

関西大学総合情報学部 正会員 古田 均 関西大学工学部 学生員○築山 勲
 関西大学大学院 学生員 能勢善夫 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

筆者らは、ここ数年、道路橋の維持管理に関心を抱き、道路網に点在する多数の橋梁 RC 床版の中から補修や補強の必要な床版、その適切な補修補強工法、その適切な補修時期が最適に決定できる維持管理計画支援システムの確立を目指してきた¹⁾。この研究では、補修や補強の工法が周辺環境へ適応する度合をファジィ推論で推定した。

ここではそれを貨幣価値原単位で金銭に換算し、ライフサイクルコスト (LCC) に組み込み、効率のかつ合理的に補修計画を立てる。

2. 橋梁の維持管理計画支援システムの概要

ある地域を縦横に巡る道路上の橋梁を維持管理するために必要な補修補強計画の支援システムを構築する。ここでの橋梁維持管理計画とは、劣化や損傷の程度が異なるさまざまな規模の RC 床版の中から、① 補修補強すべき床版、② その最適な補修補強工法、③ その適切な補修時期、を決定することである。

このような維持管理を年次計画するには、考えられる多数の補修案の中から最適な案を選定する必要がある。ここでは、補修工事費、補修工法の効果、工事による道路利用者や周辺住民への被害を補修補強案の評価対象にし、これらの項目を満たす案を多目的組合せ最適化問題の最適解とする。

(1) 補修案の評価法

RC 床版補修計画を評価する手法に LCC 分析の一種である Cost Effectiveness 法を利用する²⁾。すなわち、

$$CE = \sum_{i=1}^{N_b} \sum_{j=1}^T B_{ij} / \sum_{i=1}^{N_b} \sum_{j=1}^T (C_{m_{ij}} + C_{t_{ij}} + C_{r_{ij}} + C_{n_{ij}} + C_{v_{ij}}) \quad (1)$$

ここに、 B ：補修による便益、 C_m ：補修工事費、 C_r 、 C_t ：交通規制を伴う工事で道路利用者が被る不便さを金銭価値に換算した走行時間増加コストと走行費用増加コスト、 C_n 、 C_v ：工事によって周辺住民が被る騒音被害コストと振動被害コスト、 N_b ：橋梁数、 T ：維持管理計画期間。なお、補修工事に伴う交通規制で道路網に生じる交通量の変化を分割配分法で行った。

以上のコストはつぎのように求められる。

a) 補修や補強による便益： B

$$B = H \cdot (P_o - P_w) \quad (2)$$

ここに、 H ：橋梁の破壊による損失、 P_o ：無補修橋梁の破壊確率、 P_w ：補修済み橋梁の破壊確率。

b) 走行時間増加コスト： C_t

$$C_t = D \cdot \left(\sum_l \alpha \cdot Q_{wl} \cdot T_{wl} - \sum_l \alpha \cdot Q_{ol} \cdot T_{ol} \right) \quad (3)$$

ここに、 Q ：道路区間（リンク）の交通量、 T ：リンクの走行時間、 α ：時間価値原単位³⁾、 D ：通行止め日数、下添字 l, w, o ：リンク、交通規制時、通常時。

c) 走行費用増加コスト： C_r

$$C_r = D \cdot \left(\sum_l \beta \cdot Q_{wl} \cdot L_l - \sum_l \beta \cdot Q_{ol} \cdot L_l \right) \quad (4)$$

ここに、 L ：リンク距離、 β ：走行費用原単位³⁾。

d) 騒音による被害額： C_n

$$C_n = S \cdot \gamma \cdot D \quad (5)$$

ここに、 S ：補修工法の音量、 γ ：騒音の貨幣評価原単位³⁾、 D ：補修工法ごとの騒音発生日数。

e) 振動による被害額： C_v

$$C_v = W \cdot \delta \cdot D \quad (6)$$

ここに、 W ：補修工法の振動レベル、 δ ：振動の貨幣評価原単位⁴⁾、 D ：補修工法ごとの振動発生日数。

なお、式(1)の分子と分母の便益/費用はそれぞれ発生する時期が異なるため、金銭価値が異なる。それゆえ、金利と物価上昇率によって現在価値に換算した。

(2) 補修工法の周辺環境への適応度

RC 床版の損傷状態と損傷原因、構造形式に適応した補修補強工法を選択するため、各工法の適応度を算定した。すなわち、計画案の適応度 F が

$$F = \sum_{i=1}^{N_b} \sum_{j=1}^T (F_{\max} - F_i) / N_b T \quad (7)$$

から求められる。ここに、 $F_{\max}$ ：補修工法の RC 床版の対する最大適応度、 F_i ：床版の状態に応じた工法に対する減点数。

(3) 多目的最適化問題の解法

RC 床版の維持管理計画を最適に立案するため、式(1)の CE 値と式(7)の補修工法の周辺環境への適応度を目的関数に、それらの極値を求める。ここでは多目的組合せ最適化問題の解法の一つである遺伝的アルゴリズム (GA) 中のパレート保存戦略を用いた。ここに、GA 固有のパラメータは試行錯誤の上、個体数 100, 交叉率 40%, 突然変異率 1%, ニッチを表すパラメータ 0.5 とした。

