

エネルギー応答スペクトルの正規化因子について

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 強震下における構造物の瞬間的な損傷の程度は最大塑性率により、また、地震継続時間にわたって累積される損傷の程度は、履歴吸収エネルギーを用いて表すことができる。この履歴吸収エネルギーを、対象とする入力地震動あるいは構造物の各特性値により正規化されたエネルギースペクトルを用いて簡単に推定することができれば、エネルギー論に立脚した耐震設計を行う上で大変便利である。しかし、一般に、構造物の塑性化の程度は、同一の地震動に対しても、構造物の周期によりかなり異なっており、また、地震動強度と構造物の塑性化の程度との関係も明確ではないことより、単に入力地震動の特性値のみにより履歴吸収エネルギーの良好な正規化を行うことは難しいと思われる。従って、本研究では、構造物の塑性化のレベルをより明確に表す塑性率をパラメータとして、履歴吸収エネルギーおよび所要入力強度の各スペクトルを求め、塑性率の相違がそれらに及ぼす影響について比較検討し、それらのスペクトルの適当な正規化因子について若干の考察を試みた。

2. 構造特性パラメータ 本研究で対象としたbi-linear型復元力特性を有するせん断型1自由度系の地震応答を支配する構造特性パラメータは、入力強度比 $a (=m\ddot{x}_{0max}/Q_y)$ 、減衰係数 h 、弾塑性剛性比 γ および円振動数比 $p (= \omega_0/\omega_0)$ の4つである。ここで、 $\ddot{x}_{0max}$ は、入力地震動の最大加速度、 Q_y および x_y は、降伏せん断力および降伏変位をそれぞれ表している。前述のように、入力強度比 a と系の塑性化の程度との関係が明確でないため、本研究では、 a の代わりに塑性率 $\mu_0 (=x_{max}/x_y)$ をパラメータとし、反復計算により、所要入力強度比 a を求めた。ここで、 x_{max} は最大変位である。

3. 解析に用いた実地震動 入力地震動として、次の6つの実地震動記録を用い、継続時間は全て30秒とした。(1)八戸 S-252, N-S, 1968年, 十勝沖地震 (2)室蘭 S-241, N-S, 1968年, 十勝沖地震 (3)釧路 S-733, N-S, 1973年, 根室半島沖地震 (4)El Centro, S00E, 1940

年, Imperial Valley Earthquake (5) Los Angeles, N00W, 1971年, San Fernand Earthquake (6) Ferndale, N44E, 1954年, Eureka Earthquake

4. 所要入力強度スペクトルと履歴吸収エネルギースペクトル

ここでは、紙面の都合上、 $\gamma=0.1$, $h=0.05$ の場合の結果のみを示す。図-1は、室蘭記録およびFerndale記録に対する各々のスペクトルを示している。上段は所要入力強度スペクトル、下段は単位質量当りの履歴吸収エネルギースペクトル (W_H/m) を表しており、横軸は、円振動数比 $p (=T_0/T_0)$ である。ここで、 m は質量、 T_0 および T_0 は系の固有周期および入力地震動の卓越周期である。また、線種は図中に示すように、 μ_0 の違いを表している。図-1より、所要入力強度比 a は塑性率 μ_0 が大きい程大きい、各 μ_0 に対するスペクトルは、同様な傾向を示しており、ほぼ同じ p で折れ曲がって

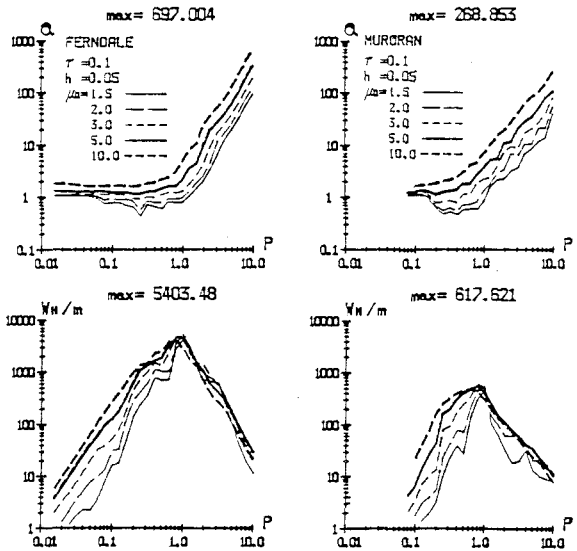


図-1

いるのがわかる。また、履歴吸収エネルギースペクトルは、所要入力強度スペクトルの折れ曲がり点に対応する p でピークを示し、その点より短周期側では μ_D が大きい程エネルギーは大きくなっているが、長周期側では μ_D の相違による影響は小さいことがわかる。

