

第I部門

地震リスクを勘案したライフサイクルコストに基づく橋梁の維持管理計画

関西大学工学部 学生員 ○中村圭輔 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 藤井久矢  
 関西大学大学院 学生員 鈴木大造 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 関西大学環境都市工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

わが国は、寿命の伸びや出生率の低下によって少子高齢化が進んでいる。高齢化による年金負担、高齢者医療費、介護保険料などの増加、少子化による労働人口の減少は国家の財政に大きな影響を及ぼしつつある。これらへの対応のための財源確保から、公共投資への予算の見直しがなされている。また、欧米先進国に比べて、社会基盤整備が遅れたわが国は今日まで急速に進められ、多額の公共投資がなされてきた。かなりの整備が整った現在、公共投資の削減が迫られている。

戦後から始まる高度経済成長期に整備された道路構造物の多くが現在、50年を経過し、老朽化による更新需要が急速に高まりつつある。このような情勢から、経済性を勘案した構造物の安全性と長寿命化が望まれている。さらに、わが国は地震多発国で、供用中に被害を受ける可能性がある。安全な構造物の確保には、不確実な影響が無視できない。ここでは、社会基盤施設の維持管理への不確実性を取り入れたライフサイクルコスト (Life Cycle Cost : 以下、LCCと称する) について検討する。

2. RC 橋脚の維持管理への地震リスクを考慮した LCC 評価

地震の損傷を勘案した橋梁の維持管理計画を①初期建設費、②経年劣化に伴う補修・補強費、③地震リスク費用からなるLCCの分析によって立てる。最適な維持管理計画案を決定する問題を組合せ最適化問題に定式化し、それをGAで解く。その目的関数と制約条件は

$$LCC = C_I + \sum_{t=0}^T \frac{C_M}{(1+r)^t} + \sum_{t=0}^T \sum_{a=0}^{1000} \sum_{DI=D}^{As,A} \frac{P(a) \cdot P\left(\frac{DI}{a}\right) \cdot C_D(DI)}{(1+r)^t}$$

$$As(t) \geq 0.8$$

である。ここに、 $r$  : 社会的割引率、 $t$  : 建設後からの年数、 $T$  : 維持管理計画期間、 $a$  : 地震動最大加速度 (gal)、 $DI$  : 地震発生時の損傷度、 $P(DI/a)$  : 地震時損傷確率、

$P(a)$  : 地震発生確率、 $C_I$  : 初期建設費、 $C_M$  : 補修・補強費、 $C_D(DI)$  : 地震時損失費用、 $As(t)$  : 鉄筋の健全度。

3. RC 橋脚の経年劣化による損傷度の評価法

地震リスクを勘案した維持管理計画の策定には、橋脚の経年劣化と地震時損傷との関係を明らかにする必要がある。ここでは、RC 構造の劣化要因である塩害による鉄筋腐食を参考に、経年劣化を勘案した RC 橋脚の地震時損傷確率を算定する。この場合、限界状態関数は、

$$Z = P_u - k_{hc} W$$

である。ここに、 $P_u$  : 地震時保有水平耐力 (確定量)<sup>1)</sup>、 $k_{hc}$  : 塑性率ごとの所要降伏震度 (確率量)、 $W$  : 等価重量。ちなみに、 $Z > 0$  の場合 : 構造物は安全、 $Z \leq 0$  の場合 : 危険。 $k_{hc}$  : 地震動ごとに作成した所要降伏震度スペクトルの分散を確率量で表現した値。また、RC 橋脚の被災状況、被災ランク、最大応答塑性率を表-1に示す。

4. 単一の橋梁に対する維持管理における LCC 分析結果

橋脚の維持管理と地震リスクとの関係を考察する。橋脚の要求性能いわゆる健全度を 0.4, 0.6, 0.8, 0.9 に設定し、維持管理計画を立てると、図-1 に示す初期建設費、維持管理費、リスク費用と健全度との関係を得た。図から明らかなように、地震リスクを考えない場合 (初期建設費 + 維持管理費)、劣化進行度 (健全度) をどの程度許容できるかによって維持管理費 (LCC) が大きく異なる。構造物の健全度が低いレベルでもよければ、LCC はかなり削減される。しかし、構造物の耐久性能が劣る

表-1 地震時損傷度の定義

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

ため、地震時のリスクが増し、地震リスクを含めた LCC (折線) は健全度が低いほど増える。なお、4 つの健全度パターンのうち、健全度レベルの最も高い  $A(s) \geq 0.9$  の場合、地震リスクは当然低く抑えられる。その分、劣化対策用維持管理費は増える。

