

JAERI - M
85-185

2次元質点系弾塑性地震応答解析コード
"DYNA"

1985年11月

伊藤 嘉朗・山田 人司*・藤田 茂樹・馬場 治

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1985

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 燃高野高速印刷

2次元質点系弾塑性地震応答解析コード“DYNA”

日本原子力研究所動力炉開発・安全性研究管理部

伊藤 嘉朗・山田 人司*・藤田 茂樹

馬場 治

(1985年10月17日受理)

原子力施設を対象とした2次元質点系弾塑性地震応答解析コード“DYNA”を作成した。構造物の履歴特性として一般トリ・リニア型，原点指向型，最大履歴点指向型の各モデルを設定できる。また，地盤の回転剛性については基礎の浮き上がりによる非線形性を考慮できる。さらに，弾性解析時には，モード合成法により計算時間を短縮することが可能である。

本報は，DYNAの機能概要，コード内での計算方法，使用方法，並びに解析例について記述している。

* 株式会社 間組

Computer Code "DYNA"
for Elasto-Plastic Dynamic Structural Response Analysis
of Two Dimensional Lumped-Mass Systems

Yoshio ITOH, Hitoshi YAMADA*
Shigeki FUJITA and Osamu BABA

Department of Power Reactor Projects, JAERI
(Received October 17, 1985)

DYNA is a computer code for the elasto-plastic dynamic response analysis of a nuclear power plant structure subjected to earthquakes. The structure response can be analyzed using four models of restoring force characteristics: Normal Tri-Linear model, Origin-Oriented model, Peak-Oriented model and Reversal model for uplift of foundation caused by overturning moment. Elastic dynamic response analyses can be performed efficiently using mode superposition method.

This report presents main features of the code, numerical procedure, manual of the code and example analysis.

Key words: Earthquakes, Computer Code, Dynamic Response Analysis,
Lumped Mass System, Elasto-Plastic, Two Dimension Restoring
Force Characteristic, Mode Superposition Method

* Hazama-Gumi, LTD

目 次

1. コード概要	1
2. 計算方法	5
2.1 振動方程式の解法	5
2.1.1 直接積分 (弾塑性解析)	5
2.1.2 モード合成法 (弾性解析)	7
2.2 要素	8
2.2.1 ビーム要素	8
2.2.2 バネ要素	9
2.2.3 地盤バネ要素	9
2.3 剛性マトリックス	10
2.4 減衰	11
2.4.1 歪エネルギー比例型	11
2.4.2 レーリー型	12
2.5 復元力特性	13
2.5.1 一般トリ・リニア型	13
2.5.2 原点指向型	13
2.5.3 最大履歴点指向型	14
2.5.4 逆行型	15
2.5.5 履歴径路判定の一般的規則	15
3. 使用方法	17
3.1 入力の一般事項	17
3.2 インプットデータ	22
3.3 実行JCL	34
4. 解析例	35
4.1 解析モデル	35
4.2 履歴径路	35
4.3 解析時間刻み	41
4.4 他コードとの応答比較	43
謝 辞	45
参考文献	45
APPENDIX 入出力例	46

CONTENTS

1. Main Features of the Code	1
2. Numerical Procedure	5
2.1 Solution Method of the Equations of Motion	5
2.1.1 Direct Integration (Elasto-Plastic Analysis)	5
2.1.2 Mode Superposition method (Elastic Analysis)	7
2.2 Elements	8
2.2.1 Beam Elements	8
2.2.2 Spring Elements	9
2.2.3 Soil Spring Elements	9
2.3 Stiffness Matrix	10
2.4 Damping	11
2.4.1 Strain Energy Proportional Damping	11
2.4.2 Rayleigh Damping	12
2.5 Restoring Force Characteristics	13
2.5.1 Normal Tri-Linear Model	13
2.5.2 Origin-Oriented Model	13
2.5.3 Peak-Oriented Model	14
2.5.4 Reversal Model	15
2.5.5 The Rules for changes of Stiffness in Hysteresis Curves	15
3. Manual	17
3.1 General	17
3.2 Input Data	22
3.3 Job Control	34
4. Example Analysis	35
4.1 Example Model	35
4.2 Hysteresis Curves	35
4.3 Time Increment of Response Analysis	41
4.4 Comparison of Response Values Calculated by DYNA and Another Code	43
Acknowledgement	45
References	45
Appendix Input and Output List of Example Analysis	46

1. コード概要

本コードは、Fig. 1.1のような質点系置換の構造物モデルを対象とした2次元の弾性および弾塑性地震応答解析プログラムである。概要をTable 1.1に示す。

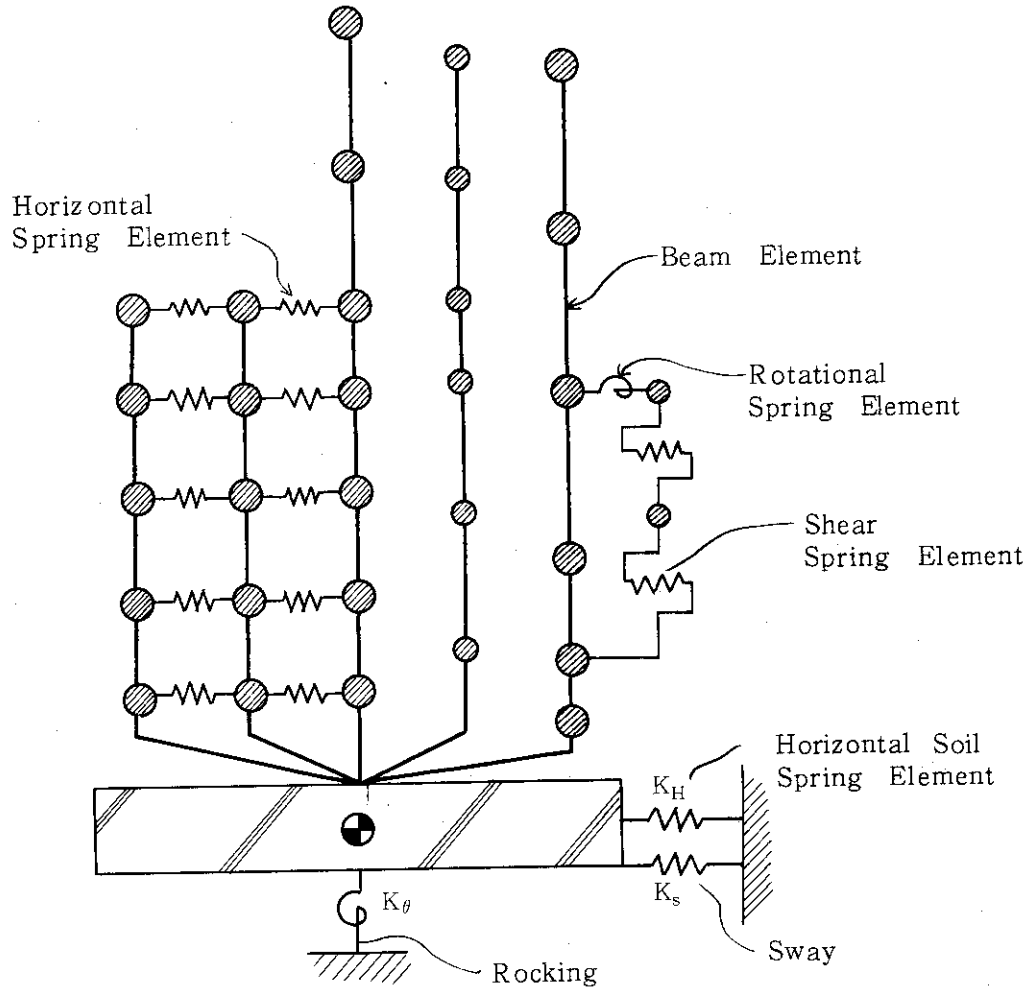


Fig. 1.1 Lumped-Mass-Model

Table 1.1 Main Features

Capacity	Number of nodes	≤ 100
	Degrees of freedom	≤ 100
	Number of beam elements	≤ 100
	Number of spring elements	≤ 50
	Number of soil spring elements	≤ 5
Types of element	<ol style="list-style-type: none"> 1. Beam element 2. Spring element (Horizontal, Rotational) 3. Soil spring element 	
Types of restoring force characteristics	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normal Tri-linear model 2. Origin-Oriented model 3. Peak-Oriented model 4. Reversal model 	
Types of damping	<ol style="list-style-type: none"> 1. Strain energy proportional damping 2. Rayleigh damping 	
Eigen value Analysis	Jacobi method	
Elastic analysis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Direct integration 2. Mode superposition method 	
Elasto-plastic analysis	Direct integration	

主な機能は以下の通りである。

(1) 解析可能なモデル

振動モデルは節点と要素から構成される。節点には以下のタイプを考慮できる。

- a) 質量および回転慣性を有する節点
- b) 質量または回転慣性を有する節点
- c) ゼロ・マス節点

任意の節点において、水平及び回転自由度のいずれか一方または両方を拘束することができる。

要素は以下のタイプを設定できる。

- a) ビーム要素 (曲げ・せん断要素)

- b) せん断バネ要素
- c) 水平バネ要素
- d) 回転バネ要素
- e) 地盤ロッキングバネ要素
- f) 地盤スウェイバネ要素（基礎中心との鉛直距離により発生するモーメントを考慮）
- g) 地盤水平バネ要素（同上）

なお、各要素のモデルについては Fig. 2.1～2.5 に示す。

(2) 固有値解析

固有値解析は、ヤコビ法により行う。応答解析を行わず、固有値解析のみを実行することも可能である。

(3) モード合成法による弾性解析

弾性応答解析では、モード合成法を用いることができる。モードの重ね合わせ次数は任意に設定でき、自由度の多いモデルの場合には大巾に計算時間を短縮できる。なお、数値積分はニューマーク・ β 法を用いている。

減衰は以下のタイプを考慮できる。

- a) 歪エネルギー比例減衰によりモード別減衰定数を計算する。
- b) レイリー減衰によりモード別減衰定数を算定する。

リスト出力される解析結果は以下の通りである。

- a) 各節点の、絶対加速度、相対速度、相対変位の最大応答値とその発生時刻。
- b) 各要素の変形量、発生荷重の最大値とその発生時刻。
- c) 指定された時間間隔での、節点の絶対加速度、相対速度、相対変位の中間応答値。
- d) 指定された時間間隔での、要素の変形量、発生荷重の中間応答値。

また、リスト出力とは別に以下の項目をカードイメージのファイルとして出力できる。

- a) 指定された節点の絶対加速度、相対速度、相対変位の応答時刻歴。
- b) 指定された要素の荷重、変形の時刻歴。
- c) 固有振動数、固有周期、刺激係数、および固有モード。

(4) 直接積分による弾塑性解析

弾塑性解析においては、系の剛性が逐次変化するため、モード合成法は使えず、直接、ニューマーク・ β 法を用いる。考慮できる減衰のタイプは、モード合成法のものと同様である。また考慮できる復元力特性は以下の通りである。

- a) 一般トリ・リニア型
- b) 原点指向型
- c) 最大履歴点指向型
- d) 逆行型（地盤バネのみ）

リスト出力される解析値は、弾性解析時と同様のもののほかに、最大塑性率が出力される。

$$\text{最大塑性率 1} = \frac{\text{最大応答歪}}{\text{第 1 折れ点の歪}}$$

$$\text{最大塑性率 2} = \frac{\text{最大応答歪}}{\text{第 2 折れ点の歪}}$$

弾性解析と同様に、要素の荷重と変形の時刻歴を FILE 出力することができる。これを用いれば、簡単な作図プログラムを作成することによって、要素の履歴挙動を容易に追跡することが可能である。

2. 計 算 方 法

2.1 振動方程式の解法

2.1.1 直接積分（弾塑性解析）

質点系モデルが、地震動（加速度： \ddot{x}_0 ）により強制振動をする時、運動方程式は下式で表わせる。^{1) 2)}等

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C} \cdot \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \cdot \mathbf{x} = -\mathbf{M} \cdot \phi \cdot \ddot{x}_0 \quad (1)$$

\mathbf{M} : 質量マトリックス

\mathbf{C} : 減衰マトリックス

\mathbf{K} : 剛性マトリックス

\mathbf{x} : 相対変位ベクトル

$\dot{\mathbf{x}}$: 相対速度ベクトル

$\ddot{\mathbf{x}}$: 相対加速度ベクトル

ϕ : 地動加速度の分布ベクトル。水平振動ベクトルに対して1.0, 他は0.0。

\ddot{x}_0 : 地動加速度

弾塑性解析では、(1)式をStep-by-Stepに解く。塑性解析では、剛性が履歴特性に応じて、時々刻々と変化する。本コードでは、与えられた解析時間刻み Δt ごとに応答計算を行い、各時間きざみの間では、変位増分と復元力増分に比例関係があるものとする。

減衰については、塑性域に入っても、減衰マトリックス \mathbf{C} は不変とする。

n ステップでの運動方程式は下式となる。

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{x}}_n + \mathbf{C} \cdot \dot{\mathbf{x}}_n - \mathbf{Q}_n = -\mathbf{M} \cdot \phi \cdot \ddot{x}_{0n} \quad (2)$$

\mathbf{x}_n : n ステップにおける変位ベクトル

\ddot{x}_{0n} : n ステップにおける地動加速度

\mathbf{Q}_n : n ステップにおける復元力

$$\mathbf{Q}_n = \mathbf{Q}_{n-1} - \mathbf{K}_n \cdot \Delta \mathbf{x}_n \quad (3)$$

\mathbf{K}_n : n ステップでの剛性マトリックス

$\Delta \mathbf{x}_n$: n ステップでの変位増分ベクトル

ここで、 $\ddot{\mathbf{x}}_n$, $\dot{\mathbf{x}}_n$ を増分形で表わす。

$$\ddot{\mathbf{x}}_n = \ddot{\mathbf{x}}_{n-1} + \Delta \ddot{\mathbf{x}}_n \quad (4)$$

$$\dot{\mathbf{x}}_n = \dot{\mathbf{x}}_{n-1} + \Delta \dot{\mathbf{x}}_n \quad (5)$$

(3), (4), (5)式を(2)式に代入し、整理すると、

$$\mathbf{M} \cdot \Delta \ddot{\mathbf{x}}_n + \mathbf{C} \Delta \dot{\mathbf{x}}_n + \mathbf{K}_n \Delta \mathbf{x}_n = \mathbf{Q}_{n-1} - \mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{x}}_{n-1} - \mathbf{C} \cdot \dot{\mathbf{x}}_{n-1} - \mathbf{M} \cdot \phi \cdot \ddot{\mathbf{x}}_{0n} \quad (6)$$

ここで、ニューマーク・β法により上式を解く。本法の基本式は下式で与えられる。

$$\dot{\mathbf{x}}_n = \dot{\mathbf{x}}_{n-1} + \frac{1}{2} (\ddot{\mathbf{x}}_{n-1} + \ddot{\mathbf{x}}_n) \cdot \Delta t \quad (7)$$

$$\mathbf{x}_n = \mathbf{x}_{n-1} + \dot{\mathbf{x}}_{n-1} \cdot \Delta t + \left(\frac{1}{2} - \beta \right) \cdot \ddot{\mathbf{x}}_{n-1} \cdot \Delta t^2 + \beta \cdot \ddot{\mathbf{x}}_n \cdot \Delta t^2 \quad (8)$$

これを、増分形で表わす。

$$\Delta \mathbf{x}_n = \Delta t \cdot \ddot{\mathbf{x}}_{n-1} + \frac{\Delta t}{2} \cdot \Delta \ddot{\mathbf{x}}_n \quad (9)$$

$$\Delta \dot{\mathbf{x}}_n = \Delta t \cdot \dot{\mathbf{x}}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} \cdot \ddot{\mathbf{x}}_{n-1} + \beta \cdot \Delta t^2 \cdot \Delta \ddot{\mathbf{x}}_n \quad (10)$$

上式を(6)式に代入し、 $\Delta \ddot{\mathbf{x}}_n$ について整理すると、

$$\left\{ \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \cdot \mathbf{C} + \beta \cdot \Delta t^2 \cdot \mathbf{K}_n \right\} \cdot \Delta \ddot{\mathbf{x}}_n = \mathbf{Q}_{n-1} - \mathbf{M} \cdot \phi \cdot \ddot{\mathbf{x}}_{0n} - \left\{ \mathbf{C} + \Delta t \cdot \mathbf{K}_n \right\} \cdot \dot{\mathbf{x}}_{n-1} - \left\{ \mathbf{M} + \Delta t \cdot \mathbf{C} + \frac{\Delta t^2}{2} \cdot \mathbf{K}_n \right\} \cdot \ddot{\mathbf{x}}_{n-1} \quad (11)$$

よって、 $\Delta \ddot{\mathbf{x}}_n$ は次のように求まる。

$$\Delta \ddot{\mathbf{x}}_n = \left\{ \mathbf{M} + \frac{\Delta t}{2} \mathbf{C} + \beta \cdot \Delta t^2 \cdot \mathbf{K}_n \right\}^{-1} \cdot \left[\mathbf{Q}_{n-1} - \mathbf{M} \cdot \phi \cdot \ddot{\mathbf{x}}_{0n} - \left\{ \mathbf{C} + \Delta t \cdot \mathbf{K}_n \right\} \cdot \dot{\mathbf{x}}_{n-1} - \left\{ \mathbf{M} + \Delta t \cdot \mathbf{C} + \frac{\Delta t}{2} \cdot \mathbf{K}_n \right\} \cdot \ddot{\mathbf{x}}_{n-1} \right] \quad (12)$$

これを(9) (10)式に代入して、速度増分、変位増分を求める。

ニューマーク・β法でのβの値は、加速度変化の仮定に応じて次のような値となる。

- β = 0 …………… 衝撃加速度法
- β = $\frac{1}{8}$ …………… 段階加速度法
- β = $\frac{1}{6}$ …………… 線型加速度法
- β = $\frac{1}{4}$ …………… 平均加速度法 (無条件安定)

弾性計算時に際して、β ≥ 0.25 の範囲では無条件に安定であるが、0 ≤ β < 0.25 のときに、時

間刻み Δt は下式を満足する必要がある。³⁾

$$\Delta t \leq \frac{T}{\pi\sqrt{1-4\beta}} \quad (13)$$

T : 系の固有周期, 多自由度系では最小の固有周期

上式は発散しないための条件であり, 精度を考えれば Δt はさらに小さくする必要がある。一般的な弾性解析では $\Delta t = 0.01 \text{sec}$ としている。(弾塑性解析時の解析時間刻みに関しては 4.3 節を参照)

応答計算の初期値は, 加速度, 速度, 変位とも 0 としている。また, この計算方法で, 入力地動加速度の最終時間ステップまでの応答を計算できる。

2.1.2 モード合成法 (弾性解析)

弾塑性解析においては(1)式を直接的に解いたが, 弾性解析においてはモード合成法 (mode superposition method) により解析時間を短縮できる。すなわち, 自由度の多い系の場合, 卓越するモードだけの重ね合わせにより, 解析することができる。

相対加速度, 相対速度, 相対変位, および地動加速度の分布ベクトルは, 一般化座標 (generalized coordinate) を用いて次のように表わせる。

$$\begin{aligned} \ddot{\mathbf{x}} &= \mathbf{U} \cdot \ddot{\mathbf{q}} \\ \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{U} \cdot \dot{\mathbf{q}} \\ \mathbf{x} &= \mathbf{U} \cdot \mathbf{q} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\phi = \mathbf{U} \cdot \beta \quad \beta_s = \frac{\mathbf{u}_s^T \cdot \mathbf{M} \cdot \phi}{\mathbf{u}_s^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{u}_s}$$

