

多自由度系における履歴吸収エネルギーの定量的評価に関する基礎的研究

徳島大学工学部 学生員 ○窪田 和裕
 徳島大学工学部 正 員 成行 義文
 徳島大学工学部 正 員 平尾 潔

1. まえがき

強震下における多自由度系の損傷度をエネルギー論に基づいて評価する場合、各層に累積される履歴吸収エネルギー量とその層の許容吸収エネルギー量とを対比することにより、各層ごとに検討する必要があるものと思われる。本研究では、多自由度系における各層の履歴吸収エネルギーを定量的に評価するための基礎的研究として、系全体の総履歴吸収エネルギー量、総入力エネルギー量、それらの比、および、それらのエネルギー分布等に及ぼす構造特性ならびに入力地震動特性の影響を調べるために、全層同一のbilinear型復元力特性を有するせん断型5自由度系を対象とし、各特性パラメータを組織的に変化させた広範な応答解析を行なった。なお、入力波としては3種類の実地震動記録を用いた。それらの結果をもとに、各特性と、総エネルギー量ならびにエネルギー分布との関係について検討し、若干の考察を加えた。

2. エネルギー算定式と各種特性パラメータ

強震下における n 自由度系の質点 i の基礎からの変位を x_i 、 i 層における層間変位を $\bar{x}_i$ 、また、 i 層の減衰係数、せん断力をそれぞれ、 C_i 、 Q_i 、質点 i の質量を m_i 、地動加速度を $\ddot{x}_0$ とすると、地震応答継続時間 T_r の間に累積される各層の減衰エネルギー W_{D_i} 、履歴吸収エネルギー W_{H_i} 、及び各質点からの入力エネルギー E_i は、それぞれ、周知の様に次式で表わされる。

$$W_{D_i} = \int_0^{T_r} C_i \dot{\bar{x}}_i^2 dt, \quad W_{H_i} = \int_0^{T_r} Q_i \bar{x}_i d\bar{x}_i, \quad E_i = \int_0^{T_r} (-m_i \ddot{x}_0 \bar{x}_i) dt$$

また、各層に分配される入力エネルギー W_{I_i} は、 $W_{I_i} = W_{D_i} + W_{H_i}$ である。従って、系全体の各総エネルギーは、それぞれ、 $W_D = \sum_{i=1}^n W_{D_i}$ 、 $W_H = \sum_{i=1}^n W_{H_i}$ 、 $E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n W_{I_i}$ と表わされる。ここでは、以上のようなエネルギー量を1層の降伏せん断力 Q_{y1} と降伏層間変位 $\bar{x}_{y1}$ の積 $Q_{y1} \bar{x}_{y1}$ ですべて正規化して示している。また、本研究では、次のような構造特性ならびに入力地震動特性パラメータを設定し、それらを、組織的に変化させることにより、広範な弾塑性応答解析を行なった。すなわち、質量比 $\alpha_i = m_i / m_1$ 、初期剛性比 $\beta_i = k_{0i} / k_{01}$ 、降伏変位比 $\xi_i = \bar{x}_{y1} / \bar{x}_{yi}$ 、弾塑性剛性比 γ_i 、円振動数比 $p = \omega_i / \omega_{01}$ 、減衰定数 h 、及び入力強度比 $a = (\sum_{i=1}^n m_i) \ddot{x}_{0p} / Q_{y1}$ である。ここで、 ω_{01} は、入力波の卓越円振動数、 ω_{01} は、系の弾性時の1次固有円振動数、 $\ddot{x}_{0p}$ は、入力波の平均パワーの平方根である。

3. 総エネルギー量 W_H 、 E 、および W_H/E に関する解析結果と考察

本研究では、入力波として、(1) EL CENTRO S00E、(2) FERNDAL N44E、(3) 八戸 S-252 の3種類の実地震動記録を用いたが、紙面の都合上、EL CENTRO 記録に対する解析結果のみを示す。図-1(a)及び(b)は、 $\alpha_i = \beta_i = \xi_i = 1.0$ 、 $\gamma_i = 0.1$ ($i=1, 2, \dots, 5$)、 $a=1$ の場合の系全体の総入力エネルギースペクトル及び、総履歴吸収エネルギースペクトルを示したものである。ただし、各エネルギーは、同一図内の最大値 E_{max} 、あるいは、 W_{Hmax} で正規化している。両者には、類似の傾向が見られ、ここで取り扱った p の範囲では、 E 、 W_H ともに単調減少している。また、 h が大きい程、エネルギー量は小さくなっており、その度合いは、履歴吸収エネルギースペクトルの方が顕著である。

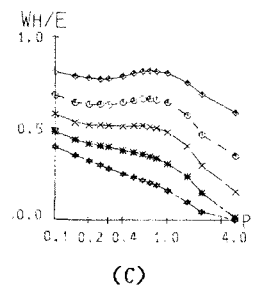
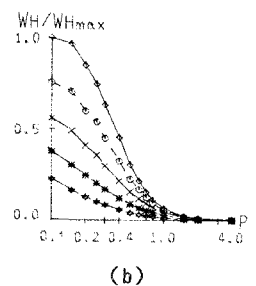
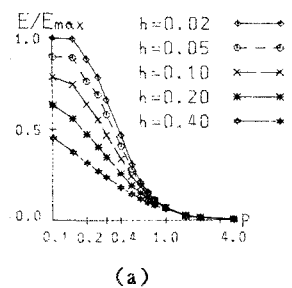


