

多自由度履歴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 正員 家村浩和

阪神高速道路公団 正員○茅野茂

1. はじめに 近年、構造物の耐震性を評価する手法として、強震下における構造物への入力エネルギー量に注目した研究が実施され始めている。地震の持つエネルギーを構造物に入力されるエネルギー量として継続時間の影響を含めて評価する事から、従来の動的耐震設計法よりも合理的手法であると言える。本研究では、地震入力エネルギー量を実際の耐震設計に位置づけるべく、その特性を簡単な多自由度履歴構造物を用いて評価するものである。

2. 多自由度履歴構造物におけるエネルギー釣合式 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の左側から $\dot{x}_i = \{ \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_n \}$ をかけ、地震継続時間(0~ t_0)で積分すると次式が得られる。

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

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

今、 $W_{K_i} = 1/2 m_i \dot{x}_i^2$ ($t = t_0$)；第*i*質点の時刻 t_0 での運動エネルギー、 $W_{C_i} = \int_0^{t_0} C_i \cdot \dot{y}_i^2 dt$ ；第*i*層における粘性吸収エネルギー、 $W_{E_i} = 1/2 k_i \cdot x_i^2$ ($t = t_0$)；第*i*層のせん断柱の時刻 t_0 での弾性ひずみエネルギー、 W_{H_i} ；第*i*層のせん断柱に蓄積される塑性ひずみエネルギー、 $E_i =$ (右辺)；時刻 t_0 までに第*i*質点へ入力される総入力エネルギーとすると(1)式は次式のようになる。

$$\sum_i W_{K_i} + \sum_i W_{C_i} + \sum_i W_{E_i} + \sum_i W_{H_i} = \sum_i E_i \quad (2)$$

ところで、地震応答終了時には運

動エネルギーや、弾性ひずみエネルギーは0になるため結局(2)式は次式のようになる。

$$\sum_i W_{C_i} + \sum_i W_{H_i} = \sum_i E_i \quad (3)$$

次に、(3)式の左辺の各項を $\sum_i E_i$ で除すると、各項はそれぞれの層でのエネルギーの分担率を表わすことになる。例として、5層の構造物を用い、Table 1に示す2通りのモデルについて考察していく。まず、Model 2について、入力地震波としてEl Centro, NS(19-40.5.18, Imperial Valley E.Q.)を選び、また各層の復元力特性としてFig. 2に示すようなBi-linear型モデルを用い、各層の降伏変位 Y_y を1.0cm、弾塑性傾斜率 P_n を0.75とした

H i r o k a z u I E M U R A , S h i g e r u K A Y A N O

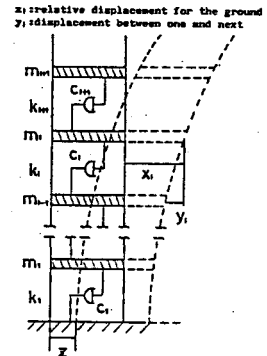


Fig. 1 Multi DOF System

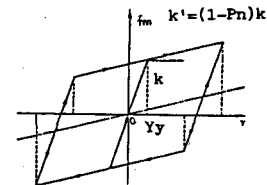


Fig. 2 Bi-linear Model

Table 1 Mass and Stiffness of Each Model

	No.	1	2	3	4	5
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)	399.0	328.0	235.0	146.5	107.5
	m (ton)	4.61	5.24	4.85	4.96	1.68

時のそれぞれのエネルギー分担率を 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より大きな値を示していることが分かる。これは Model 2 では下層ほどせん断力が大きくなるため層間応答が増大し、塑性領域に及ぶ振幅や頻度も増し、その結果エネルギー吸収量が大きくなる結果であると説明できる。

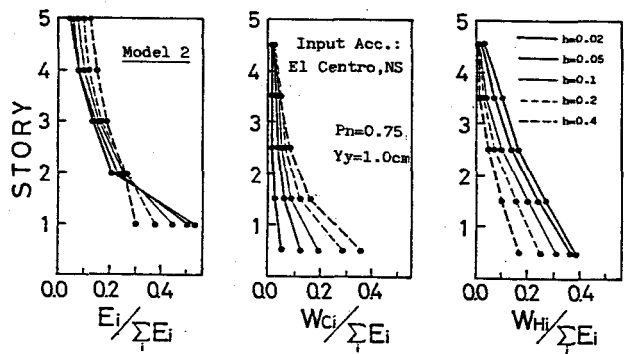


Fig. 3 Distribution of Input Energy

3. 塑性ひずみエネルギーの定量的評価

構造物の損傷といったものに注目すると、塑性ひずみエネルギーの分担率が重要となる。よって、以下構造物全体での塑性ひずみエネルギー比 $\sum W_{hi} / \sum E_i$ について解析してい

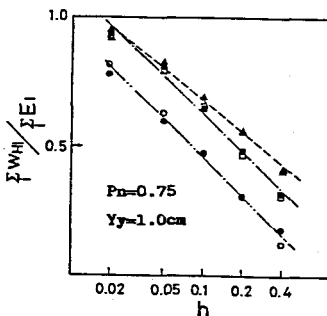


Fig. 4

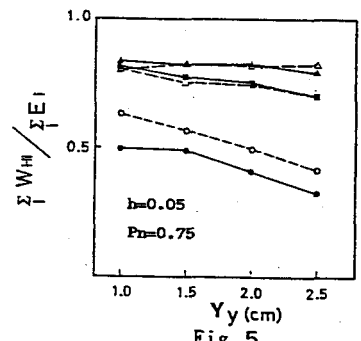


Fig. 5

く。そして、これらの値に影響を及ぼす構造特性パラメータとして減衰定数 h 、弾塑性傾斜率 P_n 、降伏 Y_y を選ぶものとする。また、地震波の影響も同時に検討するため TaftN21E (1952.7.21, Kern County E.Q.), 八戸 NS (1968.5.16, 十勝沖地震) についても調べていく。

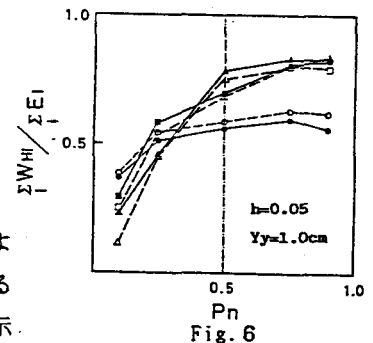
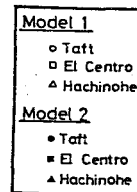


Fig. 6

まず、Fig. 4 には減衰定数 h による影響を示した。これより $\sum W_{hi} / \sum E_i$ と減衰定数 h の対数には線形関係があることが分かる。次に降伏変位 Y_y による影響を Fig. 5 に示す。これより、El Centro NS, 八戸 NS については降伏変位 Y_y が 1.0 cm ~ 2.5 cm の範囲ではその影響を程んど受ないことが分かる。しかも、Model 1 と 2 では顕著な差が認められないことは注目すべきである。一方、弾塑性傾斜率 P_n による影響を Fig. 6 に示す。これより、どの入力地震波に対しても $P_n \geq 0.5$ では $\sum W_{hi} / \sum E_i$ は一定となっている。これらの計算結果より、地震入力エネルギーの一定の割合を (70~80%) を吸収しても、構造部材の破壊が起こらないことを目標とした、新しい耐震設計法の開発が可能となる。