

本震 - 余震型による累積的損傷評価を用いた耐震性能評価

鹿児島大学大学院 学生会員 ○竹之内 徹
 鹿児島大学工学部 正会員 木村 至伸
 鹿児島大学工学部 正会員 河野 健二

1. 目的

2004年10月に発生した新潟県中越地震は特徴として、本震発生後に多くの余震が発生したということが挙げられる。この地震において構造物の機能を長期間失うような被害は、あまり認められなかった。しかしながら、性能照査型設計法においては、地震時はもちろんのこと地震後の機能について明確にする必要があり、本震後に余震が構造物の損傷評価に及ぼす影響について検討することは重要なことであると考え。

2. 余震の確率評価手法・損傷評価手法

ここでは、新潟県中越地震において小千谷市で観測された東西方向波 (Ojiya - EW) を用いた模擬地震動を想定した。入力地震動の設定を Fig. 1 に示す。今回、入力地震動は本震発生後、12時間、24時間後の2パターンを余震の期待値をもとに考えた。また余震として用いた地震波は K - NET で得られた本震を距離減衰式で求めたマグニチュードと加速度の関係から重複反射理論によって得られた地震波を用いた。

余震の確率評価手法としては Gutenberg - Richter の法則と改良大森公式の組み合わせ¹⁾により余震活動の発生確率を推定した。余震の発生期待値は次式によって与えられる。

$$N(T_1, T_2) = K \exp\{-\beta(M - M_{th})\} A(T_1, T_2) \quad (1)$$

ここで、 K : 余震活動の激しさを表すパラメータ、 β : 全余震中の小さい地震と大きな地震の数の比に関するパラメータ、 M : マグニチュード、 M_{th} : 検知限界値である。また余震発生確率は次式によって与えられる。

$$Q = 1 - \exp\left[\frac{-Ke^{-\beta(M-M_{th})}}{1-p} \left\{ \frac{1}{(T_2+c)^{p-1}} - \frac{1}{(T_1+c)^{p-1}} \right\}\right] \quad (p \neq 1) \quad (2)$$

ここで、 p : 余震が時間的にどのように減衰していくかを表すパラメータ、 T_1 、 T_2 : 経過時間、 c : 本震発生直後の複雑な様相を補正する値である。これらにより求めた余震発生の期待値と発生確率は、Fig. 2 に示す。

損傷評価手法としては Park and Ang²⁾ の損傷指標 D を用いて検討を行った。損傷指標 D は、構造物の塑性率と履歴吸収エネルギーの線形結合として定義されており、次式によって与えられる

$$D = \frac{x_M}{x_u} + \frac{\beta}{Q_y x_u} \int dE \quad (3)$$

ここで、 x_M : 最大応答変位、 x_u : 終局変位、 Q_y : 降伏耐力、 dE : 消費エネルギーの増分、 β : 部材の断面特性等に依存した正の係数である。

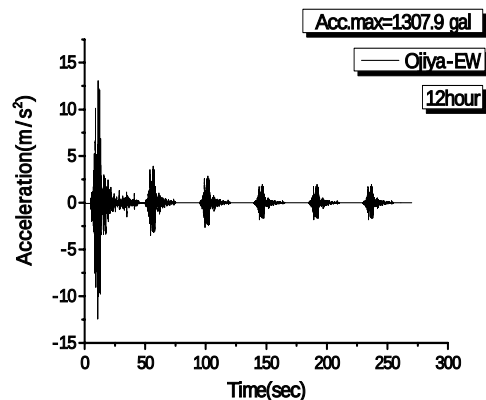


Fig.1 入力地震動の設定

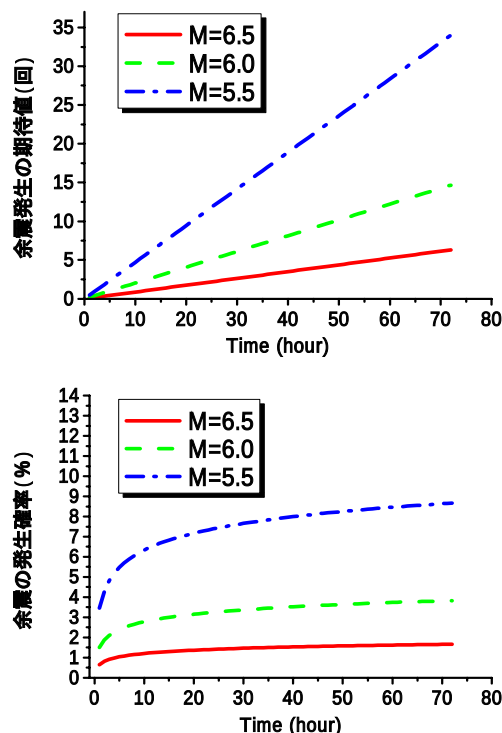


Fig.2 余震の発生期待値と確率

Table 1 Park の損傷指標と損傷程度との関係

Parkの損傷度	損傷の程度
0 ~ 0.1	わずかな損傷 ~ まばらなひび割れ
0.1 ~ 0.2	軽微な損傷 ~ 小さなひび割れ
0.2 ~ 0.4	中程度の損傷 ~ ひび割れ・剥離
0.4 ~ 1.0	大損害 ~ 圧破・鉄筋の座屈
1.0 ~	崩壊 ~ 全体的・部分的破壊