U : 固有マトリックス (非減衰) β : 刺激係数ベクトル

q : 一般化座標系での変位 β_s : s 次の刺激係数

上式を(1)式に代入し, さらに両辺の各項に左から \mathbf{U}^T を掛ける。

$$\mathbf{U}^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{U} \cdot \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{U} \cdot \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{q} = -\mathbf{U}^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{U} \cdot \beta \cdot \ddot{x}_0 \quad (15)$$

$\mathbf{U}^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{U}$ と $\mathbf{U}^T \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{U}$ は対角行列であり, さらに $\mathbf{U}^T \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{U}$ を対角行列となるように設定すれば, (15) 式は振動系別に次のように表わせる。

$$M_s^* \cdot \ddot{q}_s + C_s^* \cdot \dot{q}_s + K_s^* \cdot q_s = -M_s^* \cdot \beta_s \cdot \ddot{x}_0 \quad (16)$$

$M_s^* = \mathbf{u}_s^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{u}_s$: s 次の一般化質量

$C_s^* = \mathbf{u}_s^T \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{u}_s$: s 次の一般化減衰

$K_s^* = \mathbf{u}_s^T \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{u}_s$: s 次の一般化剛性

\mathbf{u}_s : s 次の固有ベクトル

上式において, $q_s = \beta_s \cdot q_{s0}$ とすると,

$$M_s^* \cdot \ddot{q}_{s0} + C_s^* \cdot \dot{q}_{s0} + K_s^* \cdot q_{s0} = -M_s^* \cdot \ddot{x}_0$$

前述のニューマーク・ β 法を用いて, q_{s0} , \dot{q}_{s0} , \ddot{q}_{s0} を, Step-by-Step に解くことができる。これを下式のように, 必要な振動次数まで加える。

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \sum_{s=1}^m \mathbf{u}_s \cdot \beta_s \cdot q_{s0} \\ \dot{\mathbf{x}} &= \sum_{s=1}^m \mathbf{u}_s \cdot \beta_s \cdot \dot{q}_{s0} \\ \ddot{\mathbf{x}} &= \sum_{s=1}^m \mathbf{u}_s \cdot \beta_s \cdot \ddot{q}_{s0} \end{aligned} \tag{17}$$

m : 解析上考慮したい振動次数。

絶対加速度は下式により求める。

$$(\ddot{\mathbf{x}} + \phi \ddot{x}_0) = \sum_{s=1}^m \mathbf{u}_s \cdot \beta_s \cdot (\ddot{q}_{s0} + \ddot{x}_0) \tag{18}$$

自由度の多い系においては, 高次の振動モードは, あまり応答に影響を与えない。地震動の周波数特性と, 振動系の刺激係数 β を考慮して, 重ね合わすべき次数を定めれば, 計算時間を大巾に短縮することができる。

2.2 要素

2.2.1 ビーム要素

ビーム要素の剛性マトリックスは下式を用いる。

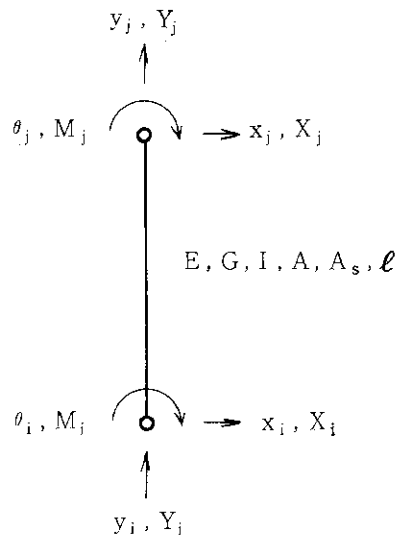


Fig. 2.1 Beam Element

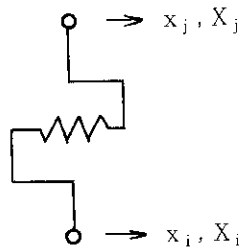
$$\begin{Bmatrix} Y_i \\ X_i \\ M_i \\ Y_j \\ X_j \\ M_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{\ell} & & & & & \\ & 0 & \frac{12EI}{\ell^3(1+\alpha)} & & & -\text{sym.} - \\ & & \frac{6EI}{\ell^2(1+\alpha)} & \frac{(4+\alpha)EI}{\ell(1+\alpha)} & & \\ \frac{EA}{\ell} & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{\ell} & \\ & 0 & \frac{-12EI}{\ell^3(1+\alpha)} & \frac{-6EI}{\ell^2(1+\alpha)} & 0 & \frac{12EI}{\ell^3(1+\alpha)} \\ & 0 & \frac{6EI}{\ell^2(1+\alpha)} & \frac{(2-\alpha)EI}{\ell(1+\alpha)} & 0 & \frac{-6EI}{\ell^2(1+\alpha)} \quad \frac{(4+\alpha)EI}{\ell(1+\alpha)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_i \\ x_i \\ \theta_i \\ y_j \\ x_j \\ \theta_j \end{Bmatrix}$$

$\alpha : \frac{12EI}{GA_s \ell^2}$: 曲げ変形に対するせん断変形の割合。せん断変形を考慮しないときは $\alpha = 0$ となる。

2.2.2 バネ要素

せん断バネ要素, 水平バネ要素, および回転バネ要素の剛性マトリックスは次のようになる。

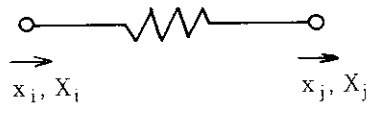
1) せん断バネ要素



$$\begin{Bmatrix} X_i \\ X_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_s & -K_s \\ -K_s & K_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_i \\ x_j \end{Bmatrix} \quad (20)$$

Fig. 2.2 Sear Spring Element

2) 水平バネ要素



$$\begin{Bmatrix} X_i \\ X_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_H & -K_H \\ -K_H & K_H \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_i \\ x_j \end{Bmatrix} \quad (21)$$

Fig. 2.3 Horizontal Spring Element

3) 回転バネ要素

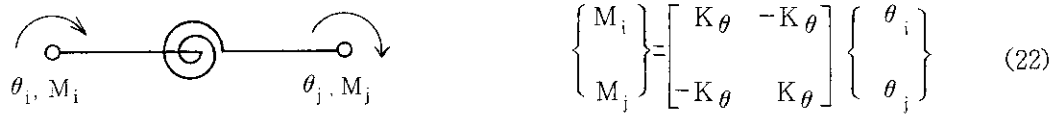


Fig. 2.4 Rotational Spring Element

2.2.3 地盤バネ要素

地盤バネは最大5個まで、基礎質点に付すことができる。水平バネ（底面水平バネ、側面バネ等）は、その高さと基礎質点間の距離によって生じるモーメントを考慮する。剛性マトリックスは下記ようになる。

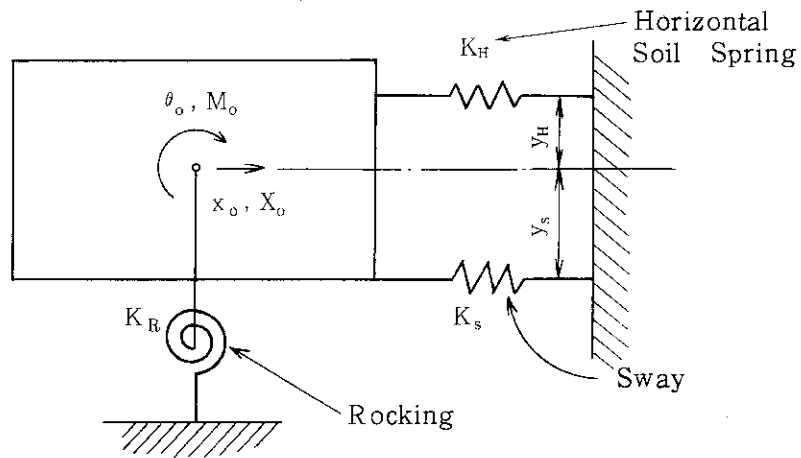


Fig. 2.5 Soil Spring Element

$$\begin{Bmatrix} X_0 \\ M_0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_H + K_s & K_H y_H - K_s y_s \\ K_H y_H - K_s y_s & K_H y_H^2 + K_s y_s^2 + K_R \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_0 \\ \theta_0 \end{Bmatrix} \quad (23)$$

2.3 剛性マトリックス

全体剛性マトリックスは、要素剛性マトリックスを重ね合わせて作成することができる。本コードでは、質量を有しない節点に対し自由度の縮合を行っている。x₂を質量のない節点変位とすると、荷重は次のように表わせる。

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{P} \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} \\ \mathbf{K}_{21} & \mathbf{K}_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \end{Bmatrix} \quad (24)$$

x_2 に対応する、慣性力、減衰力、外力、および荷重項は 0 となる。
これを分解すれば、

$$\mathbf{P} = \mathbf{K}_{11} \cdot \mathbf{x}_1 + \mathbf{K}_{12} \cdot \mathbf{x}_2 \quad (25)$$

$$\mathbf{0} = \mathbf{K}_{21} \cdot \mathbf{x}_1 + \mathbf{K}_{22} \cdot \mathbf{x}_2 \quad (26)$$

(26) 式より、

$$\mathbf{x}_2 = -\mathbf{K}_{22}^{-1} \cdot \mathbf{K}_{21} \cdot \mathbf{x}_1 \quad (27)$$

これを(25)式に代入すれば、

$$\mathbf{P} = (\mathbf{K}_{11} - \mathbf{K}_{12} \cdot \mathbf{K}_{22}^{-1} \cdot \mathbf{K}_{21}) \cdot \mathbf{x}_1 \quad (28)$$

よって、等価剛性マトリックス \mathbf{K}^* は次式となる。(Guyan の縮合)

$$\mathbf{K}^* = \mathbf{K}_{11} - \mathbf{K}_{12} \cdot \mathbf{K}_{22}^{-1} \cdot \mathbf{K}_{21} \quad (29)$$

2.4 減衰

2.4.1 歪エネルギー比例型

この手法は、要素ごとに入力された減衰定数から、振動形別減衰定数を求め、これと各次の固有振動数から減衰マトリックスを作成するものである。各要素のエネルギー損失量により、振動形別の減衰を評価するという考え方に基⁴⁾づいている。

要素の減衰定数は下式で表わされる。

$$h_e = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W_{es}}{W_{es}} \quad (30)$$

h_e : 部材 e の減衰定数

ΔW_{es} : s 次のモードにおける 1 周期間の部材 e の損失エネルギー

W_{es} : s 次のモードにおける部材 e の歪エネルギー

多自由度系のモード減衰定数は次式によって求めることができる。

$$h_s = \frac{1}{4\pi} \frac{\sum_{e=1}^n \Delta W_{es}}{\sum_{e=1}^n W_{es}} = \frac{\sum_{e=1}^n h_e W_{es}}{\sum_{e=1}^n W_{es}} = \frac{\mathbf{u}_s^T \cdot \mathbf{K}_h \cdot \mathbf{u}_s}{\mathbf{u}_s^T \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{u}_s} \quad (31)$$

h_s : s 次のモード減衰定数

\mathbf{u}_s : s 次の固有ベクトル (非減衰)

\mathbf{K} : 剛性マトリックス

\mathbf{K}_h : $h_e \cdot \mathbf{K}_e$ を要素剛性としてこれを重畳して得られる全体剛性マトリックス

\mathbf{K}_e : 要素剛性マトリックス
 一般化減衰マトリックス \mathbf{C}^* は下式で表わせる。

$$\mathbf{C}^* = 2 \cdot \mathbf{h} \cdot \mathbf{w} \cdot \mathbf{M}^* \quad (32)$$

\mathbf{h} : モーダル減衰マトリックス (対角)

\mathbf{w} : 固有円振動数マトリックス (対角)

\mathbf{M}^* : 一般化質量マトリックス (対角)

ここで

$$\mathbf{C}^* = \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{U} \quad (33)$$

\mathbf{U} : モードマトリックス

よって

$$\mathbf{C} = [\mathbf{U}^{-1}]^T \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{U} \cdot \mathbf{U}^{-1} = [\mathbf{U}^T]^{-1} \cdot \mathbf{C}^* \cdot \mathbf{U}^{-1} \quad (34)$$

また,

$$\mathbf{I} = [\mathbf{M}^*]^{-1} \cdot \mathbf{M}^* = [\mathbf{M}^*]^{-1} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{U} = \mathbf{U}^{-1} \cdot \mathbf{U} \quad (35)$$

よって,

$$\mathbf{U}^{-1} = [\mathbf{M}^*]^{-1} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{M} \quad (36)$$

(34), (36) 式より,

$$\mathbf{C} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{U} \cdot [\mathbf{M}^*]^{-1} \cdot \mathbf{C}^* \cdot [\mathbf{M}^*]^{-1} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{M} \quad (37)$$

上式と (32) 式により

$$\mathbf{C} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{U} \cdot 2 \cdot \mathbf{h} \cdot \mathbf{w} \cdot [\mathbf{M}^*]^{-1} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{M} \quad (38)$$

コード内では, 下式を計算している。

$$\mathbf{C} = \mathbf{M} \cdot \sum_{s=1}^n \frac{2 \cdot h_s \cdot w_s}{M_s^*} (\mathbf{u}_s \cdot \mathbf{u}_s^T) \cdot \mathbf{M}$$

$$C_{\ell k} = \sum_{s=1}^n \frac{2 \cdot h_s \cdot w_s}{M_s^*} \cdot U_{ks} \cdot U_{\ell s} \cdot m_k \cdot m_{\ell} \quad (39)$$

2.4.2 レーリー型

減衰マトリックスが, 比例減衰形であれば, モード合成法により正しい解が得られる。比例減衰マトリックスの一般形は, Caughey により次式で示されている。⁵⁾

$$\mathbf{C} = \mathbf{M} \cdot \left\{ \sum_{j=0}^{n-1} a_j (\mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{K})^j \right\} \quad (40)$$

レーリー減衰 (Rayleigh damping) は上式の第2項までを考慮したもので次式で表わされる。

$$C = \alpha \cdot M + \beta \cdot K \quad (41)$$

これは、解析においてしばしば用いられる形式の1つで、 α 、 β の係数は入力する。

2.5 復元力特性

2.5.1 一般トリ・リニア型

要素の荷重-変形関係のスケルトンカーブとして、トリ・リニアを設定する。履歴法則をFig. 2.6に示す。第一勾配では可逆であるが、スケルトンカーブの第2、第3勾配上から変形が戻るときの勾配は、第一勾配となり、この勾配上は可逆である。 $2P_1$ の荷重低下の後、第2勾配となる。この勾配上も変形が戻るときは第一勾配となり、 $2P_1$ の荷重増加があれば、第2勾配となる。この復元力特性は履歴面積が大きく、鉄骨構造物の特性に近い。径路判定が容易であるため多用されている。

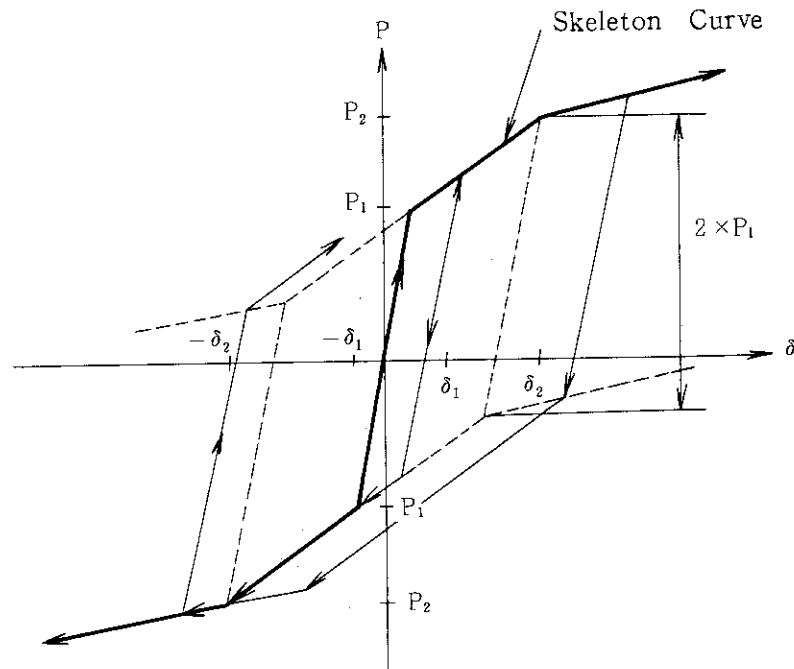


Fig. 2.6 Normal Tri-Linear Model

2.5.2 原点指向型

履歴法則をFig. 2.7に示す。スケルトンカーブはトリ・リニアである。第2勾配、第3勾配からの除荷時には、原点を指向する直線勾配となる。この線上では可逆的であり反対側のスケルトンカーブに至り剛性を変更される。この復元力特性は、履歴面積が小さく、鉄筋コンクリート構造物のせん断特性として用いられることが多い。

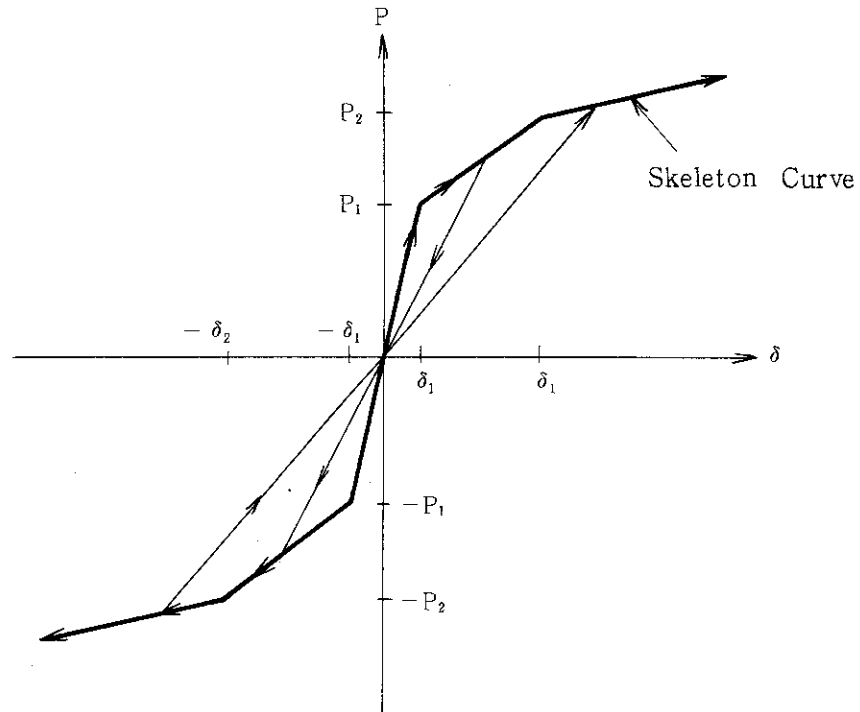


Fig. 2.7 Origin-Oriented Model

2.5.3 最大履歴点指向型

履歴法則をFig. 2.8に示す。スケルトンカーブはトリ・リニア型である。第2勾配、第3勾配からの除荷時には、逆方向における過去の最大履歴点を指向する直線勾配となる。逆方向における過去の最大履歴が第一勾配にある場合は、第一折れ曲り点を指向するものとする。つまり、過去の最大履歴の初期値は第一折れ曲り点である。鉄筋コンクリート部材の履歴特性として使われる。

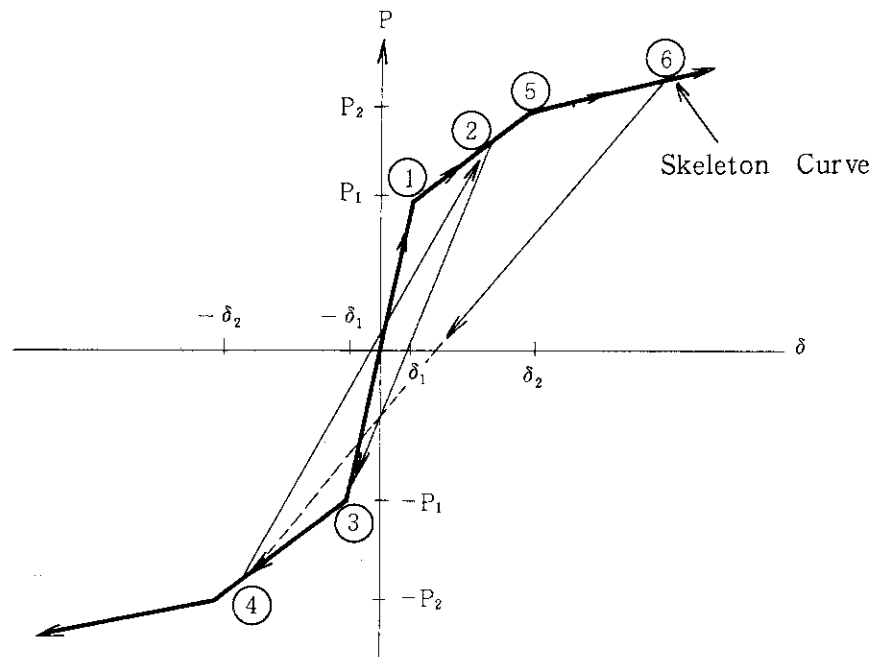


Fig. 2.8 Peak-Oriented Model

In the force-deformation curve, when force exceeds the point ① and the increment of force reverses at the point ②, the slope (stiffness) orients the crack point ③ in the negative side. If the increment of force reverses at the point ④, the slope orients the point ② where maximum force was recorded previously in the positive side.

