      DO 10 J=1,6 00006570
000018      10 B(I,J)=0. 00006580
000019      B(1,1)=YJ-YK 00006590
000020      B(1,3)=YK-YI 00006600
000021      B(1,5)=YI-YJ 00006610
000022      B(2,2)=XK-XJ 00006620
000023      B(2,4)=XI-XK 00006630
000024      B(3,1)=B(2,2) 00006640
000025      B(3,2)=B(1,1) 00006650
000026      B(3,3)=B(2,4) 00006660
000027      B(3,4)=B(1,3) 00006670
000028      B(3,5)=B(2,6) 00006680
000029      B(3,6)=B(1,5) 00006690
000030      DO 15 I=1,3 00006700
000031      DO 15 J=1,6 00006710
000032      15 B(I,J)=B(I,J)*0.5/AREA 00006720
000033      DO 20 I=1,3 00006730
000034      DO 20 J=1,3 00006740
000035      20 D(I,J)=0.0 00006750
000036      G(NE)=E(NE) 00006760
000037      PP(NE)=PO(NE) 00006770
000038      IF(NSTRES.EQ.0) GO TO 30 00006780
000039      D(1,1)=G(NE)/(1.-PP(NE)**2) 00006790
000040      D(1,2)=PP(NE)*D(1,1) 00006800
000041      D(2,1)=D(1,2) 00006810
000042      D(2,2)=D(1,1) 00006820
000043      D(3,3)=G(NE)*0.5/(1.+PP(NE)) 00006830
000044      GO TO 35 00006840
000045      30 D(1,1) = G(NE)*(1.0-PP(NE))/((1.0+PP(NE))*(1.0-2.0*PP(NE))) 00006850
000046      D(1,2)=G(NE)*PP(NE)/((1.+PP(NE))*(1.-2.*PP(NE))) 00006860
000047      D(2,1)=D(1,2) 00006870
000048      D(2,2)=D(1,1) 00006880
000049      D(3,3)=G(NE)*0.5/(1.+PP(NE)) 00006890
C      ***** STRESS MATRIX *****
000050      C      35 DO 40 I=1,3 00006900
000051      DO 40 J=1,6 00006910
000052      STR(I,J)=0. 00006920
000053      DO 40 K=1,3 00006930
000054      40 STR(I,J)=STR(I,J)+D(I,K)*B(K,J) 00006940
C      ***** STIFFNESS MATRIX *****
000055      C      DO 45 I=1,6 00006950
000056      DO 45 J=1,6 00006960
000057      SM(I,J)=0. 00006970
000058      DO 45 K=1,3 00006980
000059      45 SM(I,J)=SM(I,J)+B(K,I)*STR(K,J) 00006990
000060      IF(NSTRES.EQ.0) GO TO 50 00007000
000061      TH=T(NE) 00007010
000062      GO TO 55 00007020
000063      50 TH=1. 00007030
000064      55 DO 60 I=1,6 00007040
000065      DO 60 J=1,6 00007050
000066      60 SM(I,J)=SM(I,J)*AREA*TH 00007060
000067      GO TO 70 00007070
C      ****
000068      100 WRITE(6,110) 00007080
000069      110 FORMAT(1H0,1X29H***** DATA MISS *****) 00007090
000070      WRITE(6,115) NE, I,J,K 00007100
000071      115 FORMAT(1H0,5X12HELEMENT NO.=13,6X9HNODE NO.=13,2I10) 00007110
000072      WRITE(6,120) XI,XJ,XK 00007120
000073      120 FORMAT(1H0,23X5H--X--,2X3F10.3) 00007130
000074      WRITE(6,125) YI,YJ,YK 00007140
000075      125 FORMAT(1H0,23X5H--Y--,2X3F10.3) 00007150

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 PLANSM DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

000076	70 CONTINUE	00007210
C...	TAPE3 NI (STR)-MATRIX O KAKIKOKMU.	00007220
C...	TAPE3 NI (SM )-MATRIX O KAKIKOMU.	00007230
000077	WRITE( 3 ) STR , SM	00007240
000078	RETURN	00007250
000079	END	00007260

