

## 震動応答解析法

—— 有限要素法のプログラムについて ——

香川 崇 章

国立防災科学技術センター大型実験研究部耐震実験室\*

### Analytic Method for Earthquake Response — On the Finite Element Program —

By

Takaaki Kagawa

*Earthquake Engineering Laboratory,*

*Research Division of Large Experiments (Ibaraki-ken),*

*National Research Center for Disaster Prevention†*

#### Abstract

It is increasingly needed to analyze the behaviours of various soil structures during the time of earthquakes. One of the most critical problems would be the case in which a heavy massive structure such as a nuclear power plant interacts not only with its foundation but with the neighbouring similar structures.

One of the main objectives of the present study is to develop a program which can approximately introduce the nonlinear stress-strain characteristics into soil foundation.

Iteration procedure, which is operated together with the equivalent linear method for representing the strain-softening characteristics of soil element, is used for attaining the strain-compatible shear modulus and damping ratio for each finite element.

In such a program, damping independent of velocity is used by the aid of complex shear modulus, and thereby it becomes possible to analyze the high frequency range response which would be an essential part of the above interaction problem.

#### 1. はじめに

過去の地震で土質構造物の被害が数多く報告されている。例えば、南海地震（昭和21年

\* 茨城県新治郡桜村大字栗原4489-1。郵便番号300-32。

† Address: No. 4489-1, Kurihara, Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki-ken 300-32, Japan.

12月21日)による渡川堤防の破壊, 新潟地震(昭和39年6月16日)による阿賀野川堤防の被害, 福井地震(昭和23年6月28日)によるほそぎ堤防の破壊等多くの被害例を挙げる事が出来る。

また最近, 第3のエネルギーを目指して原子力発電所の建設が進められている。顕著な被害例はないが, これ自体まだ新しいもので強い地震を経験したことがないことが幸いしている。このような重い特殊な構造物は地盤との相互作用のみならず構造物間の相互作用も重要となるが, 未だ解決されていない問題といえよう。

これまで, これらの問題を解決するために様々な研究が行われているが, 土の有する多様な特性のため困難なことが多い。そこで最近なるべく実物に近い形のまま解析することがさかんに行われている。高速の電子計算機による有限要素法の数値解析, 大型振動台による模型振動実験等がそれである。筆者は過去いくつかの振動実験を行って来たが,<sup>1), 2), 3)</sup> 振動実験の結果を実用面へ拡張するための手段として, 今回以下に述べるプログラムの開発を行った。<sup>4)</sup>

プログラムは2次元平面ひずみ問題を扱う有限要素法のプログラムであるが, 上のような材料が有する強い非線形性を, 等化線形化法を用いてせん断定数および減衰定数をひずみレベルの関数として表わし, 反復法によりひずみレベルに適合するこれらの定数を決定することにより, 近似的に導入することができる。またプログラムは地震波のように非定常な入力に対する応答を計算するよう作られている。応答計算はすべて振動数領域で行われ, 各振動数成分に対する応答は系の応答関数に入力地震波のフーリエ係数を乗ずることにより求められる。同時に, 剛性を複素数とし, 減衰をこの虚数部分に置くことにより複素応答解析法を利用する事が出来る。減衰をこのような形で導入する結果, 有限要素系の異った要素に異った減衰を用いることが可能となる。

このプログラムで解くことのできる有限要素モデルの1例を図-1に示す。有限要素としては3角形および4角形のものを用いることができ, 基盤に地震波を任意の方向から入れることができる。変位の拘束条件は簡単に導入することができ, 2つあるいはそれ以上の節点

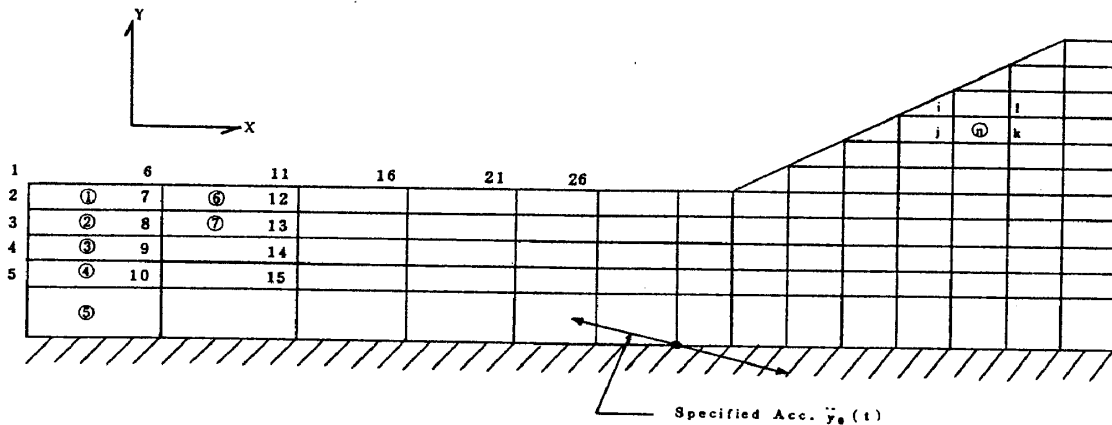


図-1 有限要素モデル

で変位がたえず同一になるよう剛性が無限大の棒要素を用いることもできる。そのほか、剛性を有する棒要素も使用できる。

このプログラムを用いるためには、せん断定数および減衰定数をひずみレベルの関数として定義してやる必要がある。例えば、ひずみレベルの小さい範囲では共振式振りせん断試験、ひずみレベルの大きい範囲では動的単純せん断試験のような材料試験が必要となる。このような試験から、例えば表-1の結果が得られる。

表-1 せん断定数，減衰定数のひずみ振幅による変化

有効ひずみ $r_{eff} (\%)$	$\text{Log}_{10}(r_{eff})$	せん断定数・係数		減衰定数・係数	
		粘土	砂	粘土	砂
$\leq 1.0 \times 10^{-4}$	-4.0	1.000	1.000	0.086	0.020
$3.16 \times 10^{-4}$	-3.5	0.913	0.984	0.086	0.033
$1.00 \times 10^{-3}$	-3.0	0.761	0.934	0.086	0.069
$3.16 \times 10^{-3}$	-2.5	0.565	0.826	0.120	0.130
$1.00 \times 10^{-2}$	-2.0	0.400	0.656	0.164	0.228
$3.16 \times 10^{-2}$	-1.5	0.261	0.443	0.224	0.407
$1.00 \times 10^{-1}$	-1.0	0.152	0.246	0.319	0.630
0.316	-0.5	0.076	0.115	0.476	0.853
1.00	0.	0.037	0.049	0.690	1.000
3.16	0.5	0.013	0.049	0.897	1.000
$\geq 10.00$	1.0	0.004	0.049	1.000	1.000

プログラムからの出力としては、応答スペクトル，応答加速度のフーリエ・スペクトル，共振曲線，変位や加速度の時間変化等が自由に選べる。

このプログラムでは記憶容量が60K程度の電子計算機を対象としているので，連立1次方程式の解法には，ブロック解法が用いられる。

## 2. 理論

### 2.1 有限要素系の組立て

#### 2.1.1 変位場の仮定

任意の4角形要素(図-2)内でのある点(x, y)でのx, y方向の変位 $u_x(x, y)$ ,  $u_y(x, y)$ を節点i, j, k, lにおける変位 $(\delta_x^i, \delta_y^i)$ ,  $(\delta_x^j, \delta_y^j)$ ,  $(\delta_x^k, \delta_y^k)$ ,  $(\delta_x^l, \delta_y^l)$ で次のように仮定する。

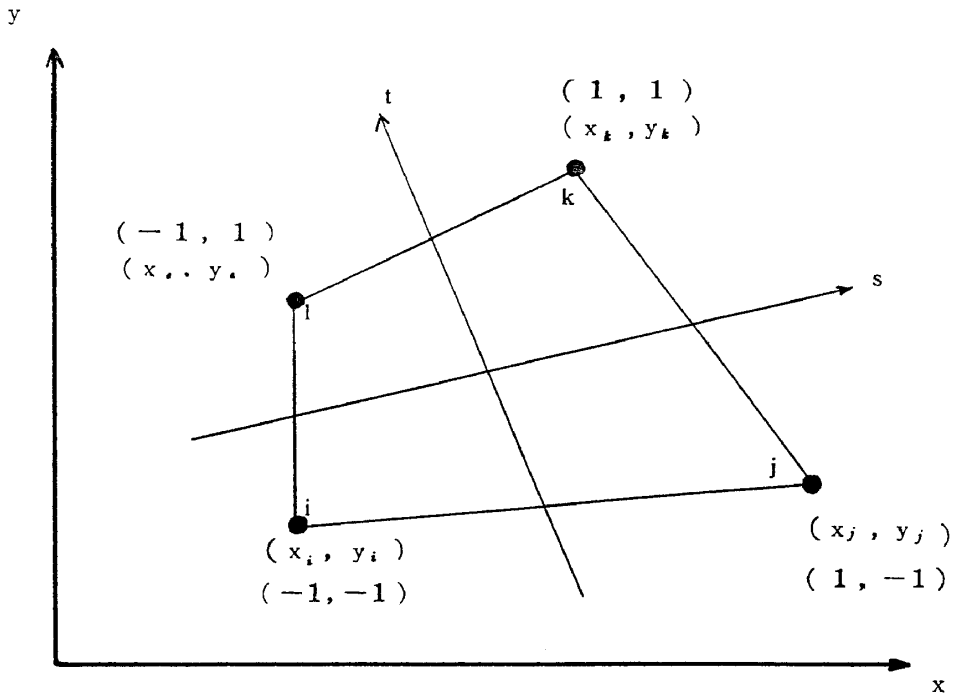


図-2 要素の全体座標と局部座標

$$\left. \begin{aligned}
 u_x(x, y) &= \frac{1}{4} \left\{ (1-s) \cdot (1-t) \cdot \partial_x^i + (1+s) \cdot (1-t) \cdot \partial_x^j \right. \\
 &\quad \left. + (1+s) \cdot (1+t) \cdot \partial_x^k + (1-s) \cdot (1+t) \cdot \partial_x^l \right\} \\
 u_y(x, y) &= \frac{1}{4} \left\{ (1-s) \cdot (1-t) \cdot \partial_y^i + (1+s) \cdot (1-t) \cdot \partial_y^j \right. \\
 &\quad \left. + (1+s) \cdot (1+t) \cdot \partial_y^k + (1-s) \cdot (1+t) \cdot \partial_y^l \right\}
 \end{aligned} \right\} (1)$$

このように仮定すると、例えば  $y_i = 1$  で  $x_i, x_j, x_k, x_l, y_j, y_k, y_l = 0$  のときに要素内では  $y$  方向の変位は節点  $i$  から遠ざかるにつれて線形に減少し、 $(s, t) = (-1, 0)$ 、および  $(s, t) = (0, -1)$  では  $u_y = 1/2$  となり辺  $i \sim l, i \sim j$  は絶えず直線を保つことになる。各節点の変位の寄与は(1)式によって線形に加えられるのでいかなる節点変位の組合せに対しても上記のことは成立つことになる。

(1)式とまったく同様に局部座標系  $(s, t)$  から全体座標系  $(x, y)$  への座標交換は次式であらわせる。

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{1}{4} \left\{ (1-s) \cdot (1-t) \cdot x_i + (1+s) \cdot (1-t) \cdot x_j + (1+s) \cdot (1+t) \cdot x_k \right. \\ &\quad \left. + (1-s) \cdot (1+t) \cdot x_l \right\} \\ y &= \frac{1}{4} \left\{ (1-s) \cdot (1-t) \cdot y_i + (1+s) \cdot (1-t) \cdot y_j + (1+s) \cdot (1+t) \cdot y_k \right. \\ &\quad \left. + (1-s) \cdot (1+t) \cdot y_l \right\} \end{aligned} \right\} (2)$$

ここに、 $(x_i, y_i)$ 、 $(x_j, y_j)$ 、 $(x_k, y_k)$ 、 $(x_l, y_l)$  は4角形要素の4節点の座標である。また  $-1 \leq s, t \leq 1$  であって4角形要素の中心の座標は、

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{1}{4}(x_i + x_j + x_k + x_l) \\ y_c &= \frac{1}{4}(y_i + y_j + y_k + y_l) \end{aligned}$$

であらわされる。 $(x, y)$  系よりも正規化された  $(s, t)$  座標系で問題を扱う方が簡単であるので、ヤコビの変換行列を考える。ヤコビの変換行列は次のようにして求められる。

要素内の物理量をあらわすため  $(x, y)$ 、あるいは  $(s, t)$  座標系を用いることができるので、ある関数  $f$  を考え、これを

$$f = f(x, y) = f(s, t) \quad (3)$$

とすると

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial s} &= \frac{\partial x}{\partial s} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial s} \cdot \frac{\partial f}{\partial y} \\ \frac{\partial f}{\partial t} &= \frac{\partial x}{\partial t} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} \cdot \frac{\partial f}{\partial y} \end{aligned} \right\} (4)$$

となるので、ヤコビ行列は、

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} \\ \frac{\partial x}{\partial t} & \frac{\partial y}{\partial t} \end{bmatrix}$$

とあらわされる。今考えている4角形要素に対するヤコビ行列は(5)式に(2)式を代入することにより以下のようになる。

$$[J] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-t) & (1-t) & (1+t) & -(1+t) \\ -(1-s) & (1-s) & (1+s) & -(1+s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i & y_i \\ x_j & y_j \\ x_k & y_k \\ x_l & y_l \end{bmatrix} \quad (6)$$

またこの逆行列は以下のようになる。

$$[J]^{-1} = \frac{1}{|[J]|} \begin{bmatrix} \frac{\partial y}{\partial t} & -\frac{\partial y}{\partial s} \\ \frac{\partial x}{\partial t} & \frac{\partial x}{\partial s} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{|[J]|} \cdot \frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} y_i & y_j & y_k & y_l \\ -x_i & -x_j & -x_k & -x_l \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -(1-s) & (1-t) \\ -(1+s) & -(1-t) \\ (1+s) & -(1+t) \\ (1-s) & (1+t) \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot \frac{[IJ]}{2 \times 2} \quad (7)
 \end{aligned}$$

同様にして、

$$dx \cdot dy = |J| \cdot ds \cdot dt \quad (8)$$

### 2.1.3 質量行列

単位厚さを有する物体の運動エネルギーは、

$$T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \int_V (\dot{u}(x, y), \dot{u}(x, y)) \cdot dV \quad (9)$$

で求められる。ただし、 $\rho$  = 質量密度、 $V$  = 対象とする物体の体積、 $(\dot{u}(x, y), \dot{u}(x, y))$  は速度ベクトルの内積である。また、(1)式より変位ベクトル  $u(x, y)$  は、

$$u(x, y) = \begin{Bmatrix} u_x(x, y) \\ u_y(x, y) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi(s, t) \\ \Phi(s, t) \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \delta \\ \delta \end{Bmatrix} \quad (10)$$

$\begin{matrix} 2 \times 8 & 8 \times 1 \end{matrix}$

であり、ここに

$$[\Phi(s, t)] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} (1-s)(1-t) & (1+s)(1-t) & (1+s)(1+t) & (1-s)(1+t) \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ (1-s)(1-t) & (1+s)(1-t) & (1+s)(1+t) & (1-s)(1+t) \end{bmatrix}$$

および

$$(\{\delta\}^0)^T = (\delta_x^i, \delta_x^j, \delta_x^k, \delta_x^l, \delta_y^i, \delta_y^j, \delta_y^k, \delta_y^l)$$

したがって

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{u}(x, y) &= [\Phi(s, t)] \cdot \{\dot{\delta}\}^0 \\
 \dot{u}(x, y)^T &= (\{\dot{\delta}\}^0)^T \cdot [\Phi(s, t)]^T
 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

とあらわして、運動エネルギーは

$$T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \iint_{x, y} (\{\dot{\delta}\}^0)^T \cdot [\Phi(s, t)]^T \cdot [\Phi(s, t)] \cdot \{\dot{\delta}\}^0 \cdot dx \cdot dy$$

