

せん断多質点系の損傷度分布の制御に関する基礎的研究

徳島大学工学部 学生員○由井大二郎 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

1. まえがき

エネルギー論的立場から多質点履歴系の地震時損傷を検討する場合、系全体の総入力エネルギー量等だけでなく各エネルギーの分布性状をも把握することが重要であると考えられる。本研究は、1次モードが卓越する多質点系の各種エネルギー分布の推定方法およびそれを用いた損傷度分布の制御方法について比較検討したものである。

2. 解析モデルと各種特性パラメータ

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Bi-linearモデルを用いた。図中の記号はそれぞれ次のようである。

n : 質点数 (自由度), x_0 : 地動変位, m_i : 質点 i の質量 } ($i=1, \dots, n$)
 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、本研究で用いた構造特性パラメータ等は、次のようである。

$\alpha_i (=m_i/m_1)$: 質量比, $\beta_i (=k_{0i}/k_{01})$: 初期剛性比 } ($i=1, \dots, n$)
 $\gamma_i (=k_{1i}/k_{0i})$: 弾塑性剛性比, $\xi_i (=x_{yi}/x_{yi})$: 降伏変位比
 (k_{1i} : i 層の塑性剛性, x_{yi} : i 層の降伏変位)

h : 系の1次モードの減衰定数

$R_I (= \sum_{i=1}^n m_i \ddot{x}_{0max} / Q_{y1})$: 入力強度比 { Q_{y1} : 1層の降伏復元力
 $\ddot{x}_{0max}$: 最大地動加速度 }

$\eta (= \omega_p / \omega_0)$: 振動数比 { 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 }

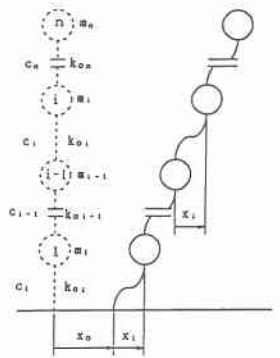


図-1 せん断多質点系履歴モデル

3. 1次モードの推定法

本研究では1次モード(${}_1u_i$)の推定式として式(1)あるいは式(2)を用いた。質量比 α_i ($i=1, \dots, n$)の値がすべての層で同じ場合には、式(1)が、それ以外の場合は式(2)が比較的精度の良い1次モードの推定値を与える。

$${}_1u_i = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_j}{\beta_j} \dots (1), \quad {}_1u_i = \frac{\sum_{j=1}^n k_j}{\beta_j} \dots (2)$$

4. 変位じん性率および各種エネルギー分布の推定法

式(1)あるいは式(2)によって求めた1次モードの推定値を用いて式(3)により変位じん性率 μ_{ELi} ($=x_{imax}/x_{yi}$)を求める。

$$\mu_{ELi} = \frac{{}_1\bar{A}}{\xi_i} ({}_1u_i - {}_1u_{i-1}) \dots (3)$$

式(3)は線形多質点系に対する式であるが、塑性化により非線形となるような系に対しては、Dynamic stiffness method¹⁾により等価な線形系に置換して計算する。ここで、 ${}_1\bar{A}$ は x_{yi} で正規化された調和地動に対する1次モードの定常変位振幅の近似値である。図-2は構造特性パラメータを表-1のように設定した場合の変位じん性率分布(μ_{ELi}/μ_{EL1})の推定値と

表-1 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

$h=0.05$ $R_I=5.6$ 入力波: El Centro

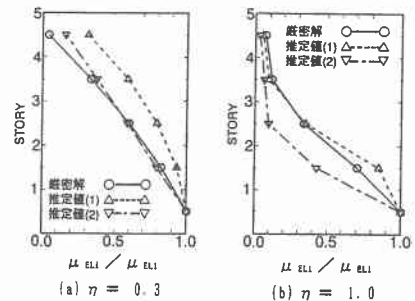


図-2 変位じん性率分布

多自由度系の非線形地震応答解析より求めた厳密解との比較である。図中の推定値(1)は、1次モードの推定値を式(1)により推定した場合、また推定値(2)は式(2)により推定した場合の値をそれぞれ示している。これらの図より α_i がすべての層で同じ値でも η が比較的小さい場合には式(2)を用いた方が μ_{ELi} の精度が良いことがわかる。したがって、この場合の1次モードの推定式の選択に際しては、質量比 α_i だけでなく他のパラメータの影響も考慮する必要があるものと思われる。式(3)より求めた μ_{ELi} を用いて、次式のように履歴吸収エネルギー分布を推定する。

