

I-264 劣化型履歴構造物の地震時エネルギー応答特性

徳島大学大学院 学生員 楠原 伸子
 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損傷度評価のための重要なパラメータとして変位ならびにエネルギーじん性率を挙げることができる。より実用的な構造物の耐震安全性評価法を導くためにはこれらのじん性率を簡便に推定する手法の確立が不可欠である。非劣化型1自由度系を対象とした場合のそれらの実用的な推定法が文献1)に提案されている。しかし、実際の構造物では強震時にその変位が最大耐力点を越し耐力低下域（劣化域とよぶ）に達しながらも崩壊には到らない場合が多い。従って、本研究ではこのような構造物の変位ならびにエネルギーじん性率の推定法を導くための基礎的研究として、劣化型復元力特性を有する1自由度系のエネルギー応答解析結果をもとに、劣化勾配ならびに劣化開始塑性率等がエネルギー応答等に及ぼす影響について比較検討した。

2. 基本式および解析方法

図-1は劣化域を有する Trilinear 型の復元力履歴モデルである。図中 $\bar{Q}$ および $\bar{x}$ は降伏復元力 Q_y あるいは降伏変位 x_y で正規化された復元力および変位（塑性率）であり、 γ および γ_D は $\bar{Q}-\bar{x}$ 曲線の第2および第3勾配（弾塑性剛性比および劣化勾配とよぶ）である。また、 χ および μ_C は劣化開始塑性率および臨界塑性率である。このモデルにおいて $\gamma=\gamma_D$ とすると Bilinear モデルとなる。図-1のような劣化型復元力特性を有する1自由度系の運動方程式は式(1)のように表わされる。

$$\ddot{\bar{x}} + 2h\omega_0\dot{\bar{x}} + \omega_0^2\bar{Q}(\bar{x}) = -\omega_0^2 R_I \ddot{z}_0 \quad (1)$$

ここで、 h 、 ω_0 および $\ddot{z}_0$ は減衰定数、固有円振動数および最大加速度で正規化された入力加速度である。また、 R_I は入力強度比であり降伏復元力 Q_y に対する最大慣性力 $m\ddot{x}_{0max}$ の比（ $m\ddot{x}_{0max}/Q_y$ ）である。応答終了時におけるエネルギー釣合式は式(2)のようである。

$$W_D + W_H = E \quad (2)$$

ここで、 W_D 、 W_H および E は減衰エネルギー、履歴吸収エネルギーおよび入力エネルギーを表わしている。本研究では変位じん性率 μ_D （最大塑性率 $=|\bar{x}|_{max}$ ）、エネルギーじん性率 $\mu_H (= W_H/Q_y x_y)$ および低下耐力比 $Q_F (= 1 - (\mu_D - \chi)\gamma_D/(1 + (\chi - 1)\gamma))$ に注目する。これらは強震下における構造物の損傷度評価の際の重要なパラメータであると考えられる。また、構造物の塑性化のレベルと入力強度比 R_I ならびにエネルギーじん性率 μ_H との関係をより明確にするため本研究では所定の変位じん性率あるいは低下耐力比に対する R_I ならびに μ_H を繰返し計算により求めた。

3. 所要入力強度比およびエネルギーじん性率

図-2(a)および(b)は劣化勾配 $\gamma_D (= \gamma)$ と所定の変位じん性率 μ_D に対する所要入力強度比 R_I ならびにエネルギーじん性率 μ_H との関係を示したものである。入力として用いた地震動記録は El Centro S00E (1940, Imperial Valley Earthquake) である。 $R_I - \gamma_D$ 曲線と $\mu_H - \gamma_D$ 曲線とはほぼ同様な形状を有しており、 $\gamma_D \geq 0.0$ では、ほぼ一定であるが $\gamma_D < 0.0$ では $|\gamma_D|$ の増大に伴い減少しておりその程度は所定の変位じん性率 μ_D が大きいほど大きい。ただし、 γ_D が1.0に近づくにつれて、当然、 μ_H は零に近づくが、図-2(b)に示している $\gamma_D \leq 0.75$ の範囲ではその傾向は顕著ではない。また、 $\gamma_D < 0.0$ の場合には各 γ_D に対応する臨界塑性率 μ_C が存在し、設定された μ_D が μ_C より大きければ μ_C を所定の変位じん性率とみなし、それに対する臨界入力強度比 R_{IC} ならびに臨界エネルギーじん性率 μ_{HC} がプロットされている。これらの関係を模式的に示すと図-3ようである。すなわち、これらの曲線は $\gamma_D \geq 0.0$ の一定部分、 $0.0 > \gamma_D \geq 1/(1 - \mu_C)$ の低減部分および $R_{IC}(\mu_{HC}) - \gamma_D$ 曲線の3つの部分より成立っていると考えることができる。 $\gamma_D \geq 0.0$ の場合の R_I お

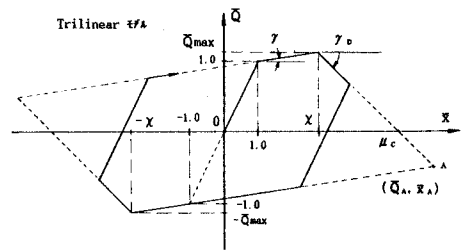


図-1

および μ_H の簡易推定法については文献1)に示されているが、その方法を $\gamma_D < 0.0$ の場合にも拡張するためには $R_I - \gamma_D$ および $\mu_H - \gamma_D$ 関係 ($\gamma_D < 0.0$) の簡潔な定式化が必要である。