となる。ここに(8)式を用い積分を  $(s, t)$  座標系で行えば、

$$T = \frac{1}{2} \cdot (\{\dot{\delta}\}^0)^T \cdot \left[ \rho \iint_{-1-1}^1 [\Phi(s, t)]^T \cdot [\Phi(s, t)] \cdot \det |J| \cdot ds \cdot dt \right] \cdot \{\dot{\delta}\}^0$$

となる。したがって要素等価質量行列  $[SM]$  は、

$$[SM] = \rho \cdot \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [\Phi(s, t)] \cdot [\Phi(s, t)] \cdot \det |J| \cdot ds \cdot dt \quad (12)$$

とあらわされる。

#### 2.1.4 剛性行列

質量行列が運動エネルギーを考えることにより求められるのと同様、各有限要素に蓄えられるひずみエネルギーを考えることにより要素剛性行列が求められる。ひずみエネルギー  $E$  は

$$E = \frac{1}{2} \int_V (\{ \epsilon(x, y) \}, \{ \sigma(x, y) \}) \cdot dV \quad (13)$$

ここに、

$$\{ \epsilon(x, y) \} = \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx}(x, y) \\ \epsilon_{yy}(x, y) \\ \tau_{xy}(x, y) \end{Bmatrix}$$

であり、直交座標系  $(x, y)$  ではひずみベクトルの各成分は、

$$\epsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad \epsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y}, \quad \tau_{xy} = \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \quad (14)$$

であらわされるからひずみベクトルも変位関数  $u_x(x, y)$ ,  $u_y(x, y)$  から定義できる。ここに(4)式を用いれば、

$$\left. \begin{aligned} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \frac{\partial u_x}{\partial y} \end{Bmatrix} &= [J]^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial s} \\ \frac{\partial u_x}{\partial t} \end{Bmatrix} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot \begin{bmatrix} 1 & J \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial s} \\ \frac{\partial u_x}{\partial t} \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_y}{\partial x} \\ \frac{\partial u_y}{\partial y} \end{Bmatrix} &= [J]^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_y}{\partial s} \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} \end{Bmatrix} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot \begin{bmatrix} 1 & J \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_y}{\partial s} \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} \end{Bmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

であり、(1)式から、

$$\left. \begin{aligned} \begin{cases} \frac{\partial u_x}{\partial s} \\ \frac{\partial u_x}{\partial t} \end{cases} &= \frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} -(1-t) & (1-t) & (1+t) & -(1+t) \\ -(1-s) & -(1+s) & (1+s) & (1-s) \end{bmatrix} \cdot \begin{cases} \delta_x^i \\ \delta_x^j \\ \delta_x^k \\ \delta_x^l \end{cases} \\ \begin{cases} \frac{\partial u_y}{\partial s} \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} \end{cases} &= \frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} -(1-t) & (1-t) & (1+t) & -(1+t) \\ -(1-s) & -(1+s) & (1+s) & (1-s) \end{bmatrix} \cdot \begin{cases} \delta_y^i \\ \delta_y^j \\ \delta_y^k \\ \delta_y^l \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

となる。(15), (16)式を組合わせるとひずみベクトルに寄与する各項は(17)式のように節点変位によってあらわされる。

$$\left. \begin{aligned} \begin{cases} \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \frac{\partial u_x}{\partial y} \end{cases} &= \frac{1}{16} \cdot \frac{[IJ]}{|[J]|} \cdot \begin{bmatrix} -(1-t) & (1-t) & (1+t) & -(1+t) \\ -(1-s) & -(1+s) & (1+s) & (1-s) \end{bmatrix} \cdot \begin{cases} \delta_x^i \\ \delta_x^j \\ \delta_x^k \\ \delta_x^l \end{cases} \\ \begin{cases} \frac{\partial u_y}{\partial s} \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} \end{cases} &= \frac{1}{16} \cdot \frac{[IJ]}{|[J]|} \cdot \begin{bmatrix} -(1-t) & (1-t) & (1+t) & -(1+t) \\ -(1-s) & -(1+s) & (1+s) & (1-s) \end{bmatrix} \cdot \begin{cases} \delta_y^i \\ \delta_y^j \\ \delta_y^k \\ \delta_y^l \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

ここで,

$$[IJ] \cdot \begin{bmatrix} -(1-t) & (1-t) & (1+t) & -(1+t) \\ -(1-s) & -(1+s) & (1+s) & (1-s) \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \end{bmatrix}$$

とおけば、ひずみベクトルは以下のようになる。

$$\begin{aligned} \{ \varepsilon(x, y) \} &= \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot \begin{bmatrix} T_{11}^0 & T_{12}^0 & T_{13}^0 & T_{14}^0 \\ 0 & T_{21} & 0 & T_{22} & 0 & T_{23} & 0 & T_{24} \\ T_{21}T_{11} & T_{22}T_{12} & T_{23}T_{13} & T_{24}T_{14} \end{bmatrix} \cdot \begin{cases} \delta_x^i \\ \delta_y^i \\ \delta_x^j \\ \delta_y^j \\ \delta_x^k \\ \delta_y^k \\ \delta_x^l \\ \delta_y^l \end{cases} \\ &\equiv \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot [B'] \cdot \{ \delta \}^e \equiv [B]_{3 \times 8} \cdot \{ \delta \}^e \end{aligned} \quad (18)$$



ここに、行列 [ B ] はひずみ行列と呼ばれるものである。2次元平面ひずみ問題では、応力とひずみは次式のフックの法則により関係づけられている。

$$\{ \sigma (x, y) \} = \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} (x, y) \\ \sigma_{yy} (x, y) \\ \tau_{xy} (x, y) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E (1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} & \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} & 0 \\ \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} & \frac{E (1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

したがって応力も次のように節点変位であらわされる。

$$\{ \sigma (x, y) \} = \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot [C] \cdot [B'] \cdot \{ \delta \}^e \quad (19)$$

(13)式に(18)式、(19)式を代入すれば

$$E = \frac{1}{2} \int_V (\{ \delta \}^e)^T \cdot [B']^T \cdot [C] \cdot [B'] \cdot \{ \delta \}^e \cdot \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot dV$$

となり、積分を (s, t) 座標系で行うと、

$$E = \frac{1}{2} (\{ \delta \}^e)^T \cdot \left[ \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{1}{256} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot [B']^T \cdot [C] \cdot [B'] \cdot ds \cdot dt \right] \cdot \{ \delta \}^e$$

となり、要素剛性行列 [ SK ] は次式であらわされる。

$$[SK] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B']^T \cdot [C] \cdot [B'] \cdot \frac{1}{256} \cdot \frac{1}{|[J]|} \cdot ds \cdot dt \quad (20)$$

### 2.1.5 ガウスの積分

質量行列、剛性行列を求めるためには (12) および (20) 式の積分を行わねばならない。これらを行うには、ガウスの積分法が用いられる。積分中には s, t が変数として含まれていて、

$$[SM] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [f (s, t)] \cdot ds \cdot dt$$

$$[SK] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [g (s, t)] \cdot ds \cdot dt$$

なる形をもっている。積分領域は図-3に示すものであり、積分を9個の点で求める。例え

ば[SM]の(1, 1)要素は次のようになる。

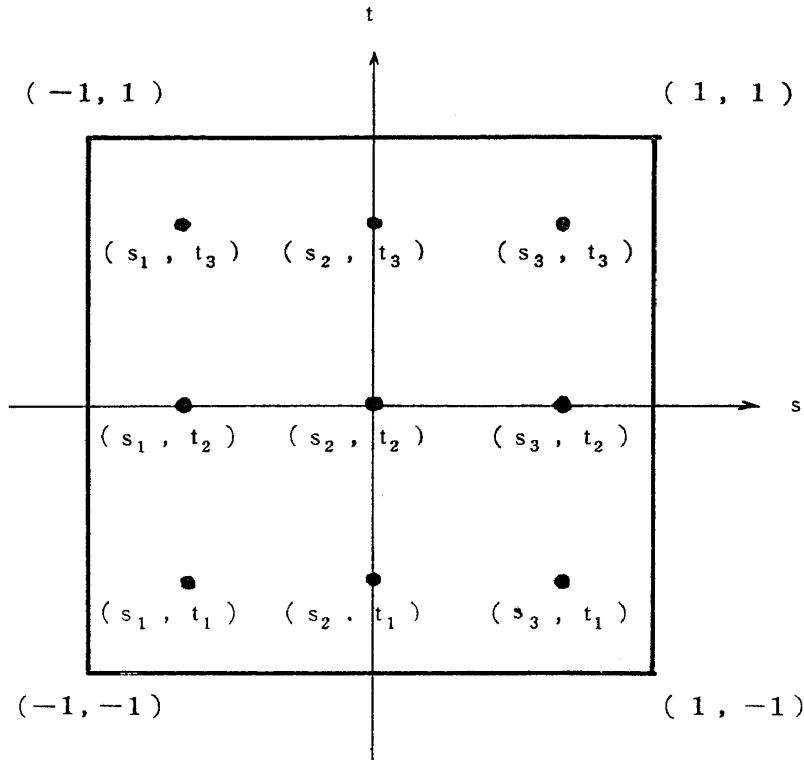


図-3 ガウスの積分

$$\begin{aligned}
 SM_{11} &= \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 f_{11}(s, t) \cdot ds \cdot dt \\
 &= H_1^2 \cdot f_{11}(s_1, t_1) + H_1 \cdot H_2 \cdot f_{11}(s_1, t_2) + H_1 \cdot H_3 \cdot f_{11}(s_1, t_3) \\
 &\quad + H_2 \cdot H_1 \cdot f_{11}(s_2, t_1) + H_2^2 \cdot f_{11}(s_2, t_2) + H_2 \cdot H_3 \cdot f_{11}(s_2, t_3) \\
 &\quad + H_3 \cdot H_1 \cdot f_{11}(s_3, t_1) + H_3 \cdot H_2 \cdot f_{11}(s_3, t_2) + H_3^2 \cdot f_{11}(s_3, t_3)
 \end{aligned}$$

ただし,  $H_1 = 0.555556$ ,  $H_2 = 0.888889$ ,  $H_3 = 0.555556$  である<sup>5)</sup>

### 2.1.6 運動方程式

2.1.3, 2.1.4 から求められる要素質量行列, 要素剛性行列を全体系へ重ね合わせれば, N個の節点を有する有限要素系の運動方程式は,

$$\underset{2N \times 2N}{[M]} \cdot \underset{2N \times 1}{\{\ddot{u}(t)\}} + \underset{2N \times 2}{[K]} \cdot \underset{2N \times 1}{\{u(t)\}} = \underset{2N \times 1}{\{P(t)\}} \quad (21)$$

とあらわされる。図-1に示す系を考えるとときは  $\{ P(t) \} = 0$  であり

$$\{ u(t) \} = \{ y_0(t) \} + \{ u^*(t) \} \quad (22)$$

と、変位ベクトルを基盤の変位  $\{ y_0(t) \}$  と、これに相対的な変位  $\{ u^*(t) \}$  に分けて次式が得られる。

$$[M] \cdot \{ \ddot{u}^*(t) \} + [K] \cdot \{ u^*(t) \} = -[M] \cdot \{ \Gamma \} \cdot \ddot{y}_0(t) \quad (23)$$

ここに、

$$\{ \Gamma \} = C_h \cdot \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} + C_v \cdot \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (24)$$

であって系への入力  $x$  方向の振動成分のみであるときは  $C_h = 1$ ,  $C_v = 0$  で、 $y$  方向の振動成分のみが与えられるときには  $C_h = 0$ ,  $C_v = 1$  となり、この2つのパラメーターによって入力地震波の方向性を指定することができる。

質量行列  $[M]$ 、剛性行列  $[K]$  は対称で、あるバンド幅をもつ特殊な行列である。

### 2.1.7 減衰の導入

剛性行列に複素剛性を用い減衰を導入することにする。減衰定数を  $\beta$  とするとき、複素せん断定数を (25) 式であらわすことにする。

$$G^* = G (1 - 2\beta^2 + 2i\beta \sqrt{1 - \beta^2}) \quad (25)$$

このような形で減衰を導入することはフォークト・モデルの場合と違って減衰が速度に比例しない非速度依存型の減衰を想定することになる。したがって減衰は振動数には依存せず高振動数に対する応答をも求められることになる。(25) 式は  $\beta$  が小さいとき

$$G^* = G (1 + 2i\beta)$$

に帰着する。

## 2.2 複素応答解析法

### 2.2.1 定常応答

運動方程式は (21), (25) 式から

$$[K^*] \cdot \{u(t)\} + [M] \cdot \{\ddot{u}(t)\} = \{P(t)\} \quad (26)$$

ただし,  $[K^*] = [K_1] + i[K_2]$  であって複素剛性行列である. いまこの系に振動数  $\omega_k$  の複素外力

$$\{P(t)\} = \{P\} \cdot e^{i \cdot \omega_k \cdot t} = \{P\} \cdot (\cos \omega_k t + i \cdot \sin \omega_k t) \quad (27)$$

が作用したとすると, 応答変位, 応答加速度も次のようにおくことができる.

$$\left. \begin{aligned} \{u(t)\} &= \{A\} \cdot e^{i \cdot \omega_k \cdot t} \\ \{\ddot{u}(t)\} &= -\omega_k^2 \cdot \{A\} \cdot e^{i \cdot \omega_k \cdot t} \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

ここに  $\{u(t)\}$  の実数部  $\text{Re}[\{u(t)\}]$  は外力が  $\text{Re}[\{P(t)\}]$  であるときの応答変位となる. (27), (28) 式を (26) 式へ代入すれば,

$$[K^*] \cdot \{A\} \cdot e^{i \cdot \omega_k \cdot t} - \omega_k^2 \cdot [M] \cdot \{A\} \cdot e^{i \cdot \omega_k \cdot t} = \{P\} \cdot e^{i \cdot \omega_k \cdot t}$$

となり,  $\{A\}$  は時間に依存しない次式を解くことにより求められる.

$$([K^*] - \omega_k^2 \cdot [M]) \cdot \{A\} = \{P\} \quad (29)$$

したがって (26) 式の解は,

$$\{u(t)\} = ([K^*] - \omega_k^2 \cdot [M])^{-1} \cdot \{P\} \cdot e^{i \cdot \omega_k \cdot t} \quad (30)$$

となる.

### 2.2.2 地震波に対する応答

$N'$  個の点でサンプリングされた地震波の記録  $\dot{y}_0(t)$  の後に適切な数のゼロをつけ加えて総計  $N$  個で周期的に無限回くり返される一連の地震波を考える.<sup>6)7)</sup> するとこれはある周期を持って起る現象であるので有限個の調和振動の重ね合わせとして以下のようにあらわすことができる.

$$\ddot{y}_0(t) = \text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} B(\omega_s) \cdot e^{i \cdot \omega_s \cdot t} \right] \quad (31)$$

ただし,  $\omega_s = 2\pi s / n \cdot \Delta t$ ,  $\Delta t$  = サンプリング・タイムである.  $B(\omega_s)$  は一般に複素数である.

