

## 地震リスクを勘案した RC 橋脚の耐震性能評価

関西大学大学院理工学研究科 学生会員 ○永草 新 神戸市役所 正会員 高橋和也  
 関西大学大学院理工学研究科 学生会員 木野村宏昭 関西大学環境都市工学部 正会員 堂垣正博

## 1. まえがき

わが国では、設計基準を上回る大地震の発生後に、耐震基準の引き上げや既存不適格な構造物への耐震補強が実施されてきた。設計基準で定められている以上の地震動が起こった際に、構造物がどのような状態に至るかを把握し、復旧が迅速に行えるように準備しておくことが寛容である。

本研究では、地震に対して RC 橋脚が保有する抵抗性能を指標“余裕度”で定量化し、それによる地震リスクを分析する。この結果から経年劣化などによる性能の低下を考えた RC 橋脚の耐震性能を評価し、その維持管理の水準を地震リスクの面から考える。

## 2. RC 橋脚モデルと余裕度

## 2.1 余裕度の定義と算出法

余裕度は、規定以上の地震動が作用することを念頭に、RC 橋脚の耐震性能が設計基準で要求される性能に比べてどの程度余裕をもって設計されているかを定量化する指標で、

$$R = \frac{k_R}{k_S} \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 $k_R$  は抵抗震度、 $k_S$  は外力震度である。すなわち、

$R < 1.0$  : 橋脚が要求性能を満たしていない状態

$R \geq 1.0$  : 橋脚が要求性能を満たしている状態

である。ここでは、平成 24 年度版道路橋示方書 V 耐震設計編<sup>1)</sup>の規定に対して、どの程度余裕があるかを考える。式(1)の抵抗震度  $k_R$  と外力震度  $k_S$  は、

$$\begin{aligned} k_R &= \frac{P_E}{W} \\ P_E &= \frac{P}{c_s} \\ k_S &= c_z k_{hc0} \end{aligned} \quad (2)$$

である。ここに、 $P_E$  が弾性応答水平力(kN)、 $W$  が等価重量(kN)、 $c_s$  が構造物特性係数、 $c_z$  が地域別補正係数である。このように、余裕度  $R$  を用いれば、橋脚が規定される耐震性

能を満たしているか判断できるだけでなく、どの程度規定に比べて余裕があるかが定量化できるため、耐震性能の評価指標の一つとして有用である。

## 2.2 対象とする橋脚

地震時保有水平耐力法に則って設計された高さ 10m の T 型形式の RC 橋脚を対象とした。固有周期が  $T_0=0.5\text{sec}$ 、許容塑性率が  $\mu_A=4.9$ 、等価震度が 0.59、地盤種別がⅡ種地盤のもとに設計された橋脚の鉄筋量を増減させることでさまざまな橋脚の地震時保有水平耐力を算出した後にそれぞれの橋脚に対して余裕度を算出する。それを指標に地震リスク分析を行い、設計時の地震動に対する損傷確率を求める。

## 2.3 RC 橋脚の地震時損傷度の評価と地震リスク分析

RC 橋脚の被災度を、兵庫県南部地震で被災した阪神高速道路神戸線を対象とした道路橋の耐震設計に関する資料を参考に、被災度ランク A～D で定義すれば、表-1 を得る。これを損傷度の判定基準とし、地震リスク費用を算定する。

橋脚の損傷度評価には、損傷程度を表す物理的尺度の塑性率  $\mu_{\max}$  を使用し、

$$\mu_{\max} = \frac{\delta_{\max}}{\delta_y} \quad (3)$$

から求める。ここに、 $\delta_{\max}$  は応答継続中の最大変位(mm)、 $\delta_y$  は降伏変位(mm)で、地震リスクの算定に用いる。

地震リスク費用は、地震によって損傷や倒壊が起こった場合の被災度ランク  $D_r$ (=A～D)に対応した地震時の損傷発生確率  $P_f(t, D_r)$  とその復旧コスト  $C_f$  の積

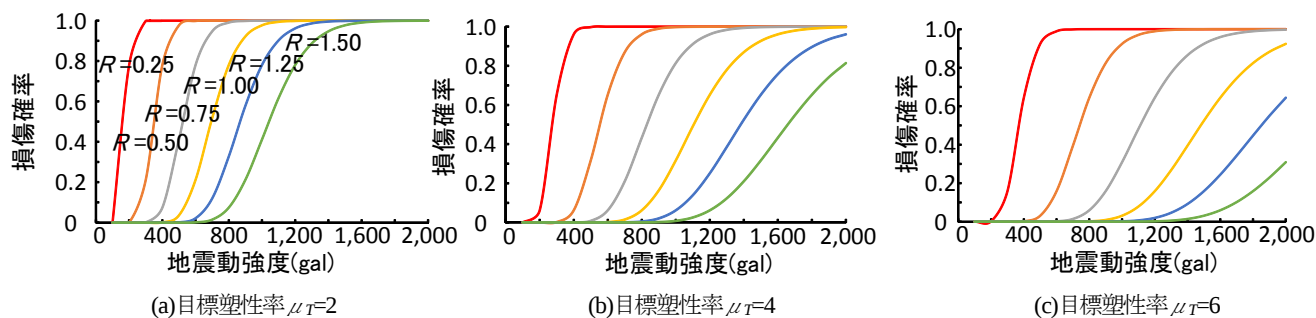
$$C_{sr} = \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{D_r=A,B,C,D} P_f(t, D_r) \cdot C_f \quad (4)$$