2.5.4 逆行型

Fig. 2.9 に示す様にトリ・リニア型のスケルトンカーブ上を除荷段階で逆行する履歴特性である。履歴減衰はなく基礎の浮き上り、いわゆる幾何学的非線型などのモデルに使用する。

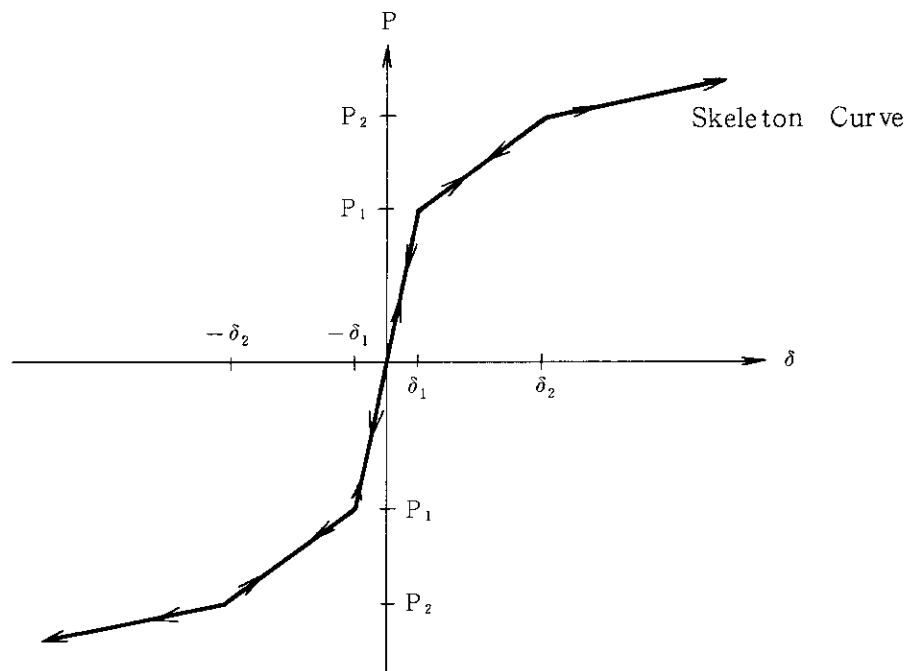


Fig. 2.9 Reversal Model

2.5.5 履歴径路判定の一般的規則

- 1) 本コードでは、ビーム要素の履歴特性は、各折れ曲り点において、要素の有効せん断断面積、あるいは断面2次モーメントが変化するものとして扱う。
- 2) ビーム要素の断面2次モーメントを変化させる場合は、要素に作用する曲げモーメントにより折れ曲がり点を判定する。このとき、モーメントとしては絶対値最大のものをとる。
- 3) ビーム要素の有効せん断断面積を変化させる場合は、要素に作用するせん断力により折れ曲がり点を判定する。
- 4) 履歴特性の入力は、初期剛性評価用に、バネ要素ではバネ定数、ビーム要素では断面2次モーメント、ヤング率、有効せん断断面積、せん断弾性係数を入力する。さらに、第1折れ

曲り点, 第2折れ曲り点の各反力, および第2勾配, 第3勾配の初期剛性に対するそれぞれの剛性低下率を入力する。

- 5) 負荷時における剛性の低下は, 折れ曲がり点を通じた時間ステップの次のステップから行う。
- 6) 除荷点における剛性の増加は, 荷重が減少に移ったステップから行う。

3. 使用 方 法

3.1 入力的一般事項

プログラムで行う基本的な処理フローを Fig. 3.1 に示す。各処理は入力コマンドと対応しており、使用者は、解析に合ったコマンド群を入力する。各コマンドと、それに引き続き入力するデータ群を Table 3.1 に示す。データは、後述する入力フォーマット (3.2 参照) により、カードイメージデータとして入力する。

処理の終了は STOP コマンドにより行われる。本コードでは、一度に複数のモデルの解析を連続して処理することができるが、それらの最後に STOP コマンドを入力する。また、固有値解析のみを行うことも可能である。

解析目的に応じたコマンド入力例を Fig. 3.2 に示す。

本コードで使用するファイルを Table 3.2 に示す。論理機番 10~14 のファイルは、応答時刻歴や固有値解析結果等のファイル出力用のものである。リスト出力 (論理機番 6) のみを行う場合は、不要となる。

入力時の単位系は特に指定しない。コード内では、単位変換は行っていない。入力の際に設定した単位系がそのまま出力データの単位系となる。

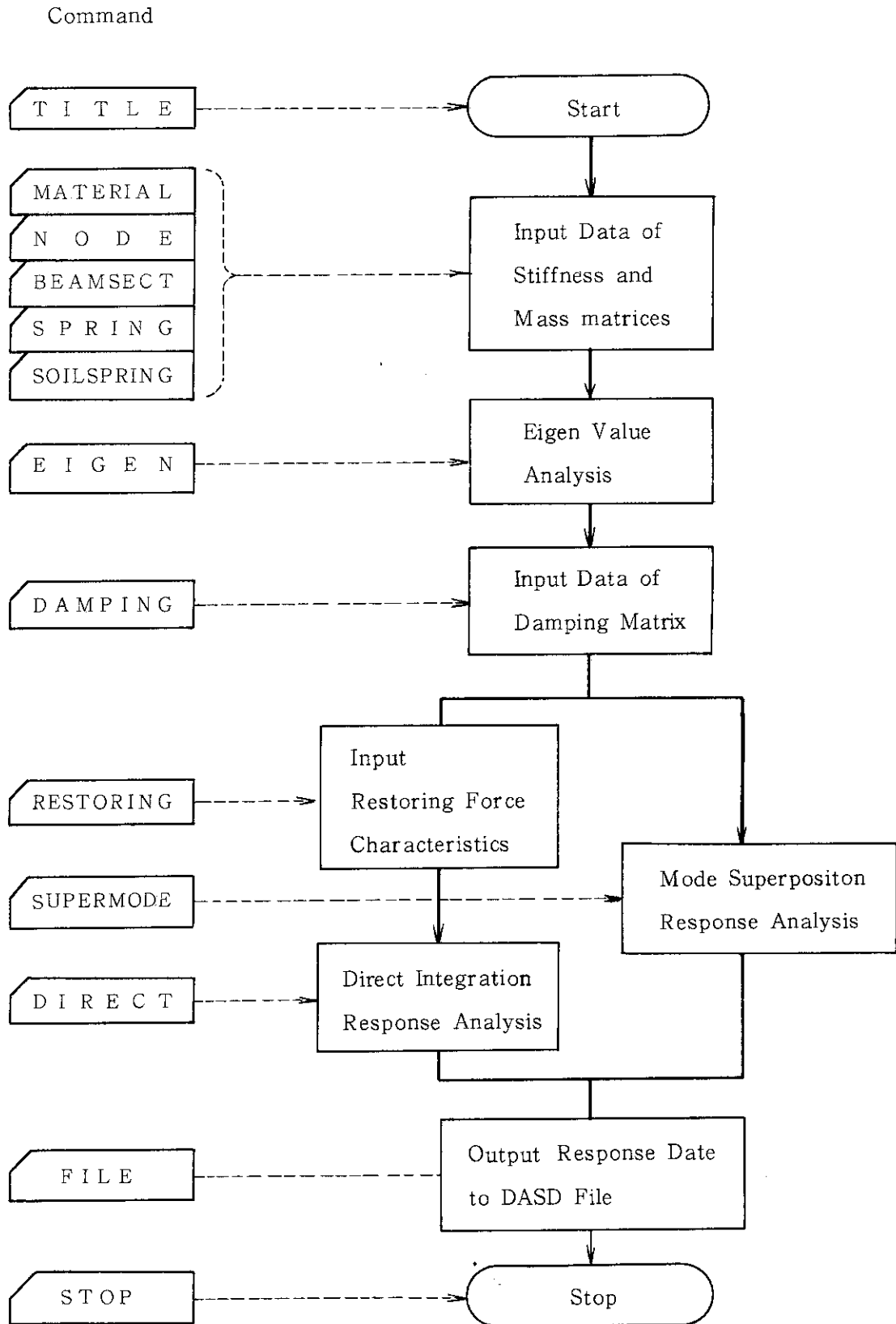
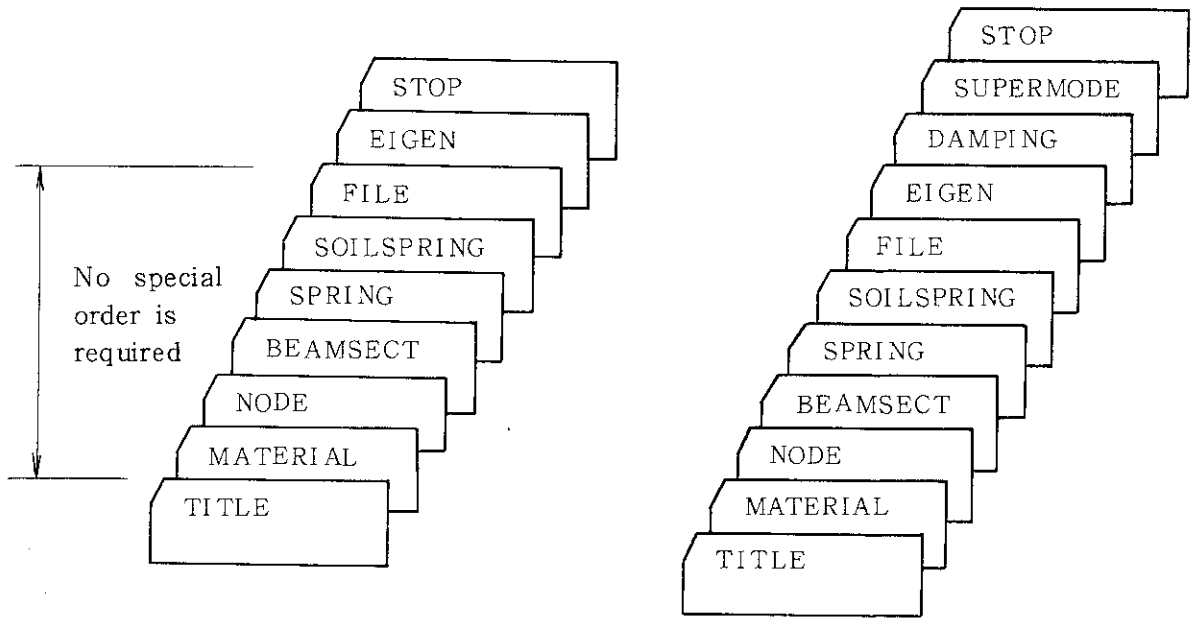


Fig. 3.1 Input Command and Flow Diagram

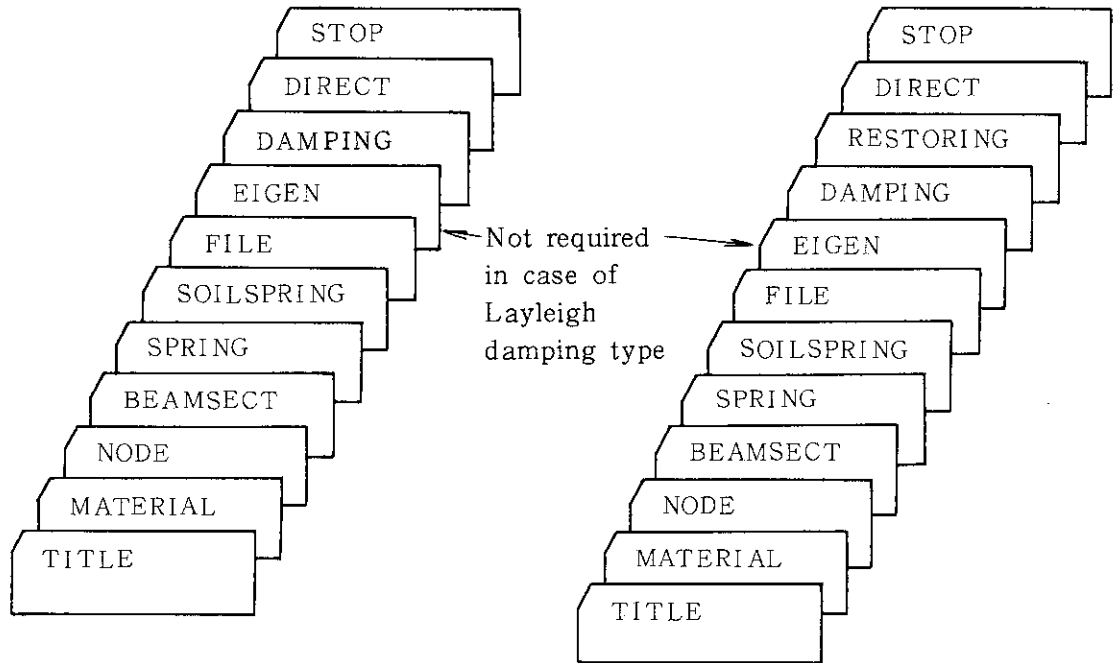
Table 3.1 Input Cards

Data Set No.	Command	Description of Input
1.1	TITLE	Start command
1.2		Title
2.1	MATERIAL	Material data input command
2.2		Material data for beam elements
3.1	NODE	Node data input command
3.2		Node data
4.1	BEAMSECT	Beam element data input command
4.2		Beam element data
5.1	SPRING	Spring element data input command
5.2		Spring element data
6.1	SOIL	Soil spring data input command
6.2		Soil spring data
7.1	FILE	File output command
7.2		Data for output file
7.3		Data for output time history of response value
7.4		Data for output hysteresis curves
8.1	EIGEN	Eigen value analysis command
8.2		Data for analysis
9.1	DAMPING	Damping data input command
9.2		Damping type
9.3		Damping value
10.1	RESTORING	Restoring force characteristics data input command
10.2		Data for restoring force characteristics
11.1	DIRECT	Direct integration response analysis command
11.2		Data for analysis
11.3		Wave data
12.1	SUPERMODE	Mode superposition response analysis command
12.2		Data for analysis
12.3		Wave data
13.1	STOP	Stop command



1. Eigen Value Analysis

2. Elastic Analysis Using Mode Superposition Method



3. Elastic Analysis Using Direct Integration

4. Elasto-plastic Analysis

Fig. 3.2 Sample Input of Commands

Table 3.2 Usage of Logical Units

Logical Unit No.	Description	Format
4	Input wave data	Card image
5	Input data	Card image
6	Output list	
8	Workfile for eigen value analysis	No-format
9	Workfile for stiffness matrix	No-format
10	Workfile for response time histories	No-format
11	Workfile for hysteresis curves	No-format
12	Output mode shapes	Card image
13	Output response time histories	Card image
14	Output hysteresis curves	Card image

3.2 インプットデータ

次に入力フォーマットを示す。

(1.1) START COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command								
TITLE								

(1.2) TITLE

1	10	20	30	40	50	60	70	80
		HNAME						
		20A4						

HNAME : 解析につける名前、任意 (Identification for Analysis)

(2.1) MATERIAL DATA INPUT COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command	NMATE							
MATERIAL	I5							

NMATE : 材料データ数 (Number of Material Data Sets 2.2)

(2.2) MATERIAL DATA FOR BEAM ELEMENTS

1	10	20	30	40	50	60	70	80
N	E	G						
I5	F10.0	F10.0						

N : 材料番号 (Material No.)

E : ヤング率 (Young's Modulus)

G : 剪断弾性係数 (Shear Modulus)

(3.1) NODE DATA INPUT COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command	NNODE							
NODE	I5							

NNODE : 節点数 (Number of Nodes)

(3.2) NODE DATA

1	10	20	30	40	50	60	70	80
N	KB	IR	X	Y	R1	R3	NSD	
I5	I2I2		F10.0	F10.0	F10.0	F10.0	I5	

N : 節点番号 (Node No.)

KB : 自由度 = 11 固定 (Fixed)

(Degree of = 01 水平のみ、回転拘束 (Consider Horizontal Only)

Freedom) = 10 回転のみ、水平拘束 (Consider Rotational Only)

= 00 水平および回転 (Consider Horizontal and Rotational)

IR : 剛体指定 < 0 基礎剛体中心節点を表す。 (This Node is Center of Base.)

(Rigid Body Condition) > 0 基礎剛体上の節点の場合に基礎剛体中心節

点番号を入力する。基礎剛体中心節点は既に入力されていなければならない。

(If This Node is on the Base, Input Node No. of Center of Base. It is Required the Node No. of Center of Base Already Exists.)

X : X-座標(水平) (Horizontal Coordinate)

Y : Y-座標(鉛直) (Vertical Coordinate)

R1 : 質量 (Mass)

R3 : 回転慣性モーメント (Mass Moment of Inertia)

NSD : 同一変位節点番号。指定される節点は既に入力されていなければならない。 (The Same Movement Node No. . This Node No. must Already Exists.)

