

余震の影響を受ける構造物の Damage Index を用いた損傷評価

埼玉大学	学生会員	○大塚	真悟
埼玉大学	正会員	齊藤	正人
埼玉大学	正会員	川上	英二
鉄道総合技術研究所	正会員	野上	雄太
鉄道総合技術研究所	正会員	室野	剛隆

1. 研究目的

橋梁・高架橋等の構造物の耐震設計では、本震に対する地震被害を想定して照査するのが一般的である。しかし、本震後の余震には、震度6以上の大きな地震が発生する可能性があり、地震被害が拡大することが十分に予想される。そのため、本震により損傷する構造物の損傷度や安全性を適切に評価しておくことは非常に重要である。特に目標とする耐震性能の限界まで見込んで設計された構造物については、こうした評価は重要と思われる。

一方、構造物の損傷を評価する指標として、最大応答変位を降伏変位で割った塑性率を損傷の指標として用いることが多い。しかし、繰返し損傷を受ける構造物の中にはエネルギー吸収性能が低下し、最大耐力に達する前に破壊に至るものもある。そこで、本研究では塑性率と履歴エネルギーの両方の効果を考慮した Park ら損傷度¹⁾を用いて余震による構造物の被害を評価することにした。

2. 研究方法

本研究で使用する Park らの損傷度 D は以下の式で定義される：

$$D = \frac{\delta_m}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \cdot \delta_u} \int dE \quad (1)$$

δ_m は地震時の最大応答変位、 δ_u は静的載荷時の極限変位（本解析では4と仮定する）、 Q_y は降伏震度、 E は履歴吸収エネルギー、 β は定数でその値を0.05とする。 $D \geq 1$ のときに崩壊とする。

本研究では、構造物を1自由度系弾塑性モデルとして損傷度解析を行った。必要なパラメータは、既設構造物や現行の耐震基準を踏まえて設定した（固有周期は0.2～3.0秒、降伏震度は0.1～1.0、減衰定数は0.05）。

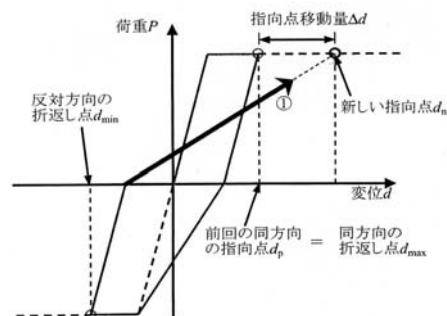


図-1：総研モデルの耐力低下の考え方

構造物の復元力モデルは Clough モデルを使用した。また RC 部材の繰返しによる耐力低下を考慮できる総研モデル²⁾（図-1：鉄道総合研究所で開発）との比較を行った。入力地震動は、新潟県中越地震(2004)、新潟県中越沖地震(2007)、岩手宮城内陸地震(2008)、十勝沖地震(2003)の代表的な観測点における本震及び最大余震の加速度記録(K-net)を用いた。本検討では、本震のみを入力したモデルの損傷度 D_1 に対する、本震と余震を連続入力したモデルの損傷度 D_2 の増幅を定量的に評価することで、構造物の余震応答特性を検討した。紙面の都合上、ここでは解析結果例として2004年新潟県中越地震(NIG021 十日町)を示す。

3. 考察

復元力特性に Clough モデルを持つ構造物が本震を受けた際の塑性率（式1 第一項のみ）は図-2a、本震と余震の両方を受けた際は図-2b のようになる。また図-2c には、本震と余震を受けた場合の塑性率を、本震のみを受けた場合の塑性率で割った増幅比を表す。この図から、0.5sec から 1.4sec を固有周期とする構造物は余震によって損傷を拡大したことが読み取れる。

また図-3は、損傷度 D （式1）を表わしている。塑性率のみを考慮した図-2と比べ、降伏震度、固有周期のより広い範囲で崩壊する値（ $D \geq 1$ ）を示している。

キーワード 余震, Damage Index, 履歴モデル, 履歴吸収エネルギー, 非線形性

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-858-3560

増幅比の図-3c を見ると、余震を受けることによって、塑性率とほぼ同様の周期帯域（0.5sec から 1.4sec）で損傷度 D が増幅していることがわかる。特に同周期帯域で降伏震度が低い構造物で増幅が顕著である。また、損傷度 D の増分を示す図-3d によれば、短周期（0.5sec 以下）で降伏震度の高い範囲においても、局所的な損傷度 D の増加を確認することができる。

図-2 と図-3 に生じる差異は、損傷度 D に含まれる履歴吸収エネルギー項（式 1 の第二項）の有無に起因する。そこでエネルギー項について更なる評価を行う。図-4a と 4b には、本震のみと本震+余震を同時に受ける場合のエネルギー項の値をそれぞれ示す。また図-4c と図-4d は、損傷度 D 全体に占めるエネルギー項の割合を示している。本震のみを受ける構造物に比べて、本震と余震を受ける構造物は、エネルギー項の損傷度 D に占める割合が大きく増加することがわかる。特に短周期（0.5sec 以下）で降伏震度の高い範囲、また周期 1.0sec 近傍で降伏震度の極めて低い範囲では、損傷度 D における履歴吸収エネルギー項の占める割合が約 60%以上にも達していることが確認できる。これは余震を含めた地震の損傷程度を考える際に、特定の構造物に対しては、履歴吸収エネルギー項を適切に考慮する必要があることを示唆している。