表-1 被災度ランクに対する復旧費用と日数

| $\mu_{\max}$ | 被災度<br>ランク | 被災<br>状況 | 橋脚の状態             | 復旧費用<br>(千円) | 復旧日数 |
|--------------|------------|----------|-------------------|--------------|------|
| 6.0～         | A          | 大被害      | 亀裂、鉄筋の破断          | 21,400       | 60   |
|              |            |          | 座屈、大きな変形          |              |      |
| 4.0～6.0      | B          | 中被害      | 鉄筋の一部の破断やはらみだし    | 7,900        | 14   |
|              |            |          | 部分的なコンクリートの剥離や亀裂  |              |      |
| 2.0～4.0      | C          | 小被害      | ひび割れの発生           | 2,400        | 3    |
|              |            |          | 局部的ななかりコンクリートの剥離  |              |      |
| ～2.0         | D          | 被害なし     | 損傷なし、あるいは極めて軽微な損傷 | 0            | 0    |

キーワード：RC 橋脚，地震リスク，余裕度，劣化，耐震性能評価

連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL.06-6368-0882 FAX.06-6368-0882

図-1 余裕度  $R$  でのフラジリティ曲線

で求められる。ここに、 $t_n$  は地震リスク費用を計算する時点までの経過年数である。ちなみに、被災度ランク  $D_r$  に対する復旧費用  $C_r$  と日数は、文献2)を参照した。

橋脚の地震損傷発生確率  $P_f$  を地震加速度 100～2,000gal で地震の発生確率を表すハザード曲線<sup>3)</sup>と橋脚の損傷確率を表すフラジリティ曲線<sup>3)</sup>から算出すれば、図-1を得る。これは、余裕度  $R$  の橋脚の地震動ごとの破壊確率を表す。

### 3. 余裕度を指標とした RC 橋脚の地震リスク評価

#### 3.1 余裕度を指標とした地震損傷発生確率

余裕度  $R$  と地震損傷発生確率の関係から、被災度ランク別の地震損傷発生確率を算出し、下横軸に余裕度  $R$ 、上横軸にそれに対応した抵抗地震動強度を用い、地震損傷発生確率を描けば、図-2を得る。現行の耐震設計基準を満足する橋脚においても、経年劣化や外力などの影響で余裕度が0.8を下回ると、被災度ランク A, B の損傷確率が上昇し始めることから、余裕のない設計の RC 橋脚は維持管理時の管理水準に留意する必要がある。

#### 3.2 任意の余裕度 $R$ での年間地震リスク費用

得られた地震損傷発生確率から、橋脚が保有する任意の余裕度  $R$  に対する年間の地震リスク費用を算出すれば、図-3を得る。算出された年間の地震リスク費用と表-1に示す被災度ランクの復旧費用・期間を比較すれば、橋脚が保有する余裕度  $R$  における地震時損傷の危険性が把握できる。得られた年間地震リスク費用の推移を示す図-3に被災度ランク C および B に相当する復旧費用を点線で示した。たとえば、地震時の損傷を C まで許容するとすれば、リスク管理の観点から余裕度 0.7 以上を保つように維持管理する必要がある。これは、限られた予算内で維持管理計画を立案する際に、重要度の低い橋脚に対する一つの要求性能として考えることができる。供用中の橋梁でほとんど利用されておらず供用終了と同時に撤去が予定されている橋梁に対しては、同様に被災度ランク B を要求性能とし、維持管理計画を立案することも可能である。

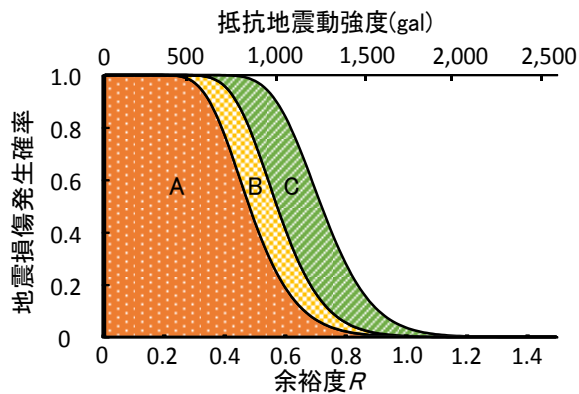
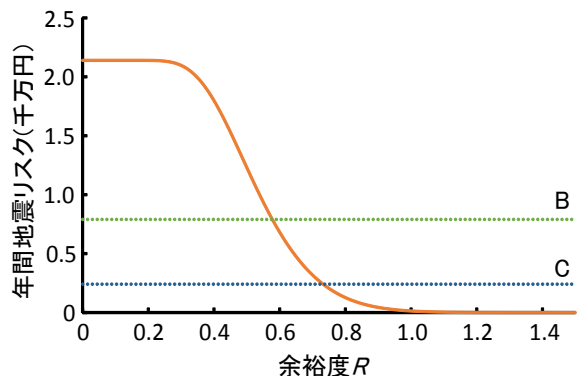
### 4. あとがき

得られた結果をまとめれば、つぎのとおりである。

- (1) ハザード曲線とフラジリティ曲線を組合せ、被災度に対応した RC 橋脚の地震損傷発生確率を算出した。
- (2) さまざまな余裕度を保有する RC 橋脚に対し、その地震損傷発生確率を算出し、地震リスクを分析した。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，2012。
- 2) 高橋和也・藤井久矢・古田均・堂垣正博：既設 RC 橋脚の地震リスクを勘案した維持管理戦略，材料，日本材料学会，Vol.63, No.2, pp.110-116, 2014-2。
- 3) 中島正人：高地震帯における地震ハザード評価方法の提案，電力中央研究所報告，研究報告 N08069, 2009。

図-2 余裕度  $R$  と地震損傷発生確率の関係図-3 余裕度  $R$  と年間地震リスクの関係