STATISTICS:PROGRAM NAME=PLANSM SOURCE CARDS= 87 PROGRAM SIZE= 3264(000CC0)  
DATA SIZE= 1376(000560) PROCEDURE SIZE= 1888(000760)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(),NOISN,NOXREF,  
NODECK,NOPR,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEG,NODEBUG,  
EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000001      SUBROUTINE PRST(SGMAX,SGMAY,TAUXY,PS1,PS2,ANGLE)      00007270
000002      SXPY=0.5*(SGMAX+SGMAY)                                00007280
000003      SXMY=0.5*(SGMAX-SGMAY)                                00007290
000004      TEMP=SQRT(SXMY**2+TAUXY**2)                            00007300
000005      PS1=SXPY+TEMP                                         00007310
000006      PS2=SXPY-TEMP                                         00007320
000007      IF(SXMY) 100,101,100                                     00007330
000008      100 TMP=28.64789*ATAN(TAUXY/SXMY)                      00007340
000009      IF(SXMY) 102,101,103                                     00007350
000010      102 ANGLE=TMP+90.0                                      00007360
000011      GO TO 110                                           00007370
000012      101 IF(TAUXY) 104,105,106                           00007380
000013      104 ANGLE=135.0                                       00007390
000014      GO TO 110                                           00007400
000015      105 ANGLE=360.0                                       00007410
000016      GO TO 110                                           00007420
000017      106 ANGLE=45.0                                       00007430
000018      GO TO 110                                           00007440
000019      103 IF(TAUXY) 107,108,108                           00007450
000020      107 ANGLE=TMP+180.0                                 00007460
000021      GO TO 110                                           00007470
000022      108 ANGLE=TMP                                       00007480
000023      110 RETURN                                         00007490
000024      END                                              00007500

```

STATISTICS:PROGRAM NAME=PRST SOURCE CARDS= 24 PROGRAM SIZE= 880(000370)  
 DATA SIZE= 472(0001D8) PROCEDURE SIZE= 408(000198)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
 NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEQ,NODEBUG,  
 EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTESE, RENT,  
 DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZEC 170K),PRINTC 0),READC 0)

NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09

DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000001      SUBROUTINE FORWD                               00007510
1   (SF,PF,NF,MF,SX,SY,SZ,F,SS,MX,NOKX,NOKY)          00007520
C     REAL*8 SZ                                         00007530
000002      COMMON/CONST/NP,NE,KOX,KOY,NANGL,ANGL,NSTRES 00007540
1   ,NUNIT,MT,NT,MAXM,MAXN                           00007550
000003      DIMENSION F(1),SF(1),PF(1),NF(1),MF(1),SX(1),SZ(1),SY(MX,MX),SS(1) 00007560
1   ,NOKX(1),NOKY(1)                                00007570
000004      CALL CLEAR(F,NP,2)                            00007580
000005      REWIND MT                                 00007590
000006      REWIND NT                                 00007600
000007      MAXMAX = MAXM*(MAXM+1)/2                  00007610
000008      DO 1600 N=1,NUNIT                          00007620
000009      CALL CLEAR(SF,MAXMAX,1)                      00007630
000010      CALL CLEAR(PF,MAXM,1)                         00007640
000011      DO 50 I=1,50                                00007650
000012      50 NF(I) = 0                                00007660
000013      READ(MT,LLL,LL2,NZR,LLEN,(NF(I),I=1,LLL),(PF(I),I=1,LL2)) 00007670
1   ,(SF(I),I=1,LLEN)                                00007680
000014      IF(N.EQ.1)                                     GO TO 550 00007690
000015      NONZR = NR2/2                             00007700
000016      DO 200 J=1,NONZR                          00007710
000017      DO 100 I=1,LLL                           00007720
000018      IF(NF(I).EQ.MF(J+NZR1))                   GO TO 150 00007730
000019      100  CONTINUE                                00007740
000020      LLL = LL L +1                            00007750
000021      NF(LLL) = MF(J+NZR1)                      00007760
000022      MF(J) = LLL                            00007770
000023                                GO TO 200 00007780
000024      150  MF(J) = I                            00007790
000025      200  CONTINUE                                00007800
000026      LL2 = 2*LLL                                00007810
000027      DO 450 J=1,NONZR                          00007820
000028      L1 = 2*(MF(J)-1)                          00007830
000029      J1 = 2*(J-1)                                00007840
000030      DO 400 JJ=1,2                            00007850
000031      L1 = L1 + 1                                00007860
000032      J1 = J1 + 1                                00007870
000033      PF(L1) = PF(L1) + SS(J1)                  00007880
000034      DO 350 I=1,NONZR                          00007890
000035      L2 = 2*(MF(I)-1)                          00007900
000036      J2 = 2*(I-1)                                00007910
000037      DO 300 II=1,2                            00007920
000038      L2 = L2 + 1                                00007930
000039      J2 = J2 + 1                                00007940
000040      IF(L1.GT.L2)                                GO TO 300 00007950
000041      MMM = (L1-1)*(2*MAXM-L1+2)/2 + L2 - L1 + 1 00007960
000042      J3 = J1                                00007970
000043      J4 = J2                                00007980
000044      IF(J1.LE.J2)                                GO TO 250 00007990
000045      J3 = J2                                00008000
000046      J4 = J1                                00008010
000047      250  JJJ = (J3-1)*(2*MAXN-J3+2)/2 + J4 - J3 + 1 00008020
000048      SF(MMM) = SF(MMM) + SX(JJJ)                00008030
000049      300  CONTINUE                                00008040
000050      350  CONTINUE                                00008050
000051      400  CONTINUE                                00008060
000052      450  CONTINUE                                00008070
000053      NZR2 = NZR + 1                            00008080
000054      DO 500 I=NZR2,LLL                          00008090
000055      J = NF(I)                                00008100
000056      F(2*I-1) = F(2*I-1) + PF(2*I-1)          00008110
000057      500  F(2*I) = F(2*I) + PF(2*I)           00008120
000058      NZ2 = 2*NZR                                00008130
000059      DO 600 I=1,NZR                          00008140
000060      J = NF(I)                                00008150
000061      PF(2*I-1) = PF(2*I-1) + F(2*I-1)          00008160
000062      600  PF(2*I) = PF(2*I) + F(2*I)           00008170
000063      IF(KOX,EQ.0)                                GO TO 700 00008180
000064      DO 690 M=1,KOX                          00008190
000065      DO 680 L=1,NZR                          00008200
000066      IF(NF(L).NE.NOKX(M))                   GO TO 680 00008210
000067      LL = 2*L-1                                00008220
000068      PF(LL) = 0.0                                00008230
000069      DO 670 J=1,LL2                          00008240
000070      L1 = LL                                00008250
000071      L2 = J                                00008260
000072      IF(L1.LE.L2)                                GO TO 660 00008270
000073      L1 = J                                00008280
000074      L2 = LL                                00008290
000075      660  MMM = (L1-1)*(2*MAXM-L1+2)/2 + L2 - L1 + 1 00008300
000076      670  SF(MMM) = 0.0                         00008310

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 FORWD DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000077      MMM = (LL-1)*(2*MAXM-LL+2)/2 + 1          00008320
000078      SF(MMM) = 1.E+7                          00008330
000079      680 CONTINUE                            00008340
000080      690 CONTINUE                            00008350
000081      700 IF(KOY.EQ.0)    GO TO 800            00008360
000082      DO 790 M=1,KOY                         00008370
000083      DO 780 L=1,NZR                         00008380
000084      IF(NF(L).NE.NOKY(M))    GO TO 780        00008390
000085      LL = 2*L                           00008400
000086      PF(LL) = 0.0                         00008410
000087      DO 770 J=1,LL2                        00008420
000088      L1 = LL                           00008430
000089      L2 = J                           00008440
000090      IF(L1.LE.L2)    GO TO 760            00008450
000091      L1 = J                           00008460
000092      L2 = LL                           00008470
000093      760 MMM = (L1-1)*(2*MAXM-L1+2)/2 + L2 - L1 + 1 00008480
000094      770 SF(MMM) = 0.0                      00008490
000095      MMM = (LL-1)*(2*MAXM-LL+2)/2 + 1          00008500
000096      SF(MMM) = 1.E+7                      00008510
000097      780 CONTINUE                            00008520
000098      790 CONTINUE                            00008530
000099      800 CONTINUE                            00008540
000100      DO 850 I=1,5050                        00008550
000101      850 SZ(I) = 0.000                     00008560
000102      DO 950 J=1,NZ2                        00008570
000103      DO 900 I=J,NZ2                        00008580
000104      JJJ = (J-1)*(2*NZ2-J+2)/2 + I - J + 1 00008590
000105      MMM = (J-1)*(2*MAXM-J+2)/2 + I - J + 1 00008600
000106      900 SZ(JJJ) = SF(MMM)                  00008610
000107      950 CONTINUE                            00008620
000108      CALL MMATIN(SZ,NZ2,SY)                 00008630
000109      IF(N.EQ.NUNIT)                         GO TO 1650 00008640
000110      NR2 = LL2 - NZ2                      00008650
000111      IF(NR2.LE.100)   GO TO 960            00008660
000112      WRITE(6,6000) NR2                      00008670
000113      6000 FORMAT(/' *** ERROR IN FORWD ***   NR2=',I4,' IS TOO BIG FOR DIMEN00008680
*SION OF MATRIX SF.' /' PLEASE CHECK YOUR ELEMENT NO. DATA.') 00008690
000114      STOP                                  00008700
000115      960 CONTINUE                            00008710
000116      DO 1150 J=1,NR2                        00008720
000117      DO 1100 I=1,NZ2                        00008730
000118      T = 0.0                           00008740
000119      DO 1050 L=1,NZ2                        00008750
000120      MMM = (L-1)*(2*MAXM-L+2)/2 + J + NZ2 - L + 1 00008760
000121      L1 = L                           00008770
000122      L2 = I                           00008780
000123      IF(L1.LE.L2)    GO TO 1000            00008790
000124      L1 = I                           00008800
000125      L2 = L                           00008810
000126      1000 JJJ = (L1-1)*(2*NZ2-L1+2)/2 + L2 - L1 + 1 00008820
000127      1050 T = T + SF(MMM)*SZ(JJJ)        00008830
000128      1100 SY(J,I) = T                      00008840
000129      1150 CONTINUE                            00008850
000130      DO 1170 I=1,5050                        00008860
000131      1170 SX(I) = 0.0                      00008870
000132      DO 1300 J=1,NR2                        00008880
000133      DO 1250 I=J,NR2                        00008890
000134      MMM = (NZ2+J-1)*(2*MAXM-J-NZ2+2)/2 + I - J + 1 00008900
000135      T = SF(MMM)                         00008910
000136      DO 1200 L=1,NZ2                        00008920
000137      MMM = (L-1)*(2*MAXM-L+2)/2 + I + NZ2 - L + 1 00008930
000138      1200 T = T - SY(J,L)*SF(MMM)        00008940
000139      JJJ = (J-1)*(2*MAXN-J+2)/2 + I - J + 1 00008950
000140      1250 SX(JJJ) = T                      00008960
000141      1300 CONTINUE                            00008970
000142      DO 1400 J=1,NR2                        00008980
000143      T = 0.0                           00008990
000144      DO 1350 I=1,NZ2                        00009000
000145      T = T + SY(J,I)*PF(I)              00009010
000146      1400 SS(J) = -T                      00009020
000147      DO 1420 I=1,50                00009030
000148      1420 MF(I) = 0                      00009040
000149      DO 1450 I=1,LLL                      00009050
000150      1450 MF(I) = NF(I)                  00009060
000151      NZR1 = NZR                         00009070
000152      DO 1550 J=1,NR2                        00009080
000153      DO 1500 I=1,NZ2                        00009090
000154      MMM = (I-1)*(2*MAXM-I+2)/2 + J + NZ2 - I + 1 00009100
000155      1500 SY(I,J) = SF(MMM)              00009110
000156      1550 CONTINUE                            00009120

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 FORWD DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000157      NZNZ = NZ2*(NZ2+1)/2          00009130
000158      WRITE(NT) NZR,NZ2,NR2,LLL,NZNZ,(SZ(I),I=1,NZNZ) 00009140
           1 , (PF(I),I=1,NZ2),((SY(I,J),I=1,NZ2),J=1,NR2)
           2 , (MF(I),I=1,LLL) 00009150
000159 1600 CONTINUE 00009170
C *** FORWARD ELIMINATION COMPLETED
000160 1650 DO 1750 J=1,NZ2 00009190
000161      T = 0. 00009200
000162      DO 1700 I=1,NZ2 00009210
000163      J1 = J 00009220
000164      J2 = I 00009230
000165      IF(J1.LE.J2) GO TO 1670 00009240
000166      J1 = I 00009250
000167      J2 = J 00009260
000168 1670 JJJ = (J1-1)*(2*NZ2-J1+2)/2 + J2 - J1 + 1 00009270
000169 1700 T = T + SZ(JJJ)*PF(I) 00009280
000170      L = (J+1)/2 00009290
000171      L1 = NF(L) 00009300
000172      LL = 1 00009310
000173      IF(LL*2.EQ.J) LL = 2 00009320
000174 1750 F(2*L1-2+LL) = T 00009330
000175      IF(NUNIT.EQ.1) GO TO 2100 00009340
000176      DO 2050 N=2,NUNIT 00009350
000177      BACKSPACE NT 00009360
000178      READ(NT) NZR,NZ2,NR2,LLL,NZNZ,(SZ(I),I=1,NZNZ),(PF(I),I=1,NZ2) 00009370
           1 , ((SY(I,J),I=1,NZ2),J=1,NR2),(NF(I),I=1,LLL) 00009380
000179      BACKSPACE NT 00009390
000180      DO 1850 J=1,NZ2 00009400
000181      L = (J+1)/2 00009410
000182      L1 = NF(L) 00009420
000183      LL = 1 00009430
000184      IF(LL*2.EQ.J) LL = 2 00009440
000185      T = PF(J) 00009450
000186      DO 1800 I=1,NR2 00009460
000187      M = (NZ2+I+1)/2 00009470
000188      M1 = NF(M) 00009480
000189      MM = 1 00009490
000190      IF(2*M.EQ.NZ2+I) MM = 2 00009500
000191 1800 T = T - SY(J,I)*F(2*M1-2+MM) 00009510
000192 1850 PF(J) = T 00009520
000193      DO 2000 J=1,NZ2 00009530
000194      T = 0.0 00009540
000195      DO 1950 I=1,NZ2 00009550
000196      J1 = J 00009560
000197      J2 = I 00009570
000198      IF(J1.LE.J2) GO TO 1900 00009580
000199      J1 = I 00009590
000200      J2 = J 00009600
000201 1900 JJJ = (J1-1)*(2*NZ2-J1+2)/2 + J2 - J1 + 1 00009610
000202 1950 T = T + SZ(JJJ)*PF(I) 00009620
000203      L = (J+1)/2 00009630
000204      L1 = NF(L) 00009640
000205      LL = 1 00009650
000206      IF(LL*2.EQ.J) LL = 2 00009660
000207 2000 F(2*L1-2+LL) = T 00009670
000208 2050 CONTINUE 00009680
000209 2100 CONTINUE 00009690
C *** BACKWARD SUBSTITUTION COMPLETED 00009700
000210      REWIND MT 00009710
000211      REWIND NT 00009720
000212      RETURN 00009730
000213      END 00009740

