

道路橋の維持管理計画のライフサイクルコストモデル

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 能勢善夫 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 著者らはこれまで道路網に点在する多数の橋梁 RC 床版を合理的に維持管理計画するための支援システムを構築してきた¹⁾。その際、多数の RC 床版を維持管理する計画を立案するにあたって、個々の RC 床版のライフサイクルコスト (LCC) に注目した。本稿では、橋梁管理機関と橋梁利用者が道路橋の補修・補強で支払う費用とそれによって受ける便益に着目した LCC モデルを構築し、道路網に点在する多数の道路橋 RC 床版の多年度補修・補強計画に適用したので、その解析結果について報告する。

2. 維持管理計画の経済分析法

(1) ライフサイクルコストの算定

道路橋の維持管理を多年度にわたって計画するとき、それにかかる LCC を橋梁管理機関と橋梁利用者がそれぞれ負担する LCC の総和とする。まず、橋梁管理機関が負担する LCC : LCC_{Am} は、橋梁の補修補強費である。たとえば、多数の橋梁のうち、補修補強する橋梁、その補修補強工法、その時期からなる一管理計画案 m のそれは、多年度計画時の補修補強費の時間的変動を計画時の価値に換算し、次式から算出される。

$$LCC_{Am} = \sum_{y=0}^T \sum_{i=0}^{N_B} \left[C_{Mmyi} (1+r_p)^y \frac{1}{(1+r_R)^y} \right] \quad (1)$$

ここに T : 補修計画の期間, C_{Mmyi} : 維持管理計画案 m における橋梁 i の y 年目の補修・補強費である。

つぎに、橋梁利用者が直接負担する LCC は、橋梁の補修・補強に伴う交通規制によって利用者が費やす走行距離増加費用: C_{ULm} と走行時間増加費用: C_{UTm} からなり、道路網を勘案して算出される²⁾。この場合、注目する橋梁が交通規制される場合とされない場合に対して、道路網上のそれぞれの起終点 (OD) にある交通がどのように道路網を選択するかを知り、道路区間の交通量を推定する必要がある。ここでは、交通量を分割配分法で推定し、配分交通量と速度との関係を Q-V 曲線で表し、OD 間の最短経路を dijkstra 法で求める。それゆえ、維持管理計画案 m に対する橋梁利用者の LCC : LCC_{Um} は、金銭の時間的変動を考慮し、つぎのように算出される。

$$LCC_{Um} = \sum_{y=0}^T \sum_{i=0}^{N_B} (C_{ULmyi} + C_{UTmyi}) \quad (2)$$

(2) 便益項目の算定

橋梁管理機関と橋梁利用者が橋梁の補修・補強で受ける便益をつぎのように求める。

まず、橋梁管理機関の便益は、つぎのようである。橋梁の補修・補強工事はその破壊損失を低減することであり、橋梁の破壊損失が何らかの指標で定量化できれば、橋梁管理機関の便益が容易に求められる。しかし、これを正確に算定することは極めて困難であるため、ここでは橋梁管理機関の期待損失値: C_{RA} を、信頼性理論の助けを借り、つぎのように算定する。

$$C_{RA} = C_{fA} P_f \quad (3)$$

ここに C_{fA} : 橋梁部材の取り替えにかかる費用, P_f : 構造物の破壊確率である。それゆえ、期待損失値の低減額: SE_{AM} を橋梁管理機関の直接的な便益と考える。

つぎに、橋梁利用者の便益は、橋梁管理機関の便益の算定と同様、つぎのようである。すなわち、 i 番目の橋梁が不通になることで被る橋梁利用者の被害額: C_{fUi} は、利用者が負担する金銭的、時間的、その他すべての費用が橋梁の維持管理で軽減されるとし、算出される。一年あたりの被害額をつぎのように算出する。

$$C_{fUi} = 365(C_{Li} + C_{Ti}) \quad (4)$$

ここに C_{Li} , C_{Ti} : 橋梁 i が存在する場合と存在しない場合に対して算定された走行距離増加費用と走行時間増加費用である。それゆえ、維持管理による期待損失値の低減額： SE_{UM} を利用者の直接的な便益と考える。

(3) ライフサイクルコストのモデル

LCC を勘案した RC 床版の最適な維持管理計画案は、多くの計画案の中からその経済性と補修効果を比較・検討しながら決定される。ここでは、*Cost Effectiveness* (CE) の概念を適用し、計画案を最適化するための目的関数をつぎのようにした。すなわち、

$$1) \text{ 橋梁管理機関の CE 式: } CE_{Am} = \frac{SE_{Am}}{LCC_{Am}} \quad (5)$$

$$2) \text{ 橋梁利用者の CE 式: } CE_{Um} = \frac{SE_{Um}}{LCC_{Um}} \quad (6)$$

$$3) \text{ 両者を考慮した CE 式: } CE_{AUm} = \frac{SE_{Am} + SE_{Um}}{LCC_{Am} + LCC_{Um}} \quad (7)$$