(31) 式を (23) 式へ代入すれば

$$[M] \cdot \{\dot{u}^*(t)\} + [K^*] \cdot \{u^*(t)\} = -[M] \cdot \{\Gamma\} \cdot \text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} B(\omega_s) \cdot e^{i \cdot \omega_s \cdot t} \right] \quad (32)$$

となる。ここで (28) 式と同様、変位および加速度を以下のように仮定することができるので、

$$\left. \begin{aligned} \{ \dot{u}^*(t) \} &= \text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} \{ A(\omega_s) \} \cdot e^{i \cdot \omega_s \cdot t} \right] \\ \{ \ddot{u}^*(t) \} &= \text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} \omega_s \cdot \{ A(\omega_s) \} \cdot e^{i \cdot \omega_s \cdot t} \right] \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

(33) 式を (32) 式へ代入すれば、

$$\begin{aligned} [K^*] \cdot \text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} \{ A(\omega_s) \} \cdot e^{i \cdot \omega_s \cdot t} \right] &- [M] \cdot \text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} \omega_s \cdot \{ A(\omega_s) \} \cdot e^{i \cdot \omega_s \cdot t} \right] \\ &= -[M] \cdot \{ \Gamma \} \cdot \text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} B(\omega_s) \cdot e^{i \cdot \omega_s \cdot t} \right] \\ \text{となり、} \quad \text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} \left( [K^*] - \omega_s^2 \cdot [M] \right) \cdot \{ A(\omega_s) \} \right] &= -\text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} [M] \cdot \{ \Gamma \} \cdot B(\omega_s) \right] \\ \text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} \{ A(\omega_s) \} \right] &= -\text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} \left( [K^*] - \omega_s^2 \cdot [M] \right)^{-1} \cdot [M] \cdot \{ \Gamma \} \cdot B(\omega_s) \right] \end{aligned} \quad (34)$$

したがって地震波に対する応答は

$$\{ u^*(t) \} = -\text{Re} \left[ \sum_{s=0}^{N/2} \left( [K^*] - \omega_s^2 \cdot [M] \right)^{-1} \cdot [M] \cdot \{ \Gamma \} \cdot B(\omega_s) \cdot e^{i \cdot \omega_s \cdot t} \right] \quad (35)$$

と求まる。ここでも主な計算は (34) 式の連立1次方程式を解くことである。以上の計算で時間領域から振動数領域へ、またその逆過程には Cooley および Tukey によって示された高速フーリエ変換 (FFT) のアルゴリズム<sup>8)</sup>を用いることができる。

### 3. プログラムについて

このプログラムは以下3つのモードをもっている。

MODE-1 全てのデータはカードから読み込まれる。指定された回数 (NUMBER) だけひずみに適合するせん断定数および減衰定数を求めるための反復計算を行うことができる。有限要素系が大きくなると1回の反復計算にさえ時間がかかるので、不要な反復計算を除くために、1回ごとの反復計算の後に、のちの反復計算に必要なデータを TAPE1 (フィジカルテープ) に書き込んで1時 STOP し、収束の程度を見ながら計算を続行することが望まれる。

MODE-2 MODE1 で反復計算に必要なデータが TAPE1 に保存されているときには、このモードを用いることにより、TAPE1 に書込まれたデータを読み出し、引続き反復計算を行うことができる。また TAPE1 に書込まれた計算結果を再生するだけの機能もある。

MODE-3 このモードでは水平方向に地震波が入った場合と上下方向に入った場合とで系の境界条件を変えねばならないとき MODE1, 2 で水平 (あるいは上下) 方向入力に対する解を、そして MODE3 で上下 (あるいは水平) 方向入力に対する解を求めること

ができる。すなわち同じ有限要素系で境界条件だけ異なった場合の解を求めることができる。このようにして求められた2つの解は応答関数の段階で重ね合わせることができる。例えば図-4で(1)の系に水平および上下方向に地震波を入れる時、全体の系について解くのは不経済であるので、(2)、(3)のように水平あるいは上下方向の入力を境界条件を変えた同じ系に別々に作用させればよい。この時モードの対称性を保つためにそれぞれの場合に異なった境界条件を適用する必要があるのはもちろんである。

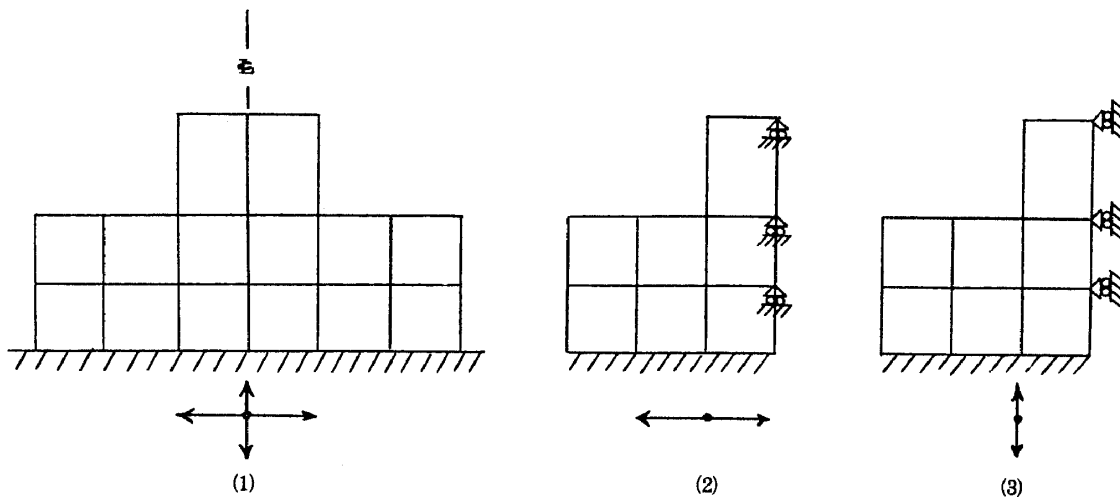


図-4 境界条件の取入れ方

プログラムの簡単なフロー・チャートを図-5に示した。

データ・カードの準備の仕方については、ソース・プログラムのコメント部を付録に示したので参照していただきたいが、いくつかについては以下で説明を加える。

- 1) NB1 基盤 (Rigid Base) にある節点でその番号が最小のもの。節点番号は基盤上にないものから順につけてゆき、基盤上にある節点は最後につける。したがってNB1より大きい節点番号をもつ節点はすべて基盤上にあるものとして扱われる。
- 2) NGCURV, NBCURV せん断定数あるいは減衰定数のせん断ひずみ振幅に対する曲線の数である。せん断ひずみに依存しない材料はこの中に数える必要はない。
- 3) NUMBER ひずみレベルに適合するせん断定数、減衰定数を求めるための反復回数であって、これらの値を適切に最初仮定すれば、3回程度の反復で十分収束するようである。
- 4) KGMAX, N2, N3 N個の点の地震波加速度記録があったとき、Nは必ずしも2の巾乗でない。2.2.1で述べた地震波の後につけるゼロは1~3秒間程度とることがその間に系の応答を減衰させてしまうためにも必要不可欠なので、フーリエ展開に用いる点数KGMAX (2の累乗でなければならない) はNより大きくとる必要がある。

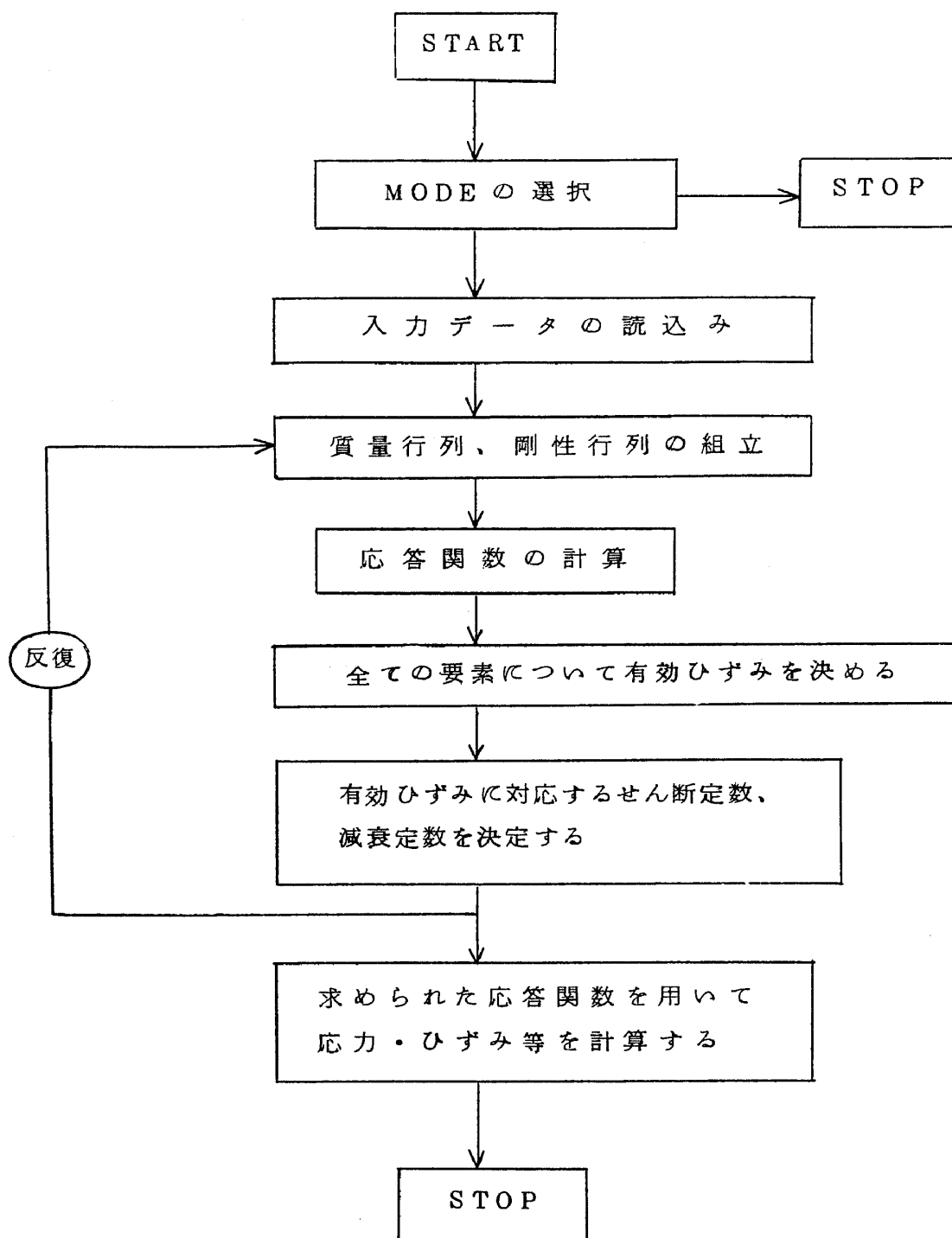


図-5 フロー・チャート

また地震波記録のすべてに対する応答を求めるのではなく、そのある部分に対する応答を求めたいときには、 $N_2$ 、 $N_3$ を用いてその部分を応答計算に用いることができる(図-6)。

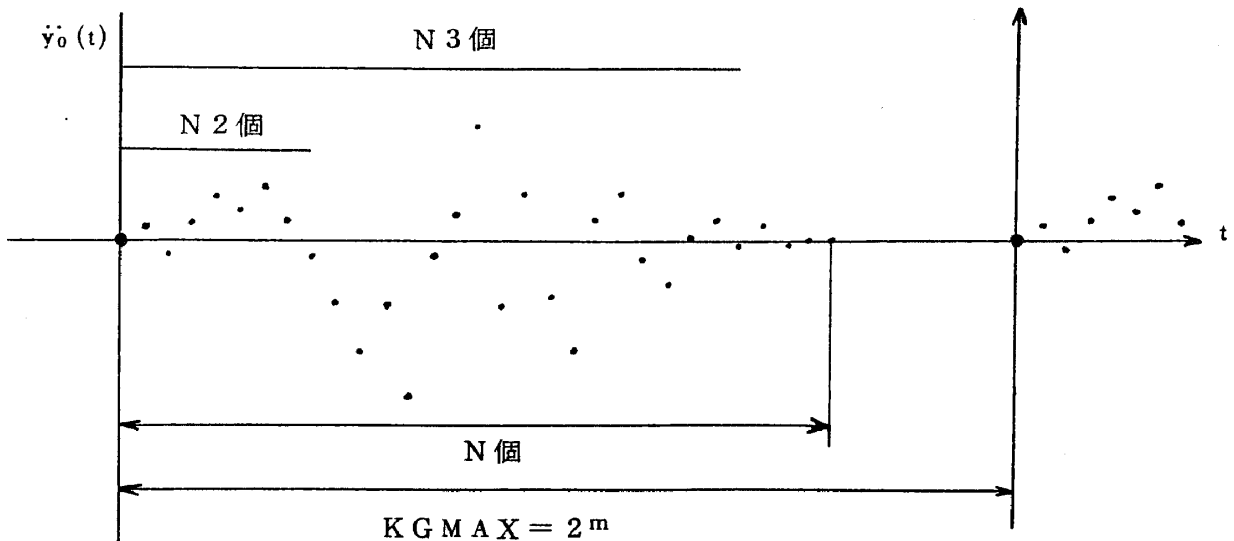


図-6  $KGMAX$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ について

5) HOR, VERT (24)式の $C_h$ 、 $C_v$ に相当するもので入力地震波の方向性を指定する定数である。

6) TOTFR, KINT TOTFRは計算の中で考慮される最大の振動数(Hz)であり、KINTは以下のとおりである。(34)式における振動数のステップ数は、 $\Delta t \cdot KGMAX \cdot TOTFR$ である。ただし、 $\Delta t$ は地震波のサンプリング・タイムである。たとえば、 $\Delta t = 0.01$ 秒、 $KGMAX = 1024$ 、 $TOTFR = 20$ Hzのときには205回、(34)式は解かれなければならない。(34)式で地震波のフーリエ係数 $B(\omega_s) = 1$ として、まず $\{A(\omega_s)\}$ を全ての振動数について求め後に $B(\omega_s)$ を乗ずれば $\{A(\omega_s)\}$ は入力地震波には無関係ななめらかな応答関数となる。応答関数はたとえば図-7のようであるのですべての振動数について計算して求めずKINTごとに求め、抜けた部分については補間する方法がこのプログラムでは用いられている。上の例ではKINT=4のときは(34)式を52回解くだけで済む。したがってKINTはなるだけ大きい方が効率が良い事になるが、補間の際応答関数のピークをとらえられない結果にもなるので、最適なKINTを見つけるためにコラム・スタディをやっておくことが必要となる。

KINTは2の累乗でなければならない。



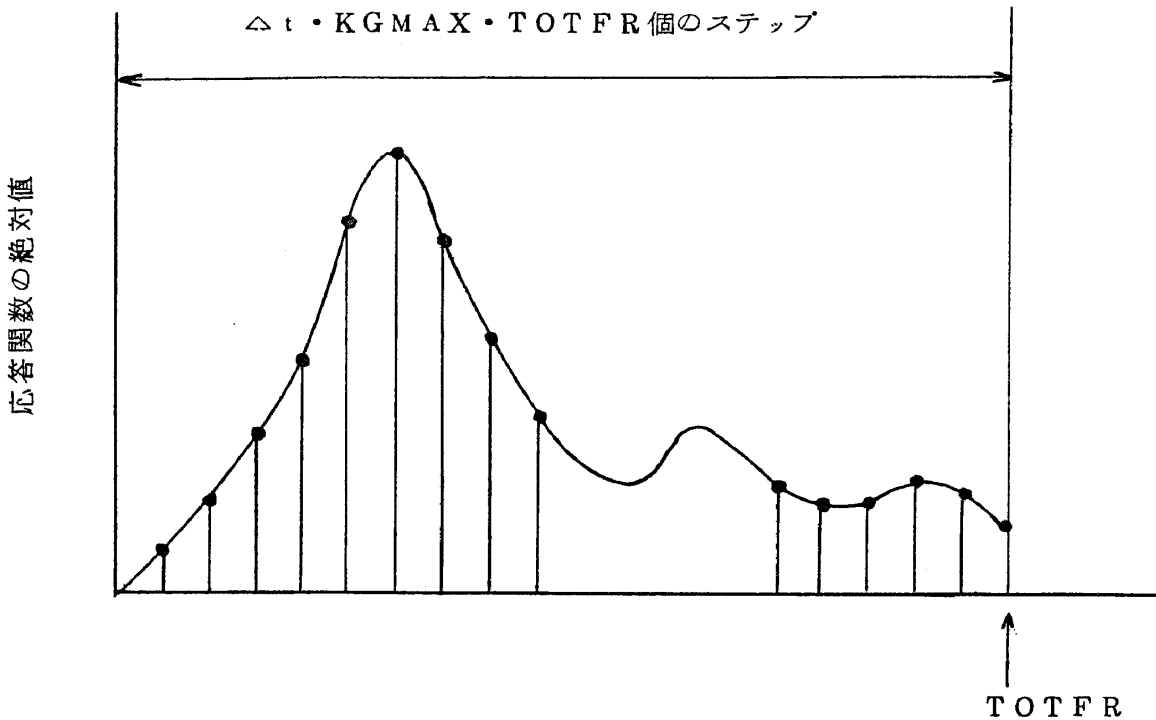


図-7 応答関数

7) **RATIA, FCT** このプログラムでは質量行列は等価質量行列と集中質量行列の和として作られる。RATIAはこの2つの配合比を定めるもので、質量行列として、

$$RATIA \cdot (\text{等価質量行列}) + (1 - RATIA) \cdot (\text{集中質量行列})$$

が作られる。RATIAの値は0.5～0.75が適当である。

FCTは1連の応答計算から求められた各要素のせん断ひずみの時間変化からその有効せん断ひずみを決定する定数である。すなわち、(最大せん断ひずみ)・FCTが有効せん断ひずみとしてとられる。プログラムは主として地震波に対する応答を求めるので、各時間間隔後に生じたせん断ひずみから新しいせん断定数、減衰定数を決める方法(STEP BY STEP)の方がより厳密であるが、上記の方法を用いても大きな相違は生じないといわれている。<sup>9)</sup>

