

1 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 ○大岸 独歩
 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

強震時に構造物に累積される履歴吸収エネルギー量は、最大塑性率等と並んで構造物の損傷に関係の深い量と考えられる。この履歴吸収エネルギー量と構造物の許容吸収エネルギー量との対比により、より合理的な耐震設計が可能と思われる。本研究では、履歴吸収エネルギー量の定量的評価を行なうための基礎的研究として、構造特性ならびに入力地震動特性と履歴吸収エネルギー量との関係を定性的に検討するために、2・3の実地震動記録を用い、bilinear型復元力特性を有する1自由度系を対象として、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。それらの結果をもとに、各特性と履歴吸収エネルギー量、入力エネルギー量およびそれらの比等との関係について検討し、若干の考察を加えた。

2. エネルギー応答の基本式

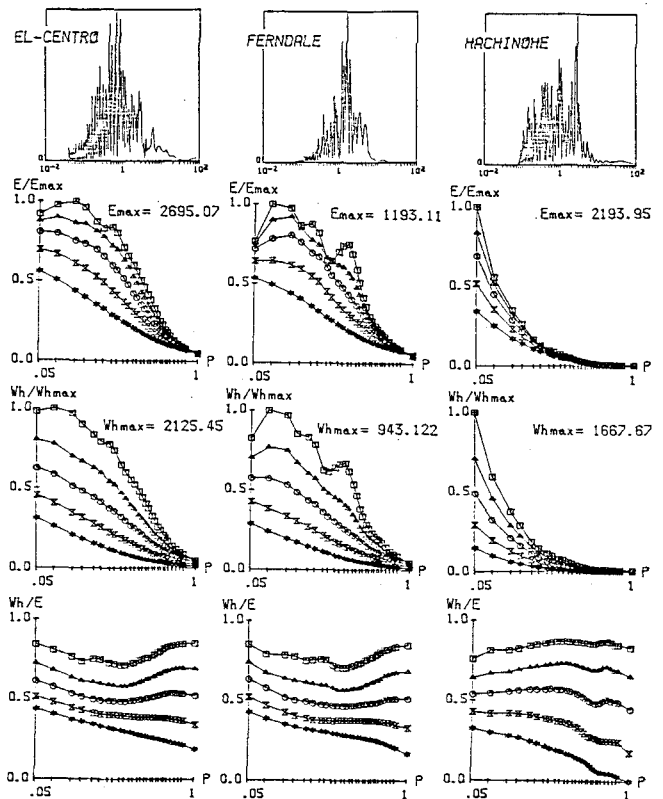
せん断1自由度系に、水平地震動 $x_0(t)$ が時刻 $t=0$ から、時刻 t_0 まで入力された場合のエネルギー応答に関する基本式は、運動方程式に $\dot{x} dt = dx$ を乗じ、時刻 $t=0$ から、時刻 t_0 まで積分することにより、周知のように式(1)で表わされる。

$$m \int_0^{t_0} \ddot{x} \dot{x} dt + c \int_0^{t_0} \dot{x}^2 dt + \int_0^{t_0} Q(x) dx = -m \int_0^{t_0} \ddot{x}_0 \dot{x} dt \quad (1)$$

ここで、 x , $\dot{x}$, $\ddot{x}$ はそれぞれ相対変位、相対速度、相対加速度、また、 m , c , $Q(x)$ はそれぞれ質量、減衰係数、せん断力を表わす。また、式(1)の左辺第1、第2、第3項はそれぞれ運動エネルギー W_k 、減衰エネルギー W_d 、及び履歴吸収エネルギー W_h と弾性ひずみエネルギー W_e の和であり、右辺は地震動による入力エネルギー E である。ただし、ここでは各エネルギー量はすべて降伏せん断力と降伏変位の積 $Q_y x_y$ により正規化して示している。また、本研究では各特性パラメータとして、入力強度比 $a = m \ddot{x}_{0p} / Q_y$ 、固有円振動数 $p = \omega_n / \omega_0$ 、減衰定数 h 、弾塑性剛性比 γ を用いている。ここで、 $\ddot{x}_{0p} = \sqrt{\overline{p^2}}$ ($\overline{p^2}$: 入力波の平均パワー)、 ω_n : 外力の卓越円振動数、 ω_0 : 系の弾性時固有円振動数である。

3. 解析結果と考察

本研究において、解析には、周期 $T_n = 1.0$ の単一正弦波(SIN1)、 $T_n = 1.0$ と 0.5 の単一正弦波(振幅比2:1)の合成波(SIN2)、をそれぞれ継続時間15secとし、また、実地震動記録(EL-CENTRO SOOE, FERNDAL

図-1 ($\gamma=0.1$, $a=1.0$)

N44E, 八戸S-252)を継続時間30secとして使用した。

図-1は、 E, W_H およびそれらの比 W_H/E の各スペクトル特性とそれらに及ぼす実地震動記録の周期特性の影響を調べるために、各実地震動の加速度フーリエスペクトルならびにエネルギースペクトル等を示したものである。ここで、 $\gamma=0.1, a=1.0$, 各線は図-2に図示す h の値に対応している。また、各エネルギーは、同一図内の最大値で正規化して示している。図より、個々の入力波については、 E, W_H に対する p の影響は主旨同様な傾向にあり、比較的 p に対する依存度は高いが、 W_H/E は p の影響をあまりうけず、なだらかな曲線となっている。また、EL-CENTRO記録とFERNDAL記録に対する結果が酷似しているが、八戸記録は少し異なっている。これは、それらの入力波の周期特性がほぼ同型であれば、卓越周期 T_s の違いはあまり関係なく同じような周期特性の波とみなしうるためだと思われる。

