

京都大学大学院 学生員 岩崎 好寿
京都大学工学部 正会員 家村 浩和

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、免震および制震機構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とその分担率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式を地震継続時間で積分すると次式が得られる。

$$\sum_i \left(\frac{1}{2} m_i \dot{x}_i^2 \right) + \sum_i \int_0^{t_0} C_i \dot{y}_i^2 dt + \sum_i \int_0^{t_0} F_i \dot{y}_i dt$$

$$= \sum_i \int_0^{t_0} (-m_i \dot{x}_i \ddot{z}) dt \quad (1)$$

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

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

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

通常の構造物を想定したもので、質量、剛度とも等分布とした。モデル2では、地下基礎部が剛度の低い支承部により支持されている免震構造を想定した。モデル3は、屋上部に質量と剛度の低い 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に示した。この図より、 $E_i / \sum E_i$ 、 $W_{ci} / \sum E_i$ 、 $W_{hi} / \sum E_i$ 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。すなわち等質量、等剛性の多層せん断モデルでは、下層ほど大きな地震入力エネルギーを分担する必要がある。また減衰定数 h の増加に伴って、 $W_{hi} / \sum E_i$ が小さくなり、 $W_{ci} / \sum E_i$ が大きくなっていることがわかる。次

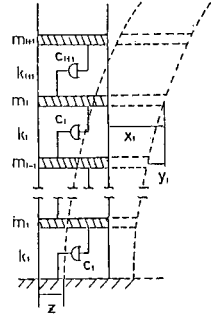


Fig.1 Multi DOF System

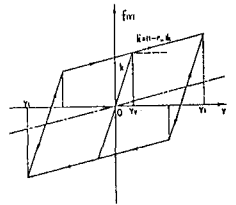


Fig.2 Bi-linear Model

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	
	m (ton)		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

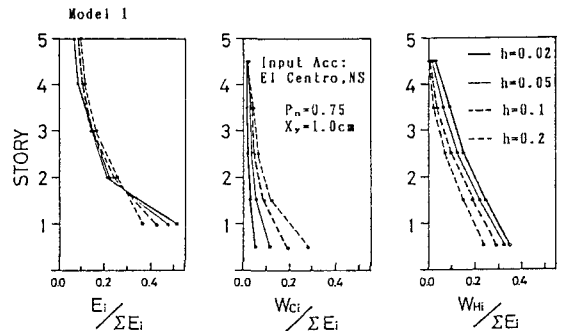


Fig.3 Distribution of Input Energy

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。各層の x_v は1.0cm、 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} で吸収されていることがわかる。すなわち支承部より上部の各層は、ほとんど相対変位を発生せず、剛体的な振動をしているものと考えられる。Fig.5に応答解析により得られたヒステリシスループを示す。次にモデル3における入力エネルギーの分担率を Fig.6に示す。なお各層の h は0.02、 P_n は0.75、 x_v は6層のみ10.0cm、他は2.0cmとした。この図より第6質点(Tuned Mass)に入力される地震エネルギーはほとんどゼロであること、すなわち第5質点と逆位相の振動をしていることがわかる。この結果第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。またヒステリシスループを Fig.7に示す。

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 ΣE_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、Tuned Mass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。これらより免震機構を用いた場合の効果が最も大きいことがわかる。

Table 2 Total Energy

Model 1

h	x_v (cm)	P_n	TE (ton-cm)	TW_H (ton-cm)
0.02	1.0	0.75	36,161.3	31,095.2
0.05	1.0	0.75	36,604.1	26,943.0
0.10	1.0	0.75	39,669.3	24,309.5
0.2	1.0	0.75	43,634.1	20,406.7

Model 2

h_n	x_{vn} (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	6,065.7	2,696.0
0.1	0.5	0.75	4,310.8	1,637.5
0.1	2.0	0.75	6,891.1	6,632.5
0.1	1.0	0.60	10,784.0	7,606.7
0.1	1.0	0.85	3,024.2	1,068.6

Model 3

h_n	x_{vn} (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	∞	—	32,916.0	25,369.3
0.1	6.0	0.75	35,667.8	29,357.0

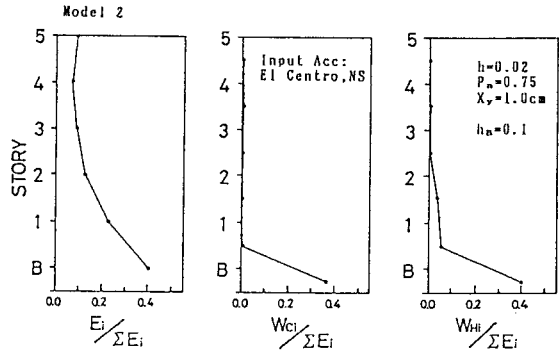


Fig. 4 Distribution of Input Energy

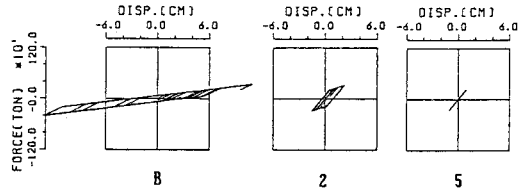


Fig. 5 Hysteretic Loop

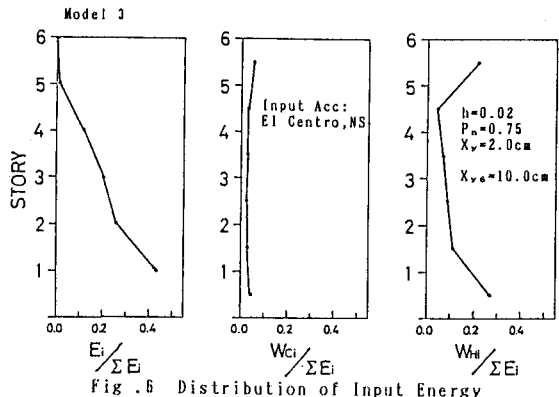


Fig. 6 Distribution of Input Energy

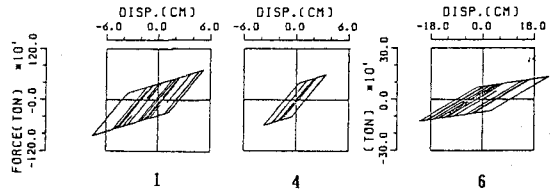


Fig. 7 Hysteretic Loop