

徳島大学大学院 学生員 ○竹園 雅樹 徳島大学工学部 正 員 成行 義文
 徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔 JSD 正 員 板倉 由香

1. まえがき

現在の土木・建築構造物の多くは、二段階設計法の理念に基づき耐震設計されている。すなわち、構造物の供用期間内に一度あるか否かのような大地震に対しては構造物の損傷は許すものの完全倒壊等による人命の損失は避けなければならない。構造物の地震時損傷には、最大塑性率に代表される瞬時的損傷と履歴吸収エネルギーで表される累積的損傷があり、一般にこれらを統合した損傷度指標がよく用いられている。したがって、損傷制御型の耐震設計を行うには、最大塑性率ならびに履歴吸収エネルギーをともに精度良く推定する必要がある。本研究は、そのための基礎的研究として、強震下における構造物の正負最大塑性率と履歴吸収エネルギー率との関係について若干の比較検討を行ったものである。

2. 解析方法

図1は、本研究で用いた非線系1自由度系モデルの復元力履歴モデルを示したものである。図中の γ は弾塑性剛性比、また、 μ_d は最大塑性率($\mu_d = \{x_{\max}^+, x_{\max}^-\}_{\max}/x_y$)を表している。また、本研究では、入力地震動として、兵庫県南部地震動神戸海洋気象台記録、El Centro 記録を用いた。

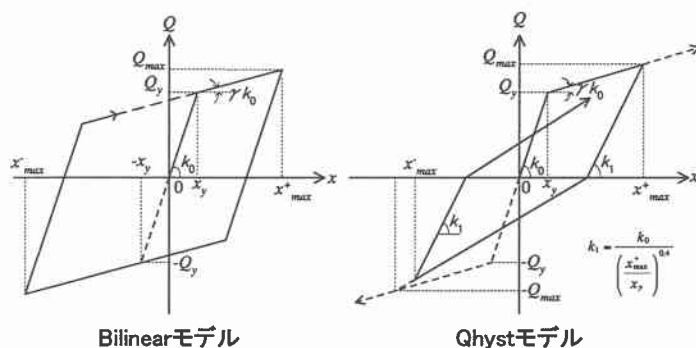


図1 復元力履歴モデル

3. 正負最大塑性率

最大塑性率と履歴吸収エネルギー率との相関を見やすくするため、最大塑性率を所定の値に制御した解析を行った。図2(a), (b)は、それぞれ系の固有周期 T が0.5(s)と1.0(s)の場合の復元力履歴曲線である。これらの図より、系の履歴性状は固有周期により大きく異なることが分かる。そこで、固有周期が系の応答に及ぼす影響をマクロ的に見るために、+側と-側の各最大塑性率(μ^+, μ^-)を横軸に周期をとって、プロットしたものが図2(c)であり、ここではこの図を正負最大塑性率曲線とよぶ。また、図2(c)を正負最大塑性率の差($\mu^+ - \mu^-$)で表すと図2(d)のようである。この図において($\mu^+ - \mu^-$)が3に近ければ近いほど系は片振り状態を、6に近ければ近いほど系は両振り状態に近いことを示している。図2(c), (d)より、周期が3秒以上の場合、周期が長くなるにつれて一側での片振り状態へスムーズに移行している傾向が見られるが周期が3秒より短い場合には、一定の傾向は見られない。

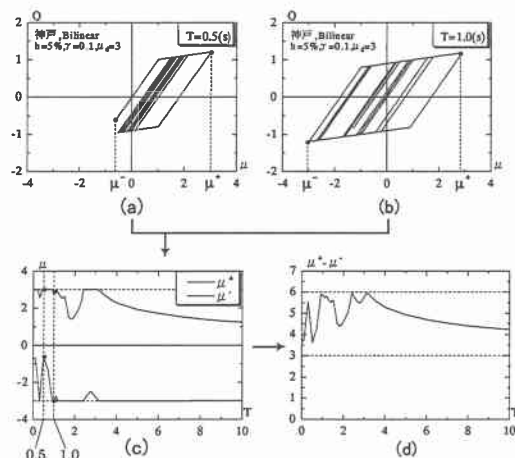


図2 正負最大塑性率の差($\mu^+ - \mu^-$)

4. 履歴吸収エネルギー率

前述のように、履歴吸収エネルギーとは、系が強震動を受け繰り返し塑性化する場合に、系の内部に蓄積されていく塑性ひずみエネルギーのことであり、復元力履歴曲線が囲む面積で表わされる。また、履歴吸収エネルギー率は履歴吸収エネルギーを降伏復元力(Q_y)と降伏変位(x_y)の積で除し正規化したものである。図3(a), (b)は、系の固有周期がそれぞれ0.5(s), 1.0(s)の場合の履歴吸収エネルギー率の時刻歴を示したものであり、各周期における応答終了時の履歴吸収エネルギー率を各周期ごとにプロットしたものが図3(c)の履歴吸収エネルギー率曲線である。この図より、履歴吸収エネルギー率は、固有周期 T が3秒以上の領域では、

周期の増大とともにゆるやかに単調減少しているが、3秒以下の領域では、増減が激しく一定の傾向が見られないことが分かる。また、すべての固有周期に対して $\mu_d = 3$ であることを考慮すれば、 μ_d と μ_h の間には単純な相関が見られないが、全周期域において、前出の「正負最大塑性率の差（図2(d)）」とこの「履歴吸収エネルギー率」の各曲線の形状は比較的類似していることが分かる。この傾向は各入力地震動ならびに復元力履歴モデルにおいてもいえる。

