

直接基礎を持つ道路橋を対象とした損傷度指標を用いた残存耐震性能の評価

熊本大学大学院 学生会員 ○島袋 武
 大阪産業大学 正会員 山下 典彦
 豊橋技術科学大学 学生会員 岩越 恭平

1. はじめに

道路橋示方書は、道路橋が満足すべき性能を一概に規定することが容易ではないという背景から、構造物の技術基準への適合の定義を仕様への合致から性能への適合へ移行させ、その意図や内容を要求性能として各条項に導入してきた。それに伴い、地震による構造物の損傷度を定量的に表すことを目的とした指標が提案されている。

本研究では、まず、地震時の構造物の損傷度を表現する損傷度指標¹⁾を構造物の耐震性能を表現する耐震性能残存率²⁾へ導入することについて検討した。次に、その解析の流れを利用し、実在する道路橋を参考にした上部構造物を1自由度モデル(以下、1自由度モデルと呼ぶ)、1自由度モデルに直接基礎の影響を考慮した3自由度モデル(以下、3自由度モデルと呼ぶ)及び1自由度モデルの振動特性が3自由度モデル全体の1次の振動と等価となる等価1自由度モデル(以下、等価1自由度モデルと呼ぶ)の3種類の解析モデルの損傷度指標を用いた耐震性能残存率の値を算出した。

2. 耐震性能残存率と損傷度指標

地震を受けた上部構造物が有する耐震性能残存率を算出するために必要な指標である損傷度は、応答変形と塑性率の関係に基づいて設定されている。例えば、対象とする構造を曲げ部材として十分な変形能力を持つものと仮定すると、終局塑性率は5.0となる。これによって、降伏点までを損傷度Ⅰ、塑性率2.0までを損傷度Ⅱ、塑性率3.0までを損傷度Ⅲ、終局塑性率に至るまでを損傷度Ⅳが設定される。本研究では、構造物の被害の外観と耐震残存性能率を直接的に結びつけるため、地震時の構造物の損傷度を数値的に表現する損傷度指標 DI を塑性率の代わりに用いることを試みた。損傷度指標と上部構造物の損傷状態及び耐震性能の関係に耐震性能残存率に用いる損傷度を組み合わせたものが表1である。

前述の関係を利用し、損傷度指標を用いて耐震性能残存率を算出する。例として、損傷度Ⅳの場合の耐震性能残存率を求める場合を示す。まず、表1より、終局変形は $DI=1.0$ 、損傷度Ⅳは損傷度指標 $DI=0.60$ と設定する。上部構造物が終局変形($DI=1.0$)に至るよう、地震波を入力し倍率を変化させ繰り返し計算を行い、終局変形に至った時点で求める地震波倍率が A_0 である。次に、図1に示すように、上部構造物が損傷度Ⅱ($DI=0.60$)に至るよう、地震波を入力し倍率を変化させ繰り返し計算を行い、損傷度Ⅳになった時点で、1回目の地震波入力を終了し、その続きに2回目の地震波を入力する。2回目の地震波は、上部構造物が終局変形($DI=1.0$)に至るよう倍率を変化させていく。このときに求められる2回目の地震波の倍率が A_{d4} である。以上の計算より求められた A_{d4} を A_0 で除すことで、損傷度Ⅳのときの耐震性能残存率 R_{dyn} が求められる。同様に、各損傷度を受けた後に終局変形に至る地震波倍率 $A_{di}(i=1,2,3,4: 損傷度)$ を A_0 で除すと、各損傷度での耐震性能残存率 R_{dyn} が求められる。

表1 耐震性能残存率と損傷度指標

損傷状態	損傷度指標の値	耐震性能	損傷度	構造物の外観
無損傷	0.00	耐震性能Ⅰ	損傷度Ⅰ	ひび割れなし
	0.08			
使用可能	0.18	耐震性能Ⅱ	損傷度Ⅱ	中程度のひび割れ
修復可能				
修復不可能	0.36	耐震性能Ⅲ	損傷度Ⅲ	かぶりコンクリートの剥離
	0.60			
崩壊		耐震性能Ⅳ	損傷度Ⅳ	鉄筋剥き出し
				せん断耐力・軸耐力の損失

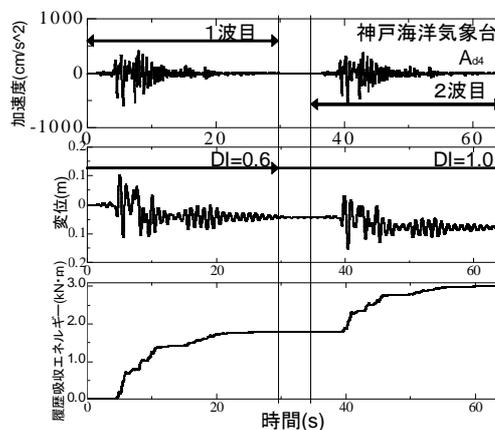


図1 損傷度Ⅳの場合の時刻歴

損傷度指標, 耐震性能残存率, 道路橋

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39-1 熊本大学大学院自然科学研究科 TEL 096-342-3513