3. 数値解析結果とその考察 大阪市北東部の道路網とそこに点在する橋梁を Fig.1 に示すようにモデル化し、多数の道路橋 RC 床版の中から補修が必要な橋梁、その補修補強工法、その時期の最適な計画案を Table 1 の 2 種類の最適化レベルに対して求める。最適化手法に遺伝的アルゴリズムを用い、予算額 5 億円で 5 年間の計画案を求めた。

多目的最適化問題として探索されたパレート最適解

(*Net-Level 2*) と単目的最適化問題として探索されたそれ (*Net-Level 1*) との関係を Fig.2 に示す。ここに、適応度はファジィ推論によって選定された RC 床版の補修工法の橋梁周辺環境への適応性を示す。これによれば、*Net-Level 1* での最適解集合は利用者の CE 値が極めて高い結果を示している。式(7)の目的関数からも明らかなように、*Net-Level 1* では *Net-Level 2* と異なり、すべての費用の和として CE 値が求められている。したがって、LCC 中である要素の費用が大きい場合、他の要素のコストを無視することになる。たとえば、橋梁 1 の場合、橋梁の管理機関と利用者の便益として、初年度に管理機関が 18 億 9,561 万円、利用者が 977 億 3,329 万円を得る。仮想モデル地区のように極めて小さな地域でさえ、利用者の便益が管理者のそれを大きく上まわっている。すなわち、利用者と管理機関の便益を単に足し合わせた式(7)の LCC 分析では、両者の関係をうまく扱えないことがわかる。

4. あとがき LCC 分析に用いられる便益には、各管理機関によって種々提案されている。すなわち、便益に何をを用い、どのように算定するかは確たる理論はなく、考慮すべき範囲も規定されていない。したがって、異なった便益を同一レベルで比較する場合には十分な検討が必要で、すべてを同一の LCC 式で算定すべきではないと考えられる。

参考文献 1)たとえば、古田・金森・堂垣：材料，Vol.47，No.12，pp.1245-1250，1998。2) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編：道路投資の評価に関する指針(案)，(財)日本総合研究所，1998。

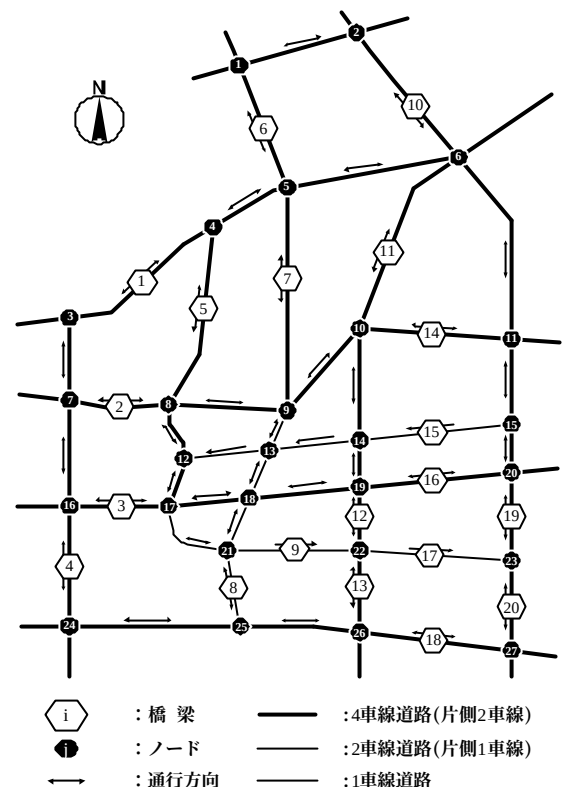


Fig.1 補修計画策定地域

Table 1 目的関数の設定

	目的関数	最適化手法
<i>Net-Level 1</i>	式(7)	スキーマ貪欲法
<i>Net-Level 2</i>	式(5),式(6)	ハート保存戦略法

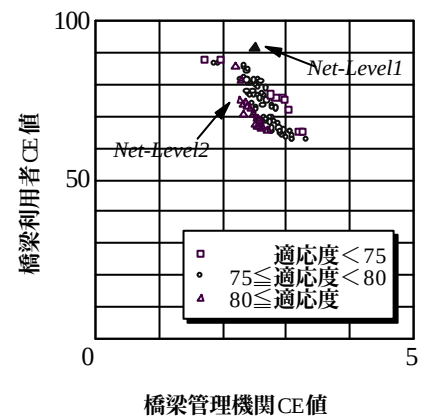


Fig.2 計画案の分布状況