

地震リスクを評価した道路橋梁群の維持管理計画

パシフィックコンサルタンツ株式会社
 パシフィックコンサルタンツ株式会社
 関西大学総合情報学部
 関西大学環境都市工学部

正会員○田中新也
 正会員 藤井久矢
 正会員 古田 均
 正会員 堂垣正博

1. はじめに

今日も、わが国では深刻な財政難が続くなか、膨大な社会資本の老朽化が大きな課題となっている。今こそ、将来に亘る社会基盤施設の安全を確保するため、効率的・効果的な維持管理が望まれている。また、わが国は有数の災害多発国であり、兵庫県南部地震での甚大な損害は、今日なお記憶に新しい。このような背景から、ここでは道路橋 RC 橋脚を対象に、これまでの老朽化対応に地震による損傷リスクを加味した維持管理計画について提案する。すなわち「①どの橋梁を・②何時・③どの工法で」の3つの解を、離散的最適化手法の遺伝的アルゴリズムから求め、橋梁維持管理の年次計画案を策定するものである。

2. 地震損傷リスクを加味した維持管理計画の LCC 分析

社会基盤施設の維持管理に関わるライフサイクルコスト（以下、LCC と略する）は、一般に初期建設費（ C_I ）、維持管理費（ C_M ）、更新費からなる。ここでは、これに地震による損傷リスクの換算コストを加え、その総和が最小となる維持管理の年次ごとの計画案とする。（但し更新費は別途計上とした。）

すなわち、LCC (C_{LCC}) は次から求められる。

$$C_{LCC} = C_I + C_M + \sum_{a=0}^{1,000} \sum_{DI=As,A,B,C,D} \{P(a) \cdot P(DI/a) \cdot C_D(DI)\}$$

ここに、

$P(a)$: ハザード曲線から求める地震発生確率

$P(DI/a)$: フラジリティ曲線から求める地震損傷確率

a : 最大地震加速度 (gal), $C_D(DI)$: 地震時損失費

DI : 地震による橋脚の損傷度レベル。

規模の異なる8体の橋梁に対し、上式から求められる C_{LCC} が最小となる維持管理計画案、すなわち「①どの橋を・②何時・③どの工法で」からなる組み合わせ解を図-1のフローにより求める。ただし、維持管理の計画期間は100年とする。

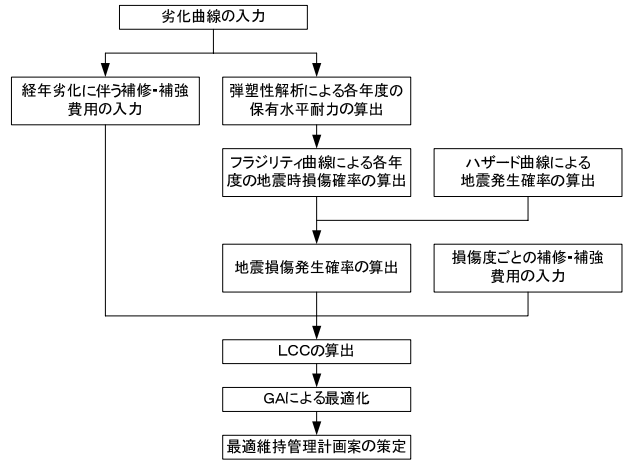


図-1 維持管理の年次計画案を求める過程

3. 道路網と橋脚モデル

図-2に示す道路網上に、供用年次の違いより耐震性能の異なる、レベル1地震動¹⁾による4体 (A, C, E, G), レベル2地震動²⁾による4体 (B, D, F, H) からなる8体の橋脚モデル (表-1参照) の維持管理を考える。また、各橋梁における使用モデルを表-2に示す。ちなみに、8体の橋梁モデルは複数連の単径間橋を基本に、

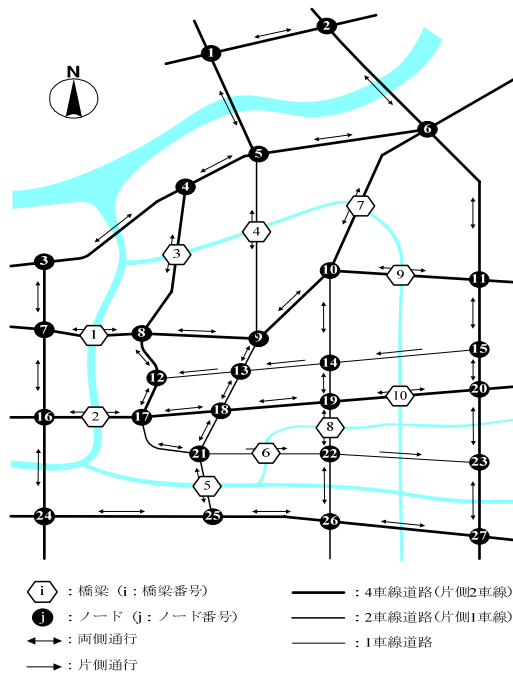


図-2 道路網モデル

キーワード 維持管理, ライフサイクルコスト, 地震リスク, RC 橋脚, 遺伝的アルゴリズム

連絡先 〒541-0052 大阪市中央区安土町 2-3-13 パシフィックコンサルタンツ(株) TEL 06-4964-2312

交通量や道路の重要度などから車線数、橋梁の幅員、橋長などを仮想し、橋梁規模に応じて橋脚の本数を設定して設計した。また、上部構造の重量は橋梁デザインマニュアル³⁾を参照した。