(4.1) BEAM ELEMENT DATA INPUT COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command	NBEAM							
BEAMSECT	I5							

NBEAM : ビーム数 (Number of Beam Elements)

(4.2) BEAM ELEMENT DATA

1	10	20	30	40	50	60	70	80
N	NI	NJ	MA	A	AS	AI		
I5	I5	I5	I5	F10.0	F10.0	F10.0		

- N : ビーム要素番号 (Beam Element No.)
- NI : I 節点番号 (I - Connected Node No.)
- NJ : J 節点番号 (J - Connected Node No.)
- MA : 材料番号。データセット (2.2) の材料番号を記入する。
(Material No. of Data Set No.2.2)
- A : 断面積 (Cross Sectional Area)
- AS : 剪断断面積 (Cross Sectional Area for Shear)
- AI : 断面2次モーメント (Geometical Moment of Inertia)

(5.1) SPRING ELEMENT DATA INPUT COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command	NSPR							
SPRING	15							

NSPR : バネ数 (Number of Spring Elements)

(5.2) SPRING ELEMENT DATA

1	10	20	30	40	50	60	70	80
N	NSI	NSJ	DEG	S				
I5	I5	I5	A4	F10.0				

N : バネ要素番号 (Spring Element No.)

NSI : I 節点番号 (I - Connected Node No.)

NSJ : J 節点番号 (J - Connected Node No.)

DEG : バネタイプ = H 水平, 剪断バネ (Horizontal or Shear Spring)
 (Type of = R 回転バネ (Rotational Spring)
 Spring Element)

S : バネ定数 (Spring Constant)

(6.1) SOIL SPRING ELEMENT DATA INPUT COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command	NSOL							
SOILSPRING	I5							

NSOL : 地盤バネ数 (Number of Soil Spring Element)

(6.2) SOIL SPRING ELEMENT DATA

1	10	20	30	40	50	60	70	80
N	DIV	IB	SH	YS				
I5	A4	I5	F10.0	F10.0				

N : 地盤バネ要素番号 (Soil Spring Element No.)

DIV : 地盤バネタイプ = SWAY スウェイバネ (Sway Spring)
 (Type of = HORI 水平地盤バネ (Horizontal Soil Spring)
 Soil Spring) = ROCK ロッキングバネ (Rocking Spring)

IB : 接続節点番号 (Connected Node No.)

SH : バネ定数 (Spring Constant)

YS : 回転中心との距離。基礎剛体がある場合のスウェイバネあるいは水平地盤バネと中心節点とのY方向距離。スウェイバネ、水平地盤バネとも上向きが正。

(Vertical Distance between the Soil Spring and the Center of Base.
 If the Spring is below the Center of Base, the Sign is Negative.)

(7.1) FILE OUTPUT COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command								
FILE								

(7.2) DATA FOR OUTPUT FILE

1	10	20	30	40	50	60	70	80
IFMODE		IFHYST						
IFRESP								
15	15	15						

- IFMODE : = 1 固有値、固有モードをFILE出力する。
 (Set Equal to 1 for Eigen Values and Mode Shapes Output)
 = 0 固有値、固有モードをFILE出力しない。
 (No Output)
- IFRESP : 応答時刻歴出力数。最大10点。
 (Number of Output Time Histories of Response Values. Max.=10)
- IFHYST : 要素履歴出力数。最大10点。
 (Number of Output Hysteresis Curves. Max.=10)

(7.3) DATA FOR OUTPUT TIME HISTORIES OF RESPONSE VALUES

1	10	20	30	40	50	60	70	80
IFNODE		IFNDRS						
IFNDDI								
15	15	15						

- IFNODE : 節点番号 (Node No.)
- IFNDDI : 振動方向 = 1 水平 (Horizontal)
 (Component) = 3 回転 (Rotational)
- IFNDRS : 出力する応答 = 1 絶対加速度 (Absolute Acceleration)
 (Response = 2 相対速度 (Relative Velocity)
 to Output) = 3 相対変位 (Relative Displacement)

(7.4) DATA FOR OUTPUT HYSTERESIS CURVES

1	10	20	30	40	50	60	70	80
IFELM		IFELST						
	IFELNM	IFELND						
I5	I5	I5	I5					

- IFELM : 要素名 = 1 BEAM (Beam Element)
 (Element Type) = 2 SPRING (Spring Element)
 = 3 SOIL (Soil Element)
- IFELNM : 要素番号 (Element No.)
- IFELST : 出力する剛性。BEAM要素のみ入力 = 1 曲げ (Moment)
 (Stiffness Type for = 2 剪断 (Shear)
 Beam Element Only)
- IFELND : 出力点。曲げ剛性の時のみ入力 = 1 I 節点側 (I - Node Side)
 (Output Side of Element = 2 J 節点側 (J - Node Side)
 Used only if IFELST = 1.)

(8.1) EIGEN VALUE ANALYSIS COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command								
EIGEN								

(8.2) DATA FOR ANALYSIS

1	10	20	30	40	50	60	70	80
MODE								
I5								

- MODE : 出力次数。減衰種別で歪エネルギー比例型を指定した場合、ここで入力した次数までのモード減衰が考慮される。
 (The Number of Output Eigenvalue/vectors . If MD = 1 in Data Set 9.2 , the Number of Modal Dampings are Considered.)

(9.1) DAMPING DATA INPUT COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command								
DAMPING								

(9.2) DAMPING TYPE

1	10	20	30	40	50	60	70	80
MD	LINE							
I5	I5							

MD : 減衰種別 = 1 歪エネルギー比例型。要素の減衰定数からモーダルダンピングを求める。(Strain Proportional Type)
 Damping) = 3 Rayleigh減衰 (Rayleigh Damping)
 $[C] = \alpha [M] + \beta [K]$

LINE : データ数。MD=1のとき、(9.3.1)のデータ数。
 (Number of Data Sets 9.3.1 Used Only If MD = 1)

(9.3.1) DAMPING VALUE (FOR STRAIN PROPORTIONAL TYPE)

1	10	20	30	40	50	60	70	80
H	CO	N1	N2					
F10.0	A4	I5	I5					

H : 減衰定数 (Critical Damping Ratio)
 CO : 要素名 = BEAM ビーム要素 (Beam Element)
 (Element Type) = SPRI バネ要素 (Spring Element)
 = SOIL 地盤バネ (Soil Spring Element)
 N1 : 最初の要素番号 (First Element No.)
 N2 : 終りの要素番号 (Last Element No.)

(9.3.2) DAMPING VARUE (FOR RAYLEIGH DAMPING)

1	10	20	30	40	50	60	70	80
ALFA	BETA							
F10.0	F10.0							

ALFA : Rayleigh減衰の係数 α (Coefficient α)

BETA : Rayleigh減衰の係数 β (Coefficient β)

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

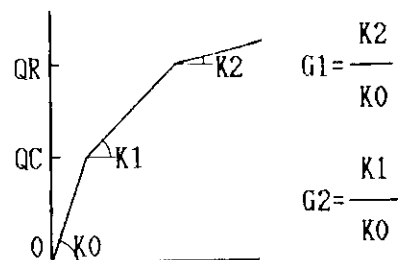
(10.1) RESTORING FORCE CHARACTERISTICS DATA INPUT COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command								
RESTORING								

(10.2) DATA FOR RESTORING FORCE CHARACTERISTICS

1	10	20	30	40	50	60	70	80
CO	N1	NL	ND	QC	QR	G1	G2	N2
A4	I5	I5	I5	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0	I5

- CO : 要素名 = BEAM ビーム要素 (Beam Element)
 (Element Type) = SPRI バネ要素 (Spring Element)
 = SOIL 地盤バネ要素 (Soil Spring Element)
- N1 : 最初の要素番号 (First Element No.)
- NL : 剛性種別 = 1 剪断剛性 (Shear)
 (Stiffness Type) = 2 曲げ剛性 (Moment)
- ND : 特性タイプ (Type of Restoring Force Characteristic)
 = 1 一般型トリ・リニア型 (Normal Tri-Linear Type)
 = 2 原点指向型 (Origin-Oriented Type)
 = 3 最大点指向型 (Peak-Oriented Type)
 = 6 逆行型、地盤バネのみ使用可
 (Reversal Type for Soil Spring Element)
- QC : 第1折れ点反力 (Reaction Force in the Crack Point)
- QR : 第2折れ点反力 (Reaction Force in the Yield Point)
- G1 : 第2域剛性低下率
 (Stiffness Decrease Factor for the Second Slope as Defined Below.)
- G2 : 第3域剛性低下率
 (Stiffness Decrease Factor for the Third Slope as Defined Below.)
- N2 : 終りの要素番号 (Last Element No.)



* このデータセットはブランクカードで終了する。
 (A Blank Card Must Terminate This Data Set.)

(11.1) DIRECT INTEGRATION RESPONSE ANALYSIS COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command								
DIRECT								

(11.2) DATA FOR ANALYSIS

1	10	20	30	40	50	60	70	80
LST	DT	DIVI	BETA	TLR	TLF			
15	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0			

- LST : 地震波ステップ数 (Number of Digitized Acceleration Data)
 DT : 地震波の時刻刻み
 (Time interval between Digitized Acceleration Data)
 DIVI : 解析時間間隔再分割数 (Number of Analysis Time Steps during DT.)
 BETA : 積分定数 β 値、DEFAULT=1/6 (Constant β for Newmark- β Method)
 TLR : 質点応答の中間値出力時間間隔
 (Time Step Interval for Output of Acc. , Velo. and Disp.)
 TLF : 応力の中間値出力時間間隔
 (Time Step Interval for Output of Stresses)

(11.3) WAVE DATA

1	10	20	30	40	50	60	70	80
IF	LJ	WMAX	WMUL	FMT		WNAME		
I5	I5	F10.0	F10.0	5A4		7A4		

- IF : 入力先機番 DEFAULT=4 (Logical Unit No. for Wave Input)
- LJ : 読みとばし行数 (Number of Lines to Skip)
- WMAX : 基準化用最大値、WMAXとWMULはどちらか一方のみを指定する。
(Maximum Acceleration Value to be Used. The Acceleration Values in the Record will be Scaled to Give Maximum Acceleration = WMAX Used Only if WMUL is 0 , Left Blank Otherwise.)
- WMUL : 基準化用乗数 (Multiplication Factor for Acceleration Values.)
- FMT : 地震波のフォーマット、例:(10F7.3) (Format of Input Wave)
- WNAME : 地震波名 (Identification for Wave)

(12.1) MODE SUPERPOSITION RESPONSE ANALYSIS COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command	MODE							
SUPERMODE	I5							

- MODE : 合成次数 (8.2)の次数以下とする
(Number of Modes to Superpose, Less than MODE in Data Set 8.2)

(12.2) DATA FOR ANALYSIS

(11.2)と同じ (See Data Set 11.2)

(12.3) WAVE DATA

(11.3)と同じ (See Data Set 11.3)

(13.1) STOP COMMAND

1	10	20	30	40	50	60	70	80
Command								
STOP								

3.3 実行JCL

本コードを実行するためのJCLをTable 3.3に示す。ファイル出力がない場合、10番～14番の機番にデータセットを割り当てる必要はない。

Table 3.3 実行 JCL

```
//JCLG JOB
//JCLG EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER
    T.4 C.5 I.5 W.2 SRP
    OPTP PASSWORD=
// EXEC FORT77,SO=J9068.DYNA,A='ELM(*)'
// EXEC LKED77
// EXEC GO
//SYSIN      DD DSN=J9068.DYNA.DATA(TEST01),DISP=SHR
//FT04F001   DD DSN=J9068.HZM06.DATA(EL4NS001),DISP=SHR
//FT08F001   DD SPACE=(TRK,(50,10)),UNIT=WK10,DISP=NEW,
//           DCB=(LRECL=19064,BLKSIZE=19068,RECFM=VBS)
//FT09F001   DD SPACE=(TRK,(50,10)),UNIT=WK10,DISP=NEW,
//           DCB=(LRECL=19064,BLKSIZE=19068,RECFM=VBS)
//FT10F001   DD SPACE=(TRK,(10,10)),UNIT=WK10,DISP=NEW,
//           DCB=(LRECL=19064,BLKSIZE=19068,RECFM=VBS)
//FT11F001   DD SPACE=(TRK,(20,20)),UNIT=WK10,DISP=NEW,
//           DCB=(LRECL=19064,BLKSIZE=19068,RECFM=VBS)
//FT12F001   DD DSN=J9068.DYMODE.DATA,
//           SPACE=(TRK,(5,5)),UNIT=TSSWK,DISP=(NEW,CATLG),
//           DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=3120,RECFM=FB)
//FT13F001   DD DSN=J9068.DYRESP.DATA,
//           SPACE=(TRK,(10,10)),UNIT=TSSWK,DISP=(NEW,CATLG),
//           DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=3120,RECFM=FB)
//FT14F001   DD DSN=J9068.DYHYST.DATA,
//           SPACE=(TRK,(50,50)),UNIT=TSSWK,DISP=(NEW,CATLG),
//           DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=3120,RECFM=FB)
++
//
```


4. 解 析 例

4.1 解析モデル

本コードの履歴径路等のチェック、他コードとの応答比較を行なうため弾塑性応答解析を実施した。解析モデル諸元をTable 4.1に示す。このモデルはBWR-MARK II型原子炉建屋モデルを基に、本コードに含まれる要素および履歴モデルをすべて設定できるように、内部機器とそれを支持するペDESTALを組み入れたものである。減衰は歪エネルギー型を用い、各要素ごとに減衰定数を設定した。

入力地震動はEL-CENTRO NS4'0の最大値を500galに基準化したものである。

本コードの入力例をAPPENDIXとして巻末に付す。

4.2 履歴径路

解析の結果得られた各履歴特性の径路例をFig. 4.1～Fig. 4.4に示す。各特性とも解析時間刻み $\Delta t=0.001\text{sec}$ のものである。他のすべての要素についても履歴径路をチェックした。

Table 4.1 Example Model

Node No.	Height (m)	Component	Mass (tf·sec ² /m)	Mass Moment of Inertia (tf·m·sec ²)
1	—	u, θ	12704	676.1
2	0	u, θ	0	0
3	6.0	u, θ	3179	167.6
4	12.2	u, θ	3559	187.7
5	18.0	u, θ	4779	252.0
6	24.3	u, θ	2572	135.5
7	31.8	u, θ	1993	41.5
8	39.8	u, θ	2993	62.6
9	50.5	u, θ	1551	32.3
10	58.5	u, θ	413	8.56
11	70.7	u, θ	359	7.45
12	6.0	u, θ	79.3	0.138
13	18.0	u, θ	113.7	0.255
14	31.8	u, θ	60.8	0.147
15	—	u	40.8	—
16	—	u	20.4	—

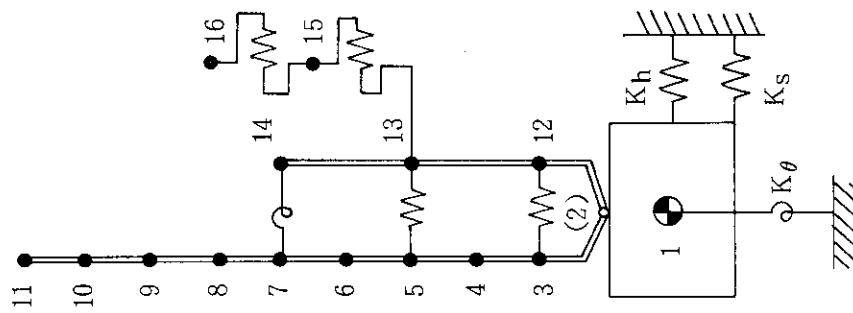
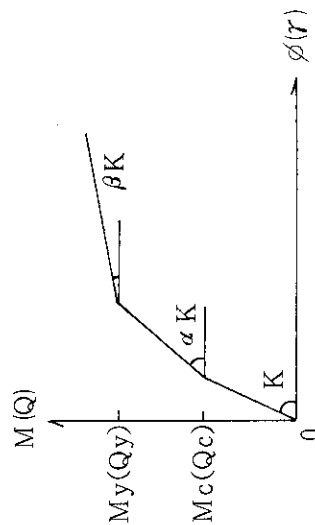


Table 4.1 Examp1 Model (continued)

Beam Element No.	Connected Node Numbers	Shear Area (m ²)	Geometrical Moment of Inertia (m ⁴)	Skeleton for M-φ Relation			Skeleton for Q-γ Relation				
				Mc (×10 ⁴ tf·m)	My (×10 ⁴ tf·m)	α	β	Qc (×10 ³ tf)	Qy (×10 ³ tf)	α	β
1	2-3	625.9	481.5	309.1	581.6	0.393	0.057	156.5	234.7	0.25	0.12
2	3-4	625.9	481.5	289.1	524.3	0.380	0.054	156.5	234.7	0.25	0.12
3	4-5	598.1	445.1	249.7	445.7	0.399	0.059	149.5	224.3	0.25	0.12
4	5-6	557.8	408.8	202.0	354.7	0.403	0.055	139.5	209.2	0.25	0.12
5	6-7	251.4	100.9	122.0	352.7	0.197	0.048	62.9	94.3	0.25	0.12
6	7-8	206.5	79.9	94.2	234.1	0.166	0.036	51.6	77.4	0.25	0.12
7	8-9	184.8	52.9	58.3	131.5	0.149	0.019	46.2	69.3	0.25	0.12
8	9-10	70.7	37.6	36.2	55.5	0.135	0.001	17.7	26.5	0.25	0.12
9	10-11	54.5	29.7	26.2	53.9	0.134	0.001	13.6	20.4	0.25	0.12
10	11-12	20.0	0.492	Linear			Linear				
11	12-13	20.0	0.492	Linear			Linear				
12	13-14	20.0	0.492	Linear			Linear				



Young's Modulus : 9×10^5 tf/m²

Shear Modulus : 2.1×10^6 tf/m²

Critical Damping Ratio : 5%

Restoring Force Characteristic

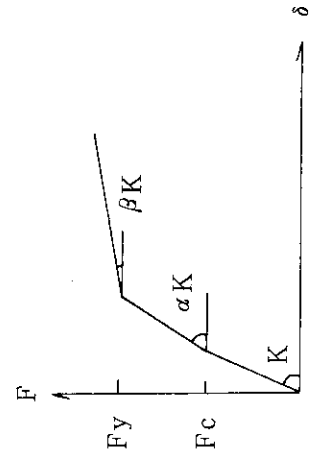
M-φ : Normal Tri-Linear Model

Q-γ : Origin-Oriented Model

Table 4.1 Example Model (continued)

Spring Element No.	Connected Node Numbers	Component	Spring Constant	Critical Damping Ratio (%)	Restoring Force Characteristic	Skeleton Curve			
						F _c	F _y	α	β
1	3-12	u	1.8×10^6 tf/m	5	Normal Tri-Linear	4.2×10^2 tf	6.3×10^2 tf	0.3	0.1
2	5-13	u	1.8×10^6 tf/m	5	Origin-Oriented	6.6×10^2 tf	9.9×10^2 tf	0.3	0.1
3	7-14	θ	1.0×10^9 tf·m/rad	2	Peak-Oriented	1.2×10^4 tf·m	1.8×10^4 tf·m	0.3	0.1
4	13-15	u	3.23×10^6 tf·m/m	2	Normal Tri-Linear	3.6×10^2 tf	5.4×10^2 tf	0.3	0.1
5	15-16	u	1.62×10^6 tf/m	2	Origin-Oriented	1.4×10^2 tf	2.1×10^2 tf	0.3	0.1

Soil Spring Element No.	Type	Component	Spring Constant	Critical Damping Ratio (%)	Restoring Force Characteristic	Skeleton Curve			
						F _c	F _y	α	β
1	SWAY	u	3.615×10^7 tf/m	20	Linear	-	-	-	-
2	ROCKING	θ	5.074×10^{10} tf·m/rad	7.5	Reversal	3.625×10^6 tf·m	4.648×10^6 tf·m	0.66	0.50
3	HORIZONTAL	u	2.088×10^7 tf/m	10	Linear	-	-	-	-



