

## 経年劣化 LRB を有する高架道路橋の地震リスク評価

阪神高速道路(株) 正会員 ○ 林 訓裕 京都大学防災研究所 正会員 五十嵐 晃  
 阪神高速道路(株) 正会員 足立 幸郎 埼玉大学理工学研究科 正会員 党 紀

### 1. はじめに

経年劣化 LRB を有する高架道路橋システムを対象として、地震時におけるシステムの機能を定義した上で、システムの被害形態と機能損失との関係性をイベントツリー解析に基づく地震リスクアセスメント手法でモデル化した。また、本モデルを用いて、高架道路橋システムの道路交通機能に支障が生じた場合の機能損失に係る地震リスクについて、機能損失コストとして評価するとともに、ライフサイクルコストを試算した。

### 2. 地震リスク評価

高架道路橋システムは図-1 に示す下部構造の弾塑性変形を考慮した2質点系(2DOF)モデルを用いる。支承と橋脚の地震時における損傷度ごとの要求性能及び復旧性を表-1 に示す。検討対象地域を大阪市南西部とし、その架橋地点における地震ハザードカーブを用いた。高架道路橋システムの地震損失コストについては林ら<sup>1)</sup>の研究から引用し、表-2 のように算出した。

各事象の損失コストに地震発生確率を乗じ、その総和が高架道路橋システムの全損失コストとなる。ここでは LRB の経年劣化状態ごとの損失コストを比較するため、①リファレンス支承(破断ひずみ 329%)、②劣化支承(同 274%)、③終局支承(同 250%)の3ケースで計算し、結果を表-3 に示す。これより LRB の経年劣化の進展とともに損失コストも増大することがわかる。

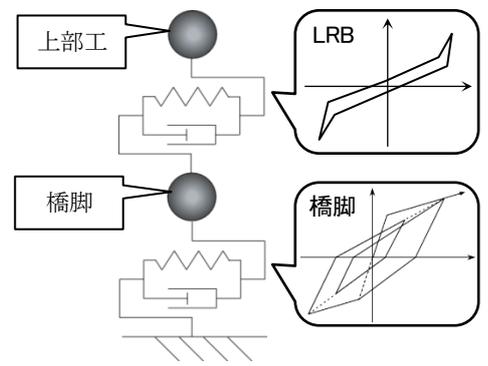


図-1 2質点系モデル

表-1 地震時要求性能及び復旧性 (左: 支承, 右: 橋脚)

ランク	性能ランク1	性能ランク2	性能ランク3	ランク	性能ランクA	性能ランクB	性能ランクC	性能ランクD
損傷度	無損傷	中損傷	大損傷	損傷度	無損傷	小損傷	中損傷	大損傷
要求性能	健全性を損なわない	損傷が致命的とならない	致命的な損傷	要求性能	健全性を損なわない	損傷が限定的で機能回復が速やかに実行可能	損傷が致命的とならない	致命的な損傷
状態	許容値以内	終局以内	終局以上	状態	弾性範囲	許容値以内	終局以内	終局以上
	$\epsilon_p \leq \epsilon_{ps}$	$\epsilon_p < \epsilon_{ps} \leq \epsilon_{pu}$	$\epsilon_p > \epsilon_{ps}$		$\mu_p \leq \mu_y$	$\mu_y < \mu_p \leq \mu_s$	$\mu_s < \mu_p \leq \mu_u$	$\mu_u < \mu_p$
【 $\epsilon_{ps} = 250\%$ , $\epsilon_{ps} = 274\%$ (劣化) / 329%(リファレンス)】				【 $\mu_y = 8.08$ , $\mu_u = 11.6$ 】				
地震後の使用性(機能保持性)	常時機能保持(目視点検後、即通行可能)	大部分機能限定(緊急車両のみ通行可能)	機能損失(車両通行不可能)	地震後の使用性(機能保持性)	常時機能保持(目視点検後、即通行可能)	一部分機能限定(補修しながらの車両通行可能)	大部分機能限定(緊急車両のみ通行可能)	機能損失(車両通行不可能)
地震後の使用性(復旧性)	補強・補修不要	中~長期間必要(相当規模の補強・補修)	復旧不可(取替・再構築)	地震後の使用性(復旧性)	補強・補修不要	短期間で復旧可(軽微な補修)	中~長期間必要(相当規模の補強・補修)	復旧不可(取替・再構築)
復旧方針	不要	ジャッキアップして残留ひずみ補正	取替(上部工の再構築も含む)	復旧方針	不要	クラックへの樹脂注入等	部材補強	再構築(基礎は再利用)
復旧日数(day)	0	30	300	復旧日数(day)	0	5	100	300
復旧費用(千円)	0	3,000/支承	20,000/支承	復旧費用(千円)	0	1,000/橋脚	20,000/橋脚	50,000/橋脚