3. 解析結果

Table 1 に Park らの損傷と損傷程度の関係を示す。この損傷指標を目標性能とした Ojiya - EW に対する必要強度スペクトルを Fig.3 に示す。本研究では、このようにして設計された構造物に対して各経過時間における入力地震動を与え、構造物の損傷評価に及ぼす余震の影響について検討した。

Fig.4 は、構造物の固有周期が 0.5 秒、目標性能 $D=1.0$ とした場合の履歴曲線を示したものである。この図より、余震を考慮した場合、最初の本震を受けたときに最大変形を示し、その後の余震に関しては最初に起こった履歴内で非線形挙動を示していることがわかる。このことから、余震に関しては最大変形が発生した履歴内で挙動するため、構造物の全吸収エネルギーを増加させる影響を有していることがわかる。

Fig.5 に、入力地震動 Ojiya - EW を用いた。縦軸に損傷指標 D 、横軸に震源からの距離をとった場合を示す。12 時間後、24 時間後ともに震源からの距離が近いほうで損傷指標 D が大きな値を示し、距離が離れていくにしたがって、目標とした本震のみの損傷指標に近づいていくことがわかる。今回は余震の地震動を距離減衰式の加速度から求めているために距離減衰式の特性が表れている。このことから、震源の近くでは余震による損傷が大きく構造物に与える影響も大きいことがわかる。

Fig.6 は 12 時間後の震源からの距離 10km の地点における損傷評価である。これらの値は、余震の影響がなければ目標性能に一致した値となる。Fig. 5 より構造物の固有周期に依らず、目標性能より全体的に損傷評価が増大する結果が認められた。また、構造物の目標性能が小さい場合には余震の影響がほとんど表れないことがわかる。

4. まとめ

本研究では、確率評価手法を用いて余震を受けた構造物の損傷評価について必要強度スペクトルを用いて検討を行った。確率評価手法に関しては、Gutenberg - Richter の法則と改良大森公式の組み合わせにより余震の発生確率を推定した。特に震源に近い程、損傷指標に及ぼす余震の影響が増大するため、距離減衰関係の評価が重要であることがわかった。また、余震に関しては、入力地震動の振動特性に依らず、構造物の損傷を増大させることがわかった。性能照査型設計を行う際に、これらのことを把握しておくことは重要なことであると考える。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：余震の確率評価手法について、地震調査委員会関係報告書, pp.16-20, 1998.4
- 2) 三上卓, 家村浩和, : 塑性域の二次剛性が必要降伏強度と応答塑性率に及ぼす影響, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.48, pp619-pp629, 2002.3

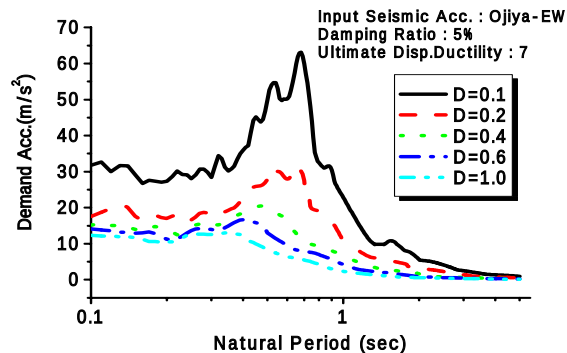


Fig.3 必要強度スペクトル

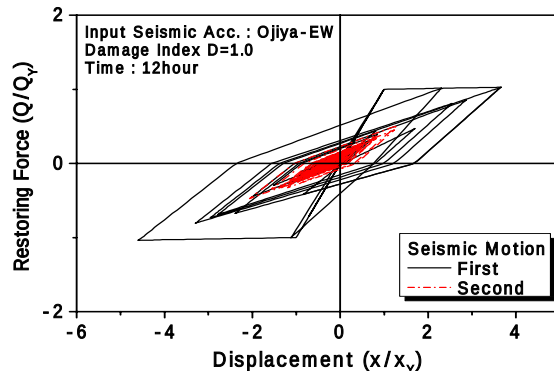


Fig.4 履歴曲線

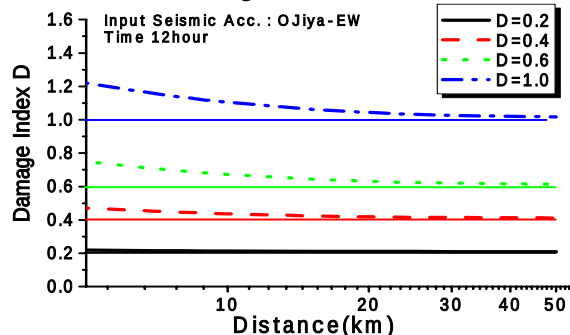


Fig.5 損傷評価 (損傷 - 距離)

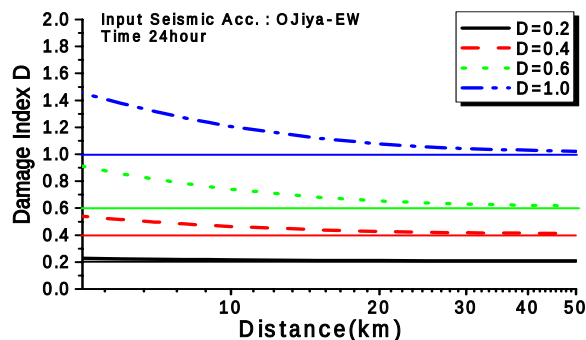


Fig.6 損傷評価 (12hour)