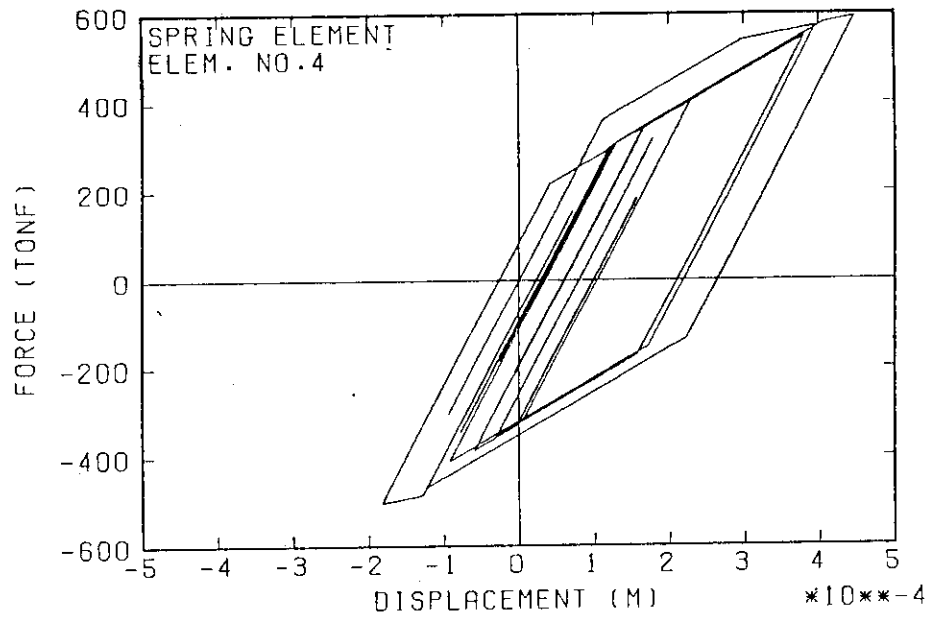


Fig. 4.1 Hysteresis Loop (Normal Tri-Linear Model)

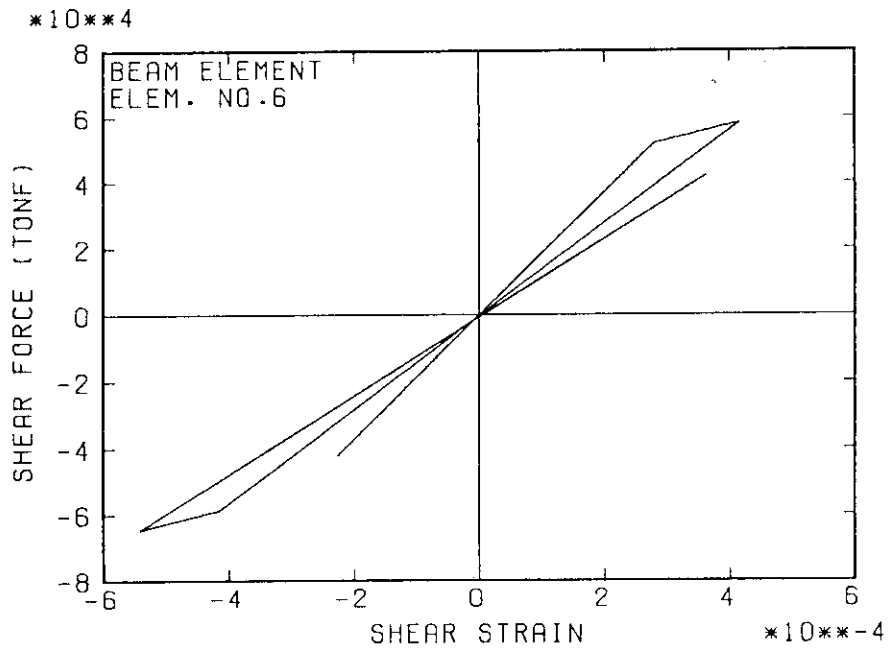


Fig. 4.2 Hysteresis Loop (Origin-Oriented Model)

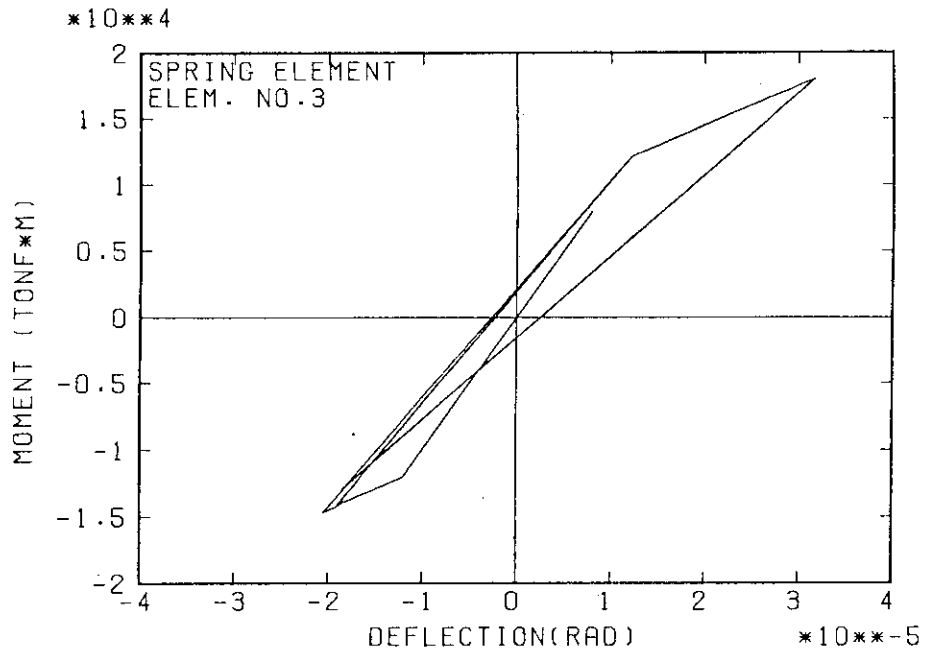


Fig. 4.3 Hysteresis Loop (Peak-Oriented Model)

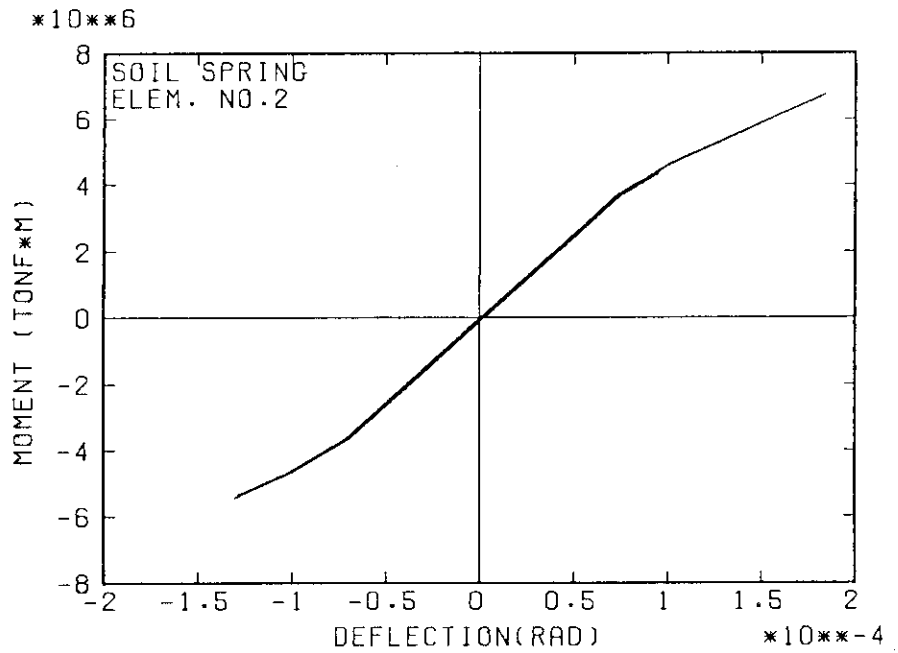


Fig. 4.4 Hysteresis Curve (Reversal Model)

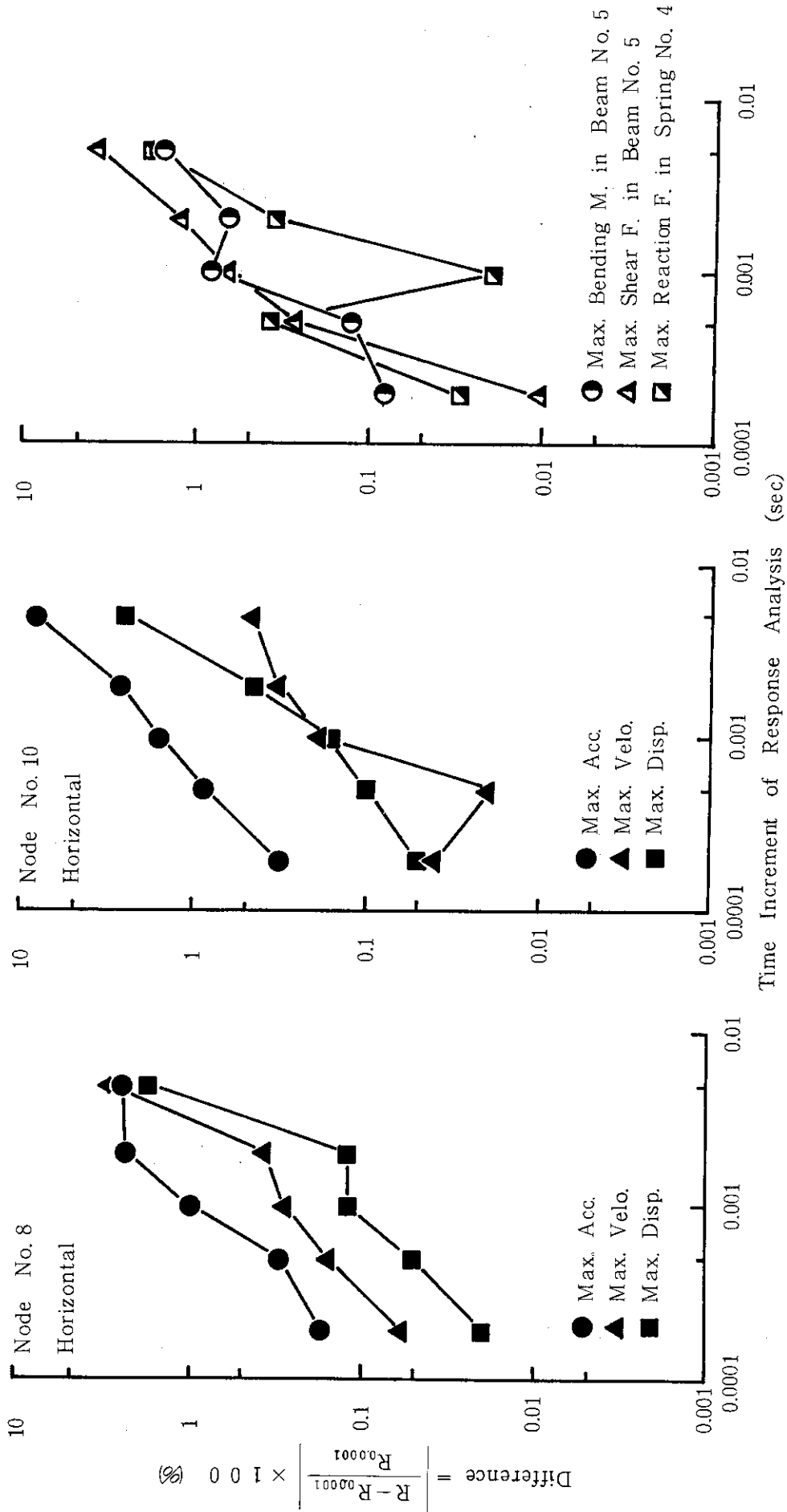
4.3 解析時間刻み

弾塑性解析の適正な解析時間刻みは入力地震動の最大値、周波数特性、解析モデルの諸特性および最大塑性率等により影響される。その具体的な数値は個々の解析において決定されるべきものであるが、本コード使用の際に時間刻みを設定する目安として、時間刻み Δt をパラメータとした解析を行ない、最大応答加速度、速度、変位および要素の最大反力を比較した。時間刻み Δt は0.0001sec, 0.0002sec, 0.0005sec, 0.001sec, 0.002sec, 0.005secの6ケースである。

オペレーティングフロア位置である節点No. 8の最大応答加速度、変位について Δt の変化による応答差をFig. 4.5に示す。縦軸は $\Delta t = 0.0001$ secの応答値を基準として、各時間刻みとの応答差をパーセント表示したものである。また、加速度の応答差が全節点の中で最大となった節点No. 10についても同図に示す。さらに同図にはビーム要素、バネ要素でそれぞれ最大の塑性率を示したビーム要素No. 5とバネ要素No. 4について、その最大反力の応答差についても示している。

当然のことではあるが、 Δt が小さくなるにしたがい応答差は小さくなっている。 $\Delta t = 0.0005$ secにおいて、応答差は最大で10%近くになる場合があるが、 $\Delta t = 0.001$ secの解析では応答差は最大でも1~2%以内である。

本解析では入力最大加速度が500galと大きく、ほとんどの要素が塑性化し最大塑性率が4.1(ビーム要素No. 4)となったが、一般的な原子力施設では入力加速度が本解析のものより低く塑性率も小さくなるため、 Δt の変化による応答差は今回の数値より小さくなるものと期待できる。一方、系の応答特性が短周期側になれば、 Δt は小さくする必要がある。本モデルでは、1次固有周期が0.296sec, 2次固有周期が0.140secとなっている。刺激係数が0.5を越えたモードの最高次は6次であり、固有周期が0.064sec, 刺激係数が0.63であった。本モデルより短周期が卓越するような系では、本解析に比べ Δt による応答差は大きくなると考えられる。以上のことを考えれば、固有周期が本モデルと同程度あるいはそれ以上の系に対しては $\Delta t = 0.001$ secで十分な精度(時間刻みによる応答誤差が1%程度以内)が得られるものと思われる。



R : Response value (each time increment)

$R_{0.0001}$: Response value (time increment = 0.0001 sec)

Fig. 4.5 Effect of the Time Increment to Maximum Response Values

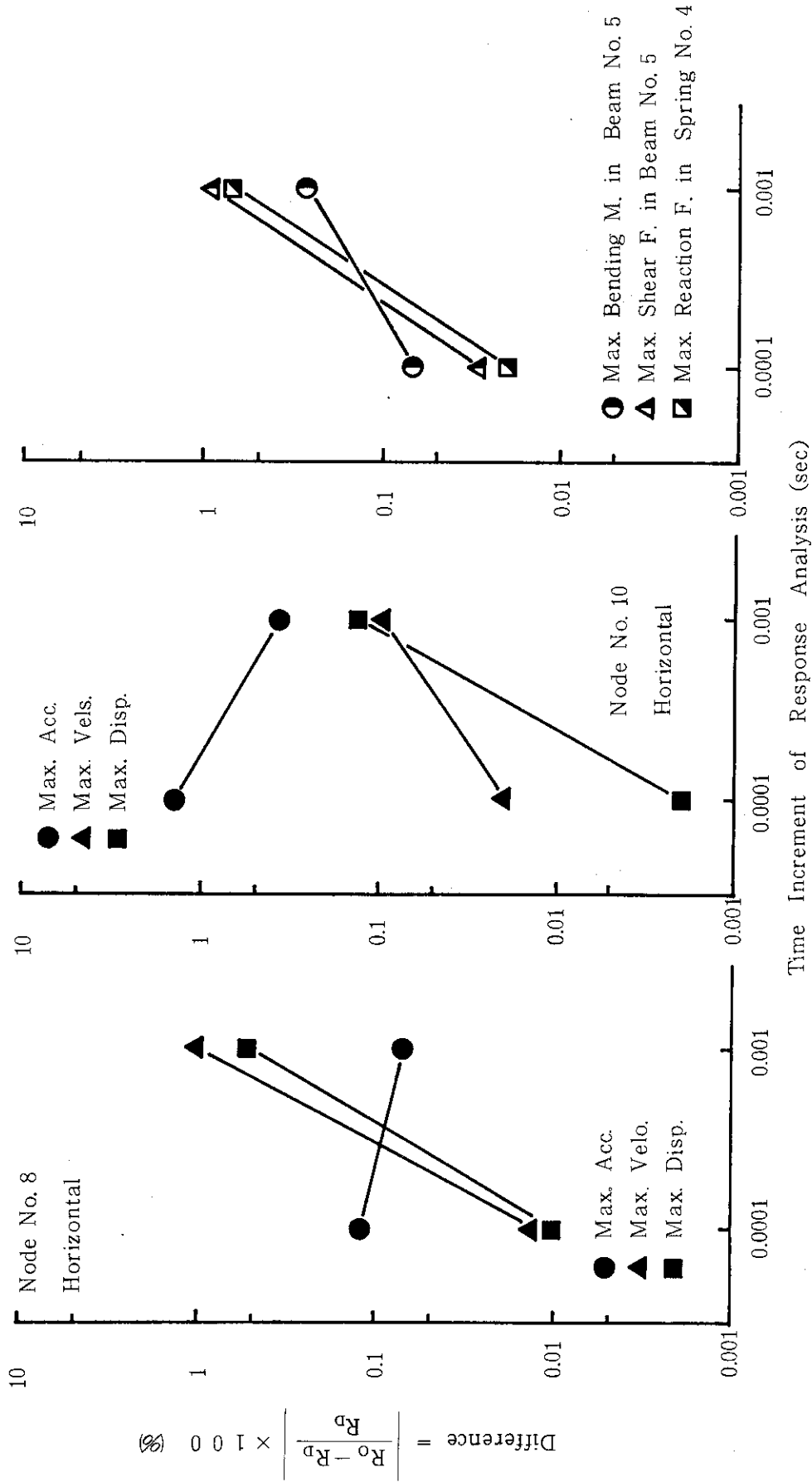
4.4 他コードとの応答比較

4.1節で述べたモデルを用い、本コードと他コード (RESP 1 / C^{注1)}) の応答値を比較した。解析時間刻みは0.0 0 0 1secと0.0 0 1secの2ケースとした。

比較項目は前節と同様とし、節点No. 8, No. 10, の最大加速度, 速度, 変位およびビーム要素No. 5, バネ要素No. 4の最大反力について、両コードの応答差をFig. 4.6に示す。縦軸は両コードの応答差を本コードの応答値で除し、パーセント表示したものである。 $\Delta t = 0.0 0 0 1$ sec, $\Delta t = 0.0 0 1$ secの各ケースとも両コードの応答差は、ほぼ1%以内である。本コードでは、負荷時における部材剛性の低下の際には折れ曲がり点を通過した次のステップから剛性マトリクスを変化させている。除荷時における部材剛性増加については、あるステップで除荷による剛性増加部材があると同じステップをその剛性増加を考慮して再計算し、そのステップで除荷による剛性増加部材がなくなった時点で次のステップに進む。除荷時の要素履歴判定等のアルゴリズムは両コードで若干異なり、それにより上記の応答差が生じるものと思われる。

上記比較の他に、モード合成法による弾性解析を行ないその応答値を他コード (RESP 7 / C^{注1)}) のものと比較し、両者がほとんど一致 (3~4桁まで同一) することを確認した。解析はレーリ-型, 歪エネルギー型それぞれの減衰について行なっている。

注1) 機構造計画研究所作成



R_D : Response value calculated by DYN4

R_O : Response value calculated by another code (RESP 1/c)

