

防衛大学校 正員 ○大野友則

筑波大学 正員 西岡 隆

1 まえがき 著者らは、地震時における構造物の応答問題をエネルギー論的な観点からとらえることによって強震下での構造物の耐震安全性を評価する方法についてこれまで研究を行っている。地震動によって構造物に inputs エネルギーを任意に制御することができれば、構造物の塑性時応答が容易に推定でき、かつより合理的な耐震設計法を確立することが可能になると考える。耐震設計における一つの例として、多質点構造物の最下層のみの塑性化を許容して他の層を弾性範囲にとどめるような場合が考えられる。これに関しては、免震構造に関する研究として検討している例がある。これは、構造物の基礎部を剛性の小さな構造にすることによって、構造物に入ってくる地震力を低減させるという方法である。入ってくる地震力が小さければ、当然 inputs エネルギーも小さくなり、これは inputs エネルギーの制御に対する一つの考え方であると言える。本研究は、エネルギー論に基づく耐震設計法の観点から、多質点弾塑性構造物に inputs エネルギーを制御する方法について理論的および数値解析的に検討を行ったものである。

2 エネルギーの配分式および剛性分布式

多質点系の振動形が $u_{i,s}$ (i =層番号で、下から1,2,...とする、 s =振動の次数) で表されるとき、正弦波 inputs の1サイクルに対する各層への inputs エネルギー E_i ($i=1,2,\dots,N$) は式(1) で与えられる。また、構造物全体への inputs エネルギー E は式(2) で与えられる。全 inputs エネルギーのうち、各層に配分される inputs

$$E_i = -\int_0^{2\pi/\omega} m_i \phi y_i dt \quad \text{エネルギーの割合 } E_i/E \text{ は式(1),}$$

$$= \begin{cases} m_1 \omega^2 \phi_0^2 \pi (u_{1,1} D_1 \sin \xi_1 + u_{1,2} D_2 \sin \xi_2) & : i=1 \\ m_1 \omega^2 \phi_0^2 \pi \{ (u_{i,1} - u_{i-1,1}) D_1 \sin \xi_1 + \dots & (1) \\ \dots + (u_{i,N} - u_{i-1,N}) D_N \sin \xi_N \} & : i \geq 2 \end{cases} \quad \text{式(3) で表される。本研究で検討している6質点系程度の応答では、1次振動の影響が支配的である。そこで、各層への inputs エネルギー } E_i \text{ を与える式(1)}$$

$$E = \sum_{i=1}^N E_i \quad \text{において1次より高次の影響を無視して再び定式化}$$

$$= \omega^2 \phi_0^2 \pi \left[m_1 \sum_{s=1}^N u_{1,s} D_s \sin \xi_s \right. \quad (2) \quad \text{すれば、式(4) に示す簡単な式が得られる。したがって、各層へのエネルギー配分式は式(5)のようになる。すなわち、各層へのエネルギー配分は各層の質量と1次の振動形によって定められることになる。一方、振動解析で用いられる標準的な固有値問題の形式は次のように与えられる。}$$

$$\left. + \sum_{i=2}^N m_i \sum_{s=1}^N (u_{i,s} - u_{i-1,s}) D_s \sin \xi_s \right]$$

$$E_i/E = E_i / \sum_{i=1}^N E_i \quad (3) \quad [K] \{u\} = n_1^2 [M] \{u\} \quad \text{つまり、構造物の1次固有}$$

$$\quad \text{振動数 } n_1 \text{ (または、1次固有周期 } T_F = 2\pi/n_1 \text{) と質量 } [M] \text{ が与えられれば、任意の振動形 } \{u\} \text{ が現われるように剛性 } [K] \text{ を定める}$$

$$E_i = \begin{cases} m_1 \omega^2 \phi_0^2 \pi u_{1,1} D_1 \sin \xi_1 & : i=1 \\ m_i \omega^2 \phi_0^2 \pi (u_{i,1} - u_{i-1,1}) D_1 \sin \xi_1 & : i \geq 2 \end{cases} \quad (4) \quad \text{ことができる。振動形 } \{u\} \text{ が与えられれば、各層の剛性分布 } k_i \text{ が式(6) のように定められる。多質点系の各層の大きさ、言い換え}$$

$$E_1/E = m_1 u_1 / \{m_1 u_1 + m_2 (u_2 - u_1) + \dots + m_N (u_N - u_{N-1})\}$$

$$E_i/E = m_i (u_i - u_{i-1}) / \{m_1 u_1 + m_2 (u_2 - u_1) + \dots + m_N (u_N - u_{N-1})\} \quad (5)$$

