

第 I 部門

地震リスクを評価した道路橋梁群の維持管理計画

関西大学大学院

学生員 ○田中新也

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

わが国は、現在、深刻な財政難で、予算が制約された中で、多くの社会基盤施設を維持管理していかなければならない。すなわち、安全性を第一に、効率的で経済的な維持管理に勤めなければならない。また、有数の地震多発国で、兵庫県南部地震では甚大な損害を被った。このような背景から、ここでは道路橋 RC 橋脚を対象に、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明らかにする。

橋梁の維持管理の年次計画案、すなわち、①どの橋梁に、②何時、③どのような工法からなる解を離散的最適化手法の遺伝的アルゴリズムから求める。

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、維持管理期間での初期建設費と維持管理費、地震による損傷リスクの総和が最小となる維持管理の年次ごと計画案を立てる。すなわち、LCC（ C_{LCC} ）は

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

から求められる。ここに、 $P(a)$ ：ハザード曲線から求められる地震発生確率、 $P(DI/a)$ ：フラジリティ曲線から求められる地震損傷確率、 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のフローに従って求める。ただし、維持管理の計画期間は100年とする。

3. 道路網と橋脚モデル

図-2に示す道路網上に、表-1のような耐震性能の異なる震度法¹⁾レベルの4体（A, C, E, G）、保有水平耐力法²⁾レベルの4体（B, D, F, H）からなる8体の

橋脚モデル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、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決定し設計した。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

表-3に示す Case 1～Case 6 の場合の維持管理計画

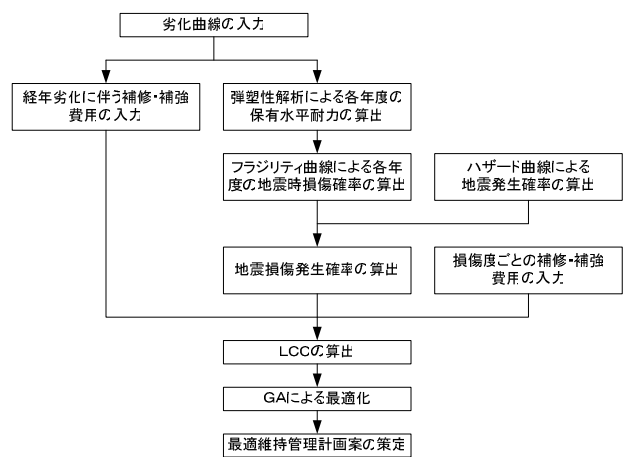


図-1 維持管理の年次計画案を求める過程

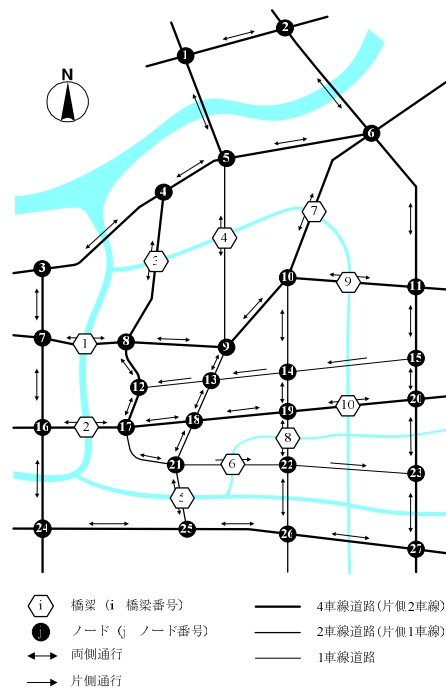


図-2 道路網モデル

案を立て、それぞれの LCC 値と安全性を比較検討する。

4.1 地震リスクの影響

震度法レベルで設計された橋脚群からなる Case 1 と Case 2, 目標塑性率が $\mu_r=5$ の保有水平耐力法レベルで設計された橋脚群からなる Case 3 と Case 4 に対し、地震リスクによる維持管理が LCC に及ぼす影響を調べれば、図-3を得る。