表-2 被害形態ごとの各損失コスト

Event Tree	支承	橋脚	通行止め日数(日)	損失コスト(百万円)			
				復旧費用	料金減収	走行時間	人的被害
1	A		0	0	0	0	0
	B		0	12	0	0	0
	C		100	240	5,758	3,414	0
	D		300	600	17,275	10,241	4,998
2	A		30	330	1,728	1,024	0
	B		30	342	1,728	1,024	0
	C		100	570	5,758	3,414	0
	D		300	930	17,275	10,241	4,998
3	A		300	2,200	17,275	10,241	4,998
	B		300	2,212	17,275	10,241	4,998
	C		300	2,440	17,275	10,241	4,998
	D		300	2,800	17,275	10,241	4,998

表-3 各被害形態における機能損失コスト

①リファレンス支承		橋脚				【単位: 百万円】
		ランクA	ランクB	ランクC	ランクD	
支承	ランク1	0.0	6.5	73.4	478.8	
	ランク2	0.0	12.4	14.5	154.3	
	ランク3	0.0	0.0	1.2	0.0	
		合計損失額				741.1
②劣化支承		橋脚				【単位: 百万円】
		ランクA	ランクB	ランクC	ランクD	
支承	ランク1	0.0	3.4	5.4	6.0	
	ランク2	0.0	440.0	66.1	563.5	
	ランク3	0.0	1515.3	272.3	51.8	
		合計損失額				2,923.8
③終局支承		橋脚				【単位: 百万円】
		ランクA	ランクB	ランクC	ランクD	
支承	ランク1	0.0	3.3	4.6	0.7	
	ランク2	10.4	671.5	60.6	272.7	
	ランク3	0.0	3442.1	399.9	296.3	
		合計損失額				5,162.1

キーワード 鉛プラグ入り積層ゴム支承, 経年劣化, 地震リスク評価, ライフサイクルコスト  
 連絡先 〒552-0006 大阪市港区石田 3-1-25 阪神高速道路(株)大阪管理局 TEL06-6576-3881

3. ライフサイクルコスト

地震リスクを LCC の一部として評価する場合、各年コストを年間期待損失額として評価することが一つの考え方である。毎年の地震による年間期待損失額を対象施設の予定供用期間中の合計で評価したものがライフサイクル地震コストであり式(1)で示される。

$$LCC = \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (1)$$

$i$  : 年度

$T$  : 予定供用年数

$C_i$  :  $i$ 年目の年間期待損失コスト

$r$  : 社会的割引率

予定供用年数(評価期間)については構造物長寿命化の観点から100年とし、社会的割引率は昨今の長期金利状況を勘案し、公共事業で一般的に適用される4%に加えて2%も試算した。

評価期間中における複数の維持管理シナリオを表-4とし、シナリオ②及び③の方針に記載している終局状態に至るまでの年数を25年、シナリオ④における終局状態に達する前の取替え年数(間隔)は、20年と設定する。なお、初期状態は「劣化支承」とした。

シナリオごとの LCC を図-2 に示す。いずれの割引率でも、 $T=100$  年間ではシナリオ④が LCC 最小となる。さらにシナリオ④において最小 LCC となる支承取替え間隔を求めた(図-3)ところ、 $r=2\%$ では14年、 $r=4\%$ では15~16年で最小となった。これより、社会的割引率が低いと最適支承取替え間隔は短くなる方向にシフトする傾向だが、支配的要素ではないと考えられる。