れば、系の剛性分布を定めることが多質点系の耐震設計における基

$$k_1 = \omega^2 \sum_{i=1}^N m_i u_i / u_1$$

$$k_i = \omega^2 \sum_{i=1}^N m_i u_i / (u_i - u_{i-1}) \quad (6)$$

$$k_N = \omega^2 m_N u_N / (u_N - u_{N-1})$$

礎的段階であるとする。このとき、安全性と経済性の両方を満足するように剛性分布が定められれば合理的な設計といえる。各層の剛性分布が、各層に入力するエネルギーの配分率を設定することによって求められることから、合理的な設計とは合理的な入力エネルギーの配分を計画することであるとも言える。

3 数値検討 これまで述べたことは、弾性系を対象としている。前節2の方法で設定された弾性時の構造特性を有する多質点系

が、弾塑性応答時にどのような挙動を示すかという問題および剛性分布率とエネルギー配分率との関係が、弾塑性応答時にも満足されるかという問題を数値解析によって検討する。用いる構造系は、各層の質量がすべて等しい ($m_i = 50t; i=1, 2, \dots, 6$) 6質点系で、弾性時の1次固有周期が等しく $T_1 = 0.8$ 秒になるように各層の剛性を定めた。各CASEの各層の剛性の値を表-1に示す。CASE A, B, Cは、それぞれ(a) 剛性分布率が一定、(b) エネルギー配分率が一定、(c) 剛性分布率とエネルギー配分率が等しい場合である。入力は、

表-1

CASE	A	B	C
STIFFNESS OF EACH STORY k_i			
1	5415	6610	5964
2	5415	6292	5802
3	5415	5665	5475
4	5415	4723	4957
5	5415	3462	4192
6	5415	1890	3044
$\sum k_i$	32490	28642	29434

[Unit: (t/m)=98 (N/cm)]

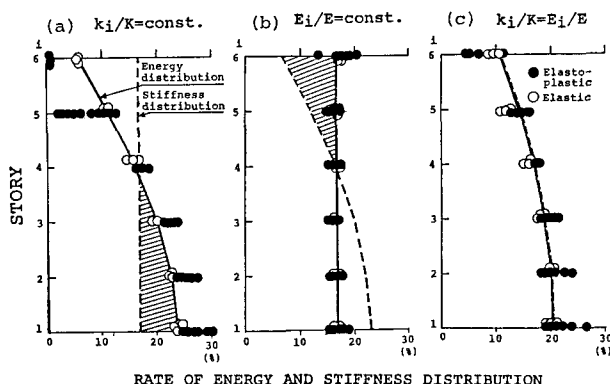


図-1

剛性比 η がすべて等しければ、塑性時の剛性は弾性時剛性に η を乗じた値となる。¹⁾ この塑性時剛性を有する多質点系の振動形は、弾性時のそれと変わらないからである。言い換えれば、各層の剛性が構造上の連続性を損なわないように適切に分布された系の場合には、全層が降伏し系の塑性時応答が弾性時の場合と同じように取り扱うことができることになる。

弾塑性応答の結果は、設定したエネルギー配分率に対して多少のばらつきがみられるが、ほぼ設定値に近い結果を示していることが認められる。弾性系に対して展開してきた理論式を用いて行った弾塑性時の応答結果が、弾性系に対する結果と良く一致する理由として以下のことが考えられる。すなわち、与えられた構造系の塑性時の挙動は全層が降伏することによって、あたかも線形構造系に置換されたものとみなすことができる。各層の復元力特性における弾塑性

1) 武島・大野・西岡：不規則入力波に対する弾塑性構造物の線形的応答評価、土木論文集第344号、昭59.4.