

第 I 部門 RC 橋脚の地震リスク費用低減のための維持管理計画

関西大学大学院理工学研究科 学生会員 ○ 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
パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 藤井 久矢 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

わが国の各自治体では、近年、高齢化した構造物を効率よく維持管理するための“長寿命化計画”が立案され、LCC を低減した維持管理が推進されている。

本研究では、わが国が地震国であることを念頭に、RC 橋脚の地震による損失を加味した維持管理を考える。橋脚が地震動によって損傷する確率を信頼性理論にもとづいて評価し、地震リスク費用と LCC の両面から、安全性と経済性を兼ね備えた戦略的な維持管理計画について検討する。

2. 経年劣化する RC 橋脚の地震リスクを勘案した LCC

2.1 鉄筋が腐食する RC 橋脚の耐震性能と LCC

塩害によって鉄筋が腐食する RC 橋脚の維持管理計画を考える。供用期間を 100 年とし、耐震性能の低下を補うための維持管理費用と地震リスク費用を分析する。LCC は、橋脚の供用から寿命を迎えるまでにかかる費用のことで、

$$C_{LCC} = C_i + C_m + C_r \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 C_i は初期建設費用、 C_m は維持管理費用、 C_r は更新費用である。

H24 年度版道示 V¹⁾ の規定に則って設計された図-1 の T 形 RC 橋脚を対象とする。橋脚モデルは、レベル 2 地震動タイプ II に相当した地震時の応答加速度が 1,715gal、許容塑性率が 4.9、等価震度が 0.59、II 種地盤のもとに設計され、固有周期は 0.5sec である。RC 橋脚が塩害で劣化すれば、耐震性能は低下する。国総研の劣化予測モデル²⁾によれば、鉄筋が腐食し始めると、その断面は時間とともに加速度的に減少する。劣化の進行を考え、RC 橋脚の地震時保有水平耐力をプッシュオーバー解析で求めれば、図-2 を得る。

2.2 被災データにもとづいた RC 橋脚の地震リスク評価

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 に区分する³⁾。これを損傷度の判定基準に使い、地震リスク費用を算定する。

橋脚の損傷度評価には、塑性率がしばしば用いられる。損傷程度を表す物理的尺度、すなわち、塑性率 μ_{max} は

$$\mu_{max} = \frac{\delta_{max}}{\delta_y} \quad (2)$$

である。ここに、 δ_{max} は応答継続時間中の最大変位 (mm)、 δ_y は降伏変位 (mm) で、これを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 $D_r (=A \sim D)$ 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

$$C_{sr} = \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{D_r=A,B,C,D} P_f(t, D_r) \cdot C_f \quad (3)$$

で求められる。ここに、 t_n は地震リスク費用を算定する時点までの経過年数である。なお、被災度ランク D_r に対する復旧費用 C_f と日数は文献 3) に譲る。

地震加速度 100~2,000gal の範囲で橋脚の地震損傷発生確率 P_f を地震の発生確率を表すハザード曲線³⁾と橋脚の損傷確率を表すフラジリティ曲線³⁾から求めれば、図-3 を得る。

3. 地震リスクを勘案した RC 橋脚の LCC 分析

3.1 維持管理にかかる費用

RC 橋脚の維持管理計画を検討するため、LCC の算出に必要な初期建設費用は橋脚の材料費のみとし、材料単価を 10 千円/m³ とすれば、本橋脚は 12,000 千円となる。維持管理費は、橋梁マネジメントシステム詳細資料⁴⁾を参考に、