FCTは0.5～0.8の間に取られる。

8) **SDAMP** このプログラムでは各有限要素に異った減衰特性をもたせることが出来るが、モード解析のようにすべての要素に非ひずみ依存型の減衰定数を用いることもできる。このような場合このSDAMPでその減衰定数を定める。

9) **STEP** 応答計算で考慮したい最大振動数が例えば20Hzであったとき、すべての反復計算で20Hzまでの振動数を用いる必要はない。6)のTOTFR, KINTで

見られるように応答関数を計算する振動数のステップ数は最大振動数に比例して増大するので、各回の反復計算で最大振動数の低いことが得策である。

そこで1回目の反復計算では7 Hzを最大振動数とし、2回目に15 Hz、3回目で20 Hzとするような計算方法が全体の計算時間の節約になる。このように各反復計算で用いられる最大振動数がSTEPである。

10) G, XL 1回目の反復計算に用いるせん断定数、減衰定数であり、適切に仮定することが必要である。推定の1手段として、コラム・スタディを行うのが良い。

#### 4. Example Computation

例として図-8に示す水平半無限地盤の地震応答を扱ってみることにする。基盤に水平方向に振動する地震波が作用したとすれば、地盤内にはせん断振動のみが生ずる。そこで図-8に示す各節点の上下方向の変位のみを拘束した有限要素系を設定する。かりにこの地盤が間げき比0.6程度の均一な砂から成っているものとするれば各要素の中心深さでの最大せん断定数 $G_{max}$ は以下のように求められる。Seed-Idrissによれば最大せん断定数は、

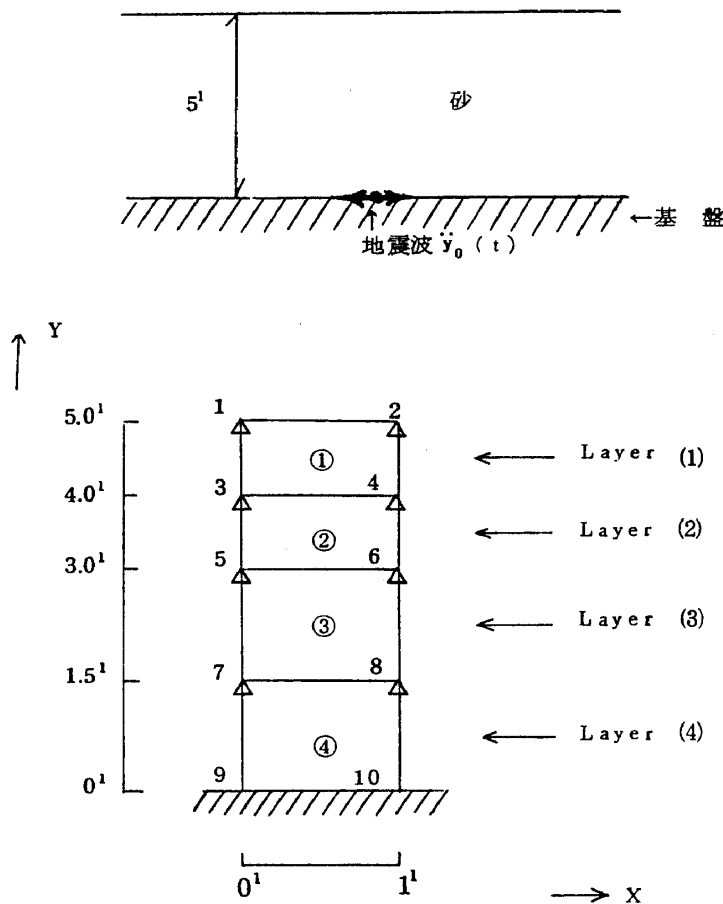


図-8 例題に用いる水平無限地盤とその有限要素系

$$G_{\max} = 1000 \cdot K_2 \cdot (\sigma'_m)^{1/2} \quad (\text{PSF}) \quad (36)$$

であって、間げき比が0.6の時  $K_2 \approx 5.2$  である。ここで  $\sigma'_m$  は有効平均主応力で有効主応力  $\sigma'_1$  ,  $\sigma'_3$  によって  $(\sigma'_1 + 2 \cdot \sigma'_3) / 3$  と表わされる。また、 $\sigma'_3 = K_0 \cdot \sigma'_1$  であり、静止土圧係数  $K_0$  を  $1 - \sin \phi'$  ( $\phi'$  = 有効内部まさつ角) で近似すると、 $\phi' = 40^\circ$  のとき  $K_0 \approx 0.4$  であり、砂の単位体積重量を  $1.8 \text{ g/cm}^3$  (112.5 PCF) とすれば各層に対する有効平均主応力及び最大せん断定数は表2のごとく求まる。

表-2 各層に対する  $\sigma'_m$ ,  $G_{\max}$

	$\sigma'_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$G_{\max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Layer (1)	0.0165	147.4
" (2)	0.0494	255.3
" (3)	0.0906	345.7
" (4)	0.1400	429.8

各層に対して用いる  $G / (\text{せん断ひずみ} = 10^{-6} \text{ での } G)$  のひずみ振幅に対する曲線は (37) 式<sup>10)</sup> より計算する

$$\left. \begin{aligned} G / G_{\max} &= 1 / (1 + r / r_r) \\ r_r &= \tau_{\max} / G_{\max} \quad (\text{Reference Strain}) \\ \tau_{\max} &= \left[ \left( \frac{1+K_0}{2} \cdot \sigma'_v \cdot \sin \phi' + c' \cdot \cos \phi' \right) - \left( \frac{1-K_0}{2} \cdot \sigma'_v \right)^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} (37)$$

ここに、 $\sigma'_v$  は有効上載応力である。

各層に対する  $\tau_{\max}$  ,  $r_r$  は表-3のごとく計算出来る。これより、各層に対する  $G / G_{\max}$  の曲線は表-4のように求まり、これを図示したのが図-9である。減衰定数については表-1の砂に対するものを用いる。反復回数はMODE 1を用いて3回とし、第1回目の計算での最大振動数を15 Hz、2、3回目のそれを20 Hzとした。第1回目の計算に用いた推定のせん断定数、減衰定数はLayer (1)に対して170 KSF、0.04、Layer (2)に対して300 KSF、0.05、Layer (3)に対して420 KSF、0.06、Layer (4)に対して540 KSF、0.06とした。用いた地震波はサンプリング時間が0.04秒で64個

のものである。これに64個のゼロ点を追加してフーリエ展開には128個の点を用いた。また入力水平方向にのみ0.15gを最大加速度となるようにした。計算機からの出力としては節点1に於る共振曲線と、応答加速度スペクトルを要求した。プリント・アウトを以下に用意したので参照されたい。

表-3 各層に対する  $\tau_{\max}$  ,  $r_r$

	$\tau_{\max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$r_r$
Layer (1)	0.0092	0.000062562
" (2)	0.0276	0.000108147
" (3)	0.0507	0.000146478
" (4)	0.0784	0.000182062

表-4  $G/G_{\max} \sim r$

$r$	Layer (1)	Layer (2)	Layer (3)	Layer (4)
$10^{-6}$	.984	.991	.993	.995
$10^{-5}$	.862	.915	.936	.948
$10^{-4}$	.385	.520	.594	.645
$10^{-3}$	.059	.098	.128	.154
$10^{-2}$	.006	.011	.014	.018

### 5. おわりに

筆者がカリフォルニア大学に在学中、このプログラムの開発を実施することが出来た。その際 Lysmer 教授から親切なる御指導をいただいた。

またこのプログラムを用いて日本で演算を実行させるために建設省土木研究所動土質研究の方々にご協力をいただいたことをここに感謝いたします。

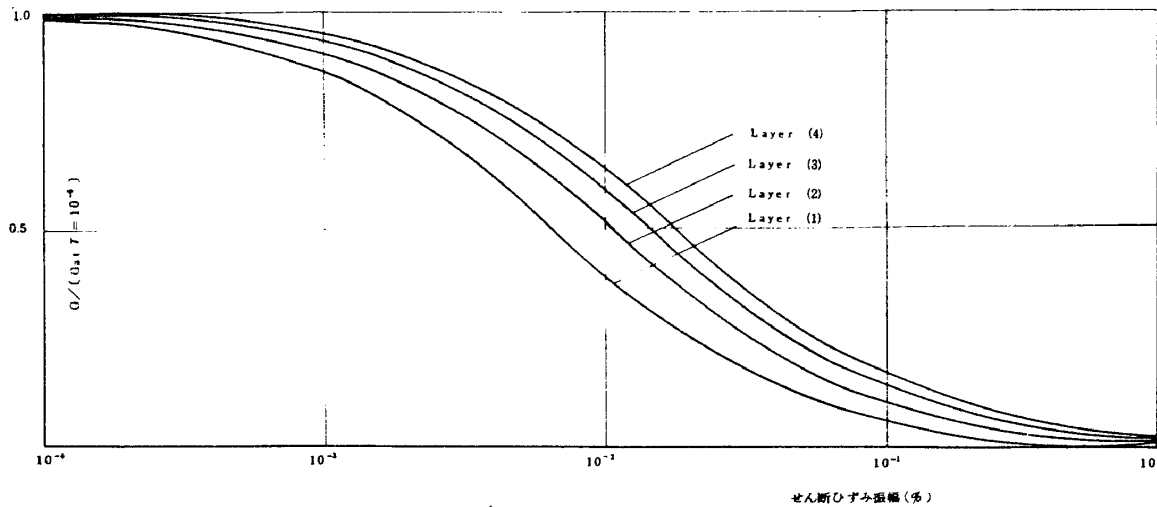


図-9  $G/G_{max} \sim$  せん断ひずみ

- 1) 沢田健吉ほか (1972) : 堤防の大型模型振動実験. 土と基礎, Vol. 20, No. 7.
- 2) 稲葉誠一ほか (1973) : 大型振動台による模型堤防の振動実験. 土木技術資料, Vol. 15, No. 8.
- 3) 沢田健吉, 香川崇章 (1973) : 砂層の振動特性. 第8回土質工学研究発表会, 1973年6月
- 4) Lysmer, J., et al. (1974): LUSH - A Computer Program for Complex Response Analysis of Soil-structure System. EERC 74-4.
- 5) Zienkiewicz, O. C. (1971): *The Finite Element Method in Engineering Science*. McGraw-Hill, New York.
- 6) Schnabel, P. B., et al. (1972): SHAKE - A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites. Report No. 72-12, EERC, University of California, Berkeley, Calif.
- 7) Schnabel, P. B., et al. (1971): Modification of Seismograph Records for Effects of Local Soil Conditions. Report No. EERC 71-8, EERC, University of California, Berkeley, Calif.
- 8) Cooley, J. W. and J. W. Tukey (1965): An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Mathematics of Computation*, Vol. 19, No. 90.
- 9) Seed, H. B. and I. M. Idriss (1969): Influence of Soil Conditions on Ground Motions during Earthquakes. *Journal of Soil Mech. and Found. Div., ASCE*, Vol. 95, No. SM1.
- 10) Hardin, B. O. and V. P. Drnevich (1972): Shear Modulus and Damping in Soils; Design Equations and Curves. *Journal of Soil Mech. and Found. Div., ASCE*, Vol. 98, No. SM7.

\*\*\*\*\*  
\* MODEL \*  
\*\*\*\*\*

\*\*\* INFORMATION ON COMMON BLOCK SIZE FOR VEDDA \*\*\*

LENGTH OF BLANK COMMON =	15000
LENGTH OF BLANK COMMON REQUIRED =	711
LENGTH OF BLANK COMMON AVAILABLE FOR K MATRIX =	7144

\*\*\* INFORMATION ON COMMON BLOCK SIZE FOR STRAIN \*\*\*

LENGTH OF BLANK COMMON REQUIRED =	1129
LENGTH OF BLANK COMMON AVAILABLE FOR BBBC =	6935

\*\*\* INFORMATION ON COMMON BLOCK SIZE FOR MOTION \*\*\*

LENGTH OF BLANK COMMON REQUIRED =	1821
LENGTH OF BLANK COMMON AVAILABLE FOR AAAC =	6589

BAND WIDTH = 8

\*\*\* 2 BLOCKS ARE USED FOR SOLUTION \*\*\*

\*\*\* 13736 WORDS ARE REMAINING FOR SMSOL4 \*\*\*

EXAMPLE COMPUTATION

RUN NUMBER = 1

\*\*\* INPUT DATA \*\*\*

TOTAL NUMBER OF ELEMENTS = 4  
 TOTAL NUMBER OF NODAL POINTS = 10  
 1ST NODAL POINT ON RIGID BASE = 9  
 DEGREES OF FREEDOM = 16  
 NUMBER OF BOUNDARY CONDITIONS = 8  
 NUMBER OF ITERATIONS = 3  
 NUMBER OF RIGID ELEMENTS = 0  
 NUMBER OF BAR ELEMENTS = 0  
 NUMBER OF SHEAR MODULUS TYPES = 4  
 NUMBER OF DAMPING TYPES = 1

\*\*\* INPUT MOTION \*\*\*

TOTAL NO. OF POINTS USED IN FFT = 128  
 FIRST POINT TO BE READ = 1  
 LAST POINT TO BE READ = 64  
 TIME STEP OF RECORD = 0.040 SEC.  
 DURATION OF RECORD = 2.560 SEC.  
 QUIET ZONE OF RECORD = 2.560 SEC.  
 TOTAL DURATION OF ANALYSIS = 5.120 SEC.  
 EQ. MULTIPLICATION FACTOR = 3.0000  
 MAX. ACCEL. AFTER SCALING = 0.1500 (G)  
 MOTION IN X-DIRECTION = 1.0000 TIMES INPUT MOTION  
 MOTION IN Y-DIRECTION = 0. TIMES INPUT MOTION

\*\*\* FREQUENCY CONTENT OF ANALYSIS \*\*\*

INTERPOLATION CONTROL = 4  
 HIGHEST FREQUENCY OF ANALYSIS = 20.000 HZ  
 FREQUENCY USED FOR ITERATION 1 = 15.000 HZ  
 FREQUENCY USED FOR ITERATION 2 = 20.000 HZ  
 FREQUENCY USED FOR ITERATION 3 = 20.000 HZ

\*\*\* OUTPUT CONTROL \*\*\*

SAVING AMP. FUNCTION ON TAPE = YES  
 COMPUTING NEW SOIL PROPERTIES = YES  
 PUNCHING NEW SOIL PROPERTIES = NO  
 STEPS TO FIND MAX. RESPONSE = 128  
 SKIP POINTS FOR PLOTTING = 2  
 FACTOR FOR EFF. SHEAR STRAIN = 0.6500  
 SKIP POINTS AMP. FUNCT. = 2  
 SKIP POINTS FOURIER SPECTRUM = 5

