

損傷指標を用いた耐震性能評価に及ぼす余震の影響に関する研究

鹿児島大学大学院 学生会員 中村 ゆかり
 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の特徴として、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。現行の性能照査型設計法においては、地震時及び地震後の構造物の機能について明確にする必要があり、本震を受けた後の構造物に対して、余震がどの程度の影響を与えるかを明確にしておくことが重要であると考え¹⁾。そこで、本研究では余震によるひずみエネルギー増分に着目し、累積的な損傷に関する簡易推定評価について検討を行った。

2. 入力地震動の設定と損傷推定式の構築方法

本研究では、動的相互作用系 (SR モデル) に対する本震後の余震の影響を考慮するために、Fig.1 に示す模擬地震動を設定した。余震規模は、本震の最大入力加速度に対して 10% から 50% とし、振動特性については、本震・余震ともに同じものとする。

損傷指標については、Park²⁾らの損傷指標 D を用いた。

$$D = \frac{x_{max}}{x_u} + \frac{1}{Q_y x_u} \int dE \quad \dots (1)$$

ここで、 x_{max} : 最大変位、 x_u : 終局変位、 Q_y : 降伏耐力、 $\int dE$: 履歴エネルギー、 β : 部材の断面特性等に依存した正の係数であり、本研究では β は 0.15 とした。Table1 に Park の損傷指標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 Kobe-NS に対する必要強度スペクトルを Fig.2 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する余震の影響について検討を行った。

本研究では、余震によるひずみエネルギー増分に着目し、累積的な損傷について検討を行うため、式(1)を次式のように表した。

$$D' = \frac{x_{max}}{x_u} + \frac{1}{Q_y x_u} (E_H + E_H') \quad \dots (2)$$

ここで、 E_H : 本震によるひずみエネルギー、 E_H' : 余震によるひずみエネルギーである。本研究では、 E_H' を簡易推定するために次式のように E_H の比として表されるものとする。

$$E_H' = Y \cdot E_H \quad \dots (3)$$

本研究では、式(3)の係数 Y の算出を目的とする。

3. 解析結果

Fig.3 に Kobe-NS を入力したときの上部構造物の固有周期が 0.5 秒、余震規模 50% の時刻歴変位応答を示す。この図より余震の影響により、

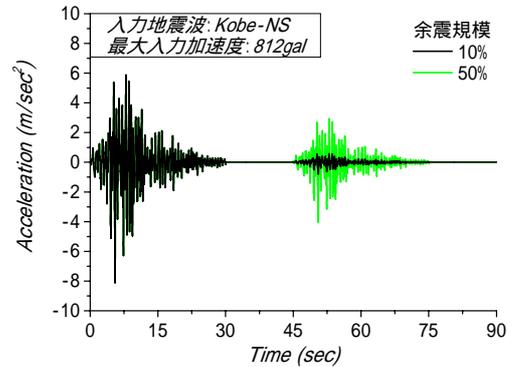


Fig.1 入力地震動の設定

Table1 Parkらの損傷指標と損傷度の関係

Parkの損傷指標	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	大被害 ~ 圧破・鉄筋の座屈
1.0 ~	崩壊 ~ 全体的・部分的破壊

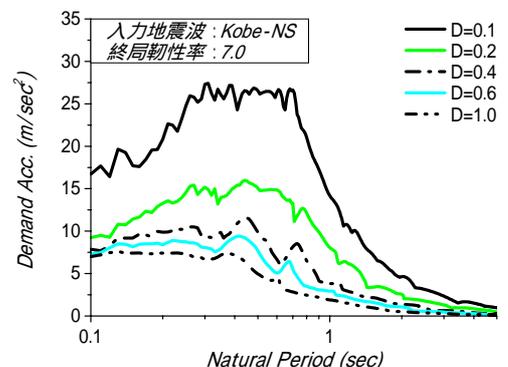


Fig.2 必要強度スペクトル

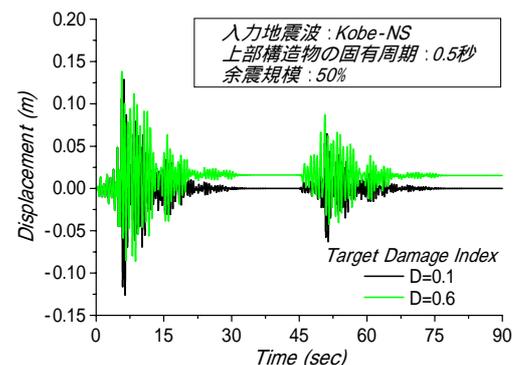


Fig.3 時刻歴変位応答

本震による変位応答後に余震による応答が現われていることがわかる。また、損傷指標 D が大きくなるほど残留変位が増加していることが分かる。

Fig.4 に履歴応答曲線を示す。これより構造物は、余震によるエネルギーを吸収することが分かる。また、本研究で対象とした余震の規模においては、余震による履歴応答は本震の塑性率を超えず、本震の履歴内に収まること分かる。このことを明確にするために、時刻歴エネルギー応答を Fig.5 に示す。このグラフより、本震時のエネルギー吸収と余震時のエネルギー吸収があることが分かる。このことより、本研究で対象とした余震規模においては、余震の影響はエネルギー吸収に現れることが分かり、ひずみエネルギーに着目した式(2)および式(3)による損傷推定式の算出が可能であると考えられる。この結果より、式(3)に示した係数 Y の算出を試みた。ここでは、 Y を余震規模ごとに求め Fig.6 のようにプロットし、それに対するフィッティング関数を求める。このようにして算出した各目標損傷指標のフィッティング式を Table2 に示す。このフィッティング式を用いることで、ある余震規模に対する Y が容易に求められ、 $E_H' = Y \cdot E_H$ とすることが可能になる。この関係を式(2)に代入することで本震によるひずみエネルギーと余震規模による損傷推定式の算出が可能となる。

