

第 I 部門 既設 RC 橋脚の地震リスクを勘案した維持管理計画

関西大学環境都市工学部 学生員 〇高橋和也 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 藤井久矢  
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 田中新也 関西大学大学院理工学研究科 学生員 北村 遼  
 関西大学総合情報学部 正会員 古田 均 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、長年にわたる景気の低迷と財政難から「コンクリートから人へ」なる公共事業縮減策が示され、その事業費が減額されている。また、供用中の社会基盤施設は時々刻々と老朽化しているため、これを防止し、可能な限り長く活用できるように維持管理することが求められている。それゆえ、縮減される公共事業費内で社会基盤施設を維持し続けるためには「効率的な維持管理」が重要になる。

2011 年 3 月 11 日に起こった東北地方太平洋沖地震から想定以上の災害をもたらす危険性が認識され、社会基盤施設の災害に対するリスクマネジメントが必要になってきた。

このような背景から、社会基盤施設の維持管理を考える上で、そのライフサイクルコスト（以下、LCC）に地震リスクを勘案し、それが公共事業に及ぼす影響を検討する。

2. 地震リスクを加味した維持管理計画の LCC 分析

2.1 解析対象の RC 橋脚モデル

地震の作用を考え、経年劣化の過程にある RC 橋脚の維持管理計画を立てる。ここでは「平成 14 年度道路橋示方書・同解説 V. 耐震設計編<sup>1)</sup>」で定められたレベル 2 地震動タイプ II に対応する耐震性能基準を満たすように設計された橋脚モデルを用いる。その諸元を表-1 に示す。

2.2 鉄筋の経年劣化モデル

塩害による鉄筋の腐食を経年劣化のモデルとする。RC 橋脚内の鉄筋が腐食し始めると、その断面が時間とともに欠損し、橋脚の剛性が低下する。ここでは、鉄筋の劣化過程に鉄筋断面の残存率を健全度とし、鉄筋断面の経年劣化モデルを図-1 のように考えた。

2.3 地震リスクを含む LCC と地震リスク費用の算出

地震リスクを勘案した RC 橋脚の維持管理にかかる LCC

表-1 橋脚モデルの寸法諸元と保有水平耐力

上部工荷重(kN)	5692.5	最外縁鉄筋間隔(mm)	140
躯体寸法(m×m)	6×2	かぶり(mm)	100
配筋段数	2	使用鉄筋	D32
鉄筋配筋数	49×2	保有耐力(kN)	5132.6
鉄筋間隔(mm)	120		

は一般に、

$$C_{LCC} = C_I + \sum_{i=0}^n C_{M,i} + C_R + C_{Risk} \quad (1)$$

で与えられる。ここに、

$C_I$  : 初期建設費。実務者の意見を参考に、10 万円/m<sup>3</sup> に仮定する。

$C_{M,i}$  : 維持管理費。RC 橋脚の経年劣化による性能低下を阻止したり軽減したりするために必要な費用。  
 $n$  は補修回数。補修工法、その効果と工事費は福井県建設技術公社の資料<sup>3)</sup>を参考にした。ただし、点検費用は維持管理費に含めず無視した。

$C_R$  : 更新費。初期建設費と同様、10 万円/m<sup>3</sup> とした。ただし、撤去費用は含めない。

$C_{Risk}$  : 地震リスク費用。これは、地震発生損傷確率  $P_f$  と損失コスト  $C_f$  との積で与えられる。損失コストを地震損傷度と結びつけるため、阪神淡路大震災での被災度を参考に<sup>4)</sup>、表-2 のように対応させた。

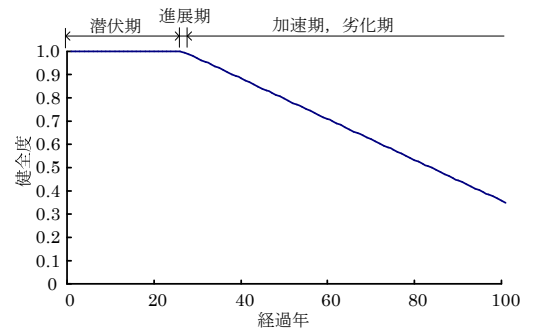


図-1 経年劣化曲線

3. 地震リスクの設定

3.1 地震の発生確率

地震の発生確率は、地震強度の年超過確率を地震加速度 100~2,000gal の範囲で求める。ここでは、中島<sup>5)</sup>による高

表-2 被災度ランク別の応答塑性率と損失コスト

$\mu_{max}$	被災度ランク	被災の状況	損失コスト(千円)
6.0~	As	落橋	21,400
	A	大被害	
4.0~6.0	B	中被害	7,900
2.0~4.0	C	小被害	2,400
~2.0	D	被害なし	0

