

## 地震損傷を勘案した橋梁の維持管理におけるライフサイクルコスト分析

日本技術開発（株）正会員 片岡宏文 関西大学総合情報学部 正会員 古田 均  
 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

## 1. まえがき

わが国は有数の地震多発国である。それゆえ、橋梁の維持管理も地震の発生による損傷を念頭に入れて行う必要がある。兵庫県南部地震による被害を振り返ってみれば、緊急車両や一般車両が橋脚の倒壊によって通行できなくなり、道路利用者はかなりの被害を被った。このようなものも地震発生時に生じる損失の一つと考えられる。以上のようなことから、本研究では、利用者が地震によって被る損失をユーザーコスト(以下、UCと称す)とし、経年劣化と地震発生によって生じる損失を含めた橋梁の維持管理におけるライフサイクルコスト(以下、LCCと称す)を分析する。また、地震の発生によって生じるリスクが道路網のLCCにどのように影響するかも検討する。

## 2. 地震の不確実性を考慮した RC 橋脚の維持管理計画における LCC 評価法

地震損傷を勘案した橋梁の維持管理計画問題を、地震による損失を地震リスクとして考え、それを初期建設費と経年劣化対策の補修・補強費に加えたLCCによって最適な維持管理計画案を決定する最適化問題に定式化する。すなわち、その目的関数と制約条件は

$$\text{目的関数 (最小化): } LCC = C_I + \sum_{t=0}^T \frac{C_M}{(1+r)^t} + \sum_{t=0}^T \sum_{a=0}^{1000} \sum_{DI=D}^{As,A} \frac{P(a) \cdot P(DI/a) \cdot C_D(DI)}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$\text{制約条件} \quad : \quad As(t) > 0.6 \quad (2)$$

である。ここに、 $r$ : 社会的割引率、 $t$ : 経過年数、 $T$ : 供用年数、 $a$ : 最大加速度 (gal)、 $DI$ : 地震発生時の損傷度、 $P(DI/a)$ : 地震損傷確率、 $P(a)$ : 地震発生確率、 $C_I$ : 初期建設費用、 $C_M$ : 補修・補強費用、 $C_D(DI)$ : 地震時損失費用、 $As(t)$ : 健全度である。この組合せ最適化問題の解法に遺伝的アルゴリズム (GA) を用いる。

## 3. RC 橋脚の経年劣化による損傷度の評価

耐震性能を考慮した最適維持管理計画案の決定には、経年劣化と地震損傷確率との関係が必要である。ここでは RC 橋脚の劣化要因のひとつである鉄筋腐食に注目し、それを例に、経年劣化を勘案した場合の地震損傷確率を算定する。この場合、限界状態関数は

$$Z = P_u - k_{hc} W \quad (3)$$

である。ここに、 $P_u$ : 確定量としての地震時保有水平耐力<sup>1)</sup>、 $k_{hc}$ : 確率量としての塑性率ごとの所要降伏震度、 $W$ : 等価重量。ちなみに、 $Z > 0$  の場合に構造物は安全で、 $Z \leq 0$  の場合に危険となる。 $k_{hc}$  は所要降伏震度スペクトルを地震動ごとに作成し、その分散を確率量で表現したものである。ここに、RC 橋脚の被災状況、被災ランク、最大応答塑性率の関係を表-1 に示す。

表-1 地震時損傷度の定義

被災度ランク	最大応答塑性率	被災状況
As	6.0~	落橋
A		大被害
B	4.0~6.0	中被害
C	2.0~4.0	小被害
D	~2.0	被害なし

## 4. 道路網の設定

本研究で取り扱う道路モデルとして、図-1 に示すような道路網を想定した。橋梁数は 10 橋とし、各リンク上には一つの RC 橋脚のみと仮定する。橋梁の設定は、文献 2) をもとに設計した表-2 の 3 種類の橋脚を用いて、地震リスクを考慮した LCC 解析を進める。

表-2 RC 橋脚の設計案

モデルNo.	柱断面諸元(mm)		初期建設費用
	横軸	直角	
1	3500	5000	22,757
2	3600	5000	23,134
3	3700	5000	23,512

キーワード：ライフサイクルコスト、地震リスク、維持管理、RC 橋脚

連絡先：〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35 関西大学工学部都市環境工学科

5. 数値解析結とその考察

耐震性能が最も低いモデル 1 とした場合（Case1），モデル 2 とした場合（Case2），耐震性能が最も高いモデル 3（Case3），そして，モデル 1～3 を組合せた場合（Case4）の 4 ケースに対して LCC 評価を行い，道路網上の橋梁の耐震性能に差を持たせることによって LCC がどのように変化するかを検討した．道路網の橋脚を 1 種類に固定した場合，地震リスクに差が生じている．その原因は，UC が影響したと考えられる．UC が大きい道路は，機能しなくなった時の損失が著しく大きくなり，路線の重要度が高いことを示している．

