

徳島大学大学院 学生員 ○高田 鉄也 徳島大学大学院 正 員 成行 義文
 徳島大学大学院 フェロー 平尾 潔

1.はじめに 大地震では本震で損傷を受けた構造物が余震により倒壊に至ることもある。本研究では、2004 年新潟県中越地震の小千谷 NS 記録を対象に、余震が構造物の損傷に及ぼす影響について若干の比較検討を行った。

2.新潟県中越地震の余震特性 地震のパターンは一般に、本震 - 余震型、群発型の 2 つに大別される。図-1 から中越地震は本震 - 余震型であることが分かる。

3.解析方法 1)運動方程式 本研究では、地震動入力を受ける RC 橋脚等の比較的簡単な構造物を図-2 に示すようなせん断型 1 自由度系にモデル化して地震応答解析を行う。地震動入力に対する非線形な復元力特性を有する 1 自由度系の運動方程式は一般に式 (1) のように表される。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + Q(x) = -m\ddot{x}_G \quad (1)$$

ここに x 、 $\dot{x}$ および $\ddot{x}$ はそれぞれ質点の固定端からの相対変位、相対速度および相対加速度を表している。また、 $Q(x)$ および $\ddot{x}_G$ は系の非線形復元力および地動加速度である。

2)構造ならびに復元力履歴特性 構造特性値としては固有周期 $T_0 = 1.0$ 、減衰定数 $h = 0.05$ 、終局塑性率 $\mu_u = 4.0$ 、また復元力履歴特性としては第一勾配 $p_1 = 0.0$ 、第二勾配 $p_2 = -0.1$ の骨格曲線を有する係数 $\beta = 0.15$ の 3-Parameter モデル(図-3)を用いる。直前の 1cycle の履歴吸収エネルギーと β の積だけ目標変位が増大する。また、 $\bar{x}$ は降伏変位 x_y で正規化された相対変位、 $\bar{Q}$ は降伏復元力 Q_y で正規化された復元力である。図-3 中の μ_s はスケルトンカーブ上の最大耐力到達塑性率である。

3)修正 Park らの損傷指標 本研究では、構造物の損傷を定量的に表すため式 (2) の修正 Park らの損傷指標 D_m を用いる。

$$D_m = ((\mu_d - 1) + \beta\mu_h)/(\mu_u - 1) \quad (2)$$

ここに μ_d は最大変位塑性率、 μ_h はエネルギー塑性率、 μ_u は終局変位塑性率である。また、 β は非負の係数であり、図-3 中の β と同一である。

4.入力地震動 本研究では、小千谷観測点で記録された中越地震の本震と余震 1~余震 10 の NS 成分(図-4)を用いて比較する。解析に用いた入力強度比 $R_I (= m\ddot{x}_{G\max}/Q_y)$ は、本震の R_I を 7.0 とし、余震の R_I は本震との最大加速度比から求めた。図-4 より分かるように本震の最大加速度は 1147.4gal、最大余震は余震 4 で最大加速度 794.4gal である。

5.地震応答解析結果 1)各地震動記録を個別に入力した場合 図-4 および図-5 より、最大加速度と最大塑性率 μ_d とは概ね対応していることが分かる。しかし、本震を含めて 3 番目に大きな余震 2(図-4)に対する μ_d は非常に小さく、むしろ小さな余震 1の方が大きな μ_d を示している。ここで改めて図-4、図-5 を比較してみると、 μ_d は最大加速度より卓越周期に依存していることが分かる。図-6 は本震、余震 2、余震 4 に対する