```

DIAGNOSTIC MESSAGES FLAG(1),NAME=FORWD

JMK034I-I 8 THE VALUE OF THE DO PARAMETER POSSIBLY BE CHANGED IN THIS DO RANGE (NUNIT)

STATISTICS:PROGRAM NAME=FORWD SOURCE CARDS= 224 PROGRAM SIZE= 8736(002220)  
 DATA SIZE= 2704(000A90) PROCEDURE SIZE= 6032(001790)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
 NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSE0,NODEBUG,  
 EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NO NAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
 DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

1 DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09

DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000001      SUBROUTINE FORMK          00009750
000002      1 (SF,NF,IJT,SZ,PF)      00009760
000003      DIMENSION SF(1),NF(1),IJT(1),SZ(1),PF(1) 00009770
000003      COMMON/CONST/NP,NE,KOX,KOY,NANGL,ANGL,NSTRES 00009780
000004      1 ,NUNIT,MT,NT,MAXM,MAXN 00009790
000004      COMMON/ARRAY/ KAKOM(500,4),X(350),Y(350),SK(8,8),F(700),PHY(3,10) 00009800
000004      1 ,DIS(700),STR(3,8),REAC(700),NOKX(50),NOKY(50),WD(8),WS(8) 00009810
000004      2 ,AAA(500),SG(500),SO(500),SY(500),PL(500),FF(700),XX(350) 00009820
000004      3 ,YY(350),SEN1(500),SEN2(500),HIZU(500),TITLE(40),IMAT(500) 00009830
000004      4 ,TA(500),NOANGL(50),TT(500) 00009840
000005      DIMENSION KANG(4),SU(8,8),SW(8,8),NBA(4) 00009850
000006      COMMON IUT(50) 00009860
000007      REWIND MT 00009870
000008      N1 = 1 00009880
000009      DO 1150 N=1,NUNIT 00009890
000010      CALL CLEAR(SF,MAXM*(MAXM+1)/2,1) 00009900
000011      N2 = IUT(N) 00009910
000012      LLL = 0 00009920
000013      DO 600 NN=N1,N2 00009930
000014      CALL CLEAR(SK,8,8) 00009940
C 000015      C YOUSO GA SHIKAKKEI NO TOKI ROUTINE (SK4 ) NI TOBU. 00009950
C 000015      C YOUSO GA SANKAKKEI NO TOKI ROUTINE (PLANSM) NI TOBU. 00009960
000015      IF( KAKOM(NN,4) .EQ. 0 ) GO TO 50 00009970
000016      CALL SK4(NSTRES,NN,KAKOM,X,Y,TT,SK,STR,NP,NE) 00009980
000017      I1 = 4 00009990
000018      GO TO 60 00010000
000019      50 CONTINUE 00010010
000020      CALL PLANSM(NSTRES,NN,KAKOM,X,Y,TT,SK,STR,NP,NE) 00010020
000021      I1 = 3 00010030
000022      60 IF(LLL,NE,0) GO TO 150 00010040
C 000022      IF( I1=3 ) NARABA YOUSO GA SANKAKKEI O SHIMESU. 00010050
C 000022      IF( I1=4 ) NARABA YOUSO GA SHIKAKKEI O SHIMESU. 00010060
000023      DO 100 I=1,I1 00010070
000024      III = KAKOM(NN,I) 00010080
000025      NF(I) = III 00010090
000026      IJT(III) = IJT(III) - 1 00010100
000027      100 NBA(I) = I 00010110
000028      LLL = II 00010120
000029      GO TO 350 00010130
000030      150 DO 300 I=1,I1 00010140
000031      III = KAKOM(NN,I) 00010150
000032      DO 200 L=1,LLL 00010160
000033      IF(NFL(L),EQ,III) 00010170
000034      200 CONTINUE 00010180
000035      LLL = LLL + 1 00010190
000036      NF(LLL) = III 00010200
000037      IJT(III) = IJT(III) - 1 00010210
000038      NBA(I) = LLL 00010220
000039      GO TO 300 00010230
000040      250 IJT(III) = IJT(III) - 1 00010240
000041      NBA(I) = L 00010250
000042      300 CONTINUE 00010260
000043      350 DO 355 I=1,4 00010270
000044      355 KANG(I) = 0 00010280
000045      IF(NANGL,EQ,0) 00010290
000046      DO 360 J=1,NANGL 00010300
000047      DO 360 I=1,II 00010310
000048      IF(NOANGL(J),EQ,KAKOM(NN,I)) KANG(I) = 1 00010320
000049      360 CONTINUE 00010330
000050      KBNG = 0 00010340
000051      DO 10 L10=1,II 00010350
000052      10 KBNG = KBNG + KANG(L10) 00010360
000053      IF(KBNG,EQ,0) 00010370
000054      TH = ANGL*3.1415926535898/180.0 00010380
C 000054      IF(I1=3 ) NARABA YOUSO WA SANKAKKEI DE III = 6 TO NARU. 00010390
C 000054      IF(I1=4 ) NARABA YOUSO WA SHIKAKKEI DE III = 8 TO NARU. 00010400
000055      III = 2*I1 00010410
000056      DO 373 J=1,III 00010420
000057      DO 373 I=1,III 00010430
000058      373 SW(I,J) = 0.0 00010440
000059      CT = COS(TH) 00010450
000060      ST = SIN(TH) 00010460
000061      DO 362 J=1,II 00010470
000062      SW(2*J-1,2*J-1) = CT 00010480
000063      SW(2*J ,2*J ) = CT 00010490
000064      SW(2*J-1,2*J ) = -ST 00010500
000065      362 SW(2*J ,2*J-1) = ST 00010510
000066      DO 364 J=1,III 00010520
000067      DO 364 I=1,III 00010530
000068      T = 0.0 00010540
                                         00010550