Fig. 4.6 Comparison of Response Values Calculated by DYN4 and Another Code

謝 辞

本報告書の作成およびコード整備にあたっては、建設部鈴木偉之氏、および多目的高温ガス実験炉設計室プラントグループの諸氏に数々の御助言をいただいた。ここに記して、心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田治見宏：“建築振動学”，コロナ社，東京，（1965）
- 2) Clough R.W., Penzien J.：“Dynamics of Structures, McGraw-Hill New York（1975）。（邦訳「講造物の動的解析」，科学技術出版社，東京（1978））
- 3) 柴田明德：“最新耐震構造解析”，森北出版，東京，107（1981）
- 4) 大崎順彦：“振動理論”，彰国社，東京，235～238（1980）
- 5) Caughey, T.K.：“Classical Normal Mode in Damped Linear Dynamic Systems”，*Journal of Applied Mechanics, Trans. ASME*, 269～271（1960）

謝 辞

本報告書の作成およびコード整備にあたっては、建設部鈴木偉之氏、および多目的高温ガス実験炉設計室プラントグループの諸氏に数々の御助言をいただいた。ここに記して、心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田治見宏：“建築振動学”，コロナ社，東京，（1965）
- 2) Clough R.W., Penzien J.：“Dynamics of Structures, McGraw-Hill New York（1975）．〔邦訳「講造物の動的解析」，科学技術出版社，東京（1978）〕
- 3) 柴田明徳：“最新耐震構造解析”，森北出版，東京，107（1981）
- 4) 太崎順彦：“振動理論”，彰国社，東京，235～238（1980）
- 5) Caughey, T.K.：“Classical Normal Mode in Damped Linear Dynamic Systems”，Journal of Applied Mechanics. Trans. ASME, 269～271（1960）

APPENDIX 入出力例

4.1項で述べた解析モデルを用い、時間刻みを0.001secとした場合の本コードのアウトプットリストをTable A.1に示す。リストの冒頭にはインプットデータが出力されている。また、固有値解析結果、節点応答時刻歴、要素履歴のファイル出力をTable A.2～Table A.4に示す。

Table A.1 Output

A C A R D I M A G E L I S T I N G O F T H E I N P U T D A T A P - 1

SEQ.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	TITLE							0000100
2	CASE02D ** NON-LINEAR DT=0.001 (TON,M,RAD,SEC)							0000200
3	MATERIAL	1						0000300
4	1	2.1E06	9.605					0000400
5	NODE	16						0000500
6	1	-1	-3.25	12704.	6.761E06			0000600
7	2	1	0.	0.	0.			0000700
8	3		6.	3178.	1.676E06			0000800
9	4		12.2	3559.	1.877E06			0000900
10	5		18.0	4779.	2.520E06			0001000
11	6		24.3	2572.	1.535E06			0001100
12	7		31.8	1993.	0.415E06			0001200
13	8		39.8	2993.	0.626E06			0001300
14	9		50.5	1551.	0.323E06			0001400
15	10		58.5	413.	0.856E05			0001500
16	11		70.0	359.	0.745E05			0001600
17	12		6.0	79.3	1375.			0001700
18	13		18.0	113.7	2548.			0001800
19	14		31.8	60.8	1473.			0001900
20	15	01	18.0	40.8				0002000
21	16	01	18.0	20.4				0002100
22	BEAMSECT							0002200
23	1	2		625.9	4.815E05			0002300
24	2	3		625.9	4.815E05			0002400
25	3	4		598.1	4.451E05			0002500
26	4	5		557.8	4.088E05			0002600
27	5	6		251.4	1.009E05			0002700
28	6	7		206.5	0.799E05			0002800
29	7	8		184.8	0.529E05			0002900
30	8	9		70.7	0.376E05			0003000
31	9	10		54.5	0.297E05			0003100
32	10	11		20.0	0.492E03			0003200
33	11	12		20.0	0.492E03			0003300
34	12	13		20.0	0.492E03			0003400
35	13	14		20.0	0.492E03			0003500
36	SPRING							0003600
37	1	3	12	H	0.18E07			0003700
38	2	5	13	H	0.18E07			0003800
39	3	7	14	R	0.10E10			0003900
40	4	13	15	H	0.323E07			0004000
41	5	15	16	H	0.162E07			0004100
42	SOILSPLING							0004200
43	1	SWEY		3.615E07	-3.25			0004300
44	2	ROCK		5.074E10				0004400
45	3	HORI		2.088E07				0004401
46	FILE							0004402
47	1	3	4					0004403
48	8	1	1					0004404
49	10	1	1					0004405
50	16	1	1					0004406
	1	6	2					0004406

Table A.1 (Continued)

SEQ.	1	2	3	4	5	6	7	8
51	00004407							
52	00004408							
53	00004409							
54	00004500							
55	00004600							
56	00004700							
57	00004800							
58	00004900							
59	00005000							
60	00005100							
61	00005200							
62	00005300							
63	00005400							
64	00005500							
65	00005600							
66	00005700							
67	00005800							
68	00005900							
69	00006000							
70	00006100							
71	00006200							
72	00006300							
73	00006400							
74	00006500							
75	00006600							
76	00006700							
77	00006800							
78	00006900							
79	00007000							
80	00007100							
81	00007200							
82	00007300							
83	00007400							
84	00007500							
85	00007600							
86	00007700							
87	00007800							
88	00007900							
89	00008000							
90	00008100							
91	00008200							
92	00008300							
93	00008400							
51	2	3						
52	2	4						
53	3	2						
54	EIGEN							
55	28							
56	DAMPING							
57	1	6						
58	0.05 BEAM	1	12					
59	0.05 SPRI	1	2					
60	0.02 SPRI	3	5					
61	0.2 SOIL	1						
62	0.075 SOIL	2						
63	0.1 SOIL	3						
64	RESTORING							
65	BEAM 1	2	1	30.91E05	58.16E05	0.393	0.057	
66	BEAM 2	2	1	28.91E05	52.43E05	0.380	0.054	
67	BEAM 3	2	1	24.97E05	44.57E05	0.399	0.059	
68	BEAM 4	2	1	20.20E05	35.47E05	0.403	0.055	
69	BEAM 5	2	1	12.20E05	35.27E05	0.197	0.048	
70	BEAM 6	2	1	9.42E05	23.41E05	0.166	0.036	
71	BEAM 7	2	1	5.83E05	13.15E05	0.149	0.019	
72	BEAM 8	2	1	3.62E05	5.55E05	0.135	0.001	
73	BEAM 9	2	1	2.62E05	5.39E05	0.134	0.001	
74	BEAM 1	1	2	156.5E03	234.7E03	0.25	0.12	
75	BEAM 2	1	2	156.5E03	234.7E03	0.25	0.12	
76	BEAM 3	1	2	149.5E03	224.3E03	0.25	0.12	
77	BEAM 4	1	2	139.5E03	209.2E03	0.25	0.12	
78	BEAM 5	1	2	62.9E03	94.3E03	0.25	0.12	
79	BEAM 6	1	2	51.6E03	77.4E03	0.25	0.12	
80	BEAM 7	1	2	46.2E03	69.3E03	0.25	0.12	
81	BEAM 8	1	2	17.7E03	26.5E03	0.25	0.12	
82	BEAM 9	1	2	13.6E03	20.4E03	0.25	0.12	
83	SOIL 2	2	6	3.625E06	4.648E06	0.66	0.50	
84	SPRI 1	1	1	4.20E02	6.30E02	0.30	0.10	
85	SPRI 2	1	2	6.60E02	9.90E02	0.30	0.10	
86	SPRI 3	2	3	1.20E04	1.80E04	0.30	0.10	
87	SPRI 4	1	1	3.60E02	5.40E02	0.30	0.10	
88	SPRI 5	1	2	1.40E02	2.10E02	0.30	0.10	
90	DIRECT							
91	1000	0	0.01	10.0	0.25	0.5	0.5	
92	4	0	5.0	(10F7.0)				
93	STOP							
								EL-CENTRO AMAX=500GAL

END OF INPUT DATA

Table A.1 (Continued)

*****CASE02D ** NON-LINEAR DT=0.001 (TON,M,RAD,SEC)

--- INPUT DATA ---

TOTAL NUMBER OF BEAM ELEMENTS = 12
 TOTAL NUMBER OF SPRING ELEMENTS = 5
 TOTAL NUMBER OF SOIL SPRINGS = 3
 TOTAL NUMBER OF NODAL POINTS = 16
 DEGREE OF FREEDOM = 28
 DEGREE OF VIBRATION FREEDOM = 28

--- NODAL POINT DATA ---

NODE NO.	COORDINATE		MASS	ROTATIONAL INERTIA	EQUATION NUMBER		
	X	Y			H	V	R
1	0.0	-3.2500	0.127040+05	0.676100+07	1	0	2
2	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0	2
3	0.0	6.0000	0.317800+04	0.167600+07	3	0	4
4	0.0	12.2000	0.355900+04	0.187700+07	5	0	6
5	0.0	18.0000	0.477900+04	0.252000+07	7	0	8
6	0.0	24.3000	0.257200+04	0.135500+07	9	0	10
7	0.0	31.8000	0.199300+04	0.415000+06	11	0	12
8	0.0	39.8000	0.299300+04	0.626000+06	13	0	14
9	0.0	50.5000	0.155100+04	0.323000+06	15	0	16
10	0.0	58.5000	0.413000+03	0.856000+05	17	0	18
11	0.0	70.0000	0.359000+03	0.745000+05	19	0	20
12	0.0	6.0000	0.793000+02	0.137500+04	21	0	22
13	0.0	18.0000	0.113700+03	0.254800+04	23	0	24
14	0.0	31.8000	0.608000+02	0.147300+04	25	0	26
15	0.0	18.0000	0.408000+02	0.0	27	0	0
16	0.0	18.0000	0.204000+02	0.0	28	0	0

Table A.1 (Continued)

--- ELEMENT DATA ---

BEAM NO.	NODE I	NODE J	LENGTH	CROSS AREA	SHEAR AREA	MOMENT OF INERTIA	YOUNG MODULUS	SHEAR MODULUS
1	2	3	0.600000+01	0.0	0.625900+03	0.481500+06	0.210000+07	0.900000+06
2	3	4	0.620000+01	0.0	0.625900+03	0.481500+06	0.210000+07	0.900000+06
3	4	5	0.580000+01	0.0	0.598100+03	0.445100+06	0.210000+07	0.900000+06
4	5	6	0.630000+01	0.0	0.557800+03	0.408800+06	0.210000+07	0.900000+06
5	6	7	0.750000+01	0.0	0.251400+03	0.100900+06	0.210000+07	0.900000+06
6	7	8	0.800000+01	0.0	0.206500+03	0.799000+05	0.210000+07	0.900000+06
7	8	9	0.107000+02	0.0	0.184800+03	0.529000+05	0.210000+07	0.900000+06
8	9	10	0.800000+01	0.0	0.707000+02	0.376000+05	0.210000+07	0.900000+06
9	10	11	0.115000+02	0.0	0.545000+02	0.297000+05	0.210000+07	0.900000+06
10	12	12	0.600000+01	0.0	0.200000+02	0.492000+03	0.210000+07	0.900000+06
11	12	13	0.120000+02	0.0	0.200000+02	0.492000+03	0.210000+07	0.900000+06
12	13	14	0.138000+02	0.0	0.200000+02	0.492000+03	0.210000+07	0.900000+06

SPRING NO.	NODE I	NODE J	DIRECTION	STIFFNESS	DISTANCE
1	3	12	H	0.180000+07	
2	5	13	H	0.180000+07	
3	7	14	R	0.100000+10	
4	13	15	H	0.323000+07	
5	15	16	H	0.162000+07	

SOIL SP. NO.	TYPE	CONNECTED NODE NO.	STIFFNESS	DISTANCE
1	SWAY	1	0.361500+08	-0.325000+01
2	ROCK	1	0.507400+11	0.0
3	HORI	1	0.208800+08	0.0

Table A.1 (Continued)

--- DAMPING TYPE 1 ---	
DAMPING OF EACH MEMBER	
BEAM 1	0.500000-01
BEAM 2	0.500000-01
BEAM 3	0.500000-01
BEAM 4	0.500000-01
BEAM 5	0.500000-01
BEAM 6	0.500000-01
BEAM 7	0.500000-01
BEAM 8	0.500000-01
BEAM 9	0.500000-01
BEAM 10	0.500000-01
BEAM 11	0.500000-01
BEAM 12	0.500000-01
SPRI 1	0.500000-01
SPRI 2	0.500000-01
SPRI 3	0.200000-01
SPRI 4	0.200000-01
SPRI 5	0.200000-01
SOIL 1 SWEY	0.200000+00
SOIL 2 ROCK	0.750000-01
SOIL 3 HORI	0.100000+00

Table A.1 (Continued)

--- MODE SHAPES ---

MODE NO. 1

CIRCULAR FREQUENCY (RAD/SEC) 0.212200+02
 NATURAL FREQUENCY (HZ) 0.337720+01
 NATURAL PERIOD (SEC) 0.296100+00
 PARTICIPATION FACTOR 0.210070+01

NODE NO.	DEGREE OF FREEDOM H	DEGREE OF FREEDOM R
1	0.778250-01	-0.333120-02
2	0.669990-01	-0.333120-02
3	0.148700+00	-0.409000-02
4	0.212900+00	-0.472650-02
5	0.274170+00	-0.522750-02
6	0.338890+00	-0.565670-02
7	0.654170+00	-0.706520-02
8	0.585480+00	-0.821740-02
9	0.733300+00	-0.926900-02
10	0.849370+00	-0.965820-02
11	0.100000+01	-0.989070-02
12	0.140530+00	-0.692010-02
13	0.269470+00	-0.912540-02
14	0.393220+00	-0.728230-02
15	0.271790+00	0.0
16	0.273340+00	0.0

MODE NO. 2

CIRCULAR FREQUENCY (RAD/SEC) 0.448440+02
 NATURAL FREQUENCY (HZ) 0.713720+01
 NATURAL PERIOD (SEC) 0.140110+00
 PARTICIPATION FACTOR -0.211930+01

NODE NO.	DEGREE OF FREEDOM H	DEGREE OF FREEDOM R
1	-0.186650+00	-0.949120-03
2	-0.189740+00	-0.949120-03
3	-0.238780+00	-0.151740-02
4	-0.275040+00	-0.226590-02
5	-0.285230+00	-0.309290-02
6	-0.257240+00	-0.399870-02
7	-0.154110+00	-0.769550-02
8	0.270450-01	-0.116440-01
9	0.321450+00	-0.161330-01
10	0.613840+00	-0.180830-01
11	0.100000+01	-0.193840-01
12	-0.233610+00	0.367530-02
13	-0.335790+00	0.357380-02
14	-0.357330+00	-0.664840-02
15	-0.349210+00	0.0
16	-0.358290+00	0.0

MODE NO. 3

CIRCULAR FREQUENCY (RAD/SEC) 0.644220+02
 NATURAL FREQUENCY (HZ) 0.102530+02
 NATURAL PERIOD (SEC) 0.975320-01
 PARTICIPATION FACTOR 0.661260+00

NODE NO.	DEGREE OF FREEDOM H	DEGREE OF FREEDOM R
1	0.168020+00	0.120080-01
2	0.207050+00	0.120080-01
3	0.739940-01	0.138400-01
4	-0.292700-02	0.152050-01
5	-0.798140-01	0.158960-01
6	-0.139130+00	0.155930-01
7	-0.874890-01	-0.120000-01
8	0.658020-01	0.791500-02

Table A.1 (Continued)

9	0.30991D+00	0.21058D-02
10	0.62882D+00	-0.77706D-03
11	0.10000D+01	-0.24992D-02
12	0.44340D-01	0.18775D-01
13	-0.27715D+00	0.28624D-01
14	-0.76294D+00	0.14476D-01
15	-0.30127D+00	0.0
16	-0.31788D+00	0.0

MODE NO. 4
 CIRCULAR FREQUENCY (RAD/SEC) 0.70484D+02
 NATURAL FREQUENCY (HZ) 0.11218D+02
 NATURAL PERIOD (SEC) 0.89144D-01
 PARTICIPATION FACTOR 0.77556D+00

MODE NO. 4
 DEGREE OF FREEDOM H R

1	0.13896D+00	-0.20299D-02
2	0.13236D+00	-0.20299D-02
3	0.14360D+00	-0.21750D-02
4	0.12162D+00	-0.23008D-02
5	0.74426D-01	-0.24641D-02
6	-0.10788D-01	-0.27380D-02
7	-0.24501D+00	-0.53617D-02
8	-0.41972D+00	-0.10681D-01
9	-0.20843D+00	-0.19980D-01
10	0.26642D+00	-0.25177D-01
11	0.10000D+01	-0.29050D-01
12	0.19354D+00	-0.11252D-01
13	0.44140D+00	-0.25773D-01
14	0.96444D+00	-0.87128D-02
15	0.48839D+00	0.0
16	0.52098D+00	0.0

MODE NO. 5
 CIRCULAR FREQUENCY (RAD/SEC) 0.78138D+02
 NATURAL FREQUENCY (HZ) 0.12436D+02
 NATURAL PERIOD (SEC) 0.80411D-01
 PARTICIPATION FACTOR -0.12046D+01

MODE NO. 5
 DEGREE OF FREEDOM H R

1	-0.14000D-01	0.42474D-03
2	-0.12620D-01	0.42474D-03
3	-0.14761D-01	0.46650D-03
4	-0.12148D-01	0.49571D-03
5	-0.67482D-02	0.51368D-03
6	-0.66681D-02	0.49935D-03
7	0.22586D-02	0.36145D-03
8	0.13484D-01	0.48413D-03
9	0.12924D-01	0.73044D-03
10	0.25220D-02	0.88007D-03
11	-0.17239D-01	0.10044D-02
12	0.33844D-01	-0.13454D-01
13	0.38672D+00	-0.31925D-01
14	0.10000D+01	-0.43064D-02
15	0.43891D+00	0.0
16	0.47545D+00	0.0

MODE NO. 6
 CIRCULAR FREQUENCY (RAD/SEC) 0.97832D+02
 NATURAL FREQUENCY (HZ) 0.15570D+02
 NATURAL PERIOD (SEC) 0.64224D-01
 PARTICIPATION FACTOR -0.63033D+00

MODE NO. 6
 DEGREE OF FREEDOM H R

1	-0.26796D+00	0.12835D-02
2	-0.26379D+00	0.12835D-02
3	-0.97108D-01	0.16450D-02
4	0.11419D+00	0.25604D-02

Table A.1 (Continued)

--- MODAL DAMPING ---	
MODE	STRAIN ENERGY TYPE
MODE 1	0.73223D-01
MODE 2	0.95843D-01
MODE 3	0.76742D-01
MODE 4	0.62086D-01
MODE 5	0.50506D-01
MODE 6	0.68922D-01
MODE 7	0.52542D-01
MODE 8	0.51532D-01
MODE 9	0.42183D-01
MODE 10	0.52974D-01
MODE 11	0.50926D-01
MODE 12	0.50132D-01
MODE 13	0.50427D-01
MODE 14	0.50411D-01
MODE 15	0.37850D-01
MODE 16	0.49642D-01
MODE 17	0.5004D-01
MODE 18	0.39690D-01
MODE 19	0.50078D-01
MODE 20	0.50121D-01
MODE 21	0.49647D-01
MODE 22	0.50020D-01
MODE 23	0.21020D-01
MODE 24	0.50013D-01
MODE 25	0.50000D-01
MODE 26	0.49836D-01
MODE 27	0.50010D-01
MODE 28	0.23396D-01