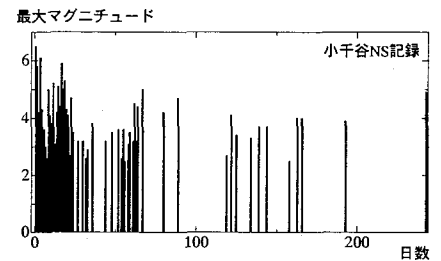


図-1 余震活動の経過

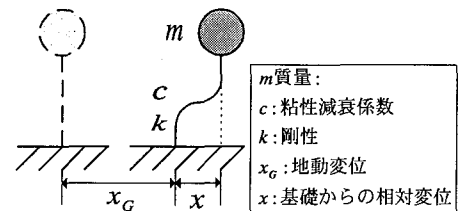


図-2 1 自由度系モデル

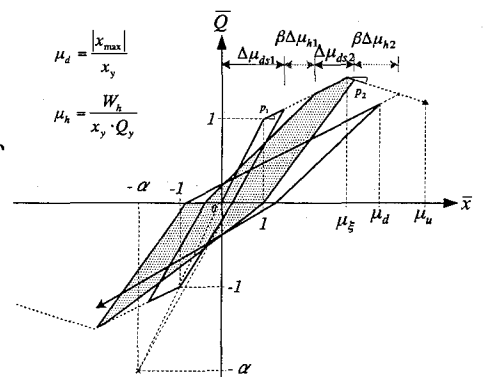


図-3 3 - Parameter モデル

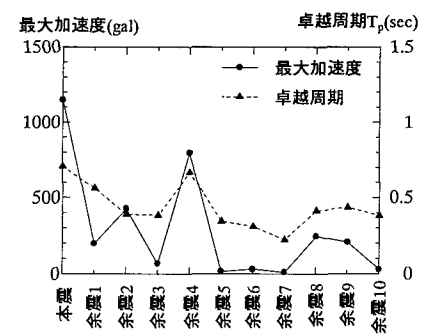


図-4 入力地震動特性

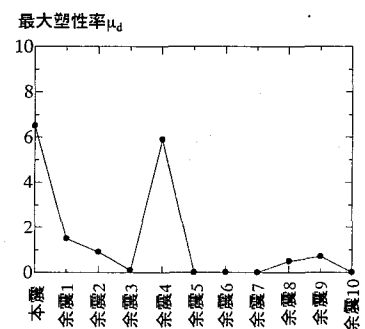


図-5 入力地震動別最大塑性率

復元力履歴曲線を示しているが、これらの図より、余震4を個別に入力した場合、残留変位が大きく出ることが分かる。以後、本震と余震1～余震4を用いて検討を行う。

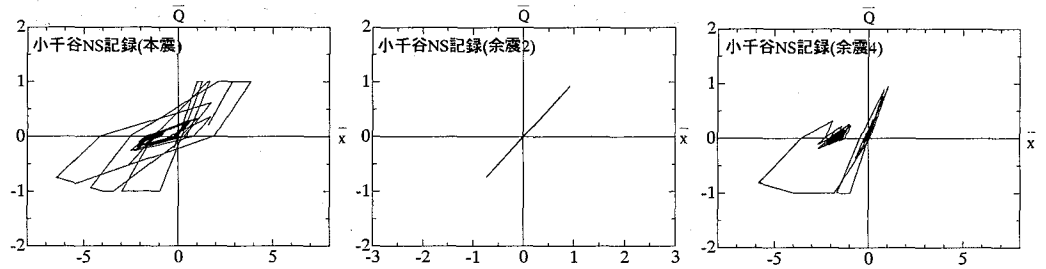


図-6 復元力・変位履歴曲線(個別に入力した場合)

2) 本震・余震連続記録を入力した場合 本震と余震1～4の連続波形を用いて解析を行う。パターン1は、発生時刻に沿った「本震+余震1+余震2+余震3+余震4」(図-7(a)参照)。これらの波形間には構造物が静止するのに十分なインターバルが設定されている。パターン2は、最大加速度の大きい順に並び替えた「本震+余震4+余震2+余震1+余震3」。最後のパターン3は、パターン1の各余震を最大加速度を合わせた本震記録で「本震+本震(0.17倍)+本震(0.37倍)+本震(0.06倍)+本震(0.69倍)」のように置換えたものである。

