

免震・制震構造物における地震入力エネルギーの分担率

京都大学工学部 正会員 家村 浩和  
 京都大学大学院 学生員 ○岩崎 好寿

1. はじめに 近年、地震時の構造物の動的応答を低減する方法として、免震および制震構造に関する研究がさかんに行なわれつつある。また、構造物の耐震性を評価する手法として、地震時に構造物に入力されるエネルギー量に注目した研究も提案されている。本研究は、多自由度履歴構造物における免震および制震機構の効果を、地震入力エネルギーの観点から評価することを目的とした。

2. 免震および制震構造物における地震入力エネルギーの分担率

多自由度履歴構造物として Fig.1に示すせん断型多層ラーメンモデルを考える。これに対応する運動方程式を地震継続時間で積分すると次式が得られる。

$$\sum (\frac{1}{2} m_i \dot{x}_i^2) + \sum \int_0^t C_i \dot{y}_i^2 dt + \sum \int_0^t F_i \dot{y}_i dt = \sum \int_0^t (-m_i \ddot{x}_i \dot{z}) dt \quad (1)$$

これを(2)式のように表すと、 $W_{ki}$ は第*i*層の運動エネルギー、

$$\sum W_{ki} + \sum W_{ci} + \sum W_{ei} + \sum W_{hi} = \sum E_i \quad (2)$$

$W_{ci}$ は第*i*層の粘性吸収エネルギー、 $W_{ei}$ は第*i*層のせん断柱の弾性歪エネルギー、 $W_{hi}$ は第*i*層のせん断柱に蓄積される塑性歪エネルギー、 $E_i$ は第*i*質点へ入力される総入力エネルギーとなる。

次に Table 1 に示す3つのモデルについて入力エネルギーを求める。モデル1は非免震構造物のモデル、モデル2は Base Isolation を用いたモデル、モデル3は Tuned Mass Damperを用いたモデルである。なお入力地震波は El Centro, NS記録(1940)を用い、復元力特性として Fig.2に示すような Bi-linear型モデルを用いた。まずモデル1において各層の降伏変位  $x_y$  を 1.0 cm、弾塑性傾斜率  $P_n$  を 0.75 とした時の入力エネルギーの分担率を Fig.3に

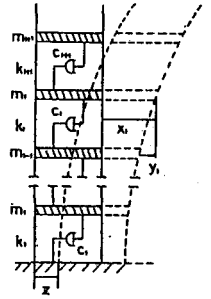


Fig.1 Multi DOF System

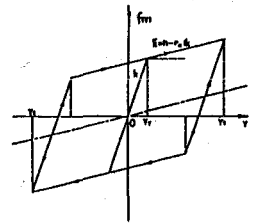


Fig.2 Bi-linear Model

Table 1 Mass and Stiffness of Each Model

No	B	1	2	3	4	5	6
Model 1	k (ton/cm)	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
	m (ton)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Model 2	k (ton/cm)	100.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
	m (ton)	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Model 3	k (ton/cm)	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	10.0
	m (ton)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	2.0

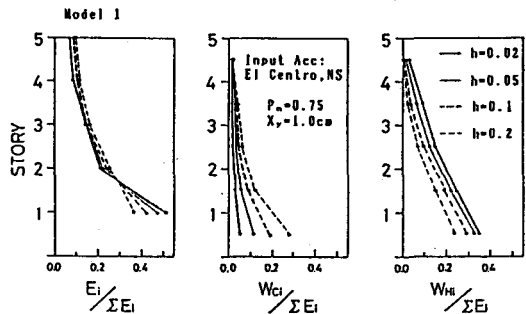


Fig.3 Distribution of Input Energy

示した。この図より、 $E_i / \Sigma E_i$ 、 $W_{ci} / \Sigma E_i$ 、 $W_{Hi} / \Sigma E_i$  はいずれも下部ほど大きな値を示していることがわかる。また減衰定数  $h$  の増加に伴って、 $W_{Hi} / \Sigma E_i$  が小さくなり、 $W_{ci} / \Sigma E_i$  が大きくなっていることがわかる。次にモデル2における入力エネルギー分担率を Fig.4に示す。なお各層の  $x_y$  は 1.0 cm、 $P_n$  は 0.75、 $h$  は支承部分のみ