Table A.1 (Continued)

--- RESTORING FORCE CHARACTERISTIC ---

- 0 = ELASTIC
- 1 = NORMAL TRI-LINEAR
- 2 = ORIGIN-ORIENTED
- 3 = PEAK-ORIENTED
- δ = REVERSAL (FOR ROCKING ONLY)

SKELETON CURVE OF SHEAR FORCE		SKELETON CURVE OF MOMENT					
ELEMENT NO.	CHARACTER	QC	QY	BETA-C	BETA-Y	BETA-C	GANMA
BEAM 1	2	0.156500+06	0.234700+06	0.250000+00	0.120000+00	0.250000+00	0.0
BEAM 2	2	0.156500+06	0.234700+06	0.250000+00	0.120000+00	0.250000+00	0.0
BEAM 3	2	0.149500+06	0.224300+06	0.250000+00	0.120000+00	0.250000+00	0.0
BEAM 4	2	0.139500+06	0.209200+06	0.250000+00	0.120000+00	0.250000+00	0.0
BEAM 5	2	0.629000+05	0.943000+05	0.250000+00	0.120000+00	0.250000+00	0.0
BEAM 6	2	0.516000+05	0.774000+05	0.250000+00	0.120000+00	0.250000+00	0.0
BEAM 7	2	0.462000+05	0.693000+05	0.250000+00	0.120000+00	0.250000+00	0.0
BEAM 8	2	0.177000+05	0.265000+05	0.250000+00	0.120000+00	0.250000+00	0.0
BEAM 9	2	0.1136000+05	0.204000+05	0.250000+00	0.120000+00	0.250000+00	0.0
BEAM 10	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BEAM 11	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BEAM 12	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SPRING 1	1	0.420000+03	0.630000+03	0.300000+00	0.100000+00	0.300000+00	0.0
SPRING 2	2	0.660000+03	0.990000+03	0.300000+00	0.100000+00	0.300000+00	0.0
SPRING 3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SPRING 4	1	0.360000+03	0.540000+03	0.300000+00	0.100000+00	0.300000+00	0.0
SPRING 5	2	0.140000+03	0.210000+03	0.300000+00	0.100000+00	0.300000+00	0.0
SKELETON CURVE OF MOMENT		SKELETON CURVE OF MOMENT					
ELEMENT NO.	CHARACTER	MC	MY	ALFA-C	ALFA-Y	ALFA-C	GANMA
BEAM 1	1	0.309100+07	0.581600+07	0.393000+00	0.570000-01	0.393000+00	0.0
BEAM 2	1	0.289100+07	0.524300+07	0.380000+00	0.540000-01	0.380000+00	0.0
BEAM 3	1	0.249700+07	0.445700+07	0.390000+00	0.590000-01	0.390000+00	0.0
BEAM 4	1	0.202000+07	0.354700+07	0.403000+00	0.550000-01	0.403000+00	0.0
BEAM 5	1	0.122000+07	0.352700+07	0.197000+00	0.480000-01	0.197000+00	0.0
BEAM 6	1	0.942000+06	0.234100+07	0.166000+00	0.360000-01	0.166000+00	0.0
BEAM 7	1	0.583000+06	0.131500+07	0.149000+00	0.190000-01	0.149000+00	0.0
BEAM 8	1	0.362000+06	0.555000+06	0.135000+00	0.100000-02	0.135000+00	0.0
BEAM 9	1	0.262000+06	0.539000+06	0.134000+00	0.100000-02	0.134000+00	0.0
BEAM 10	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BEAM 11	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BEAM 12	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SPRING 1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SPRING 2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SPRING 3	3	0.120000+05	0.180000+05	0.300000+00	0.100000+00	0.300000+00	0.0
SPRING 4	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SPRING 5	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table A.1 (Continued)

SOIL	6	0.362500+07	0.464800+07	0.660000+00	0.500000+00
------	---	-------------	-------------	-------------	-------------

Table A.1 (Continued)

---- WAVE DATA ----

EARTHQUAKE NAME = EL-CENTRO AMAX=500GAL 000083								
NUMBER OF STEPS =	1000							
TIME INTERVAL =	0.010							
MAX ACCELERATION =	-5.0000							
AT TIME	2.000							
SCALING FACTOR =	5.0000							
1	-0.0095	-0.0455	-0.0815	-0.1225	-0.0875	-0.0465	-0.0050	0.0365
2	0.0775	0.1060	0.0560	0.0175	-0.0210	-0.0595	-0.0975	-0.1385
3	-0.0930	-0.0445	0.0035	0.0520	0.1005	0.1560	0.0970	0.0275
4	-0.0420	-0.1230	-0.1095	-0.0775	-0.0450	-0.0670	-0.0935	-0.1200
5	-0.1520	-0.0905	-0.0115	-0.0675	-0.1760	0.1005	-0.0205	-0.1420
6	-0.2635	-0.3850	-0.4960	-0.3690	-0.2530	-0.1370	-0.0205	0.0325
7	0.0810	0.1295	0.1780	0.2265	0.2750	0.3235	0.3720	0.4205
8	0.4690	0.5245	0.4195	0.2970	0.1750	0.0530	0.0295	0.0460
9	0.0630	0.0870	0.0525	-0.0105	-0.0735	-0.1360	-0.4115	-0.5195
10	-0.5485	-0.5770	-0.6060	-0.6345	-0.6630	-0.9335	-0.9960	-0.9280
11	-0.8660	-0.8035	-0.7415	-0.6790	-0.6170	-0.5545	-0.6570	-0.6585
12	-0.6710	-0.6840	-0.6970	-0.7100	-0.7230	-1.0380	-1.0905	-1.1415
13	-1.1930	-1.2240	-1.2550	-1.2860	-1.2935	-1.2660	-1.2390	-1.2115
14	-1.1845	-0.7570	-0.7145	-0.7410	-0.7770	-0.6025	-0.5295	-0.0570
15	0.2160	0.4890	0.7615	1.0345	1.2605	0.9440	0.6730	0.4020
16	0.1315	-0.1395	-0.4100	-0.6810	-0.9520	-1.2225	-1.4935	-1.7645
17	-2.0350	-2.3060	-2.5770	-2.7150	-2.4280	-2.2335	-2.0430	-1.8505
18	-1.6580	-1.4655	-1.3830	-1.3830	-1.3830	-1.4345	-1.4990	-1.5615
19	-1.5385	-1.5160	-1.4935	-1.4710	-1.5630	-1.6705	-1.7785	-1.8890
20	-2.0725	-1.9340	-1.8260	-1.7115	-0.7110	-0.3035	0.1040	0.5120
21	0.9195	1.3270	1.7015	2.1985	2.4770	2.9955	2.9955	2.9440
22	3.1925	3.5080	3.6010	3.2540	3.1075	2.9610	2.8140	2.6675
23	2.5210	2.3740	2.2275	2.0905	2.1875	2.2845	2.3815	2.4780
24	2.6235	2.1375	1.1650	0.1925	-0.7800	-1.7525	-2.7250	-3.6970
25	-4.1680	-4.2760	-4.3835	-4.4915	-4.5990	-4.7470	-4.8145	-5.0000
26	-4.8730	-4.4185	-3.9645	-3.5105	-3.0560	-2.6020	-2.1480	-1.6935
27	-1.2395	-0.7855	-0.3310	0.1230	0.5770	1.0315	1.4855	1.9395
28	2.3940	2.8480	3.3020	3.7565	4.2105	4.4330	4.3005	4.2125
29	4.1245	4.0365	3.9490	2.2675	0.5370	-1.1935	-2.9235	-4.6715
30	-4.0535	-3.4295	-2.8055	-2.1815	-1.5575	-0.9335	-0.3090	0.3955
31	1.1740	1.9525	2.7315	3.5100	4.3040	3.5800	2.8405	2.1015
32	1.3625	0.6235	-0.1160	-0.8105	-0.2275	0.3225	0.8725	1.4230
33	1.9730	2.2945	2.4060	2.5170	2.6280	2.7390	2.8500	2.9610
34	3.0980	2.8870	2.6135	2.3395	2.0660	1.7920	1.4995	1.1435
35	0.7875	0.4320	0.0760	-0.2795	-0.7885	-0.3945	-0.2270	-0.0595
36	0.1080	0.2755	0.4430	0.6105	0.7780	0.9455	1.1130	1.2810
37	1.5020	1.2710	0.9320	0.5925	0.2530	-0.0865	-0.4255	-0.7650
38	-1.1045	-1.3150	-1.0080	-0.7860	-0.5635	-0.3410	-0.1190	0.1035
39	0.3255	0.5480	0.7170	0.0715	-0.4495	-0.9700	-1.4905	-2.0110
40	-2.4535	-2.1110	-1.8135	-1.5155	-1.2175	-0.9200	-0.6220	-0.3240
41	-0.0260	-0.6385	-1.4240	-2.2095	-3.2390	-2.9210	-2.6405	-2.0000
42	-1.5400	-1.0795	-0.6190	-0.1585	0.3020	0.7625	1.2230	1.6830
43	2.1435	2.8805	3.3510	1.0280	0.2955	-1.5130	-1.1175	-0.7510
44	-0.3845	-0.0180	0.3480	0.7145	1.0810	1.4475	1.8140	2.1800
45	2.5465	2.0885	1.6300	1.1720	0.7140	0.2555	-0.2025	-0.6240
46	-0.4505	-0.2895	-0.1285	0.0325	0.1930	0.3540	0.4895	0.2060
47	-0.0380	-0.2825	-0.5265	-0.7705	-1.0150	-1.2005	-0.9945	-0.8280
48	-0.6620	-0.4960	-0.3295	-0.1435	0.0030	0.1690	0.4100	0.1485
49	-0.3270	-0.8025	-1.2780	-1.7350	-2.2285	-2.8800	-2.7000	-2.4145

Table A.1 (Continued)

112	-0.3155	-0.2045	-0.0940	-0.3840	-1.0595	-1.7345	-2.4100	-2.8425
113	-2.1725	-1.6805	-1.1880	-0.6955	-0.2030	0.2890	0.7815	1.2740
114	1.9290	1.6965	1.3500	1.0040	0.6575	0.6675	1.0205	1.3735
115	1.5830	1.7445	1.9090	1.6780	1.4425	1.2070	0.9715	0.7355
116	0.5000	0.2645	0.0290	-0.2070	-0.4425	-0.5445	-0.5970	-0.6495
117	-0.6950	-0.4755	-0.2810	-0.0865	0.1080	0.3020	0.4965	0.6910
118	0.8850	1.0795	1.2740	1.4685	1.6625	1.9950	1.0410	-2.5435
119	-2.1245	-1.6640	-1.2035	-0.7430	-0.2825	0.1780	0.6435	0.4780
120	0.3110	0.1445	-0.0225	-0.1895	-0.3565	-0.5230	-0.6900	-0.8570
121	-1.0235	-1.1905	-1.4360	-1.2300	-0.8410	-0.4525	-0.0640	0.3250
122	0.7135	1.1025	1.2540	0.8755	0.6405	0.4055	0.1705	-0.0645
123	-0.2995	-0.5345	-0.7695	-1.0045	-1.2395	-1.3500	-1.0825	-0.9080
124	-0.7330	-0.5580	-0.3830	-0.2085	-0.0335	0.1010	0.0690	0.0425
125	0.0165	0.0035	0.1680	0.3330	0.4975	0.6620	0.9025	0.5140
126								

BETA OF NEWMARK'S METHOD = 0.250000
 TIME INTERVAL OF CALCULATION = 0.001000

Table A.1 (Continued)

--- INTERMEDIATE RESPONSE VALUE ---

TIME = 0.5000
 BASE ACCELERATION = 0.1295

NODE NO.	ABSOLUTE ACCELERATION H R	RELATIVE VELOCITY H R	RELATIVE DISPLACEMENT H R
1	0.13389D+00	0.60185D-02	-0.51736D-04
2	0.15345D+00	0.60185D-02	-0.51736D-04
3	0.36128D-01	0.70481D-02	-0.73016D-04
4	-0.59025D-01	0.77741D-02	-0.11423D-01
5	-0.15743D+00	0.81142D-02	-0.12194D-01
6	-0.26219D+00	0.79645D-02	-0.11613D-01
7	-0.41296D+00	0.55502D-02	-0.91346D-02
8	-0.50262D+00	0.13955D-02	-0.43177D-03
9	-0.34185D+00	-0.53388D-02	0.61091D-02
10	-0.25379D-01	-0.88098D-02	0.16578D-01
11	0.40856D+00	-0.11199D-01	0.30791D-01
12	0.42212D-01	0.10415D-01	-0.96232D-02
13	-0.14453D+00	0.12209D-01	-0.15448D-01
14	-0.29778D+00	0.61934D-02	-0.19009D-01
15	-0.14418D+00	0.0	0.0
16	-0.14289D+00	0.0	-0.16650D-01

TIME = 0.5000

BEAM NO.	AXIAL FORCE	MOMENT NODE-I	MOMENT NODE-J	SHEAR FORCE
1	0.0	0.18435D+06	-0.15230D+06	0.53423D+04
2	0.0	0.14186D+06	-0.10945D+06	0.52278D+04
3	0.0	0.96884D+05	-0.69649D+05	0.46957D+04
4	0.0	0.52621D+05	-0.30660D+05	0.34858D+04
5	0.0	0.22089D+05	-0.26921D+04	0.25863D+04
6	0.0	0.96981D+03	0.12147D+05	0.16396D+04
7	0.0	-0.10494D+05	0.11523D+05	0.96209D+02
8	0.0	-0.80161D+04	0.55147D+04	-0.31267D+03
9	0.0	-0.42323D+04	0.13279D+04	-0.25255D+03
10	0.0	0.12446D+04	-0.69319D+03	0.91902D+02
11	0.0	0.67695D+03	0.15748D+03	0.69536D+02
12	0.0	-0.19348D+03	0.56201D+03	0.26706D+02

SPRING DIRECTION FORCE

1	H	-0.19583D+02
2	H	0.38302D+01
3	R	-0.56776D+03
4	H	0.16576D+02
5	H	0.55621D+01

SOIL TYPE FORCE

1	SWEY	-0.26599D+04
2	ROCK	0.24850D+06

Table A.1 (Continued)

3	HORI	-0.18687D+04	TIME = 1.0000	BASE ACCELERATION = -1.3300	RELATIVE VELOCITY H	RELATIVE DISPLACEMENT R
NO.	ABSOLUTE ACCELERATION H	RELATIVE VELOCITY H	RELATIVE DISPLACEMENT R	RELATIVE VELOCITY H	RELATIVE DISPLACEMENT R	
1	-0.12705D+01	-0.60537D-02	0.69595D-02	-0.23774D-03	0.52104D-03	
2	-0.12902D+01	-0.60537D-02	0.61869D-02	-0.23774D-03	0.51264D-03	
3	-0.11712D+01	-0.74440D-02	0.12456D-01	-0.29312D-03	0.68788D-03	
4	-0.10749D+01	-0.86797D-02	0.17457D-01	-0.33944D-03	0.81245D-03	
5	-0.96799D+00	-0.97164D-02	0.22247D-01	-0.37606D-03	0.89299D-03	
6	-0.82293D+00	-0.10642D-01	0.27312D-01	-0.40820D-03	0.92821D-03	
7	-0.51763D+00	-0.13433D-01	0.36658D-01	-0.51360D-03	0.93237D-03	
8	-0.14094D+00	-0.14874D-01	0.47299D-01	-0.59269D-03	0.88817D-03	
9	0.15089D+00	-0.14448D-01	0.58377D-01	-0.65892D-03	0.80640D-03	
10	0.22834D+00	-0.13420D-01	0.67002D-01	-0.68301D-03	0.73337D-03	
11	0.27345D+00	-0.12572D-01	0.77966D-01	-0.69521D-03	0.64523D-03	
12	-0.11883D+01	-0.74400D-02	0.12047D-01	-0.60212D-03	0.66812D-03	
13	-0.10859D+01	-0.66519D-02	0.26022D-01	-0.87309D-03	0.94476D-03	
14	-0.10249D+01	-0.12490D-01	0.36794D-01	-0.55803D-03	0.11110D-02	
15	-0.11045D+01	0.0	0.24496D-01	0.0	0.96409D-03	
16	-0.11203D+01	0.0	0.24825D-01	0.0	0.97705D-03	

TIME = 1.0000

BEAM NO.	AXIAL FORCE	MOMENT NODE-I	MOMENT NODE-J	SHEAR FORCE
1	0.0	0.68840D+05	0.11251D+05	0.13364D+05
2	0.0	0.24056D+04	0.58333D+05	0.97965D+04
3	0.0	-0.40492D+05	0.76288D+05	0.61717D+04
4	0.0	-0.49479D+05	0.60752D+05	0.17894D+04
5	0.0	-0.44960D+05	0.44160D+05	-0.10673D+03
6	0.0	-0.39389D+05	0.32127D+05	-0.90765D+03
7	0.0	-0.21891D+05	0.12506D+05	-0.87707D+03
8	0.0	-0.73331D+04	0.64394D+04	-0.36171D+03
9	0.0	-0.31537D+04	0.10554D+04	-0.18246D+03
10	0.0	0.25597D+04	-0.98029D+03	0.26323D+03
11	0.0	0.99331D+03	0.64817D+03	0.13679D+03
12	0.0	-0.62276D+03	0.13661D+04	0.53866D+02

SPRING DIRECTION FORCE

1	H	-0.35577D+02
2	H	0.93180D+02
3	R	-0.13454D+04
4	H	0.62429D+02
5	H	0.20996D+02

SOIL TYPE FORCE

1	SWEY	-0.18532D+05
2	ROCK	0.13114D+06
3	HORI	-0.10879D+05

Table A.1(Continued)

--- MAXIMUM RESPONSE VALUE ---

NODE NO.	COORDINATE			H	ABSOLUTE ACCELERATION		TIME
	X	Y	H		R	R	
1	0.0	-3.2500	0.619460+01	1.95600	0.153350+00	2.42700	
2	0.0	0.0	0.616110+01	1.95300	0.153350+00	2.42700	
3	0.0	6.0000	0.695660+01	1.96500	0.216900+00	2.50100	
4	0.0	12.2000	0.761560+01	1.97200	0.205190+00	2.43100	
5	0.0	18.0000	0.801010+01	1.97300	0.208530+00	2.43400	
6	0.0	24.5000	0.843910+01	2.37100	0.232340+00	2.42300	
7	0.0	31.8000	0.979640+01	2.38100	0.345270+00	2.56800	
8	0.0	39.8000	0.134850+02	2.55000	0.514960+00	2.56400	
9	0.0	50.5000	0.151920+02	2.52600	0.548660+00	2.55900	
10	0.0	58.5000	0.195200+02	2.57500	0.593530+00	2.54900	
11	0.0	70.0000	0.286890+02	2.58800	0.813040+00	2.55000	
12	0.0	6.0000	0.718130+01	1.95900	0.227240+00	2.49800	
13	0.0	18.0000	0.888230+01	1.96700	0.419690+00	2.50000	
14	0.0	31.8000	0.133050+02	2.50600	0.620740+00	2.51100	
15	0.0	18.0000	0.971780+01	2.37000	0.0	0.0	
16	0.0	18.0000	0.108990+02	2.37500	0.0	0.0	