\*\*\* MASS MATRIX \*\*\*

FRACTION OF CONSISTENT MASS = 0.7500  
 FRACTION OF LUMPED MASS = 0.2500

防災科学技術研究資料 第17号 1975年10月

\*\*\* RESPONSE SPECTRUM \*\*\*  
 NUMBER OF DAMPING VALUES = 1  
 FRACTION OF CRITICAL DAMPING = 0.0500  
 FIRST FREQUENCY OF SPECTRUM = 0.4000 HZ  
 LAST FREQUENCY OF SPECTRUM = 40.0000 HZ  
 NO. OF FREQUENCY STEPS = 41

\*\*\* DAMPING CHARACTERISTICS \*\*\*  
 UNIFORM DAMPING USED = NO

\*\*\* OUTPUT REQUIREMENTS \*\*\*  
 CODE FOR KEYSPC  
 0--MAXIMUM ACCELERATION ONLY  
 1--PUNCH DISPLACEMENT TIME HISTORY  
 10--PLOT DISPLACEMENT TIME HISTORY  
 100--PLOT ACC. TIME HISTORY  
 1000--PLOT ACC. AND VELOCITY SPECTRUM  
 10000--PUNCH ACC. TIME HISTORY  
 100000--PRINT AMPLIFICATION FUNCTION  
 1000000--PLOT FOURIER SPECTRUM OF ACC. RESPONSE

VALUES OF KEYSPC

N.P. NO.	X-OUTPUT	Y-OUTPUT
1	101400	0
3	0	0
5	0	0
7	0	0

\*\*\*\*\* G-CURVES \*\*\*\*\* (MULTIPLIERS ON LOW-STRAIN SHEAR MODULUS)

LOG(STRAIN) TYPE	-4.0	-3.5	-3.0	-2.5	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.00	0.50	1.00
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1	0.984	0.950	0.882	0.650	0.385	0.160	0.059	0.020	0.006	0.006	0.006
2	0.991	0.970	0.915	0.760	0.520	0.242	0.098	0.030	0.011	0.011	0.011
3	0.993	0.978	0.946	0.810	0.594	0.300	0.128	0.040	0.014	0.014	0.014
4	0.995	0.982	0.968	0.840	0.645	0.350	0.154	0.050	0.018	0.018	0.018

\*\*\*\*\* D-CURVES \*\*\*\*\* (MULTIPLIERS ON LOW-STRAIN FRACTIONS OF CRITICAL DAMPING)

LOG(STRAIN) TYPE	-4.0	-3.5	-3.0	-2.5	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.00	0.50	1.00
0	1.010	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1	1.000	1.050	3.650	6.500	11.400	20.350	31.500	42.650	50.000	50.000	50.000

\*\*\* ELEMENT DATA \*\*\*

ELM	NPI	NPJ	NPK	NPL	G-TYPE	B-TYPE	DENSITY (PCF)	POISSON R	G-MAX (KSF)	B-MIN	G-USE (KSF)	DAMP-USE (FRACTION)	VS-USE (FPS)
1	1	1	4	2	1	1	112.500	0.300	362.100	0.005	170.000	0.040	220.59
2	3	5	6	4	2	1	112.500	0.300	523.200	0.005	300.000	0.050	275.03
3	5	7	8	6	3	1	112.500	0.300	708.400	0.005	420.000	0.060	346.72
4	7	9	10	8	4	1	112.500	0.300	880.700	0.005	540.000	0.060	393.14



震動応答解析法 有限要素法のプログラムについて — 香川

\*\*\* NODAL POINT DATA \*\*\*

N.P.	XORD(FT)	YORD(FT)	MASS(KIPS/FT)	
1	0.	5.000	0.	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
2	1.000	5.000	0.	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
3	0.	4.000	0.	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
4	1.000	4.000	0.	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
5	0.	3.000	0.	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
6	1.000	3.000	0.	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
7	0.	1.500	0.	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
8	1.000	1.500	0.	CANNOT MOVE IN Y DIRECTION
9	0.	0.	0.	RIGID BASE
10	1.000	0.	0.	RIGID BASE

\*\*\* EARTHQUAKE RECORD \*\*\*

\*\*\* EXAMPLE EARTHQUAKE \*\*\* 0.04 SEC 64 POINTS

INPUT ACCEL. PRIOR TO SCALING

0.000204-0.000191	0.000058	0.001460	0.004111	0.004390	0.009534-0.003481	1	
0.013073	0.009455	0.000374	0.018791-0.022305	-0.018976	-0.011557-0.048139	2	
0.013707-0.029759	0.011100	-0.025220	0.015560-0.013417	0.023272-0.013397		3	
0.050000	0.000068	0.012727	0.006808	0.010066	0.010332	0.006599-0.001122	4
0.008954-0.020649	0.015687	-0.005003	-0.017561	0.003863	-0.010918-0.008641	5	
0.008450-0.010743	0.001941	-0.000952	0.000968	-0.001998	0.010888	0.008075	6
0.009841	0.003344	-0.005115	0.001176	-0.003725	-0.006514	0.001117-0.000450	7
0.000281-0.000221	0.000197	-0.000188	0.000185	-0.000188	0.000193-0.000200	8	
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	9
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	10
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	11
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	12
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	13
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	14
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	15
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	16

TIME REQUIRED FOR INPUT AND INITIALIZATION = 0.001 HOUR

防災科学技術研究資料 第17号 1975年10月

ITERATION 1

TIME REQUIRED FOR FORMATION OF STIFFNESS MATRIX = 0.002 HOUR

STIFFNESS OF RIGID ELEMENT = 0.

\*\*\* TIME FOR GAUSSIAN ELIMINATION \*\*\*

NO. OF STEPS IN FREQUENCY DOMAIN		80 (INCLUDES INTERPOLATED POINTS)	
FRQ NUMBER =	1	FRQ = 0.	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0001 HOUR.
FRQ NUMBER =	2	FRQ = 0.7812	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0002 HOUR.
FRQ NUMBER =	3	FRQ = 1.5625	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0003 HOUR.
FRQ NUMBER =	4	FRQ = 2.3437	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0005 HOUR.
FRQ NUMBER =	5	FRQ = 3.1250	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0006 HOUR.
FRQ NUMBER =	6	FRQ = 3.9062	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0007 HOUR.
FRQ NUMBER =	7	FRQ = 4.6875	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0008 HOUR.
FRQ NUMBER =	8	FRQ = 5.4687	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0009 HOUR.
FRQ NUMBER =	9	FRQ = 6.2500	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0010 HOUR.
FRQ NUMBER =	10	FRQ = 7.0312	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0011 HOUR.
FRQ NUMBER =	11	FRQ = 7.8125	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0012 HOUR.
FRQ NUMBER =	12	FRQ = 8.5937	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0013 HOUR.
FRQ NUMBER =	13	FRQ = 9.3750	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0014 HOUR.
FRQ NUMBER =	14	FRQ = 10.1562	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0015 HOUR.
FRQ NUMBER =	15	FRQ = 10.9375	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0016 HOUR.
FRQ NUMBER =	16	FRQ = 11.7187	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0017 HOUR.
FRQ NUMBER =	17	FRQ = 12.5000	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0019 HOUR.
FRQ NUMBER =	18	FRQ = 13.2812	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0020 HOUR.
FRQ NUMBER =	19	FRQ = 14.0625	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0021 HOUR.
FRQ NUMBER =	20	FRQ = 14.8437	HZ CUMULATIVE TIME = 0.0022 HOUR.

EL#	G-USED (KSF)	G-NEW (KSF)	DIF-G (PERCENT)	DAMP-USED (FRACTION)	DAMP-NEW (FRACTION)	DIF-DAMP (PERCENT)	VS-USED (FPS)	VS-NEW (FPS)	DIFF-VS (PERCENT)
1	170.	168.	1.2	0.040	0.041	-2.9	271.	219.	0.6
2	300.	296.	1.2	0.050	0.052	-4.3	293.	291.	0.6
3	420.	417.	0.7	0.060	0.058	3.8	347.	366.	0.5
4	540.	534.	1.0	0.060	0.063	-4.4	393.	391.	0.5

NAX. ELEMENT STRESSES IN PSF AND MAXIMUM SHEAR STRAIN IN PERCENT

EL#	SIG-X	SIG-Y	SIG-XY	MAX.SHEAR STRN	AT TIME
1	0.0	0.0	12.5	0.007	0.680
2	0.0	0.0	37.0	0.012	0.680
3	0.0	0.0	65.9	0.016	0.680
4	0.0	0.0	96.4	0.018	0.680

TIME REQUIRED FOR COMPUTING STRESS AND STRAIN = 0.003 HOUR

ITERATION 7  
 TIME REQUIRED FOR FORMATION OF STIFFNESS MATRIX = 0.001 HOUR  
 STIFFNESS OF RIGID ELEMENT = 0.

\*\*\* TIME FOR GAUSSIAN ELIMINATION \*\*\*

NO. OF STEPS IN FREQUENCY DOMAIN		104 (INCLUDES INTERPOLATED POINTS)	
FRQ NUMBER =	1	FRQ = 0.	CUMULATIVE TIME = 0.0001 HOUR.
FRQ NUMBER =	2	FRQ = 0.7812 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0002 HOUR.
FRQ NUMBER =	3	FRQ = 1.5625 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0004 HOUR.
FRQ NUMBER =	4	FRQ = 2.3437 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0005 HOUR.
FRQ NUMBER =	5	FRQ = 3.1250 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0006 HOUR.
FRQ NUMBER =	6	FRQ = 3.9062 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0007 HOUR.
FRQ NUMBER =	7	FRQ = 4.6875 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0008 HOUR.
FRQ NUMBER =	8	FRQ = 5.4687 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0009 HOUR.
FRQ NUMBER =	9	FRQ = 6.2500 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0010 HOUR.
FRQ NUMBER =	10	FRQ = 7.0312 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0011 HOUR.
FRQ NUMBER =	11	FRQ = 7.8125 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0012 HOUR.
FRQ NUMBER =	12	FRQ = 8.5937 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0013 HOUR.
FRQ NUMBER =	13	FRQ = 9.3750 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0014 HOUR.
FRQ NUMBER =	14	FRQ = 10.1562 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0015 HOUR.
FRQ NUMBER =	15	FRQ = 10.9375 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0016 HOUR.
FRQ NUMBER =	16	FRQ = 11.7187 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0017 HOUR.
FRQ NUMBER =	17	FRQ = 12.5000 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0018 HOUR.
FRQ NUMBER =	18	FRQ = 13.2812 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0020 HOUR.
FRQ NUMBER =	19	FRQ = 14.0625 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0021 HOUR.
FRQ NUMBER =	20	FRQ = 14.8437 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0022 HOUR.
FRQ NUMBER =	21	FRQ = 15.6250 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0023 HOUR.
FRQ NUMBER =	22	FRQ = 16.4062 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0024 HOUR.
FRQ NUMBER =	23	FRQ = 17.1875 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0025 HOUR.
FRQ NUMBER =	24	FRQ = 17.9687 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0026 HOUR.
FRQ NUMBER =	25	FRQ = 18.7500 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0027 HOUR.
FRQ NUMBER =	26	FRQ = 19.5312 HZ	CUMULATIVE TIME = 0.0028 HOUR.

ELM	G-USED (KSF)	G-NEW (KSF)	DIF-G (PERCENT)	DAMP-USED (FRACTION)	DAMP-NEW (FRACTION)	DIF-DAMP (PERCENT)	VS-USED (FPS)	VS-NEW (FPS)	DIFF-VS (PERCENT)
1	168.	167.	0.8	0.041	0.042	-1.0	219.	218.	0.4
2	296.	296.	0.7	0.052	0.053	-0.8	291.	290.	0.4
3	417.	415.	0.4	0.058	0.058	-0.6	346.	345.	0.2
4	534.	531.	0.7	0.063	0.063	-1.0	391.	390.	0.4

MAX. ELEMENT STRESSES IN PSF AND MAXIMUM SHEAR STRAIN IN PERCENT

ELM.	SIG-X	SIG-Y	SIG-XY	MAX.SHEAR STRN	AT TIME
1	0.0	0.0	12.5	0.007	0.680
2	0.0	0.0	37.2	0.013	0.680
3	0.0	0.0	66.1	0.016	0.680
4	0.0	0.0	97.1	0.018	0.680

TIME REQUIRED FOR COMPUTING STRESS AND STRAIN = 0.003 HOUR

防災科学技術研究資料 第17号 1975年10月

ITERATION 5  
 TIME REQUIRED FOR FORMATION OF STIFFNESS MATRIX = 0.001 HOUR  
 STIFFNESS OF RIGID ELEMENT = 0.

\*\*\* TIME FOR GAUSSIAN ELIMINATION \*\*\*

NO. OF STEPS IN FREQUENCY DOMAIN 104 (INCLUDES INTERPOLATED POINTS)

FRQ NUMBER	FRQ	HZ	CUMULATIVE TIME	HOUR.
1	0.		0.0001	
2	0.7812		0.0003	
3	1.5625		0.0004	
4	2.3437		0.0005	
5	3.1250		0.0006	
6	3.9062		0.0007	
7	4.6875		0.0008	
8	5.4687		0.0009	
9	6.2500		0.0010	
10	7.0312		0.0011	
11	7.8125		0.0012	
12	8.5937		0.0013	
13	9.3750		0.0014	
14	10.1562		0.0015	
15	10.9375		0.0017	
16	11.7187		0.0018	
17	12.5000		0.0019	
18	13.2812		0.0020	
19	14.0625		0.0021	
20	14.8437		0.0022	
21	15.6250		0.0023	
22	16.4062		0.0024	
23	17.1875		0.0025	
24	17.9687		0.0026	
25	18.7500		0.0027	
26	19.5312		0.0028	

ELM	G-USED (KSF)	G-NEW (KSF)	DIF-G (PERCENT)	DAMP-USED (FRACTION)	DAMP-NEW (FRACTION)	DIF-DAMP (PERCENT)	VS-USED (FPS)	VS-NEW (FPS)	DIFF-VS (PERCENT)
1	167.	166.	0.5	0.042	0.042	-0.6	218.	218.	0.3
2	294.	293.	0.4	0.053	0.053	-0.4	290.	290.	0.2
3	415.	414.	0.3	0.058	0.058	-0.5	344.	344.	0.2
4	531.	528.	0.4	0.063	0.064	-0.6	390.	389.	0.2

MAX. ELEMENT STRESSES IN PSF AND MAXIMUM SHEAR STRAIN IN PERCENT

ELM.	SIG-X	SIG-Y	SIG-XY	MAX. SHEAR STRN	AT TIME
1	0.0	0.0	12.6	0.008	0.680
2	0.0	0.0	37.4	0.013	0.680
3	0.0	0.0	66.3	0.016	0.680
4	0.0	0.0	97.4	0.018	0.680