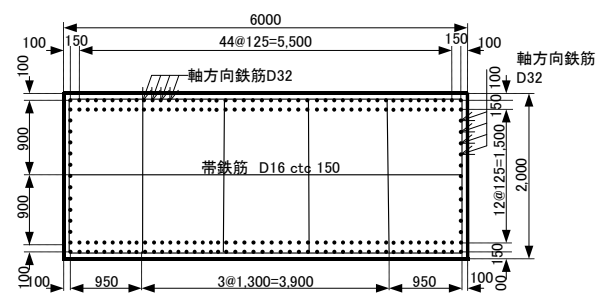


図-1 RC 橋脚モデル

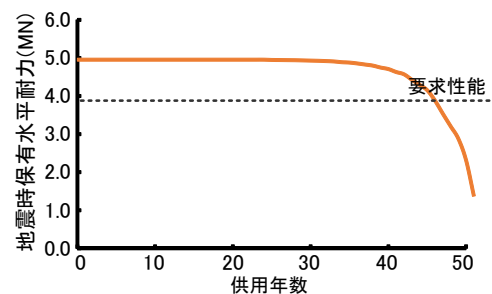


図-2 RC 橋脚の腐食に伴う耐震性能の推移

表-1 シナリオの管理水準と補修工法、および、効果と単価

シナリオ	区分	管理水準	工法	効果	単価
S1	更新	鉄筋断面減少率30%	更新	健全度の全回復	5,250(千円)
S2	事後保全	鉄筋断面減少率20%	大断面修復+表面被覆	劣化の進行を36年間抑止する	157(千円/m ²)
S3		鉄筋断面減少率10%	小断面修復	劣化の進行を26年間抑止する	70(千円/m ²)
S4	予防保全	塩化物イオン濃度0	表面被覆	劣化の進行を10年間抑止する	17(千円/m ²)
S5		塩化物イオン濃度1.2kg/m ³	脱塩	塩化物イオン濃度を0にする	100(千円/m ²)
S6	耐震補強	鉄筋断面減少率25%	RC巻立て+大断面修復	地震時保有水平耐力を向上する	190(千円/m ²)
S7		塩化物イオン濃度1.2kg/m ³	RC巻立て+脱塩	地震時保有水平耐力を向上する	150(千円/m ²)
S8		被災度ランクCの相当額(年間リスク費=240万円)	RC巻立て+小断面修復	地震時保有水平耐力を向上する	120(千円/m ²)

供用期間中にかかった補修・補強費の総額から算出する。

3.2 地震リスク費用を勘案した RC 橋脚の維持管理計画

表-1 のような維持管理シナリオを想定し、LCC と地震リスク費用を算出すれば、図-4 を得る。この場合、補修・補強、更新の時期は図-5 のようである。S1 は更新せざるを得ない状態まで放置したシナリオのため、地震リスク費用と LCC が多かった。S1、S5、S7 を除いて、維持管理費用が安価になったが、事後保全型のシナリオは地震リスクが高く、危険な維持管理計画と判断される。地震時保有水平耐力を高い水準で維持する予防保全型シナリオ S4、S5 はいずれも地震リスク費用が低減されているが、S4 は他のシナリオに比べて補修回数が多く、S5 は性能が低下しないように対処しているため、それらが維持管理費に反映された。

耐震性能を向上させ、地震リスク費用の低減を図る耐震補強型シナリオ S6～S8 は、いずれも事後保全型に比べて、地震リスク費用が低減される。補強時に必要な補修費用を抑えれば、リスクや LCC の低減に繋がるという結果を得た。

このように、地震リスク費用を加味すれば、維持管理計画の良し悪しが判定できる。また、年間の地震リスク費用を念頭に管理水準を設ければ、被災度や修復性を考えた管理水準が設定でき、被災しても想定される被災度ランクに抑えることができる。安全な社会づくりのためには、地域の特性にあった想定地震動を勘案し、それにもとづいた構造物の性能評価によって合理的な維持管理が可能となる。

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) フラジリティ曲線とハザード曲線から地震損傷発生確率を求め、地震リスクを加味した維持管理計画を立てた。
- (2) 予防保全型や補強を伴う維持管理が地震リスクの低減に寄与し、安全で経済的な維持管理になることを定量的に明らかにした。
- (3) 年間の地震リスクを基準に管理水準を設けて維持管理すれば、地震後の復旧を考えた維持管理が可能になる。

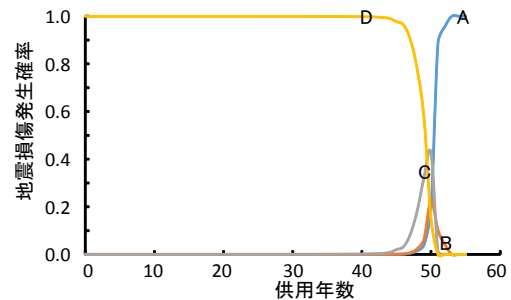


図-3 RC 橋脚モデルの地震損傷発生確率

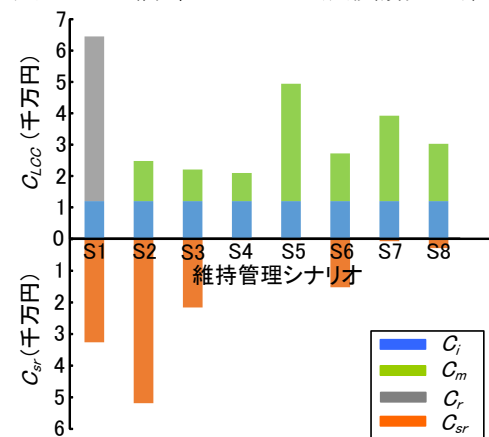


図-4 維持管理シナリオの LCC と地震リスク費用

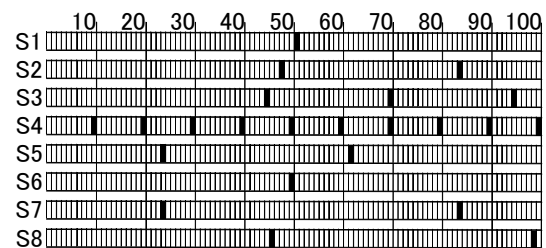


図-5 シナリオごとの補修・補強の時期

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) 玉越・大久保・渡辺：国土技術政策総合研究所，第 523 号，2009-3。
- 3) 高橋・藤井・古田・堂垣：材料，日本材料学会，Vol.63，No.2，pp.110-116，2014-2。
- 4) 道路保全技術センター編：橋梁マネジメントシステム詳細資料，2005-11。