$$W_{Hi}/W_H = \psi_i / \sum_{i=1}^n \psi_i, \quad \psi_i = \beta_i \xi_i (1 - \gamma_i) (\mu_{ELi} - 1) \quad \dots\dots (4)$$

ただし、本推定法は変位じん性率分布ならびに各種エネルギー分布に及ぼす入力地震動特性の影響は比較的小さいという仮定の上に立っている。²⁾

5. 損傷度分布の制御法

本研究では、各層の損傷度を表す指標としてエネルギーじん性率 μ_{Hi} (式(5))に着目し、式(6)のような損傷度分布 f_i を、剛性比分布 β_i を予め適当に設定することにより所定の分布に制御する方法について検討を行った。すなわち、式(1)～(6)を用いて所定の損傷度分布(f_{Di})を達成するような剛性比分布(β_i)を収束計算により試行錯誤的に求めた。式(5)中の Q_{yi} は i 層の降伏復元力である。

$$\mu_{Hi} = \frac{W_{Hi}}{Q_{yi} X_{yi}} \quad \dots\dots (5), \quad f_i = \frac{\mu_{Hi}}{\sum_{i=1}^n \mu_{Hi}} \quad \dots\dots (6)$$

6. 損傷度分布制御法の精度に関する検討

図-4、図-5は、表-2及び表-3に示すような所定の損傷度分布 f_{Di} に対して本制御法により得られた所要剛性比分布 β_i を用いて数値解析により求めた損傷度分布の厳密解 f_i と、所定の損傷度分布 f_{Di} とを比較したものである。各構造特性パラメータの値は各表中に示す通りである。

$s\beta$ は S 次モードの刺激係数で式(7)により求められる。

$$s\beta = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot s u_i)}{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot s u_i^2)} \quad \dots (7)$$

入力地震動は、El Centro 波を用いた。これらの図から本制御により目標値にかなり近い分布が達成されているのがわかる。また、1次モードの刺激係数が大きいほど制御の精度がよいのがわかる。

7. あとがき

損傷度分布の制御法の精度は、エネルギー分布の推定精度によって左右される。本研究では、強震下における構造物のエネルギー分布は入力地震動特性の影響をあまり受けず、振動は1次モードが卓越するという仮定のもとに導かれたエネルギー分布の推定式を用いている。今後、本制御法の適用範囲並びに精度の向上策に関する検討が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 柴田 明徳：最新耐震構造解析，最新建築学シリーズ9，
- 2) 窪田 和裕：強震下における多自由度履歴系のエネルギー分布とその制御に関する研究，修士論文，平成2年2月。

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
γ_i	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ξ_i	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
f_{Di}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
β_i	1.0000	0.8000	0.6001	0.4001	0.2002
f_i	0.1377	0.1565	0.1856	0.2275	0.2967
$s\beta$	0.224	0.200	0.200	0.200	0.200

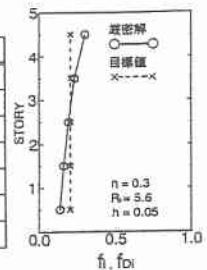


図-3 損傷度分布

表-3 各構造特性パラメータの値

i	1	2	3	4	5
α_i	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
γ_i	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
ξ_i	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
f_{Di}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
β_i	1.0000	0.9411	0.8004	0.5826	0.3010
f_i	0.2638	0.2593	0.2135	0.1621	0.1014
$s\beta$	0.808	-0.278	0.451	-0.022	0.044

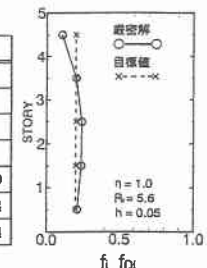


図-4 損傷度分布