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 FORMK DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000069      DO 363 K=1,III          00010560
000070      363 T = T + SW(K,I)*SK(K,J) 00010570
000071      364 SU(I,J) = T           00010580
000072      DO 366 J=1,III          00010590
000073      DO 366 I=1,III          00010600
000074      T = 0.0                00010610
000075      DO 365 K=1,III          00010620
000076      365 T = T + SU(I,K)*SW(K,J) 00010630
000077      366 SK(I,J) = T           00010640
000078      DO 368 J=1,II           00010650
000079      IF(KANG(J).EQ.0)      GO TO 368 00010660
000080      T = SK(2*J,2*I)        00010670
000081      DO 367 I=1,II           00010680
000082      SK(I,2*I) = 0.0        00010690
000083      367 SK(2*I,2*I) = 0.0   00010700
000084      SK(2*I,2*I) = 1.E+7    00010710
000085      368 CONTINUE          00010720
000086      DO 370 J=1,II           00010730
000087      DO 370 I=1,II           00010740
000088      T = 0.0                00010750
000089      DO 369 K=1,II           00010760
000090      369 T = T + SK(I,K)*SW(J,K) 00010770
000091      370 SU(I,J) = T           00010780
000092      DO 372 J=1,II           00010790
000093      DO 372 I=1,II           00010800
000094      T = 0.0                00010810
000095      DO 371 K=1,II           00010820
000096      371 T = T + SW(I,K)*SU(K,J) 00010830
000097      372 SK(I,J) = T           00010840
000098      390 DO 550 J=1,II          00010850
000099      M1 = 2*(NBA(J)-1)       00010860
000100      DO 500 JJ=1,2          00010870
000101      M1 = M1 + 1            00010880
000102      JJJ = 2*(J-1) + JJ       00010890
000103      DO 450 I=1,II          00010900
000104      M2 = 2*(NBA(I)-1)       00010910
000105      DO 400 II=1,2          00010920
000106      M2 = M2 + 1            00010930
000107      IF(M1.GT.M2)          GO TO 400    00010940
000108      III = 2*(I-1) + II       00010950
000109      MMM = (M1-1)*(2*MAXM-M1+2)/2 + M2 - M1 + 1 00010960
000110      SF(MMM) = SF(MMM) + SK(III,JJJ) 00010970
000111      400 CONTINUE          00010980
000112      450 CONTINUE          00010990
000113      500 CONTINUE          00011000
000114      550 CONTINUE          00011010
000115      600 CONTINUE          00011020
000116      N1 = N2 + 1            00011030
000117      LL2 = 2*LLL             00011040
000118      LLEN = MAXM*(MAXM+1)/2 00011050
000119      NZR = 0                00011060
000120      DO 1000 NN=1,LL2       00011070
000121      L1 = NF(NN)            00011080
000122      IF(IJT(L1).NE.0)      GO TO 1000 00011090
000123      NZR = NZR + 1          00011100
000124      IF(NN.EQ.NZR)        GO TO 1000 00011110
000125      L1 = 2*NZR - 1          00011120
000126      L2 = 2*NN - 1            00011130
000127      DO 950 L3=1,2          00011140
000128      DO 750 L=1,LL2       00011150
000129      J1 = L1                00011160
000130      J2 = L                00011170
000131      IF(J1.LE.J2)          GO TO 650 00011180
000132      J1 = L                00011190
000133      J2 = L1                00011200
000134      .650 MMM = (J1-1)*(2*MAXM-J1+2)/2 + J2 - J1 + 1 00011210
000135      SZ(L) = SF(MMM)        00011220
000136      J1 = L2                00011230
000137      J2 = L                00011240
000138      IF(J1.LE.J2)          GO TO 700 00011250
000139      J1 = L                00011260
000140      J2 = L2                00011270
000141      700 MMM = (J1-1)*(2*MAXM-J1+2)/2 + J2 - J1 + 1 00011280
000142      SZ(LL2+L) = SF(MMM) 00011290
000143      750 CONTINUE          00011300
000144      IF(L3.EQ.2)          GO TO 760 00011310
000145      SK(1,1) = SZ(L1)        00011320
000146      SK(1,2) = SZ(L2)        00011330
000147      SK(1,3) = SZ(L2+LL2) 00011340
000148      GO TO 770            00011350
000149      760 SK(4,1) = SZ(L1) 00011360
000150      SK(4,2) = SZ(L2)        00011370