3. 数値解析結果とその考察

構築した維持管理計画支援システムの妥当性を検証するため、Fig.1 に示すような道路網に 20 橋の橋梁が存在する補修計画エリアを仮定した。1 年ごとの予算を 1 億 5,000 万円とし、5 年間を通した補修案を探索すれば、Table 1 を得る。この場合、CE 値は 180, 適応度は 95.05 であった。5 年間にかかる補修費の総額は 6 億 5,704 万円、便益は 2,763 億円、道路利用者の負担額は 8 億 8,066 万円、周辺住民の被害額は 72 万円であった。

補修案はいずれの年度も予算を上回らなかった。また、橋梁の損傷状態に見合った適切な補修工法がそれぞれ選ばれた。健全度ランクがランク V で崩壊の危険があるにもかかわらず、14 の橋梁には通行止めしない工法を推奨した。これは道路利用者の便を最優先した結果である。

ここに示した案は、ユーザーコストの少ない案が提案され、補修による道路利用者への影響が考慮されたシステムであることが実証された。しかし、周辺環境への影響が十分になされたとは言いがたい。環境コストが補修費とユーザーコストに比べてあまりにも少なく、LCC の中でかき消されたためである。したがって、環境コストの項目を拡大するか、他のアプローチにより考慮した方が望ましい。

4. あとがき

本研究では、RC 床版の補修補強にかかる LCC を補修費、補修に伴うユーザーコスト、環境コストで見積もり、現実的な補修計画が可能な支援システムを目指した。

参考文献 1) 古田・金森・堂垣：材料、

Vol.47, No.12, pp.1245-1250, 1998-12. 2) 日比宗：ライフサイクルコストリング, 日本プラントエンジニア協会, 1978. 3) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案), 日本総合研究所, 1998. 4) 肥田野・林山・井上：環境科学会誌, Vol.9, No.3, pp.401-409, 1996.

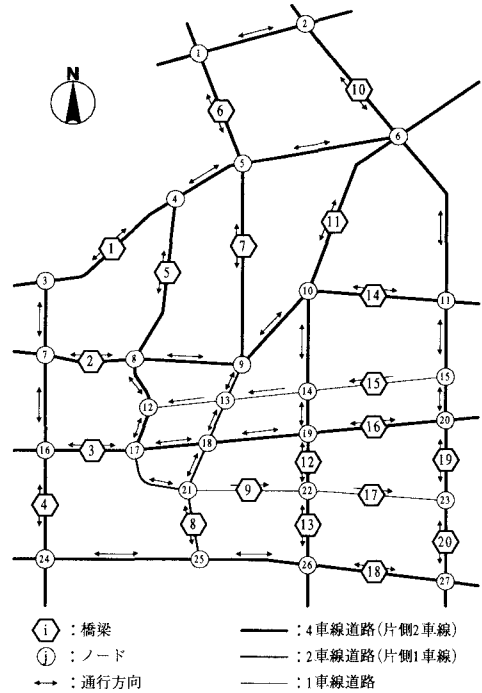


Fig.1 設定した補修計画エリア

Table 1 年度予算 1 億 5 千万円の計画案

橋梁番号	損傷面積 (m ²)	主な損傷状態	健全度ランク	補修年度	補修工法
1	1440	2方向のひび割れ	II	—	—
2	754	漏水, 錆の流出, 剥離	IV	2年後 3年後	断面修復 縦桁増設
3	882	2方向のひび割れ	II	—	—
4	543	亀甲状のひび割れ, 空洞	III	1年後	鋼板接着+ひび割れ注入
5	531	床版の陥没など	V	計画年	部分打ち換え
6	2060	2方向のひび割れ, 豆板	II	1年後	鋼板接着
7	82.6	1方向のひび割れ	I	—	—
8	106	亀甲状のひび割れ	III	計画年	鋼板接着
9	300	遊離石灰, 漏水, 錆の流出	V	計画年	床版増厚+ひび割れ注入
10	2190	亀甲状のひび割れ	III	4年後	鋼板接着
11	104	1方向ひび割れ	II	計画年	鋼板接着+ひび割れ注入
12	124	漏水, 錆の流出	V	計画年	部分打ち換え
13	224	2方向のひび割れ, 剥離	II	計画年	断面修復
14	94.1	遊離石灰	V	計画年	鋼板接着
15	39.7	2方向のひび割れ	II	—	—
16	242	鉄筋の露出, 角落ちなど	IV	計画年 1年後	縦桁増設 断面修復
17	35.3	1方向のひび割れ	I	—	—
18	233	亀甲状のひび割れ, 空洞	III	1年後	FRP接着+ひび割れ注入
19	153	2方向のひび割れ	II	計画年	鋼板接着
20	212	亀甲状のひび割れ	III	1年後	鋼板接着