前・余震の影響を考慮した構造物の損傷評価に関する基礎的研究

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, 兵庫県南部地震以来震度 7 を観測した.この地震動の特徴としては，本震発生後に多くの余震が発生したことである.この一連の地震動により，幸いにも道路橋に関しては支承部や伸縮継手の損傷等が発生した程度で，構造物としての機能を長期間失うような被害は認められなかった.しかしながら, 現行の性能照査型設計法においては, 地震時および地震後の機能について明確にする必要があり，余震等が構造物の損傷評価に及ぼす影響について検討しておくことは重要なことと考える[1] .そこで本研究では，余震のみならず前震を受けた構造物の損傷評価について検討を行った.

２．入力地震動の設定及び損傷評価手法

ここでは，兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された南北方向波（Kobens）を対象とした. 本研究で用いた入力地震動の設定を Fig.1 に示す．前・余震の影響を簡便に考慮するために，Kobens の入力最大加速度 812gal を 406gal（50%減）に変更した地震動を作成し，Patten1 では前震が 2 波発生するものとして，Patten2 では余震が 2 波発生するものとして設定した.

損傷評価手法については，Park and Ang ら[2] 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.

$$D = \frac{x_M}{x_u} + \frac{\beta}{Q_y x_u}\int dE \qquad (1)$$

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．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必要強度スペクトルは三上ら[3] によって提案されており，Kobens 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して Fig.1 で示した入力地震動を与え，構造物の損傷評価に及ぼす前・余震の影響について検討した.

３．解析結果

Fig.3 および Fig.4 に, Patten1 と Patten2 を入力した場合に対する構造物の損傷評価をそれぞれ示す．これらの値は，前・余震

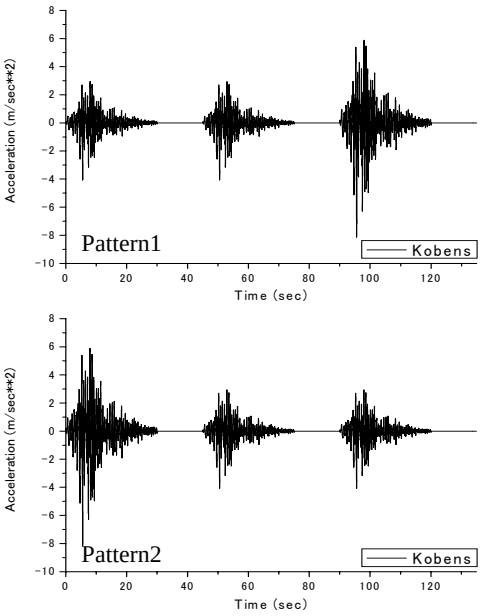

Fig.1　入力地震動の設定

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	大被害～ 圧破・鉄筋の座屈
1.0～	崩壊～ 全体的・部分的崩壊

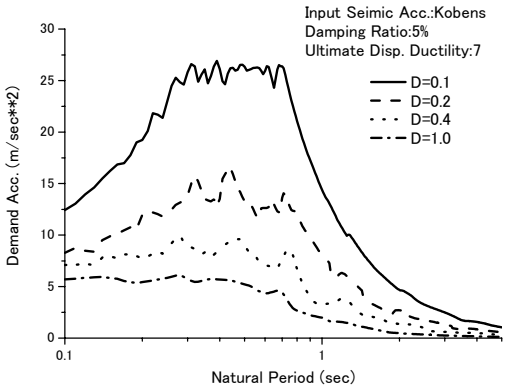

Fig.2　必要強度スペクトル

キーワード　非線形地震応答解析，性能照査型設計法，損傷評価
連絡先　　〒890-0065　鹿児島市郡元 1-21-40　鹿児島大学工学部　海洋土木工学科　Tel　099-285-8472

の影響がなければ目標性能に一致した値となる．これらの図より，前震の影響を考慮した場合においては，入力地震動の卓越周期付近において損傷評価がピークを有する傾向が認められた．余震の影響を考慮した場合においては，構造物の固有周期に依らず，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，つまり，許容する損傷が小さい場合では前・余震の影響は現れないことが分かる．このことを明確にするために，履歴特性に着目した検討を行う．

Fig.5 および Fig.6 は，構造物の固有周期が 0.5 秒，目標性能を D=1 とした場合の履歴曲線を各入力パターンについて示したものである．Patten1 においては，最初の地震を受けた時に構造物は若干損傷する履歴を示し，第 2 波を受けた時には最初の履歴内で非線形挙動を示していることが分かる．その状況で本震を受け構造物は最大変形を示していることが分かる．一方，Patten2 においては，最初の本震を受けた時に最大変形を示し，その後発生する余震に対しては，最初の履歴内で非線形挙動を示していることが分かる．また，前震の影響を考慮した Patten1 の構造物の塑性率が大きい値を示していることが分かる．