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 FORMK DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000151      SK(4,3) = SZ(L2+LL2)          00011380
000152      770 CONTINUE                  00011390
000153      DO 900 L=1,LL2              00011400
000154      J1 = L1                      00011410
000155      J2 = L                      00011420
000156      IF(J1.LE.J2)                 GO TO 800 00011430
000157      J1 = L                      00011440
000158      J2 = L1                      00011450
000159      800      MMM = (J1-1)*(2*MAXM-J1+2)/2 + J2 - J1 + 1 00011460
000160      SF(MMM) = SZ(LL2+L)          00011470
000161      J1 = L2                      00011480
000162      J2 = L                      00011490
000163      IF(J1.LE.J2)                 GO TO 850 00011500
000164      J1 = L                      00011510
000165      J2 = L2                      00011520
000166      850      MMM = (J1-1)*(2*MAXM-J1+2)/2 + J2 - J1 + 1 00011530
000167      SF(MMM) = SZ(L)          00011540
000168      900 CONTINUE                  00011550
000169      L1 = L1 + 1                  00011560
000170      950      L2 = L2 + 1                  00011570
000171      L1=L1-2                      00011580
000172      L2=L2-2                      00011590
000173      J1= (L1-1)*(2*MAXM-L1+2)/2+1 00011600
000174      J2=(L2-1)*(2*MAXM-L2+2)/2+1 00011610
000175      J3=J1+MAXM-L1+1              00011620
000176      J4=J2+MAXM-L2+1              00011630
000177      SF(J1) =SK(1,3)          00011640
000178      SF(J2) =SK(1,1)          00011650
000179      SF(J1+L2-L1)=SK(1,2)        00011660
000180      SF(J3) =SK(4,3)          00011670
000181      SF(J3+L2-L1)=SK(4,2)        00011680
000182      SF(J4) =SK(4,1)          00011690
000183      NFZ = NF(NZR)          00011700
000184      NF(NZR) = NF(NN)          00011710
000185      NF(NN) = NFZ          00011720
000186      1000 CONTINUE                  00011730
000187      DO 1050 J=1,LL2              00011740
000188      1050 PF(J) = 0          00011750
000189      DO 1100 J=1,NZR          00011760
000190      I = NF(J)          00011770
000191      PF(2*I-1) = F(2*I-1)        00011780
000192      1100 PF(2*I) = F(2*I)        00011790
000193      WRITE(MT,LLL,LL2,NZR,LLEN,(NF(I),I=1,LLL),(PF(I),I=1,LL2) 00011800
000194      1      ,(SF(I)),I=1,LLEN) 00011810
000195      1150 CONTINUE                  00011820
000196      ENDFILE MT          00011830
000197      REWIND MT          00011840
000198      RETURN          00011850
000198      END          00011860

```

## DIAGNOSTIC MESSAGES FLAG(I),NAME=FORMK

JMK034I-1 9 THE VALUE OF THE DO PARAMETER POSSIBLY BE CHANGED IN THIS DO RANGE (NUNIT)  
 JMK032I-1 13 THE VALUE OF THE CONTROL VARIABLE POSSIBLY BE CHANGED IN THIS DO RANGE

STATISTICS:PROGRAM NAME=FORMK SOURCE CARDS= 212 PROGRAM SIZE= 8280(002058)  
 DATA SIZE= 3744(000EA0) PROCEDURE SIZE= 4536(0011B8)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(I),NOISN,NOXREF,  
 NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEQ,NODEBUG,  
 EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTESE, RENT,  
 DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

2 DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09

DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000001      SUBROUTINE MMATIN(S,IMAX,X)          00011870
000002      C      REAL*8 S,X,T,PX            00011880
000003      DIMENSION S(1),X(1)                00011890
000004      S(1) = 1.0/S(1)                  00011900
000005      DO 150 J=2,IMAX                 00011910
000006      DO 10 I=1,IMAX                 00011920
000007      10 X(I) = 0.D0                  00011930
000008      JJ = J-1                      00011940
000009      DO 110 L=1,JJ                  00011950
000010      T = 0.0                      00011960
000011      DO 100 I=1,JJ                  00011970
000012      IJ = (IMAX+IMAX-I+2)*(I-1)/2 + J - I + 1 00011980
000013      LX = L                      00011990
000014      IX = I                      00012000
000015      IF(L.LE.I)      GO TO 50        00012010
000016      LX = I                      00012020
000017      IX = L                      00012030
000018      50 LI = (IMAX+IMAX-LX+2)*(LX-1)/2 + IX - LX + 1 00012040
000019      100 T = T + S(LI)*S(IJ)        00012050
000020      110 X(L) = -T                  00012060
000021      JX = (IMAX+IMAX-J+2)*(J-1)/2 + 1        00012070
000022      PX = S(JX)                  00012080
000023      DO 120 L=1,JJ                  00012090
000024      LJ = (IMAX+IMAX-L+2)*(L-1)/2 + J - L + 1 00012100
000025      120 PX = PX + S(LJ)*X(L)        00012110
000026      S(JX) = 1.0/PX              00012120
000027      DO 130 L=1,JJ                  00012130
000028      LJ = (IMAX+IMAX-L+2)*(L-1)/2 + J-L+1 00012140
000029      S(LJ) = X(L)/PX              00012150
000030      DO 130 I=L,JJ                  00012160
000031      LI = (IMAX+IMAX-L+2)*(L-1)/2 + I-L+1 00012170
000032      130 S(LI) = S(LI) + X(I)*X(L)/PX    00012180
000033      150 CONTINUE                00012190
000034      RETURN                    00012200
000034      END                      00012210

```

STATISTICS:PROGRAM NAME=MMATIN SOURCE CARDS= 35 PROGRAM SIZE= 1496(0005D8)  
 DATA SIZE= 584(000248) PROCEDURE SIZE= 912(000390)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
 NODECK,NOTLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSE@,NODEBUG,  
 EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTESET, RENT,  
 DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09

DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000001      SUBROUTINE ZAHYO(X,Y,NPOIN,NMAX)          00012220
000002      DIMENSION X(1),Y(1)                      00012230
000003      NER=0                                     00012240
000004      DO 100 N=1,NMAX                         00012250
000005      100 X(N) = -1.E+20                      00012260
000006      200 READ(5,900) NOP,M,XM,YM,N,XN,YN,L,XC,YC 00012270
000007      900 FORMAT(215.2F10.0,15.2F10.0,15.2F10.0) 00012280
000008      MOP=NOP+1                                00012290
000009      GO TO (300,310,320,500,330) , MCP        00012300
000010      330 I1=XM+0.1                            00012310
000011      I2=YM+0.1                            00012320
000012      IF(M.EQ.2) GO TO 336                  00012330
000013      331 DO 332 I=I1,I2                      00012340
000014      X(I+N) = XN                           00012350
000015      332 Y(I+N) = Y(I)                      00012360
000016      GO TO 200                               00012370
000017      336 DO 337 I=I1,I2                      00012380
000018      X(I+N) = X(I)                           00012390
000019      337 Y(I+N) = YN                           00012400
000020      GO TO 200                               00012410
000021      300 X(M) = XM                           00012420
000022      Y(M) = YM                           00012430
000023      GO TO 200                               00012440
000024      310 DELX=(XN-XM)/(L+1)                 00012450
000025      DELY=(YN-YM)/(L+1)                   00012460
000026      NDEL=(N-M)/(L+1)                     00012470
000027      X(M) = XM                           00012480
000028      Y(M) = YM                           00012490
000029      X(N) = XN                           00012500
000030      Y(N) = YN                           00012510
000031      J=M                                 00012520
000032      DO 315 I=1,L                         00012530
000033      J=J+NDEL                         00012540
000034      X(J) = XM + I*DELX                 00012550
000035      315 Y(J) = YM + I*DELY                 00012560
000036      GO TO 200                           00012570
000037      320 CX = XC*COS(YC*0.01745329252) 00012580
000038      CY = XC*SINYC*0.01745329252)       00012590
000039      X(M) = CX + XM*COS(YM*0.01745329252) 00012600
000040      Y(M) = CY + XM*SIN(YM*0.01745329252) 00012610
000041      IF(N.EQ.0) GO TO 200                00012620
000042      X(N) = CX + XN*COS(YN*0.01745329252) 00012630
000043      Y(N) = CY + XN*SIN(YN*0.01745329252) 00012640
000044      IF(L.EQ.0) GO TO 200                00012650
000045      NDEL = (N-M)/(L+1)                 00012660
000046      J = M                                 00012670
000047      DO 10 I=1,L                         00012680
000048      J = J + NDEL                         00012690
000049      ZZ = (YM + I*(YN-YM)/(L+1) )*0.01745329252 00012700
000050      RR = XM + I*(XN-XM)/(L+1)           00012710
000051      X(J) = CX + RR*COS(ZZ)             00012720
000052      10 Y(J) = CY + RR*SIN(ZZ)           00012730
000053      GO TO 200                           00012740
000054      500 IF(M,NE,999) GO TO 520         00012750
000055      RAD=3.14159265359/180.0            00012760
000056      DO 510 N=1,NPOIN                  00012770
000057      R = X(N)                           00012780
000058      T = Y(N)                           00012790
000059      IF(R.LT.-1.E+10) GO TO 510        00012800
000060      X(N) = R*COS(T*RAD)              00012810
000061      Y(N) = R*SIN(T*RAD)              00012820
000062      510 CONTINUE                         00012830
000063      520 CONTINUE                         00012840
000064      DO 731 N=1,NPOIN                  00012850
000065      IF(X(N).GT.-1.E+10) GO TO 731     00012860
000066      PRINT 901,N                         00012870
000067      NER=1                                00012880
000068      731 CONTINUE                         00012890
000069      901 FORMAT(' UNDEFINED POINT ',I10)   00012900
000070      PRINT 902                           00012910
000071      902 FORMAT(//1H1, 'COORDINATES' /)    00012920
000072      WRITE(6,6) (1,X(I),Y(I),I=1,NPOIN)  00012930
000073      6 FORMAT(3(I13,2F15.6))            00012940
000074      IF(NER.EQ.0) RETURN                00012950
000075      STOP 1                             00012960
000076      END                                00012970