損傷推定式の妥当性を確かめるため、損傷推定式と Park らの式との比較を行う。ここで求めたフィッティング式を用いて、Kobe-NS についての推定損傷指標を求める。その結果と Park らの損傷指標によって計算されたものを Fig.7 に示す。双方の計算結果を比べると、どの目標損傷指標についても一致していることが分かる。また、本稿には示していないが、異なる地盤種に適用した場合にもほぼ一致する結果が得られている。

4. まとめ

本研究では、兵庫県南部地震で観測された地震波 Kobe-NS を用い、余震による累積的な損傷に関する簡易推定評価の一つとして、損傷推定式の構築を行った。余震による影響はエネルギー吸収に現れており、構造物は本震時だけでなく、余震時にもエネルギー吸収する。本解析では、本震と余震のひずみエネルギーの関係に着目し、本震のみのひずみエネルギーに対する余震のみのひずみエネルギーの割合やそれに対するフィッティング式を算出することにより、Park らの式を余震規模に応じた損傷推定式の構築が可能となることを示した。

参考文献

- 1) 木村至伸：「前・余震の影響を考慮した構造物の損傷指標に関する基礎的研究」土木学会第 61 回年次学術講演会，2006.9
- 2) Park, Y.-J., and Ang, A.H.-S.: Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete, Journal of Structural Engineering, Vol.111, No.4 pp.772-739, April 1985

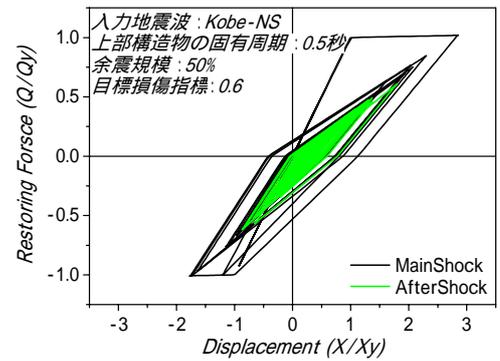


Fig.4 履歴応答曲線

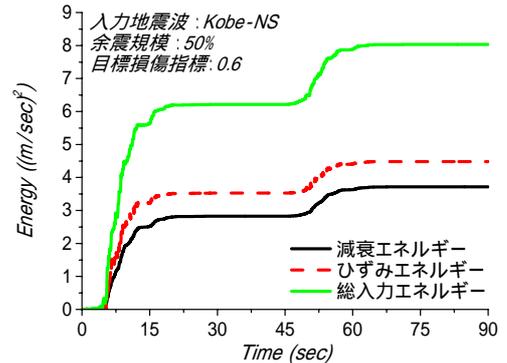


Fig.5 時刻歴エネルギー応答

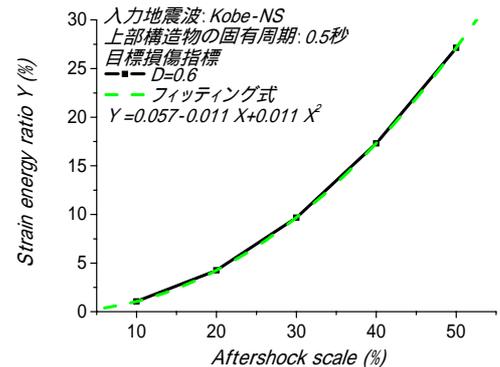


Fig.6 ひずみエネルギーの割合

Table2 Kobe-NS のフィッティング式

上部構造物の固有周期0.5sec	
$D=0.2$	$Y = 0.459 - 0.058X + 0.009X^2$
$D=0.4$	$Y = 0.261 - 0.037X + 0.010X^2$
$D=0.6$	$Y = 0.057 - 0.011X + 0.011X^2$
$D=1.0$	$Y = -0.208 + 0.029X + 0.011X^2$

*ここでXは、余震規模

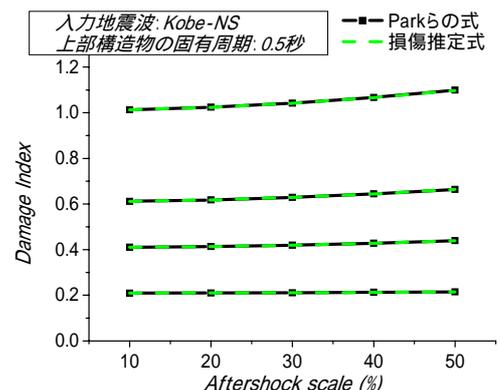


Fig.7 損傷指標の比較