一方、劣化速度をパラメータとし、設定した劣化速度の1/2(破断ひずみに至る期間が2倍=50年)及び1/3(同3倍=75年)の2ケースを考える。 $r=2\%$ におけるシナリオ④の最適支承取替え間隔を求めたところ、図-4に示すとおり、劣化速度1/2では20~21年、劣化速度1/3では25~26年との結果が得られた。 $r=4\%$ の場合でもほぼ同じ結果となっており、劣化速度をパラメータとしたほうが社会的割引率よりも効果があることが示された。なお、破断ひずみへ至る期間が長くなる(劣化速度の低下度合)に応じて最適取替え間隔は長くはならず、およそ4割程度にとどまっている。

5. おわりに

経年劣化 LRB を有する高架道路橋の地震リスク評価を行い、LRB の劣化が進展すれば損失コストも増大することを示した。併せてシナリオごとの LCC 算出とともに支承取替え間隔の最適化を検討し、劣化速度の影響を受けることを明らかにした。本検討結果は一つの事例に基づいて試算したものであるため、実務への適用には精度向上が望まれる。

参考文献

1) 林訓裕, 五十嵐晃, 党紀, 足立幸郎 : LRB の経年劣化を考慮した地震リスク評価に基づく道路橋の耐震性能評価, 第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, Vol.19, pp.419-426, 2016.

表-4 維持管理シナリオ及び方針

維持管理シナリオ		方針
①	無対策	劣化支承のまま使用継続する
②	事後保全	劣化が終局状態(破断ひずみ=250%)に達した後に取替える
③	予防保全1	現時点( $i=0$ )で取替え、その後終局状態に達することに取替える
④	予防保全2	現時点( $i=0$ )で取替え、その後終局状態に達する前に取替える

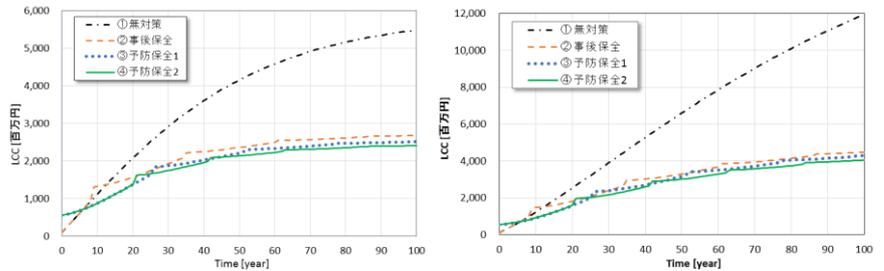


図-2 維持管理シナリオごとの LCC 比較 (左 :  $r=4\%$ , 右 :  $r=2\%$ )

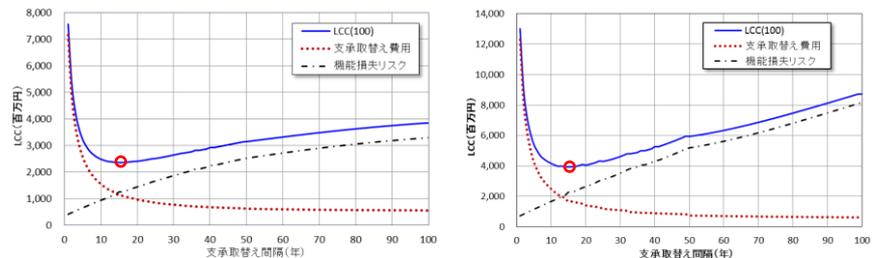


図-3 支承取替え間隔の最適化 (左 :  $r=4\%$ , 右 :  $r=2\%$ )

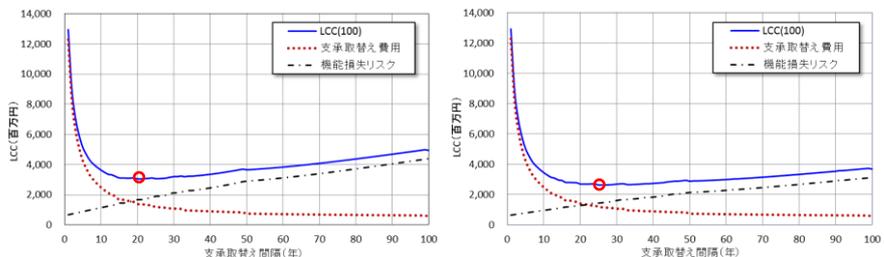


図-4 劣化速度をパラメータとした場合の最適支承取替え間隔 (左 : 劣化速度 1/2, 右 : 同 1/3)