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 ZAHYO DATE 80.09.17 TIME 17.29.14  
STATISTICS:PROGRAM NAME=ZAHYO SOURCE CARDS= 76 PROGRAM SIZE= 2960(000B90)  
DATA SIZE= 1104(000450) PROCEDURE SIZE= 1856(000740)  
OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSE0,NODEBUG,  
EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)  
NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09

DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000001      SUBROUTINE DELTA4( NOP , NELEM , NMAX , IMAT )
000002      DIMENSION NOP(NMAX,1),IMAT(1),KNK(10)
000003      DO 731 N=1,NMAX
000004      731 NOP(N,1)=0
000005      1201 READ(5,900) KOP,(KNK(J),J=1,10)
000006      900 FORMAT(11,14,915)
000007      LOP=KOP+1
000008      GO TO (10,20,30,50,100),LOP
000009      100 K1 = KNK(1)
000010      K2 = KNK(2)
000011      NPT= KNK(3)
000012      NET= KNK(4)
000013      NLP= KNK(5)
000014      DO 120 N=1,NLP
000015      DO 110 K=K1,K2
000016      K3 = K + NET
000017      IMAT(K3) = IMAT(K)
000018      DO 105 L=1,4
000019      105 NOP(K3,L) = NOP(K,L) + NPT
000020      110 CONTINUE
000021      K1 = K1 + NET
000022      120 K2 = K2 + NET
000023      GO TO 1201
000024      10 N=KNK(1)
000025      IMAT(N) = KNK(6)
000026      DO 15 I=1,4
000027      15 NOP(N,I)=KNK(I+1)
000028      GO TO 1201
000029      20 NON=KNK(2)-KNK(1)+1
000030      NOM=(KNK(4)-KNK(3)+1)/NON
000031      NOL=KNK(5)
000032      LLL=KNK(3)-1
000033      DO 25 J=1,NOM
000034      DO 25 L=1,NON
000035      LLL=LLL+1
000036      IMAT(LLL)=IMAT(LLL-NON)
000037      DO 25 I=1,4
000038      NOP(LLL,I)=NOP(LLL-NON,I)+NOL
000039      25 CONTINUE
000040      GO TO 1201
000041      30 LLL = KNK(5)
000042      M=N
000043      DO 35 I=1,LLL
000044      N=N+KNK(1)
000045      IMAT(N)=IMAT(M)
000046      DO 33 J=1,4
000047      33 NOP(N,J)=NOP(M,J)+KNK(J+1)
000048      35 M=M+KNK(1)
000049      GO TO 1201
000050      50 NER=0
000051      DO 60 N=1,NELEM
000052      IF(NOP(N,1).EQ.0) NER=1
000053      60 CONTINUE
000054      PRINT 901
000055      901 FORMAT(//1H1, 'TRIANGLE NODE POINT')
000056      PRINT 902, (N,(NOP(N,M),M=1,4),IMAT(N),N=1,NELEM)
000057      902 FORMAT(3(10,4I5,19))
000058      IF(NER.EQ.0) RETURN
000059      STOP 2
000060      END

```

STATISTICS:PROGRAM NAME=DELTA4 SOURCE CARDS= 60 PROGRAM SIZE= 2288(0008F0)  
 DATA SIZE= 832(000340) PROCEDURE SIZE= 1456(0005B0)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(),NOISN,NOXREF,  
 NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEQ,NODEBUG,  
 EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NO NAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
 DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09

DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

000001	SUBROUTINE CLEAR(X,NP,NQ)	00013580
000002	DIMENSION X(1)	00013590
000003	NPQ = NP*NQ	00013600
000004	DO 731 I=1,NPQ	00013610
000005	731 X(I) = 0.0	00013620
000006	RETURN	00013630
000007	END	00013640

STATISTICS:PROGRAM NAME=CLEAR SOURCE CARDS= 7 PROGRAM SIZE= 416(0001A0)  
DATA SIZE= 264(000108) PROCEDURE SIZE= 152(000098)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEQ,NODEBUG,  
EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000001      SUBROUTINE DELTA3( NOP , NELEM , NMAX , IMAT )          00013650
000002      DIMENSION NOP(NMAX,1),IMAT(1),KNK(10)                  00013660
000003      DO 731  N=1,NMAX                                     00013670
000004      731 NOP(N,1)=0                                     00013680
000005      1201 READ(5,900) KOP,(KNK(J),J=1,10)                00013690
000006      900 FORMAT(1I,14,915)                                00013700
000007      LOP=KOP+1                                         00013710
000008      GO TO (10,20,30,50,100),LOP                         00013720
000009      100 K1 = KNK(1)                                     00013730
000010      K2 = KNK(2)                                     00013740
000011      NPT= KNK(3)                                     00013750
000012      NET= KNK(4)                                     00013760
000013      NLP= KNK(5)                                     00013770
000014      DO 120 N=1,NLP                                00013780
000015      DO 110 K=K1,K2                                00013790
000016      K3 = K + NET                                00013800
000017      IMAT(K3) = IMAT(K)                            00013810
000018      DO 105 L=1,3                                00013820
000019      105 NOP(K3,L) = NOP(K,L) + NPT                00013830
000020      110 CONTINUE                                 00013840
000021      K1 = K1 + NET                                00013850
000022      120 K2 = K2 + NET                                00013860
000023      GO TO 1201                                 00013870
000024      10 N=KNK(1)                                     00013880
000025      IMAT(N) = KNK(5)                                00013890
000026      DO 15 I=1,3                                00013900
000027      15 NOP(N,I)=KNK(I+1)                            00013910
000028      GO TO 1201                                 00013920
000029      20 NON=KNK(2)-KNK(1)+1                      00013930
000030      NOM=(KNK(4)-KNK(3)+1)/NON                   00013940
000031      NOL=KNK(5)                                     00013950
000032      LLL=KNK(3)-1                                00013960
000033      DO 25 J=1,NOM                               00013970
000034      DO 25 L=1,NON                               00013980
000035      LLL=LLL+1                                    00013990
000036      IMAT(LLL)=IMAT(LLL-NON)                   00014000
000037      DO 25 I=1,3                                00014010
000038      NOP(LLL,I)=NOP(LLL-NON,I)+NOL            00014020
000039      25 CONTINUE                                 00014030
000040      GO TO 1201                                 00014040
000041      30 LLL = KNK(5)                                00014050
000042      M=N                                         00014060
000043      DO 35 I=1,LLL                               00014070
000044      N=N+KNK(1)                                00014080
000045      IMAT(N)=IMAT(M)                                00014090
000046      DO 33 J=1,3                                00014100
000047      33 NOP(N,J)=NOP(M,J)+KNK(J+1)              00014110
000048      35 M=M+KNK(1)                                00014120
000049      GO TO 1201                                 00014130
000050      50 NER=0                                    00014140
000051      DO 60 N=1,NELEM                           00014150
000052      IF(NOP(N,1).EQ.0)  NER=1                  00014160
000053      60 CONTINUE                                00014170
000054      PRINT 901                                 00014180
000055      901 FORMAT(//1H1, 'TRIANGLE NODE POINT!')       00014190
000056      PRINT 902,(N,(NOP(N,M),M=1,3),IMAT(N),N=1,NELEM) 00014200
000057      902 FORMAT(3(I3,3I7,19))                   00014210
000058      IF(NER.EQ.0)  RETURN                     00014220
000059      STOP 2                                    00014230
000060      END                                       00014240

