

第 I 部門 道路橋 RC 床版の維持管理に掛かる予算の平準化

関西大学大学院理工学研究科 学生会員○北村 遼 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

戦後の高度経済成長期に整備された社会基盤施設の老朽化が社会問題化してきた。それに社会の成熟化が経済の成長を鈍化させ、財政の悪化が続いている。このような状況下での社会基盤施設の維持管理が重要な課題になっている。

ここでは、道路橋でも損傷しやすい RC 床版に注目し、その合理的な維持管理計画を LCC 分析に基づき検討する。LCC 最小化問題として維持管理計画の最適解を探索すれば、歳費が年ごとに变化する。これは、事業を進める上で好ましくない。それゆえ、予算が平準化された維持管理を考える。予算の平準化は対策の先送りを伴う。その結果、安全性の低下が懸念される。これを極力抑え、安全性の確保を図り頑健性のある計画案が導出できる方法を考える。

2. 道路橋 RC 床版の維持管理システム

2.1 LCC 分析

長期にわたる RC 床版の維持管理問題を扱い、その維持管理に掛かる LCC を維持管理費で算出し、初期費用を含めない。すなわち、LCC は

$$C_{LCC} = \sum_{y=1}^T \left[\frac{1}{(1+r)^y} \sum_{i=1}^{n_b} C_{M(i,y)} \right] \quad (1)$$

で求められる。ここに、 $C_{M(i,y)}$ ：橋梁 i の y 年目の維持管理費用、 r ：社会的割引率、 n_b ：橋梁数、 T ：計画策定期間。

2.2 予算の平準化

T 年間にわたる維持管理を考える場合、費用の平準化は事業遂行上重要な課題である。これは予算を確保する上でも重要である。年ごとに費用が変化する LCC 最小化計画案は歳出が最も少なくなる最適解である。それゆえ、この T 年間の総費用を平坦化した経費を平準化計画の年度予算に設定すれば、LCC 最小化計画案と同じ歳出額になる。ここでは、LCC 最小化計画案から得られる年平均費用を平準化計画案の予算の上限に設定する。ただし、予算の上限と同じ維持管理費の計画案を導出することは極めて困難なため、維持管理費と年平均費用の残差の T 年間の和 $R_{\min}$

$$R_{\min} = \sum_{y=1}^T \left[\frac{1}{(1+r)^y} \sum_{i=1}^{n_b} C_{Mm,i,y} - BR \right] \quad (2)$$

が最小な計画案を導く。ここに、 BR は予算の上限額である。

2.3 安全性の評価

RC 床版の損傷は、文献 1)によれば、ひび割れ密度と相関が強い。ひび割れ密度を $a \sim e$ の健全度ランクと関連付けると、表 1 のようになる。

RC 床版の劣化損傷過程をマルコフの確率過程で推定する。 y 年後の損傷状態 $\{S(y)\}$ は、遷移確率マトリクス $[P]$ を用いて、

$$\{S(y)\} = [P]^y \{S(0)\} \quad (3)$$

から求められる。たとえば、健全度ランク a の橋梁では

$$\{S(0)\} = \{1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}^T \quad (4)$$

その損傷状態のときの安全性能の値は

$$P_{s(i,y)} = \{P_w\}^T \{S(y)\} \quad (5)$$

である。ここに、 $\{P_w\}$ は健全度ランクの重み係数で、

$$\{P_w\}^T = \{1.00 \ 0.78 \ 0.60 \ 0.31 \ 0.00\} \quad (6)$$

橋梁群の安全性は個々の橋梁の安全性能値の平均値とし、管理水準を劣化が進んだ状態である健全度ランク c に置き、それを下回らないような補修・補強の計画案を導出した。

2.4 頑健性

頑健性は、維持管理計画が持続できる、すなわち、不確定な要素があっても計画の遂行できる能力のことを指す。

ここでは、対策時期の変更による性能の変化を不確定な要素と考え、頑健性のある計画案を導く。

3. 橋梁群の維持管理計画の最適化

3.1 最適化問題の評価関数と制約条件

LCC 最小化計画案と予算平準化計画案の評価関数は

$$V_{LCC} = \frac{C_{LCC}(g)}{C_{LCC}(l)} \quad (7) \quad V_R = \frac{R_{\min}(g)}{R_{\min}(l)} \quad (8)$$

である。これらは g 世代目と一世代目の LCC 値ならびに残差を比べ、これらが最小な解を準最適解として導出する。

制約条件に、①損傷状態や原因に対して不適切な工法が選択された場合、②維持管理費が予算制約を超過した場合、③安全性能が管理水準を下回った場合を設けた。

表 1 健全度ランクとひび割れ密度との関係

健全度ランク	健全度	ひび割れ密度
a	1.0~0.8	0~2 (m/m ²)
b	0.8~0.65	2~3.5 (m/m ²)
c	0.65~0.5	3.5~5 (m/m ²)
d	0.5~0.2	5~8 (m/m ²)
e	0.2~0.0	8 (m/m ²) 以上