5. 所要入力強度スペクトルの正規化 前述の所要入力強度スペクトルの折れ曲がり点は、変位応答スペクトルとの比較より、「エネルギー一定則」が成り立つ領域と「変位一定則」が成り立つ領域との境界点に対応していると推測される。また、この場合の系の周期 T_0 は、入力波のフーリエスペクトルの重心に対応する平均周期 T_m にほぼ等しい。以上のことを考慮して、横軸を $p_m = (T_0/T_m)$ に変換し、入力強度比 a を、 $p_m \geq 1$ では μ_D により、また $p_m < 1$ では、エネルギー一定則を用いて得られる等価な塑性率 $\mu_{DE} (< \mu_D)$ により正規化(S_a)して、6つの実地震動に対する結果を重ね合わせると図-2の上段のようになる。同図の下段は変動係数を示している。これらの図より、 μ_D 、 μ_{DE} および T_m は、所要入力強度スペクトルの良好な正規化因子であると思われる。

6. エネルギースペクトルの正規化 図-1より μ_D が履歴吸収エネルギースペクトルに及ぼす影響は全周期を通じて同一でなく、また、それらの最大値も地震動によりかなり大きくばらつくことがわかった。図-3は、履歴吸収エネルギー W_H/m を $W_H/Q_y x_y (=S_{H1})$ に変換し、さらに S_{H1} を μ_D^2 で除した S_{H2} を示したものである。この図より各スペクトルは、比較的良好に一致していることがわかる。また、構造物の各エネルギーは、入力波の最大加速度 $\ddot{x}_{0max}$ よりも平均パワー p_w との相関が大きく、また、入力波の平均周期 T_m との関連が認められることより、 S_{H2} をさらに $p_w/(\ddot{x}_{0max}^2 \cdot T_m)$ で除した S_{H3} を求め、全地震動に対するそれらを全て重ね合わせて、それらの平均値および変動係数等とともに示したのが図-4である。同図より、変動係数は約0.5前後となっており、 S_{H3} は地震動ならびに塑性率の相違にあまり影響されない比較的稳定したスペクトルであると思われる。

7. あとがき 本研究により、所要入力強度スペクトルについては、縦軸は塑性率 μ_D ($p_m \geq 1$)あるいは μ_{DE} ($p_m < 1$)が、また横軸は平均周期 T_m が、そして、履歴吸収エネルギースペクトルについては、縦軸は、 $\{Q_y x_y \mu_D^2 p_w / (\ddot{x}_{0max}^2 \cdot T_m)\}$ が、また横軸は、卓越周期 T_0 が、それぞれ比較的良好な正規化因子であることがわかった。したがって、 S_a - p_m 関係ならびに S_{H3} - p 関係を表す回帰式を求めておけば、前者より μ_D を求め、それを用いて後者より W_H を推定することが可能であると思われる。

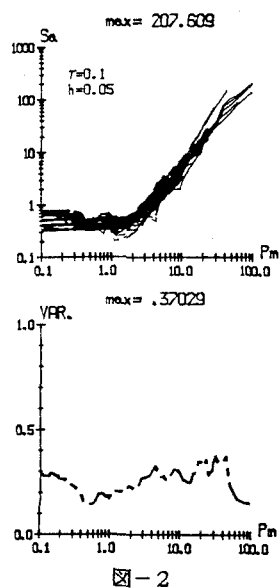


図-2

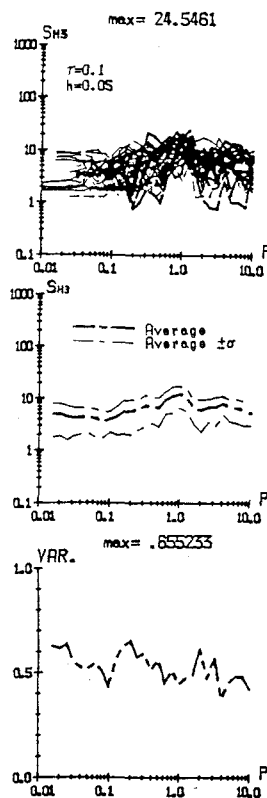


図-4

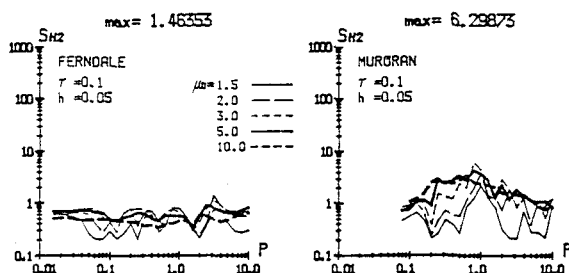


図-3