

モード重合法を用いた履歴多自由度系の層間変位の推定に関する基礎的研究

徳島大学工学部 学生員○藪本 昌之 徳島大学工学部 正 員 成行 義文
 徳島大学工学部 正 員 平尾 潔 徳島大学工学部 学生員 由井大二郎

1. まえがき

近年、多質点構造物の地震時損傷は、各層の層間変位と塑性ひずみエネルギーに深い関係があることが明らかとなってきた。本研究では、強震下における多質点履歴構造物の損傷度評価法を確立するための基礎的研究として、等価線形化法とモード重合法とを組み合わせた調和地動を受ける履歴多自由度系の層間変位の一推定法について検討した。

2. 解析モデルと各構造特性パラメータ

図-1は本研究で用いたせん断多質点系履歴モデルを示している。各層の復元力履歴特性としては Bilinear モデルを用いた。

図中の記号はそれぞれ次のようである。(ただし、 $i = 1, \dots, n$)

n : 質点数(自由度) , x_0 : 地動変位 , m_i : 質点 i の質量
 k_{0i} : i 層の初期剛性 , x_i : i 層の層間変位 , c_i : i 層の減衰係数

また、本研究では、次のような構造特性パラメータを用いている。

$\alpha_i (=m_i/m_1)$: 質量比 , $\beta_i (=k_{0i}/k_{01})$: 初期剛性比
 $\gamma_i (=k_{ei}/k_{0i})$: 弾塑性剛性比 , $\xi_i (=x_{yi}/x_{yi})$: 降伏変位比
 Q_{y1} : 1 層の降伏復元力 , $\ddot{x}_{max}$: 最大地動加速度
 ω_p : 入力波の卓越振動数 , ω_0 : 系の 1 次モードの固有円振動数
 h : 系の 1 次モードの減衰定数 , $\eta (= \omega_p/\omega_0)$: 振動数比

$R_1 (= \sum_{i=1}^n m_i \ddot{x}_{max} / Q_{y1})$: 入力強度比

ここに、 k_{1i} : 層の塑性剛性 , x_{yi} : i 層の降伏変位

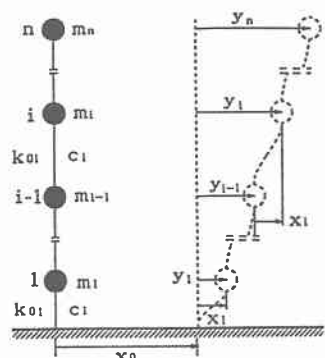


図-1 せん断多質点系履歴モデル

3. モード重合法による等価線形系の層間変位の算定法

調和地動を受ける等価線形系の、質点 i の基礎からの相対変位 y_{ei} は、モード重合法により式(1)のように表される。ここに、 ${}_s u_{ei}$: s 次モードの第 i 固有ベクトル値、 ${}_s A_e$: s 次モードの変位振幅、 ${}_s \theta_e$: s 次モードの位相角である。また、下添字 e は等価線形系の諸量であることを表す。式(1)より、時刻 t における i 層の層間変位 x_{ei} は、式(2) のように得られる。ここに、式(2)中の係数 G_i 及び位相角 ϕ_i は、 ${}_s u_{ei}$ 、 ${}_s A_e$ 及び ${}_s \theta_e$ ($s = 1, \dots, n$) より漸次的に求まる。最大層間変位 $|x_{ei}|_{max}$ は、式(2)より G_i であるので、各層の変位じん性率 μ_{ei} は式(3)のように表される。本研究では、等価線形化法として Dynamic stiffness method¹⁾を用いた。また、各次モードの固有ベクトル等は、固有値解析を行わず、以下の 4. 及び 5. で述べるような推定法により求めた。

$$y_{ei} = \sum_{s=1}^n {}_s u_{ei} {}_s A_e \sin(\omega_p t - {}_s \theta_e) \quad \dots\dots(1)$$

$$x_{ei} = y_{ei} - y_{e,i-1} = G_i \sin(\omega_p t - \psi_i) \quad \dots(2)$$

$$\mu_{ei} = |x_{ei}|_{max} / x_{yi} = G_i / x_{yi} = G_i / (x_{yi} \cdot \xi_i) \quad \dots(3)$$

4. 1 次モードの固有ベクトル推定法

1 次モード振動時の角質点の加速度分布を線形と仮定すると、1 次モードベクトルは式(4)のように得られる。式(4) により、任意の系の 1 次モードベクトルを高精度で近似することができる。これについては、発表会当日 OHP により紹介する予定である。

$${}_s u_i = \sum_{k=1}^n \frac{k \cdot \alpha_k}{\beta_j} \quad \dots(4)$$

5. 高次モードの固有ベクトル推定法

表-1 は、質量比及び剛性比が一定($\alpha_i = \beta_i = 1$, $i = 1, \dots, 5$) の場合の各次モードベクトルの厳密解を示したものである。この表より、1 次モードベクトルと他のモードベクトルとの間には、式(5)、式のような関係があることがわかる。この関係は、質量比及び剛性比が一定であれば質点数に関係なく常に成り立つことを確認した。

