

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、強震時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。地震動の強度を構造物に輸入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、分担率などの特性を比較的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 $\dot{x}_i = \{\dot{x}, \dot{x}, \dots, \dot{x}\}$ をかけ、地震継続時間(0~t)で積分すると次のエネルギー釣合式が得られる。

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

今、 $W_{K_i} = 1/2 m_i \dot{x}_i^2$ (t=t); 第i質点の時刻tでの運動エネルギー、 $W_{C_i} = \int_0^t C_i \dot{y}_i^2 dt$; 第i層における粘性吸収エネルギー、 $W_{E_i} = 1/2 k_i y_i^2$ (t=t); 第i層のせん断柱の時刻t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。

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

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)

(2)式は次式ようになる。

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

次に、(3)式の左辺の各項を $\sum E_i$ 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。質量と剛度とが均一であるModel 1と、現実の構造物に比較的近いModel 2とを採用した。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、 $E_i / \sum E_i$, $W_{C_i} / \sum E_i$, $W_{H_i} / \sum E_i$ 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。

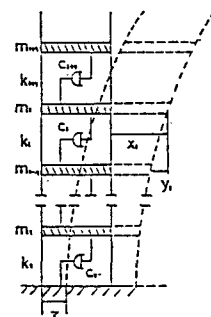


Fig. 1
多層せん断モデル

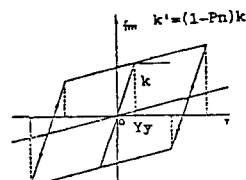


Fig. 2
Bilinear履歴モデル

Table 1 多層せん断モデルにおける質量と剛度の分布

No.	1	2	3	4	5
Model 1	k (ton/cm)	250.0	250.0	250.0	250.0
	m (ton)	4.0	4.0	4.0	4.0
Model 2	k (ton/cm)	399.0	328.0	235.0	146.5
	m (ton)	4.61	5.24	4.85	4.96
					1.68

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 $\Sigma W_{Hi} / \Sigma E_i$ について解析していく。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 (1988.5.18, 十勝沖地震) についても調べていく。

まず、Fig. 4 には減衰定数 h による影響を示した。これより $\Sigma W_{Hi} / \Sigma E_i$ 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 CentroNS, 八戸NS については降伏変位 Y_y が 1.0cm ~ 2.5cm 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 $\Sigma W_{Hi} / \Sigma E_i$ がほぼ一定となっている。こうした結果から、エネルギーに基づいた新しい耐震設計法として、次のような手法が考えられる。まず、強震動によって構造物に入力されるエネルギーを、エネルギースペクトルの形で評価し、その何割かを塑性ひずみエネルギーで吸収するものとする。この時、構造部材間での分担率に注目するとともに、各部材に必要なとされるエネルギー吸収能を確保するものとする。

多自由度構造物の剛度や質量の分布を考えることによって、エネルギーの分担率を積極的にコントロールすることも可能となるが、この結果については講演当日発表の予定である。

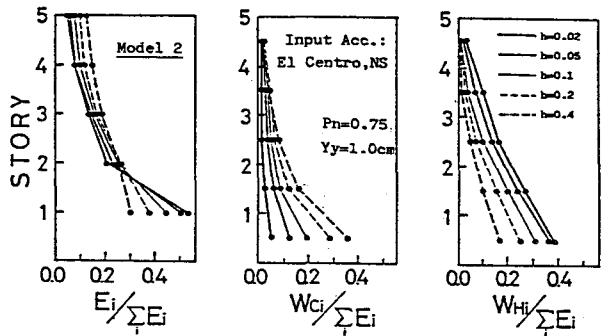


Fig. 3 地震入力エネルギーの分担率

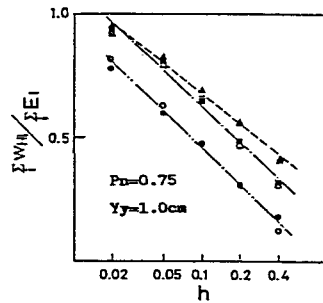


Fig. 4 履歴吸収エネルギーに対する減衰定数の影響

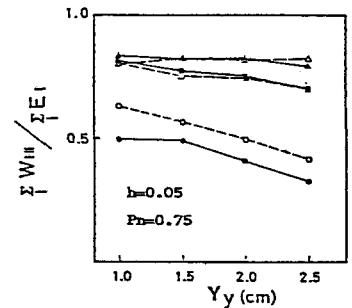


Fig. 5 履歴吸収エネルギーに対する降伏変位の影響

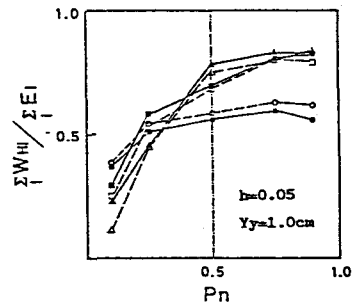
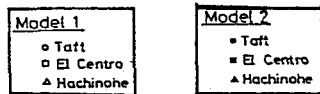


Fig. 6 履歴吸収エネルギーに対する弾塑性傾斜率の影響