図-2は、 E, W_H およびそれらの比 W_H/E に及ぼす弾塑性剛性比 γ の影響を調べるために、横軸に γ を対数目盛りで、また、縦軸に、上段は入力エネルギー E 、中段は履歴吸収エネルギー W_H 、下段は両者の比 W_H/E をとり $p=0.32, 0.5$ の各場合についてプロットしたものである。各線種は図示するような h に対する結果を示している。図より、実地震動入力でも、FERNDAL記録のように周期特性(図1参照)が鋭い場合には、正弦波と同様に $h < 0.1$ のとき、 $\gamma = p^2$ で明確なピーク値を示しているのがわかる。また、 W_H/E に及ぼす γ の影響は小さいといえる。

図-3は、入力強度比 a に対応する弾塑性応答のレベルを検討するため、変位応答の平均パワーの平方根 x_p を縦軸に、また横軸に a をとりプロットしたものである。線種は図に示すように入力波の種類を表わし、また、 $\gamma=0.1, h=0.05$ である。図より、 $x_p - a$ 関係は右上がりの直線で表わされ、上図で示すように p が比較的小さい場合($p=0.07$)は、入力波の違いによるばらつきは比較的小さいが、 p が大きくなるにつれ、下図のように各グループに分かれる傾向にあることがわかる。

図-4は、 E, W_H および W_H/E に及ぼす h の影響を調べるために、横軸に h を対数目盛りでとり、各地震動に対する結果をプロットしたものである。ここで、各線は図-3の場合と同じ各実地震動記録による結果を示しており、 $\gamma=0.1, a=1.0, p=0.07$ である。図より、 $W_H/E - \log h$ 関係は、右下がりの直線とみなすことができ、入力波による差異は小さいことがわかる。

4. むすび

本研究から、 W_H/E は γ に殆ど左右されず、入力波の相違による差異もあまりないこと、また、周期特性の類似な入力波に対する各々のエネルギー量 E, W_H は、それらの卓越円振動数 ω で除すことによりほぼ同値となり、その場合、 W_H/E は殆ど一致すること等がわかった。

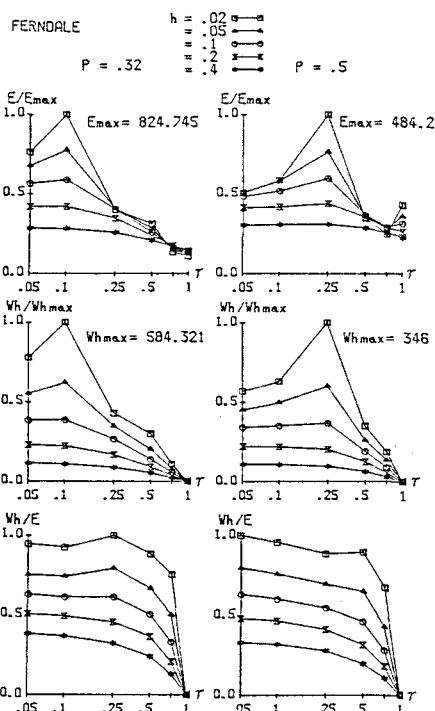


図-2 ($a=1.0$)

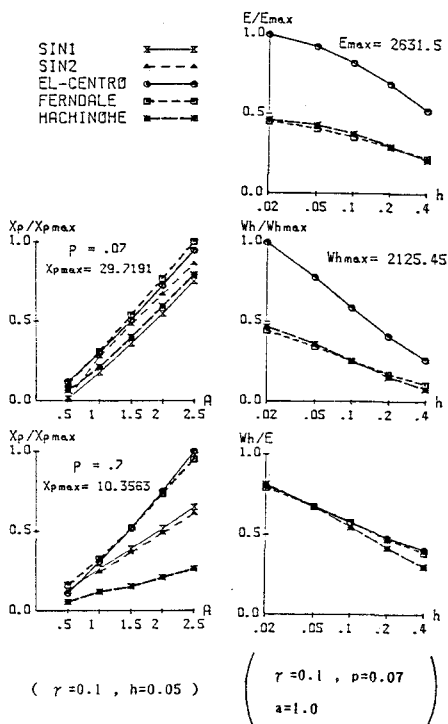


図-3

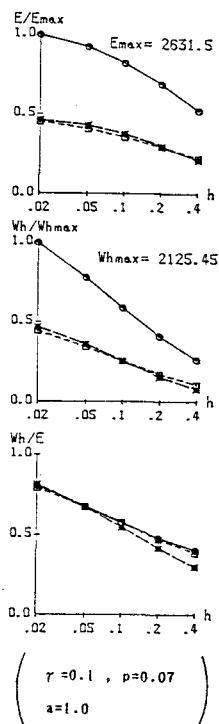


図-4