①橋梁群全体が震度法レベルで設計された場合:地震リスクを考慮する Case 1は地震リスクを考慮しない Case 2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。

②橋梁群全体が保有水平耐力法レベルで設計された場合: Case 3, Case 4の場合も震度法レベルで設計された場合と同様、LCC に地震リスクを反映した維持管理計画案 Case 3は維持管理費が増加する。

社会基盤は時間をかけて整備されるため、その過程で設計基準の異なった構造物が出現する。当然、基準を反映しながら補修補強がなされるが、計画時にも地震リスクの評価が重要である。なお、将来解決されるべきテーマとして、耐震補強後の橋脚の損傷程度を考慮した劣化予測など、維持管理の課題が山積している。

4.2 橋梁の規模や供用年数の影響

橋梁の規模や建設後から維持管理開始年までの経過年数が維持管理計画に及ぼす影響を Case 3, Case 5, Case 6によって調べれば、図-4を得る。規模の大きい橋梁の建設後から維持管理開始まで、経過年数の短い Case 5はその規模に関わらず建設直後から維持管理を計画した Case 3に比べて多くの維持管理費が必要である。これは、建設後からの経過年数が長い橋梁ほど劣化が進んだ状態から維持管理が計画されるので、地震リスクの増加を抑えるため、維持管理費が増えることを示している。さらに、規模の大きい橋梁の建設後からの経過年数を長く取った維持管理計画案 Case 6は、Case 5に比べて維持管理費が増え、橋梁の規模が大きい橋梁ほど建設後からの経過年数の影響が大きいことを示している。それゆえ、橋梁規模と経過年数を十分に勘案し維持管理の年次計画を立案することが重要である。

5. あとがき

- 1) 地震リスクと維持管理計画の関係を明らかにした。
- 2) 耐震性能と維持管理計画の関係を明らかにした。
- 3) 橋梁の規模や経過年数と維持管理計画との関係を明らかにした。

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，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 の解析条件

Case	耐震性能	地震リスク	維持管理計画の開始時点での建設後経過年数
Case1	震度法	考慮	-
Case2	震度法	考慮しない	-
Case3	保有水平耐力法	考慮	-
Case4	保有水平耐力法	考慮しない	-
Case5	保有水平耐力法	考慮	橋梁規模の大きな橋梁の年数を短くする。
Case6	保有水平耐力法	考慮しない	橋梁規模の大きな橋梁の年数を長くする。

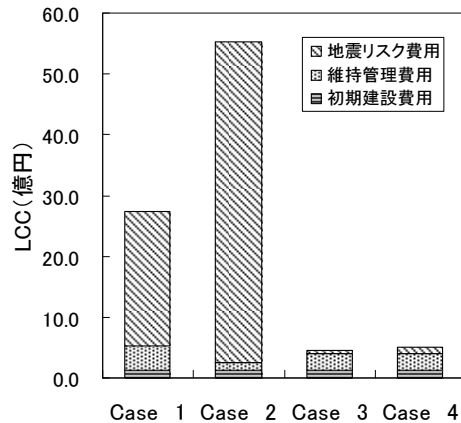


図-3 地震リスクを考慮する場合としない場合の LCC 比較

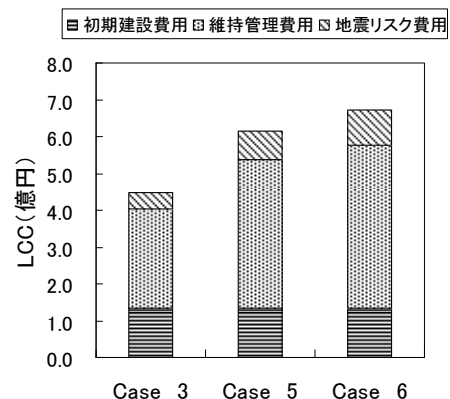


図-4 橋梁規模と供用年数の違いによる LCC 比較