```

STATISTICS:PROGRAM NAME=DELTA3 SOURCE CARDS= 60 PROGRAM SIZE= 2288(0008F0)  
 DATA SIZE= 832(000340) PROCEDURE SIZE= 1456(0005B0)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
 NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEQ,NODEBUG,  
 EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NO NAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
 DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```
000001      FUNCTION PX(I,X,Y)          00014250
000002      GO TO (100,200,300,400),I  00014260
000003      100 PX = -0.25*(1.0-Y)    00014270
000004      RETURN                   00014280
000005      200 PX = 0.25*(1.0-Y)    00014290
000006      RETURN                   00014300
000007      300 PX = 0.25*(1.0+Y)    00014310
000008      RETURN                   00014320
000009      400 PX = -0.25*(1.0+Y)    00014330
000010      RETURN                   00014340
000011      END                      00014350
```

STATISTICS:PROGRAM NAME=PX SOURCE CARDS= 11 PROGRAM SIZE= 488(0001E8)  
DATA SIZE= 280(000118) PROCEDURE SIZE= 208(0000D0)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEQ,NODEBUG,  
EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09

DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

000001	FUNCTION PY(I,X,Y)	00014360
000002	GO TO (100,200,300,400),I	00014370
000003	100 PY = -0.25*(1.0-X)	00014380
000004	RETURN	00014390
000005	200 PY = -0.25*(1.0+X)	00014400
000006	RETURN	00014410
000007	300 PY = 0.25*(1.0+X)	00014420
000008	RETURN	00014430
000009	400 PY = 0.25*(1.0-X)	00014440
000010	RETURN	00014450
000011	END	00014460

STATISTICS:PROGRAM NAME=PY SOURCE CARDS= 11 PROGRAM SIZE= 488(0001E8)  
 DATA SIZE= 280(000118) PROCEDURE SIZE= 208(0000D0)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
 NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSEQ,NODEBUG,  
 EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
 DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

NO DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09

DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000001      SUBROUTINE SK4(NSTRES,NE,KAKOM,X,Y,T,SM,STR,NODT,NELT)          00014470
C   YOUSO GA SHIKAKKEI NO TOKI KONO ROUTINE (SK4) O TOORU.           00014480
C   NSTRES = 1 NO TOKI HEIMEN OURYOKU MONDAI.                         00014490
C   NSTRES = 0 NO TOKI HEIMEN HIZUMI MONDAI.                           00014500
C   NE    --- YOUSO BANGOU.                                         00014510
C   KAKOM  --- KAKU YOUSO NO MOTSU SETTEN BANGOU O KIROKU SHITEIRU. 00014520
C   X     --- KAKU SETTEN NO X-ZAHYO.                                    00014530
C   Y     --- KAKU SETTEN NO Y-ZAHYO.                                    00014540
C   T     --- ATSUSA.                                              00014550
C   SM    --- YOUSO NO GOUSEI-MATRIX.                                00014560
C   STR   --- OURYOKU-MATRIX. (B)*(D) O SHIMESU.                      00014570
C   NODT  --- ZEN SETTEN SUU.                                         00014580
C   NELT  --- ZEN YOUSO SUU.                                         00014590
000002      DIMENSION KAKOM(500,4),X(350),Y(350),T(500),SM(8,8),STR(3,8) 00014600
*      ,B(3,8),D(3,3),W(2,2)                                         00014610
000003      COMMON /PL1/ W,E(500),G(500),GG(500),PO(500),PP(500)        00014620
000004      DIMENSION A(5),WGT(5),SJ(4,5,5)                           00014630
000005      DATA A/ -0.90617984593866, -0.53846931010568, 0.0,           00014640
*      , 0.53846931010568, 0.90617984593866 /                         00014650
000006      DATA WGT/ 0.23692688505619, 0.47862867049937,                 00014660
*      , 0.5688888888888889, 0.47862867049937 /                         00014670
*      , 0.23692688505619 /                                         00014680
000007      DATA NGS/ 5/, NGSM/ 3/                                         00014690
C...   YOUSO NO KAKU SETTEN BANGO O II,IJ,IM,IK, NI IRERU.          00014700
000008      II    = KAKOM(NE,1)                                         00014710
000009      IJ    = KAKOM(NE,2)                                         00014720
000010      IM    = KAKOM(NE,3)                                         00014730
000011      IK    = KAKOM(NE,4)                                         00014740
C   SJ(1,J,I) --- DELTA(X)/DELTA(GUZII)                            00014750
C   SJ(2,J,I) --- DELTA(Y)/DELTA(GUZII)                            00014760
C   SJ(3,J,I) --- DELTA(X)/DELTA(ITA)                               00014770
C   SJ(4,J,I) --- DELTA(Y)/DELTA(ITA)                               00014780
000012      DO 10 J = 1,NGS                                         00014790
000013      DO 10 I = 1,NGS                                         00014800
000014      SJ(1,J,I) = 0.25 * (1.0 - A(I)) * (X(IJ) - X(II))           00014810
*      + 0.25 * (1.0 + A(I)) * (X(IM) - X(IK))           00014820
000015      SJ(2,J,I) = 0.25 * (1.0 - A(I)) * (Y(IJ) - Y(II))           00014830
*      + 0.25 * (1.0 + A(I)) * (Y(IM) - Y(IK))           00014840
000016      SJ(3,J,I) = 0.25 * (1.0 - A(J)) * (X(IK) - X(II))           00014850
*      + 0.25 * (1.0 + A(J)) * (X(IM) - X(IJ))           00014860
000017      SJ(4,J,I) = 0.25 * (1.0 - A(J)) * (Y(IK) - Y(II))           00014870
*      + 0.25 * (1.0 + A(J)) * (Y(IM) - Y(IJ))           00014880
000018      10 CONTINUE                                         00014890
C...   B-MATRIX O CLEAR SURU.                                     00014900
000019      DO 20 J20 = 1,8                                         00014910
000020      DO 20 I20 = 1,3                                         00014920
000021      B(I20,J20) = 0.0                                         00014930
000022      20 CONTINUE                                         00014940
C...   CHUUSHIN TEN DE NO HIZUMI-MATRIX B O KEISAN SURU.          00014950
000023      DET = SJ(1,NGSM,NGSM) * SJ(4,NGSM,NGSM)           00014960
*      - SJ(2,NGSM,NGSM) * SJ(3,NGSM,NGSM)           00014970
000024      DO 30 J = 1,4                                         00014980
000025      PXX = PX(J,0,0,0,0)                                     00014990
000026      PYy = PY(J,0,0,0,0)                                     00015000
000027      B(1,2*J-1) = (SJ(4,NGSM,NGSM)*PXX - SJ(2,NGSM,NGSM)*PYy) / DET 00015010
000028      B(2,2*J) = (SJ(1,NGSM,NGSM)*PYy - SJ(3,NGSM,NGSM)*PXX) / DET 00015020
000029      B(3,2*J-1) = B(2,2*J)                                 00015030
000030      B(3,2*J) = B(1,2*J-1)                                 00015040
000031      30 CONTINUE                                         00015050
C...   D-MATRIX O CLEAR SURU.                                     00015060
000032      DO 40 J40 = 1,3                                         00015070
000033      DO 40 I40 = 1,3                                         00015080
000034      D(I40,J40) = 0.0                                         00015090
000035      40 CONTINUE                                         00015100
000036      G(NE) = E(NE)                                         00015110
000037      PP(NE) = PO(NE)                                         00015120
C...   NSTRES = 0 NO TOKI MA HEIMEN HIZUMI NO BAAI.            00015130
C...   NSTRES = 1 NO TOKI WA HEIMEN OURYOKU NO BAAI.          00015140
000038      IF( NSTRES .EQ. 0 ) GO TO 60                         00015150
C...   HEIMEN OURYOKU NO BAAI.                                    00015160
000039      50 D(1,1) = G(NE) / (1.0-PP(NE)**2)                  00015170
000040      D(1,2) = PP(NE) * D(1,1)                             00015180
000041      D(2,1) = D(1,2)                                         00015190
000042      D(2,2) = D(1,1)                                         00015200
000043      D(3,3) = G(NE)*0.5 / (1.0+PP(NE))                  00015210
000044      GO TO 70                                         00015220
C...   HEIMEN HIZUMI NO BAAI.                                    00015230
000045      60 D(1,1) = G(NE)*(1.0-PP(NE)) / ((1.0+PP(NE))*(1.0-2.0*PP(NE))) 00015240
000046      D(1,2) = G(NE)*PP(NE) / ((1.0+PP(NE))*(1.0-2.0*PP(NE)))       00015250
000047      D(2,1) = D(1,2)                                         00015260
000048      D(2,2) = D(1,1)                                         00015270