① 1次モードと高次モードの2層目の値の関係

$$\left. \begin{aligned} 2u_2 &= 1u_4 - 1u_2 \\ 3u_2 &= 1u_5 - 1u_4 \\ 4u_2 &= 1u_3 - 1u_5 \\ 5u_2 &= 1u_1 - 1u_3 \end{aligned} \right\} \dots(5)$$

② s次モードの3～5層目の値の関係

$$\left. \begin{aligned} su_3 &= su_2^2 - 1.0 \\ su_4 &= su_4^2 - su_3^2 \\ su_5 &= su_3^2 - su_2^2 \end{aligned} \right\} \dots(6)$$

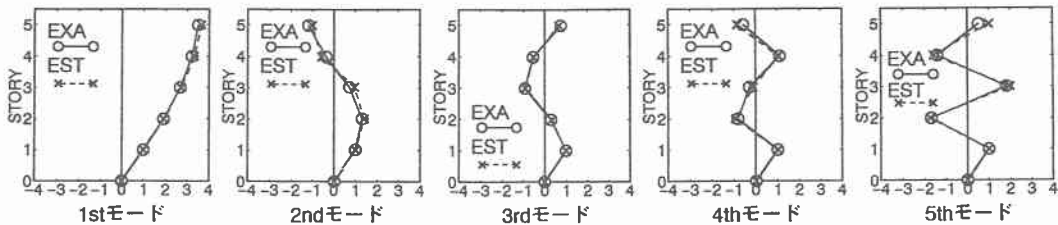
表-1 各次モードの固有ベクトル

	1ST	2ND	3RD	4TH	5TH	TOTAL
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	⑤
2	1.919	1.310	0.285	-0.831	-1.683	①
3	2.683	0.715	-0.919	-0.310	1.831	④
4	3.229	-0.373	-0.546	1.088	-1.398	②
5	3.513	-1.204	0.764	-0.594	0.521	③

$$\alpha_i : 1.0 \quad (i=1, \dots, 5)$$

$$\beta_i : 1.0 \quad (i=1, \dots, 5)$$

図-2は、1次モードベクトルを式(4)で推定し、さらにそれを用いて、式(5)及び式(6)から他のモードベクトルを推定した場合の推定値と厳密解とを比較したものである。両者ともよく一致していることがわかる。

図-2 各次モードにおける固有ベクトル推定精度 ($\alpha_i=1.0, \beta_i=1.0, i=1, \dots, 5$)

6. 層間変位の推定精度に関する検討

本研究では与えられた調和地動に対する多質点履歴系の層間変位の推定値を求めるために、まず、弾塑性系をその層間変位の推定値の初期値に基づいて等価線形系に置換し、ついで、その系にモード重合法を適用して各層の層間変位を求めるといった手順を、すべての層の層間変位が収束するまで繰り返した。図-3及び図-4は弾性系 ($\alpha_i=\beta_i=\gamma_i=\xi_i=1, i=1, \dots, 5$) および弾塑性系(表-2参照)の層間変位の推定値と厳密解とを比較したものである。図-3よりモード調合が正しく行われていることがわかる。また、図-4より弾塑性系における層間変位の推定精度は振動数比 η 等に大きく左右されることがわかる。

表-2 各構造特性パラメータの値

i	1	2	3	4	5
α_i	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
β_i	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
γ_i	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ξ_i	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

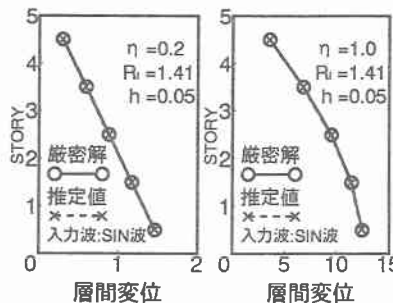


図-3 弾性系の層間変位

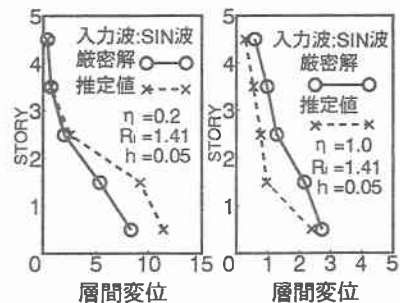


図-4 弾塑性系の層間変位

7. あとがき

本研究では、系の各次モードの固有ベクトル

を経験的に導かれたそれらと1次モードの固有ベクトルとの関係から推定している。今後、これらの関係を理論的に解明するとともに、質量比あるいは剛性比が一定でない場合についても検討する必要があるものと思われる。

参考文献

1) 柴田明徳：最新耐震構造解析，pp120～128，森北出版。