4. 橋梁群の維持管理計画の最適化

表-3に示すような Case 1~4について、LCC と維持管理計画案の比較検討を行う。劣化要因に関しては塩害と設定した。表-4には、比較のため計画期間100年のうち、各ケースの相違が顕著な25~70年目を記載した。

4.1 LCC の比較

図-3のように、地震リスクを考慮する Case1 は地震リスクを考慮しない Case2 に比べて維持管理費が2倍以上かかるが、地震リスク費用は半分以下になる。これは、長期にわたる地震リスク軽減を目指し、耐震性能の低下を避けて維持管理されることを示す。換言すれば、適切に維持管理すれば、地震時のリスクは大きく軽減される。Case3・4 の場合もレベル1地震動で設計された場合と同様、LCC に地震リスクを反映した Case3 は Case4 に比べて維持管理費は若干増加するが地震リスク費用は軽減してLCCは優位なことがわかる。

4.2 維持管理計画案の比較

表-4のように、Case3 は地震リスクを考慮しつつ維持管理計画の最適化をおこなったものであり、安価な工法を用いて、短いサイクルで補修がなされている。一方、Case4 では地震リスクを考慮せずに維持管理計画の最適化を実施し、耐力が低下して地震による損傷確率が増加する限界で、比較的大規模で高価な補修工法を選択している。また、補修を実施する橋梁については、Case3 ではトータルコスト抑制のため、橋脚の断面積が大きい橋脚モデルで構成されている橋梁番号1, 2, 4, 5, 8, 10で、優先的に効果の高い補修工法が選択され、耐力低下と地震リスクを抑制している。これに対し、Case4 では補修する橋梁の実施時期と工法はほぼ同じとなる。これはLCCへの影響の大きい地震リスク費用の軽減のため、橋脚規模によらない、全ての橋梁の耐震性能維持を優先して選択したことを示しているが、予防保全タイプの Case3 に比べて、地震リスク軽減の効果は低い結果となった。

5. まとめ

- 1) 地震リスクの不確実性を考慮した戦略的な維持管理計画を構築し、その関係を示すことができた。
- 2) 地震リスク費用を考慮した維持管理計画の最適化に

おいても、橋梁規模などを考慮した補修優先度による維持管理が、全ての橋梁群の耐震性能を一律に保持するケースよりも効果的であるという事が示された。

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，1980.
- 2) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説，V耐震設計編，1996.
- 3) 日本橋梁建設協会：‘06デザインデータブック，2006.

表-1 各モデルの設計結果

橋脚モデル	躯体寸法 (m)	上部工荷重 W_U (kN)	配筋段数	鉄筋配筋数	使用鉄筋	保有耐力 P_U (kN)
A	6.0×2	5692.5	1	49	D29	2508.5
B	6.0×2	5692.5	2	2×49	D32	4217.5
C	5.0×2	5156.3	1	44	D29	2187.1
D	5.0×2	5156.3	2	2×44	D32	3848.3
E	4.8×2	4743.8	1	41	D29	2068.8
F	4.8×2	4743.8	2	2×41	D32	3556.4
G	4.6×2	4455.0	1	39	D29	1996.5
H	4.6×2	4455.0	2	2×37	D32	3430.1

表-2 各橋梁の使用モデル

橋梁番号	車線数			橋脚数	対象モデル	
	2×2	2	1		震度法	保耐法
1	○	-	-	8×2	C	D
2	○	-	-	7×2	C	D
3	○	-	-	4×2	E	F
4	-	○	-	5	A	B
5	-	○	-	4	A	B
6	-	-	○	2	G	H
7	○	-	-	3×2	E	F
8	-	○	-	3	A	B
9	○	-	-	5×2	E	F
10	○	-	-	4×2	C	D

表-3 各 Case の設定条件

Case	考慮する地震動	地震リスク
1	レベル1地震動	考慮
2	地震動	考慮しない
3	レベル2地震動	考慮
4	地震動	考慮しない

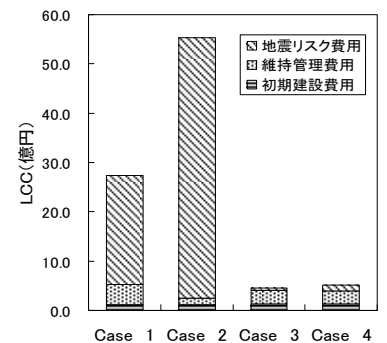


図-3 Case 1~Case 4 の LCC 比較

表-4 Case 3 と Case 4 の比較

経過年数 (年)	Case 2 橋梁番号										Case 4 橋梁番号									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表面処理工法

脱塩・再アルカリ化工法