地震帯におけるハザード曲線を準用した。

### 3.2 地震時損傷確率と地震発生損傷確率

橋脚の損傷確率を経過時間と作用地震入力パラメータからフラジリティ曲線を算定する。得られた2つの曲線から地震時損傷確率を被災度ランク別に算出し、図-2を得る。

### 3.3 地震時の損失費用

地震リスク費用は、地震によって橋梁が損傷・倒壊した場合に発生する費用で、表-2 に示す被災度ランク別の損失コストと、図-2 に示す地震時損傷確率から求められる。

## 4. 劣化損傷した RC 橋脚の維持管理計画案とその分析

塩害で腐食した RC 橋脚に地震力が作用すれば、その耐力は低下する。地震リスクを加味し、それが RC 橋脚の維持管理計画に及ぼす影響を検討する。管理水準が異なる 5 ケースの補修シナリオを表-3 のように考え、補修工法や更新のための費用、その効果を表-4 のように仮定した。

RC 橋脚の補修・補強の実態を有識者や実務者に問い、RC 橋脚の健全度が 70%まで低下した性能レベルを限界とした。限界に至るまでの範囲で維持管理水準の異なった管理シナリオを立て、個々に補修・補強の計画を立案した。限界の管理水準に到達した場合は更新とした。シナリオ S-1~S-5 に対して LCC を算出すれば、図-3 を得る。

地震リスクを無視した場合、維持管理シナリオ S-1~S-3 では補修の回数や維持管理費が増えるため、事後対応型の維持管理シナリオ S-4, S-5 が優れている。一方、地震リスクを考慮すれば、S-4, S-5 のシナリオではかなりの地震リスク費用が発生する。それゆえ、地震多発国では、これらは適切な維持管理シナリオとは言えず、S-1, S-2 のような予防保全型の維持管理シナリオがよい。ただし、想定以上の地震が発生した場合は、早急な耐震補強策が望まれる。

## 5. 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) 中島が提案した高地震帯における地震ハザード曲線を用い、2,000gal という極めて大きな地震加速度を用いて地震リスクを分析し、その費用を算出した。
- (2) RC 橋脚の経年劣化による性能低下が地震リスク費用を増加させる要因になることを明らかにした。
- (3) 既設 RC 橋脚を対象に、異なった5つの管理シナリオに対する LCC を求め、地震リスクが橋脚の維持管理に及ぼす影響を明らかにした。その結果、長期的視野に立った維持管理の重要性が分かった。

## 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，2002.
- 2) 福井県建設技術公社：橋梁定期点検マニュアル(案) 補修・補強工法，2007.3.
- 3) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神淡路大震災調査報告-土木構造物の応急復旧，補修，補強，土木学会，1999.1.
- 4) 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.

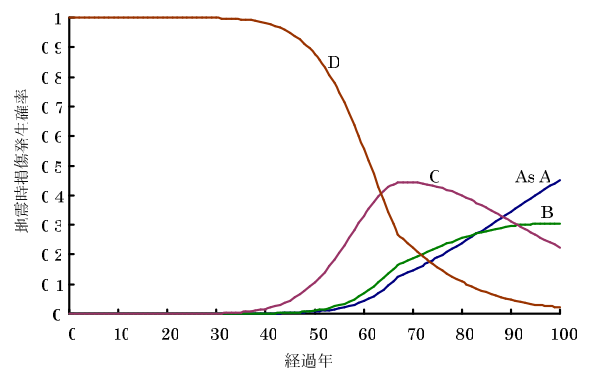


図-2 地震損傷発生確率の推移

表-3 検討した維持管理シナリオ

Scenario	工法	耐力低下
S-1	表面被覆+電気防食	許容しない
S-2	ひび割れ注入	鉄筋減少率6%まで許容
S-3	断面修復	鉄筋減少率10%まで許容
S-4	断面修復	鉄筋減少率20%まで許容
S-5	更新	鉄筋減少率30%まで許容

表-4 補修・補強項目一覧

工法	効果の内容	費用
表面被覆+電気防食	性能の低下を10年間抑止する	90(千円/m <sup>3</sup> )
ひび割れ注入	健全度を回復させる	23(千円/m <sup>3</sup> )
断面修復	健全度を9割回復させる	50(千円/m <sup>2</sup> )
更新	劣化率を全回復させる	100(千円/m <sup>3</sup> )

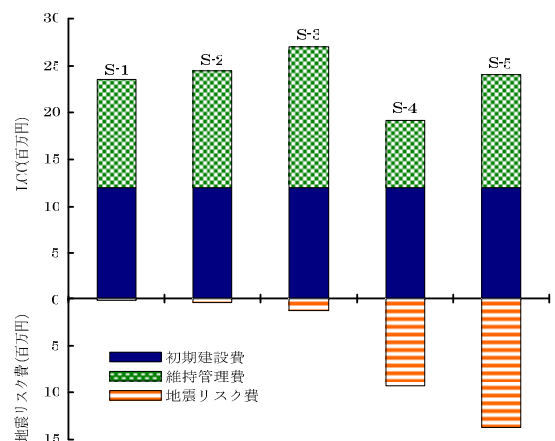


図-3 各シナリオ別のLCC