Fig.7 に，入力パターンの相違による構造物の吸収エネルギーについて示す． Patten1 では，2 度の前震を受けた状況で本震を受けるため，構造物は若干の損傷が発生した状況で本震を受けることになり，本震による影響が大きく現れていることが分かる．Patten2 では，最初の本震を受けた場合に大きな損傷が発生するため，非常に大きなエネルギーを吸収していることが分かる．その後に受ける余震に関しては，Fig.6 に示したように最大変形が発生した時の履歴ループ内で挙動するため，構造物の全吸収エネルギー量を増加させる影響を有していることが分かる．

４．まとめ

本研究では，前・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．前震に関しては，入力地震動の卓越周期部分で構造物の損傷を増大させ，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分かった．これらの影響を把握しておくことは，性能照査型設計を行う際に重要なことであると考える．

参考文献

1） 砂坂善雄，清水保明：余震の影響を考慮した構造物の耐震性評価法について，第 8 回日本地震工学シンポジウム，pp.2037-2042，1990

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.722-739，April 1985

3） 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，pp.619-629，2002.3

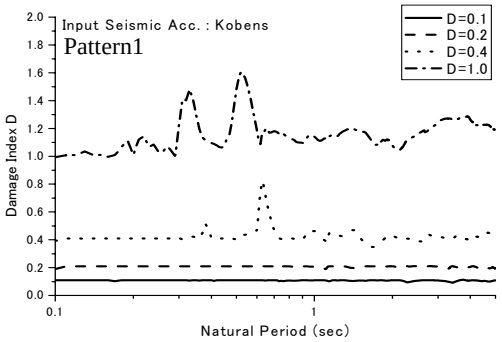

Fig.3 損傷評価（Pattern1）

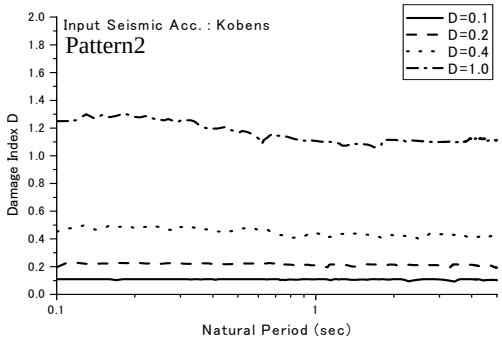

Fig.4 損傷評価（Pattern2）

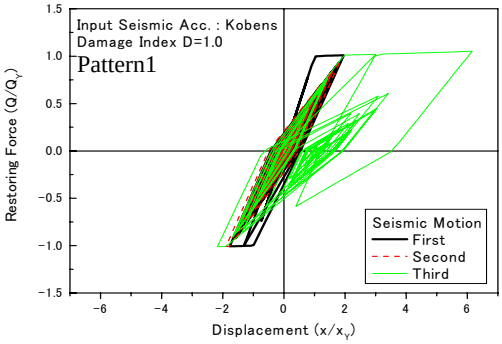

Fig.5 履歴曲線（Pattern1）

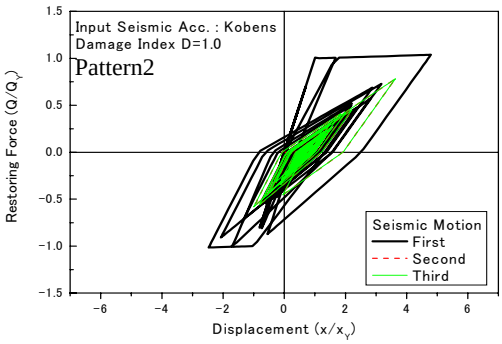

Fig.6 履歴曲線（Pattern2）

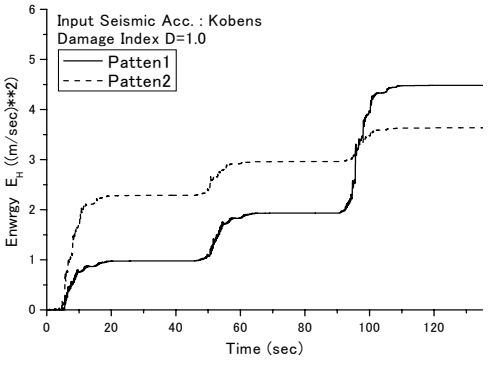

Fig.7 吸収エネルギーの比較