$R_{IC} - \gamma_D$ ならびに $\mu_{HC} - \gamma_D$ 関係を $\mu_C = 1 - 1/\gamma_D$ より $R_{IC} - \mu_C$ ならびに $\mu_{HC} - \mu_C$ 関係に変換すると図-4(a)および(b)のようになる。線種の違いは固有周期 T_0 の相違を示している。これらの図より、 $R_{IC} - \mu_C$ ならびに $\mu_{HC} - \mu_C$ 関係は両対数紙上でほぼ直線となり、また、 T_0 が大きいかほど R_{IC} は大きくなっているが、 μ_{HC} に及ぼす T_0 の影響は非常に小さい。また、 $\gamma_D < 0.0$ における $R_I - \gamma_D$ ならびに $\mu_H - \gamma_D$ 関係を $Q_F = 1 + (\mu_D - 1)\gamma_D$ より $R_I - Q_F$ ならびに $\mu_H - Q_F$ 関係に変換すると図-5(a)および(b)のようである。これらの図より $R_I - Q_F$ ならびに $\mu_H - Q_F$ 関係は片対数紙上でほぼ直線となることがわかる。図-6(a)および(b)は $R_{IC} - \mu_C$ ならびに $\mu_{HC} - \mu_C$ 関係に及ぼす弾塑性剛性比 γ の影響を比較したものである。 $\gamma > \gamma_D$ の場合には、図-6における μ_C の定義域は図-1よりわかるように $\mu_C \leq \bar{x}_A (\bar{Q}_A = 0.0)$ である。これらの図より $R_{IC} - \mu_C$ ならびに $\mu_{HC} - \mu_C$ 関係は γ の値にあまり関係なく同一直線で表わされることがわかる。図-7(a)および(b)は所定の低下耐力比 Q_F に対する $R_I - \chi$ ならびに $\mu_H - \chi$ 関係を示したものである。これらの関係も巨視的に見れば両対数紙上においてほぼ線形とみなすことができる。

4. あとがき

ここでは紙面の都合上、復元力履歴モデルとして Trilinear モデルを、また、入力波として El Centro 記録を用いた場合の結果のみを示した。復元力履歴特性ならびに入力地震動特性が $R_I - \gamma_D$ ならびに $\mu_H - \gamma_D$ 関係等に及ぼす影響については講演会当日 O.H.P. により紹介する予定である。前述のような $R_{IC}(\mu_{HC}) - \mu_C$ 、 $R_I(\mu_H) - Q_F$ および $R_I(\mu_H) - \chi$ の各関係を最も簡単な線形式で表わし、それらを $\gamma = \gamma_D \geq 0.0$ における変位ならびにエネルギー率(μ_D , μ_H)の推定式¹⁾と関連づけることにより強震下における劣化型構造物の μ_D および μ_H の実用的な推定方法を導くことができるものと思われる。

参考文献 1) 成行・平尾・大岸：地震動入力を受ける一自由度系の変位じん性率および履歴吸収エネルギーの一推定法，構造工学論文集，Vol.36A，pp.779~790，1990年。

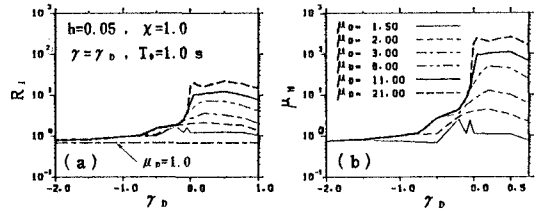


図-2

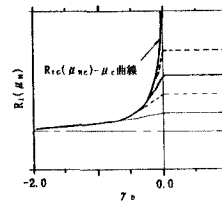


図-3

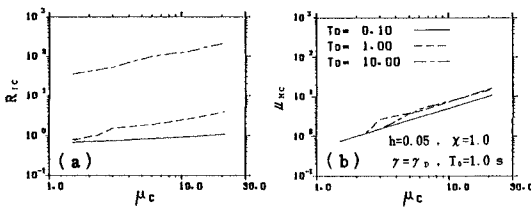


図-4

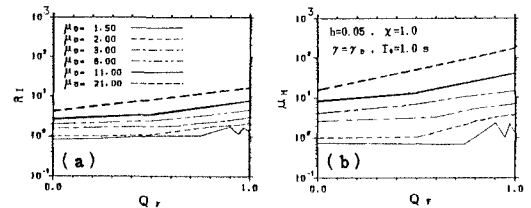


図-5

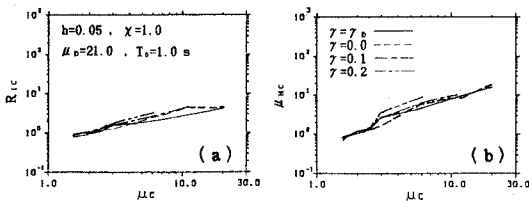


図-6

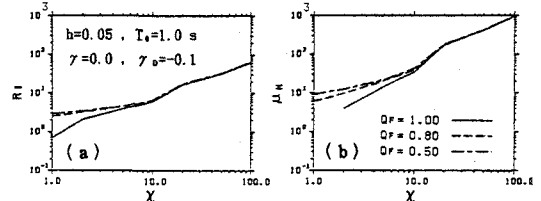


図-7