NODE NO.	COORDINATE			H	RELATIVE VELOCITY		TIME
	X	Y	H		R	R	
1	0.0	-3.2500	0.118770+00	2.32600	0.490780-02	2.46400	
2	0.0	0.0	0.112950+00	2.32600	0.490780-02	2.46400	
3	0.0	6.0000	0.184790+00	2.33100	0.554760-02	2.46900	
4	0.0	12.2000	0.245710+00	2.33400	0.646480-02	2.47400	
5	0.0	18.0000	0.299650+00	2.33700	0.724630-02	2.47600	
6	0.0	24.3000	0.347930+00	2.33900	0.770920-02	2.47600	
7	0.0	31.8000	0.434420+00	2.48100	0.920460-02	2.51900	
8	0.0	39.8000	0.595520+00	2.48600	0.129800-01	2.53100	
9	0.0	50.5000	0.770330+00	2.49500	0.137910-01	2.53900	
10	0.0	58.5000	0.966120+00	2.49800	0.148330-01	2.54000	
11	0.0	70.0000	0.123560+01	2.49600	0.163320-01	2.54000	
12	0.0	6.0000	0.174230+00	2.33000	0.814420-02	2.47400	
13	0.0	18.0000	0.299720+00	2.33900	0.121890-01	2.48400	
14	0.0	31.8000	0.423730+00	2.48000	0.103210-01	2.49100	
15	0.0	18.0000	0.304190+00	2.34000	0.0	0.0	
16	0.0	18.0000	0.312170+00	2.34000	0.0	0.0	

NODE NO.	COORDINATE			H	RELATIVE DISPLACEMENT		TIME
	X	Y	H		R	R	
1	0.0	-3.2500	0.435280-02	1.98500	0.184060-03	2.42200	
2	0.0	0.0	0.435280-02	1.98500	0.184060-03	2.42200	
3	0.0	6.0000	0.723850-02	1.99500	0.236300-03	2.42200	
4	0.0	12.2000	0.979730-02	2.00200	0.278550-03	2.42400	
5	0.0	18.0000	0.121610-01	2.00900	0.309360-03	2.42400	
6	0.0	24.3000	0.146520-01	2.40100	0.332570-03	2.42500	
7	0.0	31.8000	0.204030-01	2.40900	0.469760-03	2.43100	
8	0.0	39.8000	0.268680-01	2.41600	0.587610-03	2.44100	
9	0.0	50.5000	0.343710-01	2.42100	0.634990-03	2.44300	
10	0.0	58.5000	0.406580-01	2.42300	0.648540-03	2.44300	
11	0.0	70.0000	0.494630-01	2.42400	0.657670-03	2.44200	

Table A.1 (Continued)

12	0.0	6.0000	0.68626D-02	1.99300	0.31348D-03	2.40900
13	0.0	18.0000	0.11868D-01	1.99500	0.42169D-03	2.41600
14	0.0	31.8000	0.17382D-01	2.39800	0.46933D-03	2.43000
15	0.0	18.0000	0.12313D-01	1.99400	0.0	0.0
16	0.0	18.0000	0.12484D-01	1.99100	0.0	0.0

Table A.1 (Continued)

--- MAXIMUM FORCE OF BEAMS ---

BEAM NO.	AXIAL (-) AXIAL (+)		TIME		MOMENT-I MOMENT-J		TIME		DUCT. 1 DUCT. 2		SHEAR FORCE	TIME	DUCT. 1 DUCT. 2	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.52825D+07	-0.47224D+07	2.42100	2.43300	0.27725D+01	0.85485D+00	0.15761D+06	1.99000	0.10217D+01	0.34072D+00
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.44650D+07	-0.39412D+07	2.43000	2.43100	0.24016D+01	0.76460D+00	0.14134D+06	2.38700	0.90313D+00	0.30117D+00
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.35640D+07	-0.30844D+07	2.42600	2.43500	0.20202D+01	0.68083D+00	0.12184D+06	2.39200	0.81501D+00	0.27155D+00
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.25835D+07	-0.21412D+07	2.42700	2.44200	0.16771D+01	0.58317D+00	0.90096D+05	2.39200	0.64585D+00	0.21539D+00
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.19914D+07	0.14873D+07	2.56700	2.56800	0.41023D+01	0.38705D+00	-0.80079D+05	2.54900	0.19626D+01	0.65491D+00
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.13657D+07	-0.93793D+06	2.57200	2.57300	0.37404D+01	0.37604D+00	-0.64592D+05	2.55000	0.19526D+01	0.65087D+00
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.73026D+06	0.42129D+06	2.59200	2.59400	0.25438D+01	0.26985D+00	-0.35818D+05	2.52800	0.77529D+00	0.25843D+00
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.32146D+06	0.19900D+06	2.59700	2.59800	0.88802D+00	0.17943D+00	-0.16838D+05	2.58800	0.95128D+00	0.31829D+00
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.15590D+06	-0.65503D+05	2.59800	2.53200	0.59504D+00	0.66934D-01	-0.10570D+05	2.59000	0.77722D+00	0.25907D+00
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.35888D+05	-0.19891D+05	2.38800	2.39200	0.0	0.0	0.28243D+04	1.98600	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.19681D+05	-0.94936D+04	2.39200	2.47000	0.0	0.0	0.18794D+04	2.38700	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.88927D+04	-0.17564D+05	2.47200	2.50500	0.0	0.0	-0.81766D+03	2.50700	0.0	0.0

Table A.1 (Continued)

--- MAXIMUM FORCE OF SOIL SPRING ---

SP.NO.	TYPE	FORCE	TIME	DUCT. 1	DUCT. 2
1	SWEY	-0.14463D+06	1.98100	0.0	0.0
2	ROCK	0.67469D+07	2.42200	0.25763D+01	0.18046D+01
3	HORI	-0.90887D+05	1.98500	0.0	0.0

--- MAXIMUM FORCE OF SPRING ---

SPRING	DIRECTION	FORCE	TIME	DUCT. 1	DUCT. 2
1	H	0.56866D+03	2.55500	0.21160D+01	0.79350D+00
2	H	0.10636D+04	2.55400	0.35589D+01	0.13346D+01
3	R	0.18013D+05	2.50600	0.26380D+01	0.98927D+00
4	H	0.59278D+03	2.38400	0.40134D+01	0.15050D+01
5	H	0.21818D+03	2.37900	0.28871D+01	0.10826D+01

Table A.2 Output Mode Shapes in File

1	0.212200+02	0.537720+01	0.296100+00	0.210070+01
1	0.778250-01	-0.333120-02		
2	0.669990-01	-0.333120-02		
3	0.148700+00	-0.409000-02		
4	0.212900+00	-0.472650-02		
5	0.274170+00	-0.522750-02		
6	0.338890+00	-0.565670-02		
7	0.454170+00	-0.706520-02		
8	0.585480+00	-0.821740-02		
9	0.733300+00	-0.926900-02		
10	0.849370+00	-0.965820-02		
11	0.100000+01	-0.989070-02		
12	0.140330+00	-0.692010-02		
13	0.269470+00	-0.912540-02		
14	0.393220+00	-0.728230-02		
15	0.271790+00	0.0		
16	0.273340+00	0.0		
1	0.448440+02	0.713720+01	0.140110+00	-0.211930+01
2	-0.186650+00	-0.949120-03		
2	-0.189740+00	-0.949120-03		
3	-0.238780+00	-0.151740-02		
4	-0.275040+00	-0.226390-02		
5	-0.285230+00	-0.309290-02		
6	-0.257240+00	-0.399870-02		
7	-0.154110+00	-0.769550-02		
8	-0.270450-01	-0.116440-01		
9	0.321450+00	-0.161330-01		
10	0.613840+00	-0.180830-01		
11	0.100000+01	-0.193840-01		
12	-0.233610+00	0.367530-02		
13	-0.335790+00	0.357380-02		
14	-0.357330+00	-0.664840-02		
15	-0.349210+00	0.0		
16	-0.358290+00	0.0		
3	0.644220+02	0.102530+02	0.975320-01	0.661260+00
1	0.168020+00	0.120080-01		
2	0.207050+00	0.120080-01		
3	0.739940-01	0.138400-01		
4	-0.292700-02	0.152050-01		
5	-0.798140-01	0.158960-01		
6	-0.139130+00	0.155930-01		
7	-0.874890-01	0.120000-01		
8	0.658020-01	0.791500-02		
9	0.309910+00	0.210580-02		
10	0.628820+00	-0.777060-03		
11	0.100000+01	-0.249920-02		
12	0.443400-01	0.187750-01		
13	-0.277150+00	0.286240-01		
14	-0.762940+00	0.144760-01		
15	-0.301270+00	0.0		
16	-0.317880+00	0.0		
4	0.704840+02	0.112180+02	0.891440-01	0.775560+00
1	0.138960+00	-0.202990-02		
2	0.132360+00	-0.202990-02		
3	0.146360+00	-0.217500-02		
4	0.121620+00	-0.230080-02		
5	0.744260-01	-0.246410-02		
6	-0.107880-01	-0.273800-02		
7	-0.245010+00	-0.536170-02		

Table A.3 Output Maximum Response Values in File

8	1	1	(NODE NO. ,	DIRECTION ,	RESPONSE TYPE)	
-0.113400-05	-0.453200-05	-0.101860-04	-0.180850-04	-0.282190-04		
-0.405750-04	-0.551420-04	-0.719080-04	-0.908600-04	-0.111990-03		
-0.138440-03	-0.173370-03	-0.216750-03	-0.268540-03	-0.328710-03		
-0.397230-03	-0.474090-03	-0.559250-03	-0.852700-03	-0.756430-03		
-0.864440-03	-0.982750-03	-0.110940-02	-0.124430-02	-0.138760-02		
-0.153940-02	-0.169970-02	-0.186860-02	-0.204630-02	-0.223280-02		
-0.242890-02	-0.263540-02	-0.285260-02	-0.308060-02	-0.331970-02		
-0.357040-02	-0.383300-02	-0.410790-02	-0.439590-02	-0.469740-02		
-0.500430-02	-0.530850-02	-0.561110-02	-0.591340-02	-0.621710-02		
-0.652400-02	-0.683620-02	-0.715620-02	-0.748660-02	-0.783060-02		
-0.819090-02	-0.857060-02	-0.897390-02	-0.940530-02	-0.987000-02		
-0.103730-01	-0.109230-01	-0.115180-01	-0.121730-01	-0.128900-01		
-0.136780-01	-0.145420-01	-0.154900-01	-0.165290-01	-0.176650-01		
-0.189040-01	-0.202580-01	-0.217280-01	-0.233200-01	-0.250400-01		
-0.268920-01	-0.288810-01	-0.310100-01	-0.332800-01	-0.356920-01		
-0.382480-01	-0.409480-01	-0.437800-01	-0.467500-01	-0.498510-01		
-0.530750-01	-0.564150-01	-0.598600-01	-0.634010-01	-0.670240-01		
-0.707150-01	-0.744600-01	-0.782400-01	-0.820380-01	-0.858350-01		
-0.896110-01	-0.933460-01	-0.970180-01	-0.100600+00	-0.104080+00		
-0.107420+00	-0.110610+00	-0.113620+00	-0.116420+00	-0.119000+00		
-0.121340+00	-0.123430+00	-0.125260+00	-0.126810+00	-0.128060+00		
-0.129000+00	-0.129610+00	-0.129900+00	-0.129860+00	-0.129480+00		
-0.128750+00	-0.127680+00	-0.126270+00	-0.124530+00	-0.122470+00		
-0.120080+00	-0.117380+00	-0.114390+00	-0.111200+00	-0.107570+00		
-0.103770+00	-0.997320-01	-0.954660-01	-0.909920-01	-0.863230-01		
-0.814770-01	-0.764680-01	-0.713120-01	-0.660230-01	-0.606150-01		
-0.551040-01	-0.495020-01	-0.438220-01	-0.380800-01	-0.322860-01		
-0.264560-01	-0.206010-01	-0.147350-01	-0.087290-02	-0.302790-02		
-0.278500-02	-0.855050-02	-0.142520-01	-0.198740-01	-0.253970-01		
-0.308840-01	-0.360760-01	-0.411910-01	-0.461310-01	-0.508730-01		
-0.553970-01	-0.596800-01	-0.637010-01	-0.674390-01	-0.708740-01		
-0.739860-01	-0.767570-01	-0.791700-01	-0.812090-01	-0.828630-01		
-0.841300-01	-0.850130-01	-0.855050-01	-0.856030-01	-0.853090-01		
-0.846250-01	-0.835570-01	-0.821140-01	-0.803080-01	-0.781540-01		
-0.756700-01	-0.728700-01	-0.697920-01	-0.664430-01	-0.628550-01		
-0.590320-01	-0.550620-01	-0.509130-01	-0.464310-01	-0.422450-01		
-0.377800-01	-0.332630-01	-0.287180-01	-0.241700-01	-0.196400-01		
-0.151490-01	-0.107150-01	-0.635590-02	-0.208600-02	-0.208130-02		
-0.613470-02	-0.100650-01	-0.138630-01	-0.175250-01	-0.210440-01		
-0.244170-01	-0.276420-01	-0.307180-01	-0.336440-01	-0.364190-01		
-0.390440-01	-0.415180-01	-0.438430-01	-0.460180-01	-0.480420-01		
-0.499160-01	-0.516360-01	-0.532010-01	-0.546090-01	-0.558540-01		
-0.569310-01	-0.578340-01	-0.585570-01	-0.590930-01	-0.594340-01		
-0.595730-01	-0.595010-01	-0.592120-01	-0.586970-01	-0.579510-01		
-0.569790-01	-0.557910-01	-0.543820-01	-0.527500-01	-0.508940-01		
-0.488140-01	-0.465120-01	-0.439920-01	-0.412610-01	-0.383270-01		
-0.352000-01	-0.318930-01	-0.284200-01	-0.247950-01	-0.210340-01		
-0.171540-01	-0.131730-01	-0.910840-02	-0.497930-02	-0.803980-03		
-0.339920-02	-0.761250-02	-0.118190-01	-0.160030-01	-0.201480-01		
-0.242430-01	-0.282740-01	-0.322300-01	-0.361040-01	-0.398860-01		
-0.435710-01	-0.471520-01	-0.506250-01	-0.539910-01	-0.572470-01		
-0.603950-01	-0.634350-01	-0.663700-01	-0.692000-01	-0.719290-01		
-0.745700-01	-0.771340-01	-0.796230-01	-0.820370-01	-0.843730-01		
-0.866290-01	-0.888010-01	-0.908830-01	-0.928670-01	-0.947440-01		
-0.965050-01	-0.981410-01	-0.996360-01	-0.100980+00	-0.102140+00		
-0.103120+00	-0.103900+00	-0.104450+00	-0.104750+00	-0.104800+00		
-0.104570+00	-0.104050+00	-0.103230+00	-0.102090+00	-0.100620+00		
-0.988250-01	-0.966920-01	-0.942220-01	-0.914160-01	-0.882770-01		

Table A.4 Output Hysteresis Curves in File

1	6	2	0	(ELM.	TYPE	,	ELM.	NO.	,	STIF.	TYPE	,	NODE
0.338190	-06	0.181970	-14	0.273980	-05	0.147420	-13							
0.114880	-04	0.618120	-13	0.340970	-04	0.183470	-12							
0.818140	-04	0.440220	-12	0.170250	-03	0.916080	-12							
0.320160	-03	0.172270	-11	0.558270	-03	0.300390	-11							
0.918280	-03	0.494100	-11	0.144190	-02	0.775830	-11							
0.218070	-02	0.117340	-10	0.320030	-02	0.172210	-10							
0.458530	-02	0.246720	-10	0.644020	-02	0.346530	-10							
0.889420	-02	0.478570	-10	0.121020	-01	0.651180	-10							
0.162480	-01	0.874230	-10	0.215450	-01	0.115930	-09							
0.282440	-01	0.151970	-09	0.366300	-01	0.197090	-09							
0.470240	-01	0.253020	-09	0.597910	-01	0.321720	-09							
0.753330	-01	0.403350	-09	0.940930	-01	0.506300	-09							
0.116560	+00	0.627180	-09	0.143260	+00	0.770830	-09							
0.174750	+00	0.940280	-09	0.211640	+00	0.113880	-08							
0.254570	+00	0.136980	-08	0.304210	+00	0.163690	-08							
0.361270	+00	0.194390	-08	0.426500	+00	0.229490	-08							
0.500690	+00	0.269400	-08	0.584660	+00	0.314580	-08							
0.679280	+00	0.365500	-08	0.785500	+00	0.422650	-08							
0.904330	+00	0.486590	-08	0.103690	+01	0.557910	-08							
0.118430	+01	0.637260	-08	0.134810	+01	0.725380	-08							
0.152980	+01	0.823130	-08	0.173110	+01	0.931470	-08							
0.195430	+01	0.105150	-07	0.220150	+01	0.118460	-07							
0.247590	+01	0.133220	-07	0.278050	+01	0.149610	-07							
0.311940	+01	0.167850	-07	0.349710	+01	0.188170	-07							
0.391890	+01	0.210860	-07	0.439100	+01	0.236260	-07							
0.492040	+01	0.264750	-07	0.551530	+01	0.298760	-07							
0.618490	+01	0.332790	-07	0.693950	+01	0.373390	-07							
0.779070	+01	0.419190	-07	0.875150	+01	0.470890	-07							
0.983600	+01	0.529240	-07	0.110600	+02	0.595080	-07							
0.124390	+02	0.669320	-07	0.139930	+02	0.752920	-07							
0.157400	+02	0.846920	-07	0.177010	+02	0.952420	-07							
0.198970	+02	0.107060	-06	0.223500	+02	0.120260	-06							
0.250850	+02	0.134970	-06	0.281240	+02	0.151330	-06							
0.314930	+02	0.169450	-06	0.352160	+02	0.189480	-06							
0.393170	+02	0.211550	-06	0.438210	+02	0.235790	-06							
0.487530	+02	0.262320	-06	0.541360	+02	0.291290	-06							
0.599930	+02	0.322800	-06	0.663460	+02	0.358990	-06							
0.885720	+02	0.393940	-06	0.806180	+02	0.433780	-06							
0.106190	+03	0.476580	-06	0.970920	+02	0.522420	-06							
0.126150	+03	0.571370	-06	0.115870	+03	0.623480	-06							
0.148490	+03	0.678770	-06	0.137020	+03	0.737270	-06							
0.173170	+03	0.798960	-06	0.160540	+03	0.863810	-06							
0.200120	+03	0.931780	-06	0.186370	+03	0.100280	-05							
0.229150	+03	0.107680	-05	0.214390	+03	0.115350	-05							
0.260050	+03	0.123300	-05	0.244390	+03	0.131500	-05							
0.292490	+03	0.139920	-05	0.276100	+03	0.148560	-05							
0.326080	+03	0.157380	-05	0.309170	+03	0.166350	-05							
0.360390	+03	0.175460	-05	0.343180	+03	0.184650	-05							
0.394920	+03	0.193920	-05	0.377660	+03	0.203210	-05							
0.429130	+03	0.212490	-05	0.412100	+03	0.221740	-05							
0.462490	+03	0.230900	-05	0.445950	+03	0.239950	-05							
0.494450	+03	0.248850	-05	0.478670	+03	0.257560	-05							
0.524510	+03	0.266050	-05	0.509750	+03	0.274280	-05							
0.552190	+03	0.282220	-05	0.538670	+03	0.289840	-05							
0.577090	+03	0.297120	-05	0.565010	+03	0.304010	-05							
0.598850	+03	0.310510	-05	0.588380	+03	0.316590	-05							
0.617200	+03	0.322220	-05	0.608470	+03	0.327400	-05							
		0.332100	-05	0.625030	+03	0.336310	-05							