TIME REQUIRED FOR COMPUTING STRESS AND STRAIN = 0.003 HOUR

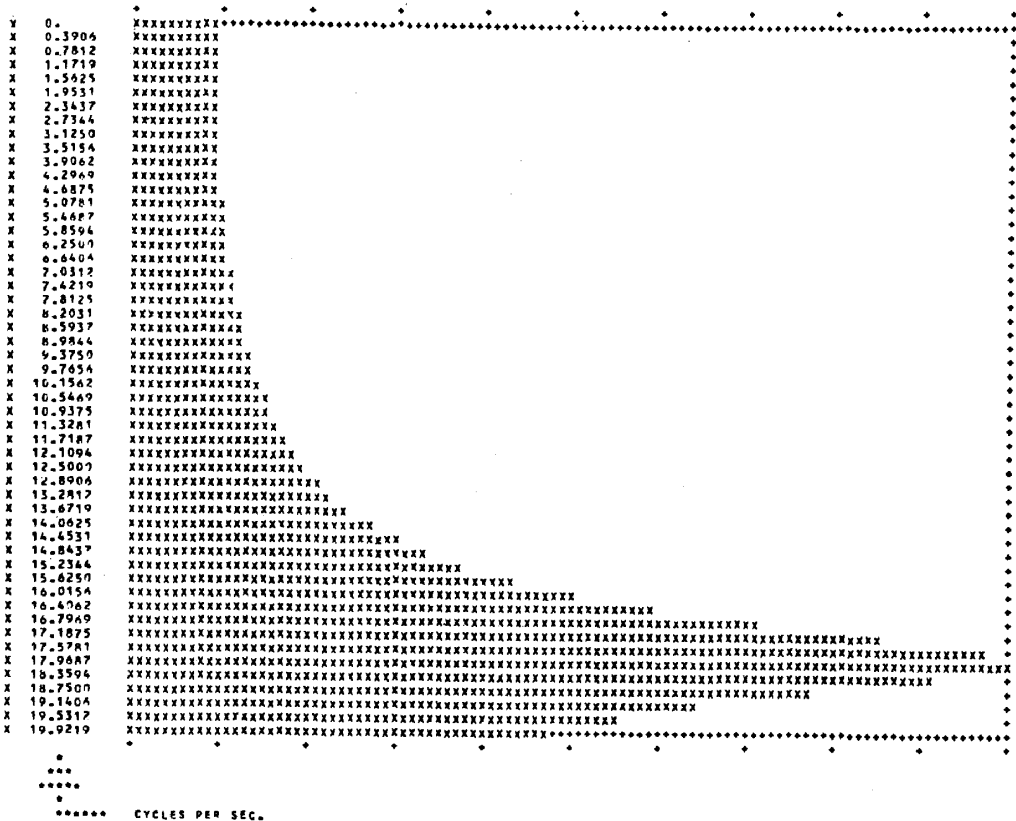
\*\*\* TAPE 1 HAS BEEN COMPLETED \*\*\*

\*\*\* HORIZONTAL AMP. FUNCT. OF NODAL POINT = 1 \*\*\*

FREQ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.	0.1000E 01	0.1001E 01	0.1003E 01	0.1006E 01	0.1010E 01	0.1016E 01	0.1023E 01	0.1032E 01	0.1042E 01	0.1053E 01
1.91	0.1004E 01	0.1001E 01	0.1001E 01	0.1001E 01	0.1001E 01	0.1001E 01	0.1001E 01	0.1001E 01	0.1001E 01	0.1001E 01
7.81	0.1117E 01	0.1353E 01	0.1597E 01	0.1848E 01	0.2103E 01	0.2362E 01	0.2625E 01	0.2892E 01	0.3162E 01	0.3436E 01
11.72	0.2000E 01	0.2125E 01	0.2267E 01	0.2416E 01	0.2572E 01	0.2735E 01	0.2905E 01	0.3082E 01	0.3265E 01	0.3454E 01
15.62	0.4998E 01	0.5833E 01	0.6708E 01	0.7631E 01	0.8602E 01	0.9622E 01	1.0691E 01	1.1810E 01	1.2979E 01	1.4198E 01
19.53	0.6787E 01	0.5512E 01								

\*\* FREQUENCY STEP IS = 0.391 HZ

EVERY 7 TH POINTS ARE PLOTTED  
MAXIMUM SCALE = 11.69954





震動応答解析法 有限要素法のプログラムについて —香川

EXAMPLE COMPUTATION  
 HORIZONTAL MOTION AT NODE POINT 1  
 MAXIMUM ACCELERATION = 1.2162  
 TIME INTERVAL = 0.0400 SEC.

DAMPING RATIO = 0.05

TIMES AT WHICH MAX. SPECTRAL VALUES OCCUR  
 TD = TIME FOR MAX. RELATIVE DISP.  
 TV = TIME FOR MAX. RELATIVE VEL.  
 TA = TIME FOR MAX. ABSOLUTE ACC.

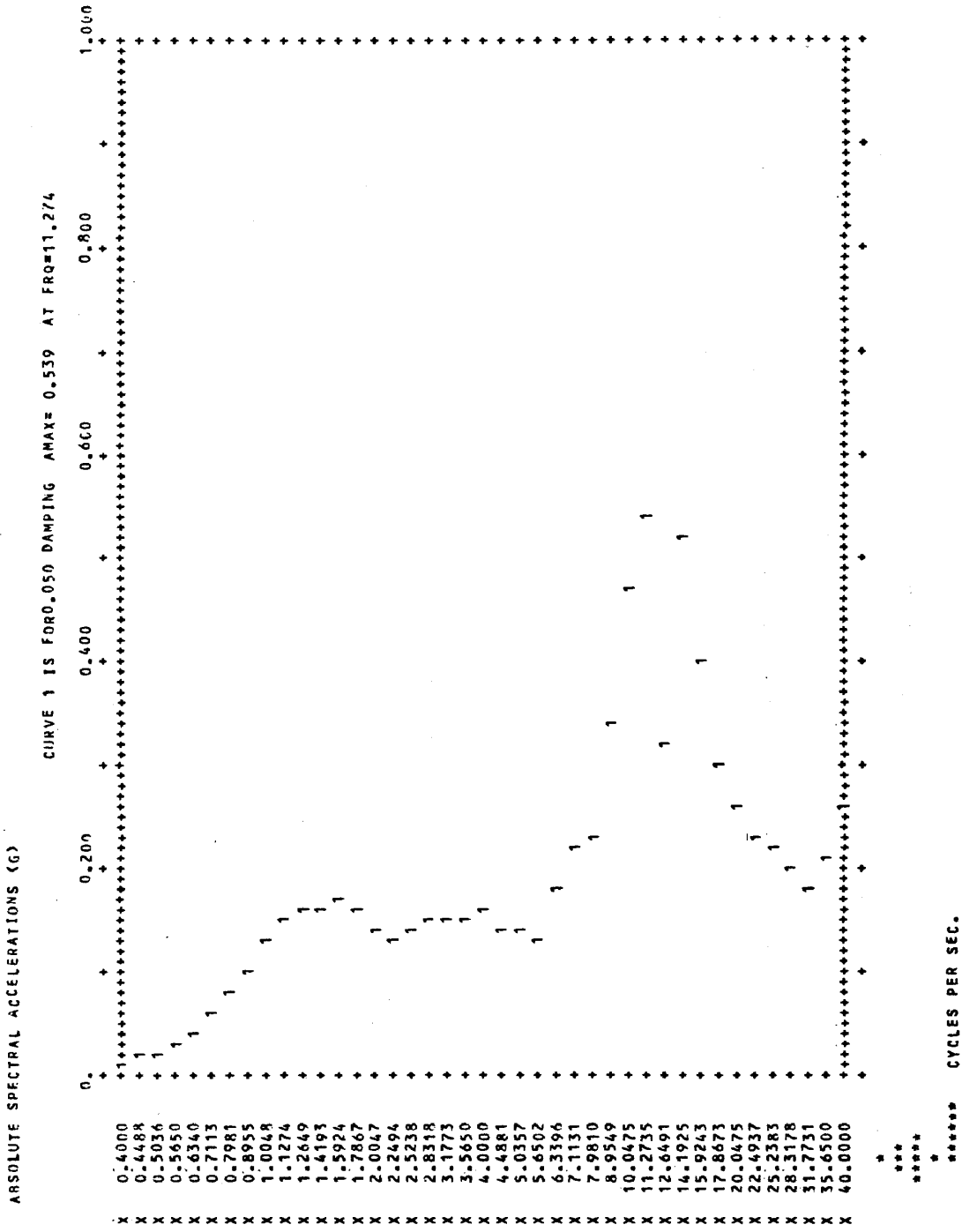
PER = 2.5000	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.0000	TV = 0.7600	TA = 0.9200
PER = 2.2281	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.0000	TV = 0.7600	TA = 0.9200
PER = 1.9858	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9600	TV = 0.7600	TA = 0.9200
PER = 1.7699	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.5600	TV = 1.2400	TA = 1.5200
PER = 1.5774	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.5200	TV = 1.2400	TA = 1.4800
PER = 1.4059	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.4800	TV = 1.1600	TA = 1.4400
PER = 1.2530	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.4000	TV = 1.6800	TA = 1.4000
PER = 1.1167	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.8800	TV = 1.6000	TA = 1.8400
PER = 0.9953	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.7600	TV = 2.0000	TA = 1.7600
PER = 0.8870	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.6800	TV = 1.9200	TA = 1.6800
PER = 0.7906	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 2.0000	TV = 2.2000	TA = 2.0000
PER = 0.7046	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.1200	TV = 1.2800	TA = 1.0800
PER = 0.6280	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.0400	TV = 1.2000	TA = 1.0400
PER = 0.5597	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.0000	TV = 0.8400	TA = 1.0000
PER = 0.4988	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9600	TV = 0.8000	TA = 0.9600
PER = 0.4446	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.6400	TV = 0.7600	TA = 0.6000
PER = 0.3967	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.6000	TV = 0.7200	TA = 0.6000
PER = 0.3531	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.6000	TV = 0.6800	TA = 0.6000
PER = 0.3147	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.6000	TV = 0.6000	TA = 0.6000
PER = 0.2805	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 1.0000	TV = 1.0800	TA = 1.0000
PER = 0.2500	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9600	TV = 1.2800	TA = 0.9600
PER = 0.2228	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.5200	TV = 0.4800	TA = 0.5200
PER = 0.1986	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.5200	TV = 0.4800	TA = 0.5200
PER = 0.1770	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.5200	TV = 1.2000	TA = 0.9600
PER = 0.1577	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9600	TV = 1.0000	TA = 0.9600
PER = 0.1406	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9600	TV = 1.0000	TA = 0.9600
PER = 0.1253	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.6000	TV = 0.5200	TA = 0.6000
PER = 0.1117	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.6400	TV = 0.5600	TA = 0.6400
PER = 0.0995	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.6800	TV = 0.6000	TA = 0.6800
PER = 0.0887	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9600	TV = 0.6800	TA = 0.9600
PER = 0.0791	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9200	TV = 0.9600	TA = 0.9200
PER = 0.0705	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9200	TV = 0.6800	TA = 0.9200
PER = 0.0628	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.6400	TV = 0.6000	TA = 0.6400
PER = 0.0560	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.5600	TV = 1.4000	TA = 0.5600
PER = 0.0499	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9200	TV = 0.6000	TA = 0.9200
PER = 0.0445	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9200	TV = 0.5600	TA = 0.9200
PER = 0.0396	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.5600	TV = 0.9200	TA = 0.5600
PER = 0.0353	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.5600	TV = 0.6000	TA = 0.5600
PER = 0.0315	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.5600	TV = 0.6000	TA = 0.5600
PER = 0.0281	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.5600	TV = 0.6400	TA = 0.5600
PER = 0.0250	TIMES FOR MAXIMA --	TD = 0.9200	TV = 0.6000	TA = 0.9200

防災科学技術研究資料 第17号 1975年10月

SPECTRAL VALUES  
DAMPING RATIO = 0.050

NO.	PERIOD (SEC)	REL. DISP. (FT)	REL. VEL. (FT/SEC)	PSU. REL. VFL. (FT/SEC)	ABS. ACC. (G/S)	PSU. ABS. ACC. (G/S)	FREQ. (HZ)
1	2.5000	0.05400	0.30280	0.13373	0.01117	0.01059	0.4000
2	2.2281	0.05352	0.31366	0.16447	0.01514	0.01440	0.4488
3	1.9458	0.06281	0.37394	0.19872	0.02039	0.01953	0.5036
4	1.7699	0.06976	0.36597	0.24835	0.02755	0.02738	0.5650
5	1.5774	0.08186	0.41400	0.32606	0.04057	0.04033	0.6340
6	1.4059	0.07128	0.45852	0.40794	0.05659	0.05662	0.7113
7	1.2510	0.07719	0.53542	0.48735	0.07659	0.07590	0.7981
8	1.1167	0.10078	0.63138	0.56704	0.10029	0.09908	0.8955
9	0.9953	0.10472	0.64153	0.66109	0.13118	0.12961	1.0048
10	0.8870	0.09717	0.77719	0.68631	0.15169	0.15142	1.1274
11	0.7906	0.08035	0.59931	0.63857	0.15705	0.15761	1.2649
12	0.7046	0.06633	0.56327	0.59149	0.16312	0.16381	1.4193
13	0.6260	0.05338	0.43963	0.53413	0.16789	0.16597	1.5924
14	0.5597	0.04038	0.35201	0.45333	0.15836	0.15805	1.7867
15	0.4988	0.02761	0.29326	0.34776	0.13671	0.13604	2.0047
16	0.4444	0.02154	0.24583	0.30446	0.13492	0.13363	2.2494
17	0.3962	0.01797	0.21836	0.28499	0.14354	0.14035	2.5238
18	0.3531	0.01495	0.18985	0.26606	0.14807	0.14702	2.8318
19	0.3147	0.01223	0.17864	0.24417	0.15009	0.15138	3.1773
20	0.2805	0.01008	0.16398	0.22577	0.15460	0.15706	3.5650
21	0.2500	0.00798	0.14149	0.20049	0.15843	0.15649	4.0000
22	0.2228	0.00558	0.11729	0.15737	0.13911	0.13782	4.4881
23	0.1986	0.00448	0.09407	0.14181	0.13673	0.13935	5.0357
24	0.1770	0.00314	0.08830	0.11144	0.12713	0.12287	5.6502
25	0.1577	0.00360	0.11738	0.14355	0.18445	0.17758	6.3396
26	0.1406	0.00353	0.12304	0.15787	0.22018	0.21912	7.1131
27	0.1253	0.00304	0.10900	0.15245	0.23426	0.23741	7.9810
28	0.1117	0.00349	0.16392	0.19643	0.34245	0.34323	8.9549
29	0.0995	0.00395	0.21937	0.24929	0.46753	0.48876	10.0475
30	0.0887	0.00360	0.21496	0.25488	0.53902	0.56068	11.2735
31	0.0791	0.00120	0.34168	0.09507	0.31643	0.23465	12.6491
32	0.0705	0.00206	0.17112	0.18384	0.52031	0.50914	14.1925
33	0.0628	0.00127	0.05415	0.12720	0.40393	0.39525	15.9243
34	0.0560	0.00075	0.01439	0.08401	0.29768	0.29291	17.8673
35	0.0499	0.00053	0.00617	0.06631	0.26126	0.25938	20.0475
36	0.0445	0.00037	0.00295	0.05297	0.23375	0.23248	22.4937
37	0.0396	0.00027	0.00202	0.04350	0.21511	0.21423	25.2383
38	0.0353	0.00021	0.00214	0.03663	0.20341	0.20239	28.3178
39	0.0315	0.00015	0.00368	0.02916	0.18285	0.18078	31.7731
40	0.0281	0.00013	0.01244	0.02951	0.21029	0.20525	35.6500
41	0.0250	0.00013	0.00897	0.03251	0.25921	0.25377	40.0000