図-7(c)よりパターン1の場合、損傷のほとんどは本震によりもたらされており、余震4によりわずかに増大するだけであることが分かる。これは D_m が μ_h よりも μ_d に大きく依存しているためと思われる。また、図-6と図-8を比較すると個別解析では弾性応答範囲内だった余震2で残留変位の増大が見られ、逆に個別解析では大きな残留変位のあった余震4での残留変位の増大は見られなかった。

次にパターン1とパターン2を比較する。図-9は各パターンの損傷の累積曲線を比較したものである。図より、損傷の累積過程が異なるだけで最終的な D_m に差がないことがわかる。

図-9のパターン1と3の比較より、特に余震2の D_m の増加量に差があることが分かる。余震2の最大加速度は共に同じであるが、パターン1の卓越周期は0.431sec、パターン3は0.706secである。構造物の固有周期に近い卓越周期を有するパターン3の応答が大きくなったためと考えられる。このように本震の卓越周期よりも構造物の固有周期が長い場合には、本震の加速度波形を適当にスケーリングした擬似余震を用いると安全側の結果となると考えられる。

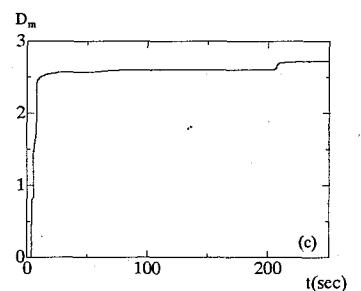
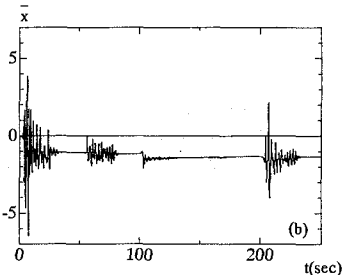
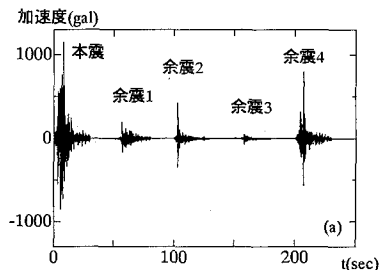


図-7 入力地震動と解析結果

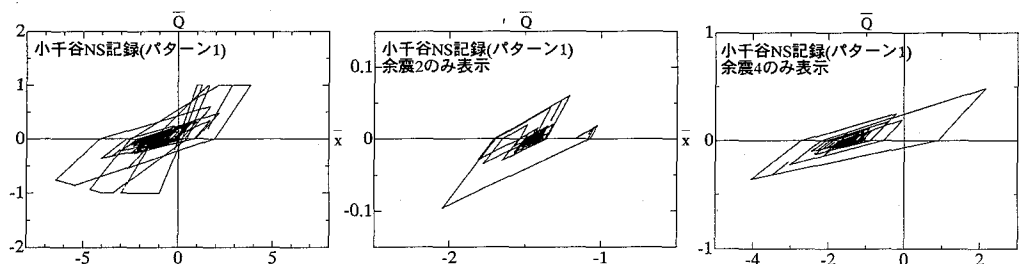


図-8 復元力・変位履歴曲線(パターン1を入力した場合)

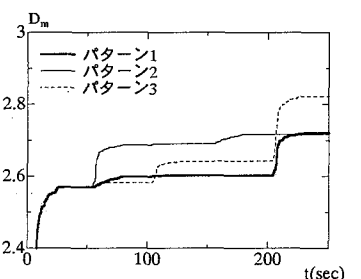


図-9 損傷の時刻歴

6. おわりに 最大塑性率 μ_d は最大加速度より卓越周期に依存していた。個別で解析した場合と連続で解析した場合で、残留変位に差が出た。構造物の固有周期に近い卓越周期を有する地震動の応答の方が大きくなった。なお、固有周期 $T_0 = 0.5$ 、3-Parameterモデルの第二勾配 $p_2 = 0.0$ に対する解析も行った。

7. 参考文献 1) 柴田明徳：最新 耐震構造解析、森北出版、1981.6. 2) 強震ネットワーク K-NET HP <http://www.k-net.bosai.go.jp> 3) 気象庁 HP <http://www.jma.go.jp>