5. 正負最大塑性率と履歴吸収エネルギー率の関係

ここでは、前述の正負最大塑性率の差と履歴吸収エネルギー率の関係について比較検討を行った。前述のように図2(d)、図3(c)の比較より、両曲線の形状は類似しており、折れ曲がり周期はほぼ一致していることより、これらの関係をより分かり易くするため $\mu_h / (\mu^+ - \mu^-)^N$ なる比をとる。図4は、この比の周期特性のばらつきの程度を{(最大値-最小値/最大値)}の比として示したものであり、その値が小さいほど固有周期への依存性が低いことを表している。図4より、入力地震動によらず、Qhystモデルでは $N=2$ の場合に、またBilinearモデルでは $N=3$ の場合の値が最も小さくなっていて、図4 $\mu_h / (\mu^+ - \mu^-)^N$ のばらつきの程度

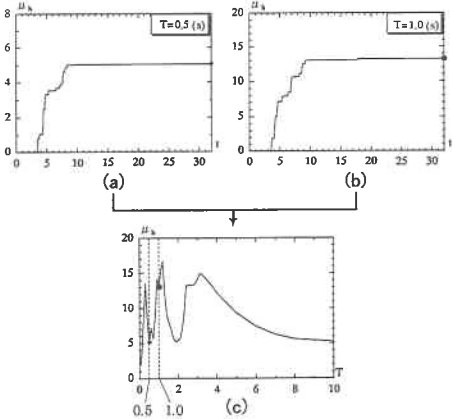


図3 履歴吸収エネルギー率

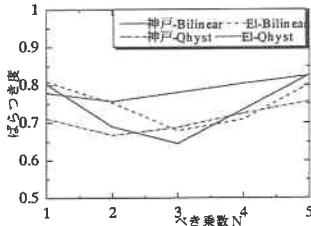


図4 $\mu_h / (\mu^+ - \mu^-)^N$ のばらつきの程度

るのが分かる。べき乗数 $N=3$ と統一した場合のこれらの比を $(\mu^+ - \mu^-)$ ならびに μ_h 曲線とともに図5に示す。図5(c)より、各入力データにおいても、正負最大塑性率の差と履歴吸収エネルギー率との関係を簡単に示していることがいえる。

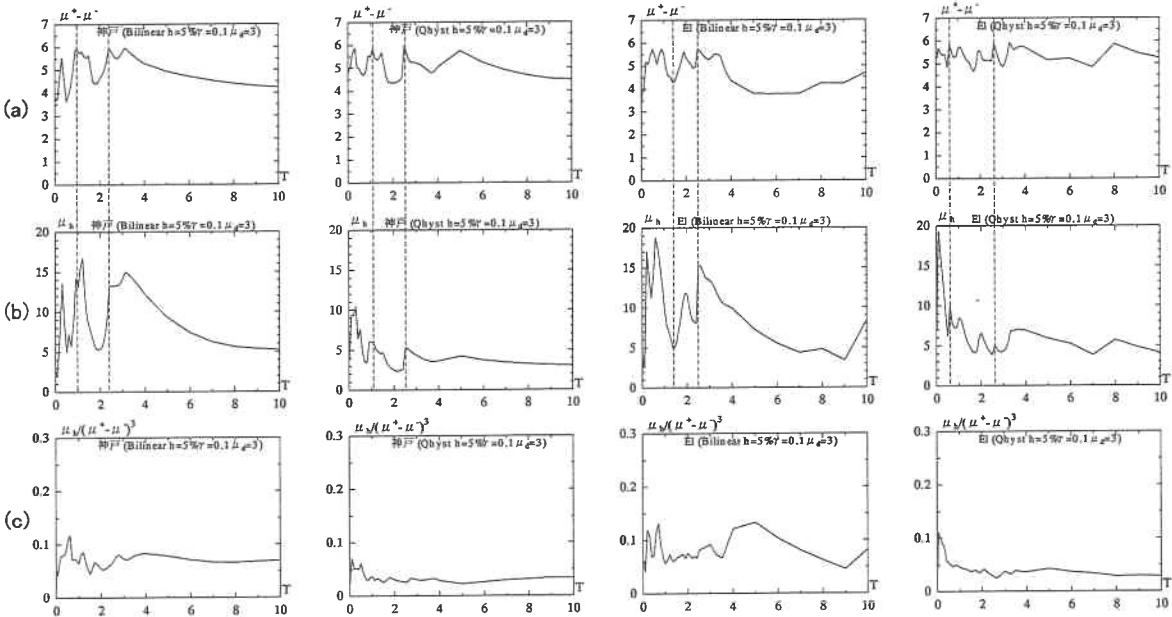


図5 正負最大塑性率の差と履歴吸収エネルギー率

6. あとがき

強震下における構造物の応答性状は、その固有周期により片振り～両振りと大きく異なり、最大塑性率と履歴吸収エネルギー率の間には単純な相関はないことが分かった。履歴吸収エネルギー率と正負最大塑性率の差との間には比較的良好的な相関が見られることより、今後、これらの関係の定式化を試みる予定である。

7. 参考文献

(1) 三上・平尾・成行・澤田・笹田：レベル2地震動に対する損傷制御震度スペクトルに関する一研究，構造工学論文集，Vol. 45A，pp. 809～818，1999年3月