以上のように、維持管理費とリスク費用の間にトレードオフの関係があり、地震リスクを考慮するか否かで計画案が異なる。地震リスクは極めて重要な要素である。

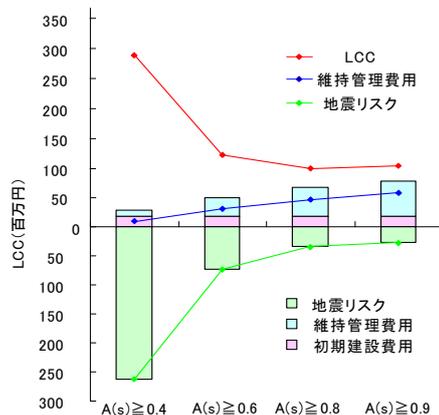


図-1 単一橋梁の健全度と維持管理費の関係

### 5. 道路網上に点在する橋梁群の維持管理計画

図-2 に示す道路網上に点在する 10 橋を対象に、100 年にわたる補修計画について考察する。数値解析にあたって、①地震リスクの考慮、②健全度は 0.8 以上を保持、③社会的割引率は 4%、④維持管理開始年を 1991 年、の条件を設定する。数値解析の結果、10 橋に対して図-3 の初期建設費、維持管理費、地震リスク費用の各費用配分を得た。10 橋の劣化対策用維持管理費の比較によれば、橋梁 1, 4, 6, 8 が他より少ない。これは、建設後の供用年数が短いため、強度を期待した補修・補強が不要で、劣化抑制を目的とした比較的安価に補修されたためである。

つぎに、地震リスクに注目し LCC を比較する。橋梁 4, 5, 6 の LCC は少額である。これは、橋梁 4, 6 が建設後の供用年数が短く、劣化損傷が進行していないため、地震リスクが低いからである。橋梁 5 は 2 車線の道路で交通量が少ないため、多少の地震リスクを伴ってもユーザーコストが少なく、LCC が低いレベルにある。

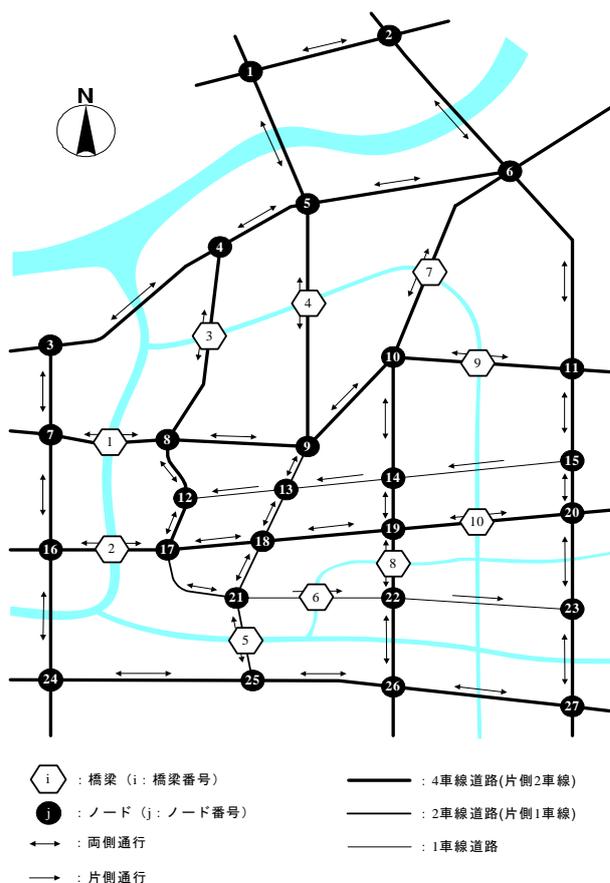


図-2 解析対象地域の道路網と橋梁群

### 6. あとがき

本研究の成果をまとめれば、つぎのとおりである。

- (1) 4 ケースの健全度を想定し、地震リスクの有無による維持管理費用と地震リスクの関係を明らかにした。維持管理計画に地震リスクの重要性がわかった。
- (2) 道路網上に点在する橋梁群の維持管理に必要な LCC を評価した。各道路の重要度からユーザーコストを勘案した場合の最適な維持管理計画案を検討した。その結果、ユーザーコストが LCC に及ぼす影響は大きく、道路の重要度を考慮した計画が必重要であることがわかった。

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.

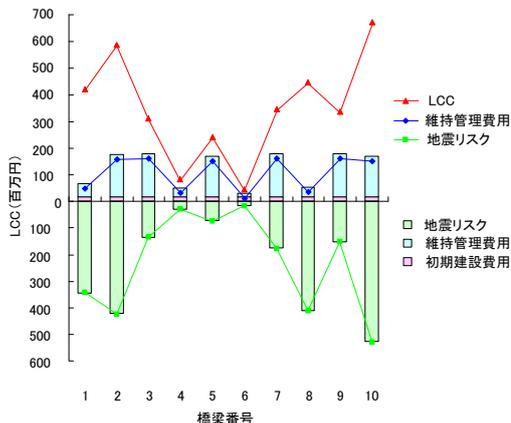


図-3 道路網上に点在する 10 橋の LCC