```

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 SK4 DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

```

000049      D(3,3) = G(NE)*0.5 / (1.0+PP(NE))          00015280
000050      70 CONTINUE
C...  OURYOKU-MATRIX (STR) O KEISANSURU.           00015290
C...  (STR) = (D) + (B)                           00015300
C...  (B) --- CHUUSIN TEN DENO (B)-MATRIX.        00015310
00015320
000051      DO 75 I = 1,3                         00015330
000052      DO 75 J = 1,8                         00015340
000053      STR(I,J) = 0.0                      00015350
000054      DO 75 K = 1,3                         00015360
000055      75 STR(I,J) = STR(I,J) + D(I,K)*B(K,J)    00015370
C...  YOUSOU GOUSEI-MATRIX NO KEISAN O GAUSS SEKIBUN SHITE MOTOMERU. 00015380
000056      DO 80 JJ = 1,4                         00015390
000057      DO 80 II = JJ,4                      00015400
000058      S1 = 0.0                            00015410
000059      S2 = 0.0                            00015420
000060      S3 = 0.0                            00015430
000061      S4 = 0.0                            00015440
000062      AREA = 0.0                          00015450
C...
000063      DO 90 J=1,NGS                      00015460
000064      DO 90 I = 1,NGS                      00015470
000065      DET = SJ(1,J,I)*SJ(4,J,I) - SJ(2,J,I)*SJ(3,J,I) 00015480
000066      AREA = AREA + DET*WGT(J)*WGT(I)       00015490
000067      XNX = PX(JJ,A(J),A(I))            00015500
000068      XNY = PY(JJ,A(J),A(I))            00015510
000069      XNR = (SJ(4,J,I)*XNX - SJ(2,J,I)*XNY)/DET 00015520
000070      XNZ = (SJ(1,J,I)*XNY - SJ(3,J,I)*XNX)/DET 00015530
000071      XNR1 = XNR                     00015540
000072      XNZ1 = XNZ                     00015550
C...
000073      IF(II.EQ. JJ) GO TO 100             00015560
000074      XNX1 = PX(II,A(J),A(I))            00015570
000075      XNY1 = PY(II,A(J),A(I))            00015580
000076      XNR1 = (SJ(4,J,I)*XNX1 - SJ(2,J,I)*XNY1)/DET 00015590
000077      XNZ1 = (SJ(1,J,I)*XNY1 - SJ(3,J,I)*XNX1)/DET 00015600
000078      100 CONTINUE
000079      S1 = S1 +
*      ( XNR*XNR1*D(1,1) + XNZ*XNZ1*D(3,3) )*DET*WGT(J)*WGT(I) 00015610
000080      S2 = S2 +
*      ( XNR*XNZ1*D(1,2) + XNZ*XNR1*D(3,3) )*DET*WGT(J)*WGT(I) 00015620
000081      S3 = S3 +
*      ( XNZ*XNR1*D(2,1) + XNR*XNZ1*D(3,3) )*DET*WGT(J)*WGT(I) 00015630
000082      S4 = S4 +
*      ( XNZ*XNZ1*D(2,2) + XNR*XNR1*D(3,3) )*DET*WGT(J)*WGT(I) 00015640
000083      90 CONTINUE
000084      J1 = 2*(JJ-1)                      00015650
000085      II = 2*(II-1)                      00015660
000086      SM(J1+1,II+1) = S1                00015670
000087      SM(J1+1,II+2) = S2                00015680
000088      SM(J1+2,II+1) = S3                00015690
000089      SM(J1+2,II+2) = S4                00015700
000090      IF( JJ .EQ. II ) GO TO 80          00015710
000091      SM(II+1,J1+1) = S1                00015720
000092      SM(II+2,J1+1) = S2                00015730
000093      SM(II+1,J1+2) = S3                00015740
000094      SM(II+2,J1+2) = S4                00015750
000095      80 CONTINUE
000096      IF(INSTRES .EQ. 0) GO TO 110        00015760
C...  HEIMEN HIZUMI NO BAAI.               00015770
000097      TH = T(NE)                      00015780
000098      GO TO 120
C...  HEIMEN OURYOKU NO BAAI.            00015790
000099      110 TH = 1.0                      00015800
000100      120 DO 130 I = 1,8              00015810
000101      DO 130 J = 1,8              00015820
000102      130 SM(I,J)= SM(I,J)*TH        00015830
C...  TAPE3 NI (STR)-MATRIX O KAKIKOKMU. 00015840
C...  TAPE3 NI (SM )-MATRIX O KAKIKOMU.   00015850
000103      WRITE( 3 ) STR , SM          00015860
000104      RETURN                         00015870
000105      END                           00015880

```

DIAGNOSTIC MESSAGES FLAG(I),NAME=SK4

JMK032I-I	24	THE VALUE OF THE CONTROL VARIABLE POSSIBLY BE CHANGED IN THIS DO RANGE
JMK032I-I	56	THE VALUE OF THE CONTROL VARIABLE POSSIBLY BE CHANGED IN THIS DO RANGE
JMK032I-I	57	THE VALUE OF THE CONTROL VARIABLE POSSIBLY BE CHANGED IN THIS DO RANGE

FACOM OSIV/F4 FORTRAN IV (GE) V04L09 SK4 DATE 80.09.17 TIME 17.29.14

STATISTICS: PROGRAM NAME=SK4 SOURCE CARDS= 152 PROGRAM SIZE= 5216(001460)  
DATA SIZE= 2552(0009F8) PROCEDURE SIZE= 2664(000A68)

OPTIONS :NOLET, SOURCE,NOLIST,NOMAP,NODUMP,NOTERM,LMSG,FLAG(1),NOISN,NOXREF,  
NODECK,NOINLOG2, DOUBLE,NOQUAD, ALC,FIXED,NOASTER,NOSE@,NODEBUG,  
EBCDIC,NOBYNAME,NOGO, OBJECT,NONAME, GOSTMT, NOTEST, RENT,  
DOVAL(1),NOLIL, NOPR,LINECOUNT(60),SIZE( 170K),PRINT( 0),READ( 0)

3 DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0

END OF COMPIRATION

STATISTICS: PROGRAM UNITS= 14  
SPECIFIED OPTIONS: SOURCE,NOMAP,NODEBUG,DOUBLE,ALC,GOSTMT  
7 DIAGNOSTICS GENERATED, HIGHEST SEVERITY CODE= 0