0.1、他の層はすべて 0.02 とした。この図により入力エネルギーは、そのほとんどが支承部の  $W_{ci}$  と  $W_{Hi}$  で分担されていることがわかる。次に、モデル3における入力エネルギー分担率を Fig.5に示す。なお各層の  $h$  は 0.02、 $P_n$  は 0.75、 $x_y$  は 6層のみ 10.0cm、他は 2.0cm とした。この図より第6層での  $W_{Hi} / \Sigma E_i$  が大きくなり、下部層の  $W_{Hi} / \Sigma E_i$  が減少していることがわかる。

**3. 入力エネルギー量の評価** ここでは構造物に入力される総エネルギー量について検討する。免震および制震機構の効果を見るために、総入力エネルギー  $\Sigma E_i$  から免震および制震機構での  $W_c$ 、 $W_H$  を引いた値（以下TEと呼ぶ）、また免震および制震機構以外の層に蓄積される塑性歪エネルギー量（以下  $TW_H$  と呼ぶ）を求めた。これを Table 2 に示す。これよりモデル1では減衰定数を大きくした方がTEは大きくなり、 $TW_H$  は小さくなることがわかる。またモデル2では免震機構の降伏変位を小さくした方が、また弾塑性傾斜率を大きくした方がTE、 $TW_H$  は小さくなることがわかる。モデル3では、付加振動系の降伏変位を大きくして弾性振動させた方がTE、 $TW_H$  は小さくなる。次にモデル1、モデル2、モデル3を比較すると、モデル2の場合は他のモデルと比べてTE、 $TW_H$  が極めて小さな値となっている。これらより Base Isolation を用いた場合の効果 が最も大きいことがわかる。

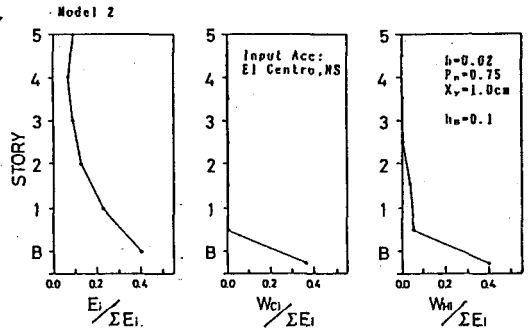


Fig.4 Distribution of Input Energy

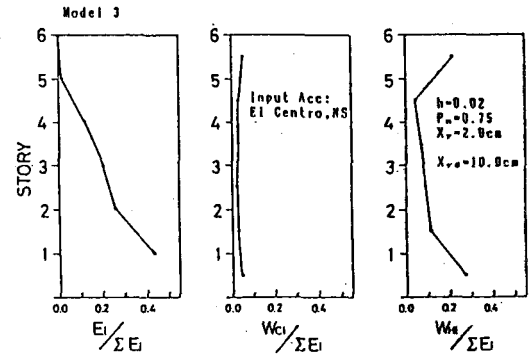


Fig.5 Distribution of Input Energy

Table 2 Total Energy

Model 1

h	$x_y$ (cm)	$P_n$	TE (ton-cm)	$TW_H$ (ton-cm)
0.02	1.0	0.75	36,161.3	31,895.2
0.05	1.0	0.75	36,604.1	26,943.0
0.10	1.0	0.75	38,669.3	24,309.5
0.2	1.0	0.75	43,634.1	20,406.7

Model 2

$h_n$	$x_{yn}$ (cm)	$P_{nn}$	TE (ton-cm)	$TW_H$ (ton-cm)
0.1	1.0	0.75	5,429.6	2,807.2
0.02	1.0	0.75	6,055.7	2,696.0
0.1	0.5	0.75	4,310.8	1,637.5
0.1	2.0	0.75	8,891.1	6,632.5
0.1	1.0	0.60	10,784.0	7,806.7
0.1	1.0	0.85	7,024.2	1,068.6

Model 3

$h_n$	$x_{yn}$ (cm)	$P_{nn}$	TE (ton-cm)	$TW_H$ (ton-cm)
0.02	10.0	0.75	33,727.7	26,032.7
0.1	10.0	0.75	33,046.0	25,817.6
0.1	$\infty$	-	32,916.0	25,369.3
0.1	6.0	0.75	36,667.8	29,357.0