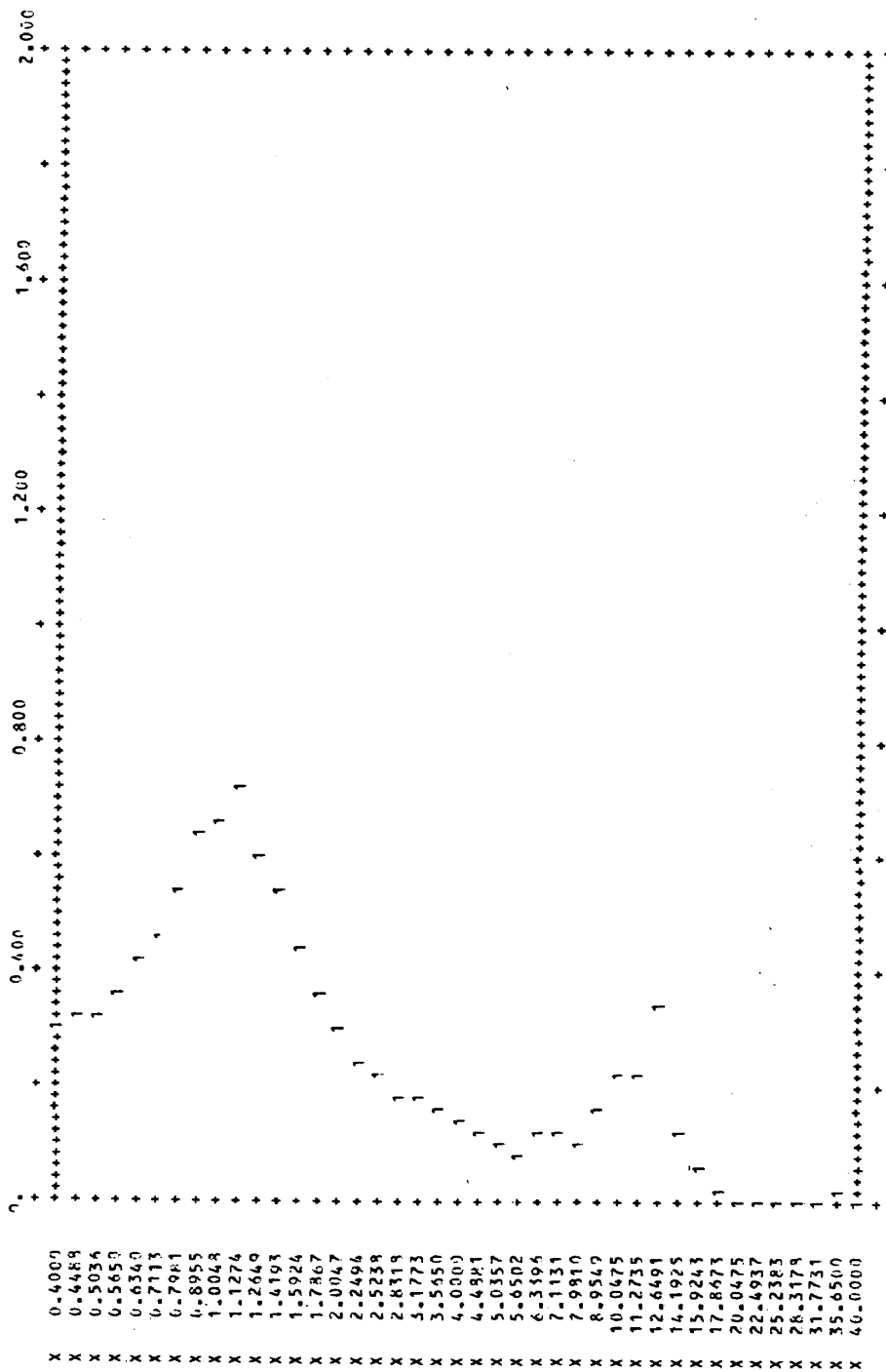
RESPONSE SPECTRUM ANALYSIS FOR EXAMPLE COMPUTATION  
 HORIZONTAL MOTION AT NODAL POINT 1



RESPONSE SPECTRUM ANALYSIS FOR EXAMPLE COMPUTATION  
 HORIZONTAL MOTION AT NODAL POINT 1

CURVE 1 IS FOR 0.050 DAMPING AMAXF 0.727 AT FRU# 1.127

RELATIVE SPECTRAL VELOCITY (FT/SEC)



\*\*\*\*\* CYCLES PER SEC.

MAXIMUM ABSOLUTE ACCELERATIONS(G)

ITERATION NO. 5      MAX. INPUT BASE ACC. = 0.1500 (G) IN HORZ. DIRECTION  
 MAX. INPUT BASE ACC. = 0.      (G) IN VERT. DIRECTION

N.P.	XORD	YORD	X-ACC	AT TIME	Y-ACC	AT TIME
1	0.	5.00	0.2162	0.6000	*FIXED*	*FIXED*
3	0.	4.00	0.2084	0.6000	*FIXED*	*FIXED*
5	0.	3.00	0.1955	0.9600	*FIXED*	*FIXED*
7	0.	1.50	0.1740	0.9600	*FIXED*	*FIXED*

TIME REQUIRED FOR COMPUTATION AND OUTPUT OF ACCELERATIONS AT 4 NODAL POINTS = 0.002 HOUR

```

1 C
2 C*****
3 C
4 C OPERATION MODES - THE PROGRAM CAN OPERATE IN THREE MODES
5 C   MODE1 - IN THIS MODE ALL INPUT DATA IS FROM CARDS. THE PROGRAM
6 C           WILL COMPUTE THE COMPLETE RESPONSE. IT WILL ITERATE A
7 C           SPECIFIED NUMBER OF TIMES TO OBTAIN STRAIN-COMPATIBLE
8 C           SOIL PROPERTIES. ANY OUTPUT CAN BE SPECIFIED IN THIS
9 C           RESPONSE IN THE FREQUENCY DOMAIN OF ALL NODAL POINTS IS
10 C          MODE. DURING EXECUTION IN MODE1, ALL INPUT AND THE FINAL
11 C          WRITTEN ON TAPE 1 WHICH IS THEREFORE A COMPLETE PERMANENT
12 C          RECORD OF PROBLEM AND SOLUTION.
13 C   MODE2 - IN THIS MODE THE INFORMATION ON TAPE 1 CAN BE RECOVERED
14 C           TO GENERATE ADDITIONAL OUTPUT WITHOUT REPEATING THE COSTLY
15 C           FINITE ELEMENT PROCEDURE USED IN MODE1. ALSO ADDITIONAL
16 C   MODE3 - THIS MODE IS SIMILAR TO MODE2 EXCEPT THAT PRIOR TO
17 C           ENTERING MODE2 THE CONTENT OF TAPE 1 IS COPIED ONTO
18 C           ITERATIONS ON SOIL PROPERTIES CAN BE INITIATED.
19 C           TAPE 2 AFTER WHICH NEW VALUES ARE READ FROM CARDS FOR
20 C           THE FOLLOWING INPUT DATA, INPUT MOTION, DIRECTION OF INPUT
21 C           MOTION ( HOR AND VERT ), AND, IF REQUIRED, NEW BOUNDARY
22 C           CONDITIONS FOR NODAL POINTS. THE RESULTS FOR THE NEW
23 C           ITERATION ARE WRITTEN ON TAPE 1. MODE3 IS USEFUL FOR
24 C           GENERATING SEVERAL TAPES, EACH CONTAINING THE SOLUTION
25 C           FOR A DIFFERENT LOAD CASE ( SAY HORIZONTAL AND VERTICAL
26 C           EXCITATION ).
27 C*****
28 C
29 C
30 C INPUT DATA
31 C
32 C 0. OPERATION MODE CARD (15)
33 C   1- 5 MDPT      IF 0 STOP ( LAST DATA CARD )
34 C                  IF 1 MODE1
35 C                  IF 2 MODE2
36 C                  IF 3 MODE3
37 C
38 C*****
39 C INPUT DATA FOR MODE1
40 C*****
41 C
42 C 1. JOB IDENTIFICATION CARD (12A6,18)
43 C   1-72 TITLE (12)  JOB IDENTIFICATION - ANY CHARACTERS
44 C   73-86 ITER      RUN NUMBER - IDENTIFICATION ONLY, DOES NOT
45 C                   AFFECT COMPUTATIONS
46 C
47 C 2. CONTROL CARD FOR JOB SIZE OF SYSTEM (915)
48 C   1- 5 NELM      TOTAL NUMBER OF ELEMENTS
49 C   6-10 MDPT     TOTAL NUMBER OF NODAL POINTS
50 C   11-15 NB1     FIRST NODAL POINT NUMBER ON RIGID BOUNDARY
51 C                I.E. ALL NODAL POINTS WITH HIGHER NUMBERS ARE
52 C                ASSUMED TO BE ON RIGID BOUNDARY
53 C   14-20 NBP     NUMBER OF ADDITIONAL DISPLACEMENT BOUNDARY
54 C                CONDITIONS.
55 C                NOTE***A POINT FIXED IN BOTH X AND Y DIRECTIONS
56 C                COUNTS 2
57 C   21-25 DTIE    NUMBER OF PAIRS OF NODAL POINTS CONNECTED BY A
58 C                VERY RIGID ELEMENT

```

震動応答解析法 有限要素法のプログラムについて — 香川

488 01 07-20-75 11.962

59	C	26-30 NBAR	NUMBER OF PAIRS OF NODAL POINTS CONNECTED BY A BAR ELEMENT
60	C		
61	C	31-35 NRCURV	NUMBER OF SHEAR MODULUS CURVES
62	C		**DO NOT COUNT THE STRAIN-INDEPENDENT MATERIAL (TYPE=0) WHICH IS AUTOMATICALLY INCLUDED
63	C		
64	C	36-40 NDCURV	NUMBER OF DAMPING CURVES
65	C		**DO NOT COUNT THE STRAIN-INDEPENDENT MATERIAL (TYPE=0) WHICH IS AUTOMATICALLY INCLUDED
66	C		
67	C	41-45 NNUMBER	NUMBER OF ITERATIONS ON SOIL PROPERTIES ( INITIAL SOLUTION COUNTS ONE )
68	C		
69	C		
70	C	3. CONTROL CARD FOR INPUT MOTION (315,3F10.4)	
71	C	1- 5 KGMAX	TOTAL NUMBER OF POINTS USED IN FAST FOURIER TRANSFORMS, MUST BE A POWER OF TWO.
72	C		
73	C	6-10 KZ	FIRST POINT OF EARTHQUAKE RECORD USED IN ANALYSIS.
74	C		
75	C	11-15 K3	LAST POINT OF EARTHQUAKE RECORD USED IN ANALYSIS
76	C	16-25 DT	TIME STEP OF DIGITIZED EARTHQUAKE RECORD, -SEC.
77	C	26-35 EQMUL	EARTHQUAKE MULTIPLICATION FACTOR. IF RECORD IS CONTROLLED BY UGMAX, LEAVE BLANK.
78	C		
79	C	36-45 UGMAX	MAX. INPUT ACCELERATION USED IN ANALYSIS. -G IF EQMUL IS NOT ZERO, LEAVE BLANK.
80	C		
81	C		
82	C	4. CONTROL CARD FOR DIRECTION OF INPUT MOTION (2F10.4)	
83	C		THE ABOVE INPUT ACCELERATION ON THE RIGID BASE CAN BE SPECIFIED TO ACT IN ANY DIRECTION ACCORDING TO THE RULE
84	C		
85	C		
86	C		HORZ. COMPONENT = HOR * ABOVE MOTION
87	C		VERT. COMPONENT = VERT * ABOVE MOTION
88	C		HOR AND VERT ARE ENTERED AS FOLLOWS -
89	C	1-10 HOR	FACTOR FOR HORIZONTAL MOTION
90	C	11-20 VERT	FACTOR FOR VERTICAL MOTION
91	C		
92	C	5. CONTROL CARD FOR FREQUENCY OF ANALYSIS. (F10.4,I5)	
93	C	1-10 TOTFR	HIGHEST FREQUENCY TO BE CONSIDERED IN ANALYSIS. -HZ ( USED FOR DIMENSIONING ONLY, THE ACTUAL FREQUENCIES USED ARE SET BY THE VARIABLE STEP(I), SEE PT. 9 BELOW. )
94	C		
95	C		
96	C		
97	C	11-15 KINT	NUMBER FOR INTERPOLATION CONTROL IN FREQUENCY DOMAIN, MUST BE A POWER OF TWO.
98	C		NO INTERPOLATION IF KINT=0 OR 1
99	C		DETERMINE BY TRIAL AND ERROR.
100	C		COMPUTATION TIME FOR ITERATION I IS PROPORTIONAL TO (STEP(I)/KINT)
101	C		
102	C		
103	C		
104	C	6. CONTROL CARD FOR OUTPUT (7I5)	
105	C	1- 5 KDISP	IF 1, WRITE AMPLIFICATION FUNCTION ON TAPE 1.
106	C	6-10 KSTRN	IF 1, COMPUTE STRAIN IN EACH ELEMENT TO FIND STRAIN COMPATIBLE SOIL PROPERTIES.
107	C		
108	C	11-15 KPNCH	IF 1, PUNCH DATA SET FOR NEXT ITERATION.
109	C	16-20 NOUT	TOTAL NUMBER OF NODAL POINTS WHERE OUTPUT ARE REQUIRED
110	C		
111	C	21-25 ND	NUMBER OF DAMPING VALUES FOR RESPONSE SPECTRA
112	C	26-30 NSKIP	EVERY NSKIP-TH POINT OF TIME HISTORY IS PLOTTED
113	C	31-35 NASKIP	EVERY NASKIP-TH POINT OF AMP. FUNC. IS PRINTED
114	C	36-40 NFSKIP	EVERY NFSKIP-TH POINT OF ACC. FOURIER SPECTRUM IS PLOTTED
115	C		
116	C		

```

117 C 7. CONTROL CARD FOR MASS MATRIX AND EFFECTIVE SHEAR STRAIN (2F10.4)
118 C 1-10 RATIA RATIO OF CONSISTENT MASS MATRIX TO FORM MASS
119 C THE MASS MATRIX USED IS (1.-RATIA) * LUMPED MASS
120 C MATRIX + RATIA * CONSISTENT MASS MATRIX + A
121 C LUMPED MASS MATRIX FORMED FROM THE CONCENTRATED
122 C MASSES SPECIFIED ON THE NODAL POINT CARDS (SEE
123 C PT. 14 BELOW). TYPICAL VALUES ARE 0.5 - 0.75
124 C 11-20 FCT RATIO OF EFFECTIVE SHEAR STRAIN TO MAX. SHEAR
125 C STRAIN. (TYPICAL VALUES ARE 0.6 TO 0.7)
126 C USED FOR DETERMINING STRAIN COMPATIBLE SOIL
127 C PROPERTIES.
128 C
129 C 8. CONTROL CARD FOR DAMPING CHARACTERISTICS (2F10.4)
130 C 1-10 SDAMP IF UNIFORM DAMPING IS USED IN ALL ELEMENTS,
131 C PUNCH THE UNIFORM DAMPING VALUE, OTHERWISE
132 C LEAVE BLANK. ( SIMULATION OF MODAL ANALYSIS )
133 C
134 C 9. CONTROL CARD FOR FREQUENCY OF ANALYSIS IN EACH ITERATION(8F10.4)
135 C 1-10 STEP(1) HIGHEST FREQUENCY OF ANALYSIS DURING FIRST
136 C ITERATION. -HZ
137 C STEP(2) HIGHEST FREQUENCY OF ANALYSIS DURING SECOND
138 C ITERATION. -HZ
139 C STEP(NUMBER)=HIGHEST FREQUENCY OF ANALYSIS DURING THE LAST
140 C ITERATION. -HZ (SHOULD BE EQUAL TO TOTFR)
141 C ALL VALUES STEP(I) MUST BE .LE. TOTFR (SEE
142 C PT.5 ABOVE).
143 C
144 C 10. CONTROL CARD FOR RESPONSE SPECTRA. (2F10.4,15)
145 C NOTE***SKIP THESE CARDS IF ND=0
146 C IF THIS CARD IS BLANK THE STANDARD VALUES
147 C FSTRT=0.4,FLAST=40.,NINT=40 ARE ASSUMED
148 C THIS WILL LEAD TO A PLOT WHICH FILLS ONE PAGE.
149 C 1-10 FSTRT FIRST FREQUENCY USED IN RESPONSE SPECTRUM
150 C ANALYSIS. -HZ
151 C 11-20 FLAST LAST FREQUENCY USED IN RESPONSE SPECTRUM
152 C ANALYSIS. -HZ
153 C 21-25 NINT TOTAL NUMBER OF FREQUENCY STEP FOR RESPONSE
154 C SPECTRA.
155 C
156 C 11. DAMPING CARD FOR RESPONSE SPECTRA (8F10.4)
157 C NOTE***SKIP THESE CARDS IF ND=0
158 C 1-10 DAMP(1) DAMPING RATIO USED IN RESPONSE SPECTRA
159 C *
160 C *
161 C *
162 C DAMP(ND)
163 C
164 C 12. OUTPUT CONTROL CARDS (15,2)10) - NOUT CARDS (SEE PT.6 ABOVE)
165 C NOTE***SKIP THESE CARDS IF NOUT=0.
166 C NODAL POINT NUMBER WHERE OUTPUTS ARE REQUIRED.
167 C M MUST BE LESS THAN NB1 (SEE PT.2)
168 C 6-15 KEYSPC(M) OUTPUT CONTROL IN HORIZONTAL DIRECTION.
169 C 16-25 KEYSPC(M) OUTPUT CONTROL IN VERTICAL DIRECTION.
170 C
171 C CODE FOR KEYSPC - VALUES.
172 C 0--MAXIMUM ACCELERATION ONLY
173 C 1--PUNCH DISPLACEMENT TIME HISTORY
174 C 10--PLOT DISPLACEMENT TIME HISTORY