3.2 遺伝的アルゴリズムの適用

ここでは、まず LCC 最小化計画案を導出する。その年平均経費を予算額に設定し、予算平準化計画案を求める。いずれの最適化問題も単目的最適化問題とし、確率的スキーマ貪欲法で解く。RC 床版の補修・補強工法を表 2 のように 3bit の遺伝子列でコーディングし、GA パラメータは突然変異率 1%、交叉率 60%、個体数 100、世代数 3,000 とした。

4. 数値計算結果とその考察

道路橋 RC 床版の維持管理計画を図 1 に示す仮想エリアで求め、道路網上に点在する橋梁群の年次維持管理計画案を提示する。橋梁数は 20 橋、計画策定期間は 20 年とした。ただし、100 年程度の維持管理期間を想定し、遷移確率マトリクスを 20 年の変化で与えて促進させた。このような場合の劣化曲線の一例を図 2 に示す。

導出した計画案の維持管理費と安全性能の平均値の推移を描けば、それぞれ図 3、図 4 のようになる。ここに、赤が LCC 最小化案、黄が予算平準化案、青が予算平準化案の更新案を示している。また、図 4 の矢印は、その年度の性能の幅を示す。

(1)LCC 最小化案：この補修・補強対策には、その多くが補修工法を選び、劣化の進行が抑制された。一方、管理水準を下回った場合には、補強工法が適用され、橋梁群全体の安全性を高めるように計画された。以上のように、LCC 最小化案は概して予防保全的な維持管理を指向する。

(2)予算平準化案：これは、LCC 最小化案に比べて対策の時期が先送りされ、対策の回数が減った。これによって、安全性能が低下し、橋梁群全体のそれも下がった。ただし、先送りの結果、その後の対策では補修工法よりも費用のかかる補強工法を選ばれている。LCC 最小化案や安全性をより確保した予算平準化案に比べて安全性能値の幅が広いのは、予算内で前倒しで補修できたため高い性能を保持した RC 床版や、ギリギリの段階まで放置された RC 床版の存在が考えられる。すなわち、予算平準化案によれば、重要度が高い RC 床版は予防保全的に、低い RC 床版は管理水準ギリギリの段階で事後保全的な維持管理が実施される。

(3)予算平準化案の更新案：上述から分かるように、安全性能の低下の要因に対策の先送りが考えられる。これを回避するため、初めの 10 年間に 1.5 倍の予算をつけて平準化を行った。このことで、LCC 最小化案で初年度に集中して行われた対策も実施でき、対策の先送りが減った。その結果、LCC 最小化案以上の安全性能が確保できた。

5. あとがき

本研究の結果をまとめれば、つぎのとおりである。

- (1) LCC 最小化計画案では、橋梁群全体の安全性能に優れた予防保全的な対策となった。
- (2) 予算平準化計画案では、予算を平準化できたが、安全性能は LCC 最小化案に比べて劣った。これは予算制約を越えないよう対策の時期が先送りされたからである。
- (3) 頑健性を勘案したことで、対策時期の先送りが減り、LCC 最小化計画案以上の安全性能が確保できた。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版－設計・施工と維持管理，森北出版，2007.10.

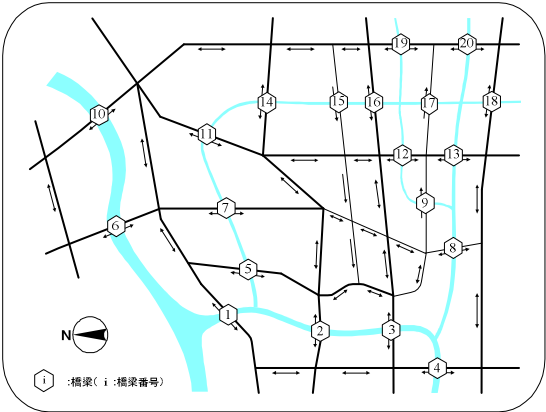


図 1 維持管理計画策定エリア

表 2 補修・補強工法の GA のコード

コード	補修工法	コード	補修工法
000	ひび割れ注入工法	100	鋼板接工法
001	断面修復工法	101	床版増厚工法
010	表面被覆工法	110	打ち替え工法
011	FRPシート接工法	111	補修無し

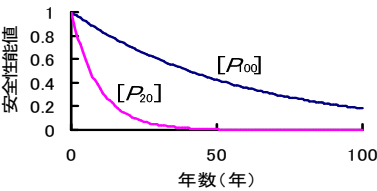


図 2 遷移確率マトリクスの変化に伴う劣化曲線の一例

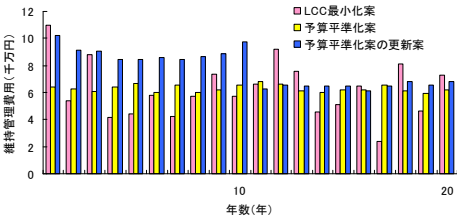


図 3 維持管理費用の推移

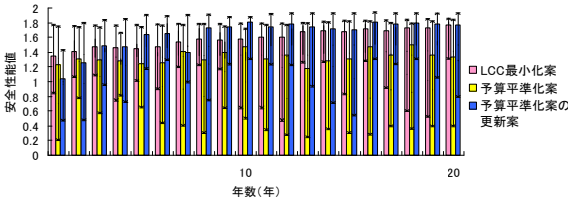


図 4 安全性能値の平均値の推移