つぎに，道路網上の構造物の耐震性能に差を与えた場合の LCC を評価する．さまざまな橋脚の組合せを考慮した結果，LCC が最小となった結果を表-3 に示す．表-3 は橋梁番号に対応したモデルを示す．橋梁番号， ， の路線は，モデル 3 を選択した．この理由は，UC が大きいため，耐震性能を高く設定した方が LCC は少なくなるからである．また，橋梁番号 ， ， の路線は，モデル 1 を選択した．この理由は，UC が小さいため，耐震性能を高くすれば，LCC が大きくなってしまい，耐震性能を押さえた方が LCC を少なくすることができるからである．

道路網全体で考えた LCC の算定結果を図-2 に示す．図から明らかのように，初期の耐震性能に差を持たせた場合，LCC の値は最小になる．この結果より，道路網上に存在する各橋梁の耐震性能に差を持たせることによって，道路網全体の LCC の最適化がはかれることを示した．

各コストの低減効果を示す費用対効果を考える．ここでの費用対効果は，建設時以降に発生する費用である維持管理費用，地震リスク費用，そして，維持管理費用と地震リスクを足した費用の減少分を初期建設費用の増加分で割ったものである．図-2 からわかるように，Case 4 が最も費用対効果が高い．これによって，道路網上の構造物の耐震性能に差を持たせることの有効性が示せた．また，Case 3 が Case 2 や Case 4 に比べて費用対効果が低いことに関しては，維持管理費用，地震リスクともに初期設定モデルの大きさに依存しているのので，耐震性能が高くなった分，その後，発生する費用も高くなったと考えられる．

6. あとがき

道路網を想定し，地震動の影響を考慮した道路橋の維持管理の LCC 解析を行った．その結果，各橋梁の耐震性能を同等にし，LCC を考慮した場合，橋梁ごとの LCC にばらつきが生じた．これは，橋梁が使用不可の時に生じる UC の影響が大きいためである．UC は道路網の重要度を評価する指標になると考えられる．その理由は，道路の一部である橋梁の最重要目的は交通量の確保であることから，交通量が大きいことがその橋の社会的重要度が大きいことになるからである．

参考文献 1)日本道路協会編：道路橋の耐震設計に関する資料，丸善，1997-3. 2)日本道路協会編：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，丸善，2002-3.

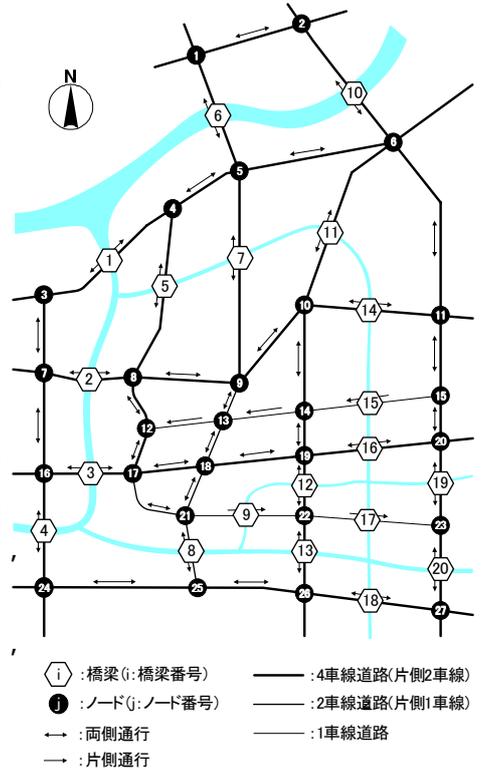


図-1 LCC 解析対象エリア

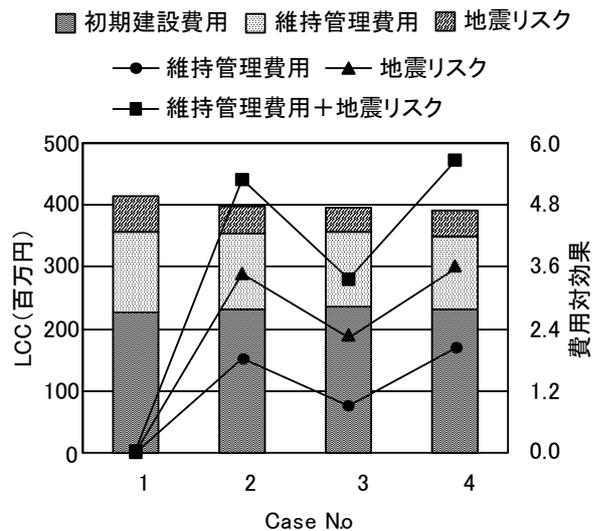


図-2 各 LCC の比較

表-3 LCC 最適時モデル No.

橋梁No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
モデルNo.	3	3	2	1	1	1	2	3	2	3