図-1

これらの図より、 E 、 W_H は、 h 、 p に対する依存度が高いことがわかる。図-1(c)は、同様に両エネルギーの比のスペクトルを示したものである。全体として比較的なめらかな曲線となり、 p に対する依存度が、比をとることによりかなり減少しているのがわかる。図-2は、 $p=0.3$ の場合の $W_H/E-\log h$ 関係を示したものであるが、右下がりの直線となり、 a にあまり左右されないことがわかる。1層における同様な関係、 $W_{H1}/W_{11}-\log h$ 関係もこれとほとんど同様である。図-3は、 $p=0.3$ の場合の $W_H/E-\log a$ 関係を示したものであるが、どの h に対しても、ほぼ直線的であり、 a が大きい場合には、 h の相異による差は小さくなる傾向がみられる。

これらのことは、他の実地震動記録を用いた場合にもみられる傾向である。

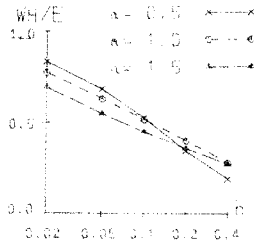


図-2

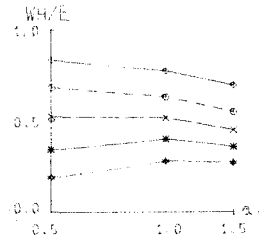


図-3

4. エネルギー分布に関する解析結果と考察

図-4は、振動数比 $p=0.1$ 、入力強度比 $a=1.0$ の場合の各質点からの入力エネルギーの分布(E_i/E)、各層に分配される入力エネルギーの分布(W_{1i}/E)、及び各層の履歴吸収エネルギーの分布(W_{Hi}/W_H)を示したものである。線種は、図-1と同様に h による差を表わしている。図中、各CASEは、質量分布(α_i)と、初期剛性比分布(β_i)が、次のような場合である。

CASE1: $\alpha_i = \beta_i = 1.0$, CASE2: $\alpha_i = 1.0$, $\beta_i = 1.0 - 0.2(i-1)$

CASE3: $\alpha_i = 1.0 - 0.2(i-1)$, $\beta_i = 1.0$

CASE4: $\alpha_i = \beta_i = 1.0 - 0.2(i-1)$, ($i=1, 2, \dots, 5$)

E_i/E は、 a 、 h 、及び p にほとんど左右されない。また、 W_{1i}/E 、 W_{Hi}/W_H は共に、下層ほど大きく、それらの分布は、類似の形となっている。これらも、大略的には、 a 、 h 、及び p に、左右されないとみなせる。また、 E_i/E は、次式により比較的正確に推定しうることがわかった。

$E_i/E \doteq \alpha_i \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n \left(\sum_{k=j}^n \alpha_k / \beta_j \right) \right\} / \sum_{i=1}^n \left[\alpha_i \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n \left(\sum_{k=j}^n \alpha_k / \beta_j \right) \right\} \right] \right\}$
また、図より、 (β_i/α_i) 分布が等しい CASE1 と CASE4 では W_{1i}/E 、 W_{Hi}/W_H がほぼ等しく、このことよりこれらのエネルギー分布は、 (β_i/α_i) 分布に依存しているものと思われる。 W_{Hi}/E 、 W_{Hi}/W_H について、 (β_i/α_i) 分布が均一な CASE1 を基準にして見た場合、 (β_i/α_i) 分布が、下層ほど大きい CASE2 において、直線的な分布になり、それが、上層ほど大きい CASE3 においては、さらに下層偏重の分布になる傾向がある。

5. むすび

強震下における多自由度系の各層の履歴吸収エネルギー量を定量的に評価するための指針を得るために、総エネルギー量、及びエネルギー分布に及ぼす各特性パラメータの影響について検討を行なった。その結果、履歴吸収エネルギー分布 W_{Hi}/W_H は、 a 、 h 、 p 等にあまり左右されず、 (β_i/α_i) 分布に依存していることがわかった。このことは、 W_{Hi}/W_H 分布の推定式の誘導に好都合であると思われる。

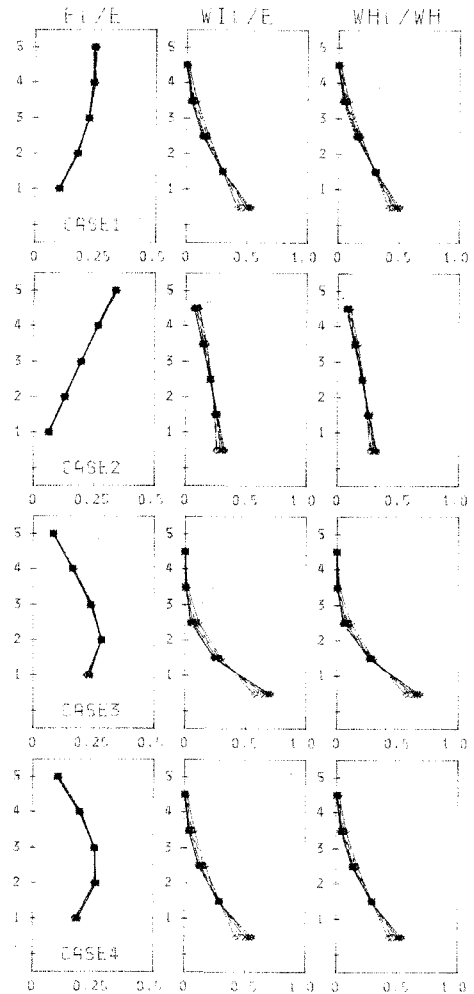


図-4