また本研究では耐力低下を考慮した総研モデルの塑性率と Clough モデルの応答比較を行い、上記損傷度 D との整合性について検討した。その結果、総研モデルと Clough モデルの塑性率には顕著な差異は確認できなかった。その理由として、地震発生からすぐに受けたパルス的な波によって最大応答が決定したため、その後最大応答値を更新しないと指向点を移動させないという総研モデルの履歴法則から、変形が進行しなかったことが挙げられる。ただし総研モデルでは、定変位繰り返しによる耐力低下は考慮していないことから、仮にこうした繰り返しによる耐力低下を考慮した場合には、応答に差が生じる可能性がある。

今後、地震動の種類や履歴特性をパラメータに更なる研究を行う予定である。

参考文献

- 1) Park Y.J., Ang A.H-S., : Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.111, No.4, April.1985, pp.740-757
- 2) 野上 雄太, 室野 剛隆, 佐藤 勉 : 繰り返しによる耐力低下を考慮した RC 部材の履歴モデルの開発, 鉄道総研報告, Vol.22, No.3, Mar.2008, pp.17-22

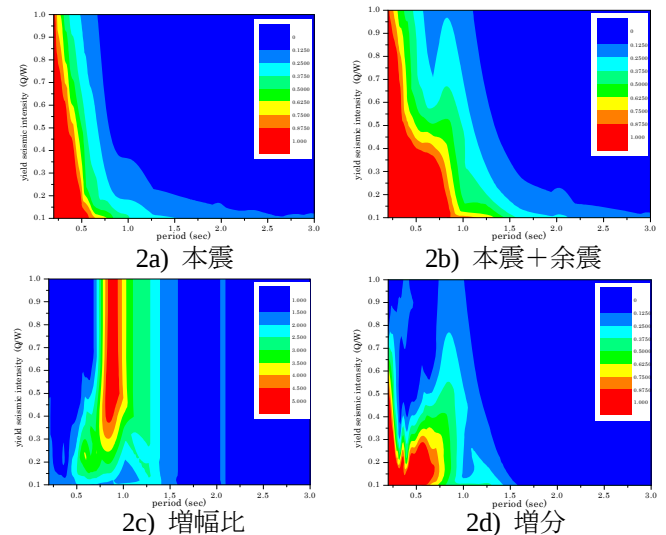


図-2：塑性率（Clough モデル）

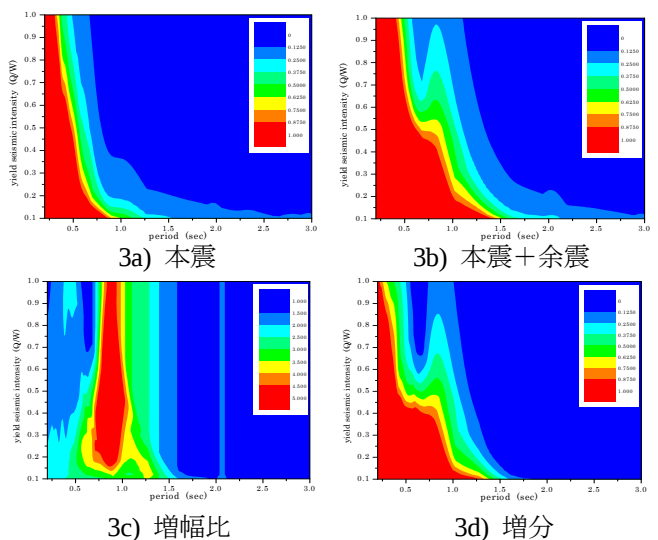


図-3：損傷度（Clough モデル）

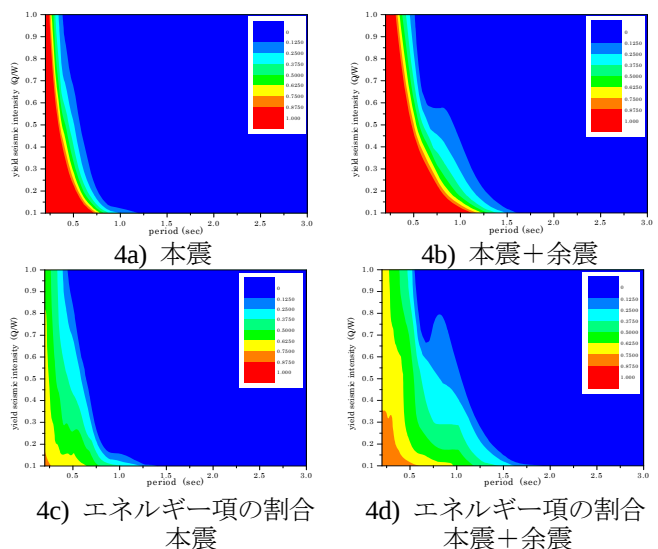


図-4：エネルギー項（Clough モデル）