3. 解析条件

各モデルの復元力特性として上部構造物の水平ばねはバイリニア型、3自由度モデルの基礎底部水平ばねはバイリニア型、基礎底部回転ばねはトリリニア型とした。構造パラメータとして降伏強度 P_y を 0.2, 減衰係数 h は 0.05, 許容塑性率 μ_a は、橋脚の致命的な損傷に対しての安全性が確保される 5.0 と、前述した損傷度Ⅲに当たる 3.0 とした。上部構造物の水平ばねの2次剛性比 n は 0.0 の完全弾塑性型とし、3自由度モデルにおける諸量は既存の直接基礎を持つ道路橋を参考にした2ケースのモデル(上部構造物の高さ 11m, 固有周期 0.712s, 0.965s, 直接基礎の深さ 2.0m, 半径 4.0m)を用いた。直接基礎の影響を考慮する場合、I種地盤で支持されていると仮定し、土の単位体積重量 17.6kN/m^3 , 粘着力 0.0kN/m^2 , ポアソン比 0.3, 上部構造物の減衰定数 0.05, 基礎の減衰定数 0.1, N 値 40(道路橋示方書よりせん断波速度 273.6m/s , 内部摩擦角 39.5°)とした。弾塑性地震応答解析は Newmark β 法($\beta=1/6$)により行った。入力地震動は、エルセントロ、神戸海洋気象台及び築館の NS 成分とした。

3. 解析結果

図2に損傷度指標と耐震性能残存率の関係をプロットしたものを許容塑性率及び入力地震動別に示す。図中の凡例は、 $\mu_a=3.0, 5.0$ が1自由度モデル, 3自由度が3自由度モデル, 等価が等価1自由度モデルである。

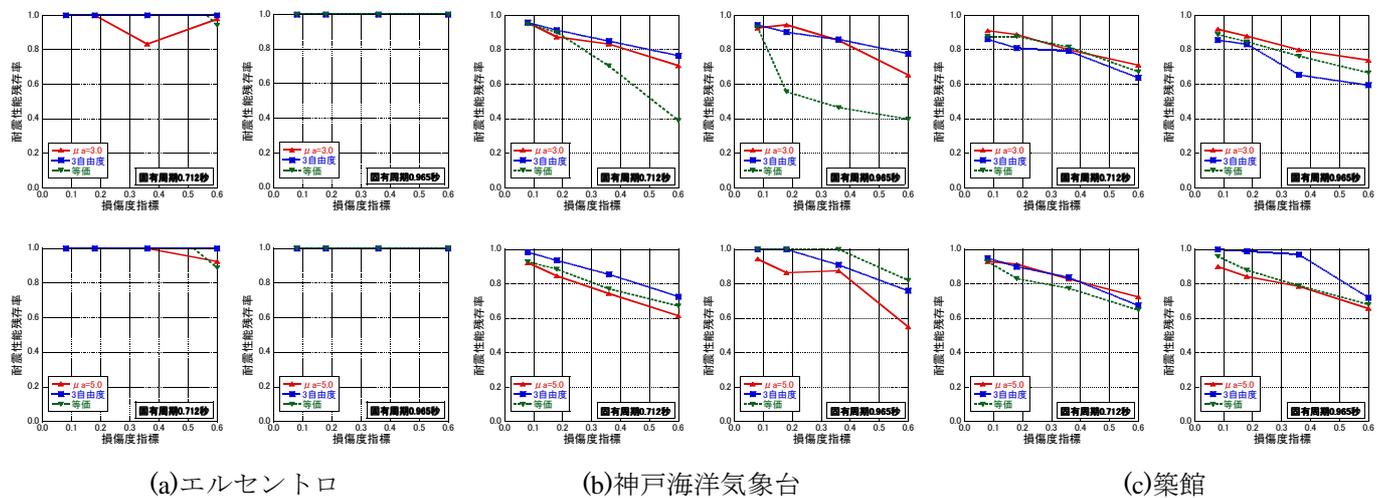


図2 損傷度指標と耐震性能残存率の関係

図から損傷度指標が大きくなるに従って耐震性能残存率は小さくなる傾向がみられる。また、 μ_a が大きくなると塑性域が広がるため、耐震性能残存率が小さくなる傾向もみられ、得られた傾向は概ね妥当であると考えられる。エルセントロの場合、神戸海洋気象台及び築館と比較して最大加速度が小さいため耐震性能残存率が低下せず 1.0 になっている。また、3自由度モデルの神戸海洋気象台と築館の固有周期 0.965s, $\mu_a=5.0$ の場合、損傷度指標がそれぞれ 0.18, 0.08 以上で耐震性能残存率が低下している。さらに、神戸海洋気象台の固有周期 0.712s, $\mu_a=3.0, 5.0$, 固有周期 0.965s, $\mu_a=5.0$, 築館の固有周期 0.965s, $\mu_a=5.0$ で、耐震性能残存率が全ての損傷度指標で1自由度モデルが3自由度モデルより小さくなっており、直接基礎の影響と考えられる。等価1自由度モデルについては、3自由度モデルと耐震性能残存率が異なっている場合が多く、モデル化について検討が必要である。

5. まとめ

本研究では、損傷度指標を耐震性能残存率へ導入し、その流れを利用して3種類の解析モデルについて耐震性能残存率を算出した。その結果、損傷度指標の値が大きくなるに従って耐震性能残存率は小さくなったことから、上部構造物の損傷度指標は損傷度を、耐震性能残存率は残っている耐震性能を表現しており概ね妥当である。

参考文献

- 1) 家村浩和, 三上卓: 目標耐震性能に必要な降伏強度と塑性率のスペクトル, 土木学会論文集, No.689/I-57, pp.333-342, 2001.
- 2) 鄭文淑, 前田匡樹, 田才晃, 長田正至: 地震被害を受けた RC 造建築物の残存耐震性能の評価, 日本建築学会構造工学論文集, Vol.48B, pp.189-196, 2002.