```



震動応答解析法 有限要素法のプログラムについて — 香川

488 01 02-20-75 11.962

```

175 C          100--PLOT ACC. TIME HISTORY
176 C          1000--PLOT ACC. AND VELOCITY SPECTRUM
177 C          10000--PUNCH ACC. TIME HISTORY
178 C          100000--PRINT OUT AMP. FUNCT.
179 C          1000000--PLOT FOURIER SPECTRUM OF ACC. RESPONSE
180 C
181 C          SUM THESE VALUES FOR SEVERAL OPTIONS
182 C          EXAMPLE - KEYSPC (3) = 10001 WILL PUNCH BOTH
183 C          DISPLACEMENT AND ACCELERATION TIME HISTORIES
184 C          OF THE HORIZONTAL MOTION OF POINT 3
185 C
186 C 13. SHEAR MODULUS CURVES - NGCURV CARDS (15,11F6.3)
187 C     1- 5 IXG(N) IDENTIFYING NUMBER - DOES NOT HAVE TO BE
188 C                   SEQUENTIAL
189 C     6-11 GCURV(1,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)=-4.0
190 C     12-17 GCURV(2,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)=-3.5
191 C     18-23 GCURV(3,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)=-3.0
192 C     24-29 GCURV(4,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)=-2.5
193 C     30-35 GCURV(5,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)=-2.0
194 C     36-41 GCURV(6,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)=-1.5
195 C     42-47 GCURV(7,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)=-1.0
196 C     48-53 GCURV(8,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)=-0.5
197 C     54-59 GCURV(9,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)= 0.0
198 C     60-65 GCURV(10,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)= 0.5
199 C     66-71 GCURV(11,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)= 1.0
200 C
201 C 14. DAMPING CURVES - NBCURV CARDS (15,11F6.3)
202 C     1- 5 IXS(N) IDENTIFYING NUMBER -DOES NOT HAVE TO BE
203 C                   SEQUENTIAL
204 C     6-11 BCURV(1,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)=-4.0
205 C     *
206 C     *
207 C     *
208 C     56-71 BCURV(11,N) MULTIPLIER AT LOG(SHEAR STRAIN IN PERCENT)= 1.0
209 C
210 C 15. ELEMENT CARDS (7I5,F5.3,2F10.4,F5.3,F10.4,F5.3) - NLEM CARDS
211 C     1- 5 N ELEMENT NUMBER
212 C     6-10 NPJ(N) NODAL POINT J NOTE
213 C     11-15 NPJ(N) NODAL POINT J I,J,K,L MUST CORRESPOND
214 C     16-20 NPK(N) NODAL POINT K TO ANTI-CLOCKWISE
215 C     21-25 NPL(N) NODAL POINT L ROTATION AROUND ELEM.
216 C                   TO FORM TRIANGULAR ELEMENT SET NPK(N)=NPL(L)
217 C     26-30 IGTYP(M) MATERIAL IDENTIFICATION FOR SHEAR MODULUS
218 C     31-35 IHTYP(M) MATERIAL IDENTIFICATION FOR DAMPING RATIO
219 C                   ***** 0 MEANS CONSTANT MATERIAL PROPERTY *****
220 C     36-40 PD(N) POISSON S RATIO MUST BE LESS THAN 0.5
221 C     41-50 DENS(N) UNIT WEIGHT OF MATERIAL -PCF
222 C     51-60 S3(N) SHEAR MODULUS AT LOW STRAIN -KIPS/SQFT
223 C     61-65 D3(N) DAMPING RATIO AT LOW STRAIN (FRACTION)
224 C     66-75 G(N) SHEAR MODULUS FOR FIRST ITERATION -KIPS/SQFT
225 C     76-80 XL(N) DAMPING RATIO FOR FIRST ITERATION
226 C
227 C 16. NODAL POINT CARDS (15,2F10.3,15,F10.4) - NDPT CARDS (SEE PT.2
228 C                   ABOVE)
229 C     1- 5 M NODAL POINT NUMBER
230 C     6-15 XORD(M) X-COORDINATE -FT
231 C     16-25 YORD(M) Y-COORDINATE -FT
232 C     26-30 KEYBC(M) KEY FOR DISPLACEMENT BOUNDARY CONDITIONS

```

```

233 C          RELATIVE TO RIGID BOUNDARY
234 C          0 - FREE POINT AND POINTS ON RIGID BOUNDARY
235 C          1 - CANNOT MOVE IN X-DIRECTION
236 C          2 - CANNOT MOVE IN Y-DIRECTION
237 C          3 - FIXED
238 C          31-40 SMAS(M)  WEIGHT OF MASS ACTING AT NODAL POINT M -KIPS/FT
239 C
240 C 17. RIGID ELEMENT CARDS (215) - NTIE CARDS (SEE PT.2 ABOVE)
241 C          NOTE***SKIP THESE CARDS IF NTIE=0
242 C          FORCES TWO POINTS TO MOVE TOGETHER
243 C          1- 5 KTIE(1,N)  NODAL POINT NUMBER OF FIRST POINT.
244 C          6-10 KTIE(2,N)  NODAL POINT NUMBER OF SECOND POINT.
245 C
246 C 18. BAR ELEMENT CARDS (215, E12.4) - NBAR CARDS
247 C          NOTE***SKIP THESE CARDS IF NBAR=0
248 C          NODAL POINT NUMBER OF FIRST POINT
249 C          6-10 KBAR(2,N)  NODAL POINT NUMBER OF SECOND POINT
250 C          11-22 BST(N)    STIFFNESS OF BAR ELEMENTS (LBS/FT)
251 C
252 C 19. EARTHQUAKE NAME CARD (12A6)
253 C          1-72 ESN(17)  IDENTIFICATION NAME OF INPUT MOTION
254 C          - ANY CHARACTERS.
255 C
256 C 20. EARTHQUAKE RECORD CARDS (8F9.6) - (N3+7)/8 CARDS
257 C          U2G(1)        INPUT ACCELERATIONS-G
258 C          DIGITIZED AT THE TIME INTERVAL DT, SEE PT. 3
259 C
260 C*****
261 C INPUT DATA FOR MODE2 AND MODE3
262 C*****
263 C
264 C 0. OPERATION MODE CARD (15), SEE PT.0 ABOVE
265 C
266 C 1. CONTROL CARD FOR OUTPUT (915)
267 C          1- 5 KDISP      IF 1, WRITE AMPLIFICATION FUNCTION ON TAPE 1.
268 C          6-10 KSTRN     IF 1, COMPUTE STRAIN IN EACH ELEMENT TO FIND
269 C          STRAIN COMPATIBLE SOIL PROPERTIES.
270 C          11-15 KPUNCH   IF 1, PUNCH DATA SET FOR NEXT ITERATION.
271 C          16-20 NOUT    TOTAL NUMBER OF NODAL POINTS WHERE OUTPUT ARE
272 C          REQUIRED.
273 C          21-25 ND      NUMBER OF DAMPING VALUES FOR RESPONSE SPECTRA.
274 C          26-30 MSKIP    EVERY MSKIP-TH POINT OF TIME DOMAIN IS PLOTTED
275 C          31-35 MASKIP  EVERY MASKIP-TH POINT OF AMP. FUNCT. IS PRINTED
276 C          36-40 MFSKIP  EVERY MFSKIP-TH POINT OF ACC. FOURIER SPECTRUM
277 C          IS PLOTTED
278 C          41-45 NUMBER  NUMBER OF ITERATIONS ON SOIL PROPERTIES
279 C
280 C 2. FREQUENCY OF ANALYSIS CARD (F10.4,15)
281 C          1-10 FRNEW    NEW TOTFR - SEE PT.5 ABOVE
282 C          11-15 KINTN  NEW KINT - SEE PT.5 ABOVE
283 C          IF BLANK, OLD VALUES ARE USED
284 C
285 C 3. EARTHQUAKE CONTROL CARD (315, SF10.4)
286 C          1- 5 N2NEW    FIRST POINT OF EARTHQUAKE RECORD USED IN NEW
287 C          ANALYSIS. IF 0, ORIGINAL N2 IS USED
288 C          6-10 N3NEW    LAST POINT OF EARTHQUAKE RECORD USED IN NEW
289 C          ANALYSIS. IF 0, ORIGINAL N3 IS USED
290 C          NOTE***IF ORIGINAL RECORD IS USED, LEAVE BLANK

```

震動応答解析法 有限要素法のプログラムについて — 香川

488 01 02-20-75 11.962

```

291 C          IF NEW INPUT MOTION REQUIRED, SET N2NEW
292 C          AND N3NEW SIMILAR TO N2 AND N3 IN MODE1
293 C      11-15 NEWBC      NUMBER OF NEW BOUNDARY CONDITIONS TO BE CHANGED
294 C          FOR TREATING SYMMETRY, MODE3 ONLY
295 C      16-25 HORN      NEW FACTOR FOR HORIZONTAL MOTION, MODE3 ONLY
296 C      26-35 VERTN     NEW FACTOR FOR VERTICAL MOTION, MODE3 ONLY
297 C      36-45 DTN       NEW TIME STEP (SEE PT.3 IN MODE1)
298 C          (MOTIONS TO BE ADDED LATER BY PROGRAM
299 C          ** COMBINE ** SHOULD HAVE THE SAME DURATION
300 C          AND TIME STEP
301 C      44-55 EQMULN    NEW EARTHQUAKE MULTIPLICATION FACTOR (SEE PT.3
302 C          IN MODE1)
303 C      54-65 UGMAXN    NEW MAX. INPUT ACCELERATION (SEE PT.3 IN MODE1)
304 C          SET ABOVE THREE PARAMETERS IF DIFFERENT INPUT
305 C          MOTION IS USED IN MODE3, OR SKIP.
306 C
307 C      4. NEW BOUNDARY CONDITION CARDS (215) - NEWBC CARDS
308 C          NOTE***SKIP THESE CARDS IF NEWBC=0
309 C      1- 5 M          NODAL POINT NUMBER
310 C      6-10 KEYBC(M)  KEY FOR DISPLACEMENT BOUNDARY CONDITION
311 C          1 - CANNOT MOVE IN X-DIRECTION
312 C          2 - CANNOT MOVE IN Y-DIRECTION
313 C
314 C      5. CONTROL CARD FOR FREQUENCY OF ANALYSIS IN EACH ITERATION(8F10.4)
315 C      1-10 STEP(1)   HIGHEST FREQUENCY OF ANALYSIS DURING FIRST
316 C          ITERATION. -HZ
317 C          STEP(2)    HIGHEST FREQUENCY OF ANALYSIS DURING SECOND
318 C          ITERATION. -HZ
319 C          STEP(NUMBER)=HIGHEST FREQUENCY OF ANALYSIS DURING THE LAST
320 C          ITERATION. -HZ
321 C          ALL VALUES STEP(I) MUST BE .LE. TOTFR (SEE
322 C          PT.5 ABOVE).
323 C
324 C      6. CONTROL CARD FOR RESPONSE SPECTRA. (2F10.4,15)
325 C          NOTE***SKIP THESE CARDS IF ND=0
326 C          IF THIS CARD IS BLANK THE STANDARD VALUES
327 C          FSTRT=0.4,FLAST=40.,NINT=40 ARE ASSUMED
328 C          THIS WILL LEAD TO A PLOT WHICH FILLS ONE PAGE.
329 C      1-10 FSTRT      FIRST FREQUENCY USED IN RESPONSE SPECTRUM
330 C          ANALYSIS. -HZ
331 C      11-20 FLAST     LAST FREQUENCY USED IN RESPONSE SPECTRUM
332 C          ANALYSIS. -HZ
333 C      21-25 NINT      TOTAL NUMBER OF FREQUENCY STEPS FOR RESPONSE
334 C          SPECTRA.
335 C
336 C      7. DAMPING CARD FOR RESPONSES SPECTRA (8F10.)
337 C          NOTE***SKIP THESE CARDS IF ND=0
338 C      1-10 DAMP(1)    DAMPING RATIO USED IN RESPONSE SPECTRA
339 C          *
340 C          *
341 C          *
342 C          DAMP(ND)
343 C
344 C      8. OUTPUT CONTROL CARDS (15,2110) - NOUT CARDS (SEE PT.1 ABOVE)
345 C          NOTE***SKIP THESE CARDS IF NOUT=0
346 C      1- 5 M          NODAL POINT NUMBER WHERE OUTPUTS ARE REQUIRED.
347 C      6-15 KEYSPC(M)  OUTPUT CONTROL IN HORIZONTAL DIRECTION
348 C      16-25 KEYSPC(M) OUTPUT CONTROL IN VERTICAL DIRECTION

```

```

349 C
350 C
351 C CODE FOR KEYSPO - VALUES.
352 C 0--MAXIMUM ACCELERATION ONLY
353 C 1--PUNCH DISPLACEMENT TIME HISTORY
354 C 10--PLOT DISPLACEMENT TIME HISTORY
355 C 100--PLOT ACC. TIME HISTORY
356 C 1000--PLOT ACC. AND VELOCITY SPECTRUM
357 C 10000--PUNCH ACC. TIME HISTORY
358 C 100000--PRINT OUT AMP. FUNCT.
359 C 1000000--PLOT FOURIER SPECTRUM OF ACC. RESPONSE
360 C
361 C SHH THESE VALUES FOR SEVERAL OPTIONS
362 C EYAMPLE - KEYSPO (3) = 10001 WILL PUNCH BOTH
363 C DISPLACEMENT AND ACCELERATION TIME HISTORIES
364 C OF THE HORIZONTAL MOTION OF POINT 3
365 C 9. EARTHQUAKE NAME CARD (12A6)
366 C NOTE***SKIP THIS CARD IF N3NEW=0
367 C 1-72 EQN(12) IDENTIFICATION NAME OF INPUT MOTION
368 C - ANY CHARACTERS
369 C
370 C 10. EARTHQUAKE RECORD CARDS (8F9.6) - (N3NEW+7)/8 CARDS
371 C NOTE***SKIP THESE CARDS IF N3NEW=0
372 C NEW INPUT ACCELETATIONS -G
373 C DIGITIZED AT THE TIME INTERVAL DT
374 C
375 C*****
376 C
377 C THE REQUIRED MINIMUM DIMENSION OF THE BLANK COMMON BLOCK XX, SEE
378 C BELOW, AND THE VALUE OF NSCM MUST AGREE. THE VALUE CAN BE
379 C ESTIMATED FROM NSCM=19*NELM+9*ND*DT+8*NOUT+3*NF+4/3*LENGTH+2*NTIE+
380 C NRP+NUMBER+ND+TOTR+DT*LENG/KINT+MAXW*NF*2
381 C THIS EQUATION IS VALID ONLY WHEN STIFFNESS MATRIX BECOMES LARGE.
382 C
383 C ** ERROR MESSAGES WILL OCCUR IF DIMENSION IS TOO SMALL **
384 C
385 C*****
386 C
387 C DIMENSION XX(15000)
388 C NSCM=15000
389 C
390 C CALL PTIME (TIM1)
391 C WRITE (6,6100) TIM1
392 C 1 CALL INPT(XX,NSCM,TIM1)
393 C GO TO 1
394 C 6100 FORMAT (10X,32H TIME REQUIRED FOR COMPILATION = ,F10.3,6H HOUR )
395 C END

```