

I - A223 複数年を考慮した道路橋 RC 床版の最適補修計画支援システムの構築

関西大学大学院 学生員 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. はじめに

わが国は、今日、いわゆる右肩上がり成長社会からなだらかに成長する成熟社会に移行し、社会資本整備事業を取り巻く環境も大きく変化した。このような社会では、以前のように新しい施設を建設することだけに重点を置いた社会資本整備ではなく、既存の施設を有効に利用し、かつ必要な機能を将来にわたって維持することが必要となる。このような観点から、本研究では、今後増大する橋梁ストックを対象に、それを構成する主要部材のなかでも損傷の著しい部材の一つである鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版と称す）に注目し、限られた予算内で効率的かつ合理的な補修計画が立案できる支援システムを構築する。

2. RC 床版の損傷度評価

本支援システムでは、RC 床版の損傷を松井・前田が提案した評価法に基づいて5段階に分類した¹⁾。また、単位時間あたりの劣化進行度を遷移確率マトリクスで表現し、損傷度ランクの経年劣化をリスクの概念で評価する²⁾。ここに、リスクとは構造物が使用限界状態に陥る可能性を数値化したものである。

3. 補修・補強工法の選定に影響する要因

補修・補強工法の選定に何ら制約がなければ、最も効率の良い補修工法が選ばれる。しかし、現実には、橋梁が置かれた社会環境を考慮しなければならないので、適切な補修工法の選定は極めて難しい。本支援システムでは、工法の選定にあたって、補修の効果のほかに、つぎの2項目を考慮する。

- ① 工法の経済性： 今日、社会資本整備事業における投資効果の評価には、初期費用だけでなく、維持管理費をも含めたトータルなライフサイクルコスト（以下、LCC と称す）の概念が適用されつつある。本システムでも、補修工法の選定にあたって LCC の概念を用いる。より正確に LCC を比較するため、RC 床版の維持管理における LCC に与える影響を金利に換算して、つぎのように評価した。

$$L' = L(1+i)^n \quad (1)$$

ここに、 L' ： n 年後の工法の費用、 L ：補修計画時の工法の費用、 i ：計画期間中の利子率、である。

- ② 橋梁の周辺状況： 周辺状況として、路下の状況、迂回路の有無、橋梁の災害時の使用状況など、12個の事項について考慮する。ただし、これらの周辺状況はきわめて曖昧なため、人のもつ判断力と曖昧さを扱うことのできるファジイ推論を適用する。

4. 最適化手法

4.1 確率的スキーマ貪欲法³⁾

補修すべき橋梁、補修工法、補修時期などを考慮しながら維持管理計画を立案する場合、管轄内の道路網が多くなると、自ずと橋梁の数も増加し、それに伴って計画案の組合せが膨大となり、厳密な解を求めることが、事実上、困難となる。ここでは、組合せ最適化問題の近似解法として、相澤が提案した確率的スキーマ貪欲法(Stochastic Schemata Exploiter:SSE)を適用する。SSEは遺伝的アルゴリズム(以下、GAと称す)のスキーマ処理の利点をさらに発展させた最適化手法である。その特徴は、GAに比較して、①制御パラメータが少ない、②取扱いが容易、③解の収束が早い、などである。

4.2 目的関数

SSEの目的関数には、LCC解析の一評価法である *Cost Effectiveness* (以下、CE と称す)の概念を適用する。本研究で採用するCEの評価式は、従来の費用対効果の評価式と異なって、分母にLCCを用いた

キーワード：道路ネットワーク、ライフサイクルコスト、確率的スキーマ貪欲法、ファジイ理論

* 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL06-6368-0882 FAX06-6368-0882

** 〒569-1095 大阪府高槻市雲仙寺町 2-1-1 TEL0726-90-2488 FAX0726-90-2488

$$\text{Cost Effectiveness} = \frac{\text{System Effectiveness}}{\text{Life Cycle Cost}} \quad (2)$$

である。ここに、分子の System Effectiveness は使用年数間にわたる効果を表す。式(2)は、分母と分子との間のトレードオフの関係だけでなく、LCC 内における各費用間のトレードオフをも勘案したものである。

本システムでは、式(2)に含まれる各ファクターに時間の影響を考慮した。すなわち、補修費用の算出に金利を、RC 床版のリスクの算出に経年劣化を勘案し、年度における予算と床版の状態を前年とのかねあいから算出し、両者を時系列的に把握した。これらを CE の概念に適用して

$$\text{Cost Effectiveness} = (R+T)/LCC \quad (3)$$

のように定式化した。ここに、R: リスクの回復度、T: ファジイ推論から求められる橋梁の周辺状況への適応性、LCC: 金利を勘案した補修費用、である。式(3)を目的関数として最適解を検索すれば、補修効果と補修費用との間にあるトレードオフの関係とともに、補修費用に金利を考慮することで LCC 内のトレードオフの関係も満足した最適解が求められる。すなわち、これらのトレードオフの関係を満足した補修後のある時点におけるリスクと費用が最小となる補修案が決定され、何年度にもわたる補修案が策定できる。

5. システムの実用例

システムの妥当性を検討するため、補修計画域（大阪市北東部の道路網をモデル化したもの）を Fig.1 のように設定した。20 橋に対し、最適な補修計画を SSE による組合せ最適化手法で探索したところ、Table 1 に示す計画案を得た。これによれば、リスクの高いものほど早期に補修が計画されるなど、効果的な補修計画がなされている。また、それぞれの橋梁には、損傷に見合った適切な工法が選定されている。該当年度の工費は4億2000万円で、予算5億円を下回る妥当な計画案である。

6. あとがき

将来の社会資本整備を考えた場合、補修計画を何らかの方法で時系列的に把握し、検討することが必要となると考えられる。すなわち、低コストで効果的な補修計画が立案できるものと考えた。

参考文献 1) 松井・前田: 土木学会論文集, No. 374/I-6, pp.419-426, 1986. 2) 足立・小塚・水谷: JCROSSAR'95 論文集, Vol.3, pp.341-348, 1995. 3) 相澤: 電子情報通信学会論文誌, Vol. J78-D-II No.1, pp.94-104, 1995.

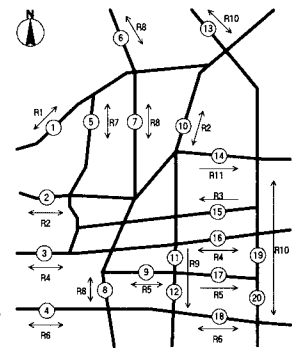


Fig.1 仮定の補修計画エリア

Table 1 予算5億円の補修計画案

橋梁番号	主な損傷状態	劣化度 (点検時)	リスク (補修時)	補修工法	補修 時期	劣化度 (補修後)	リスク (補修後)
1	ひび割れ	0.37	8.43	樹脂系接着剤注入	4年後	0.37	13.03
2	剥離、鉄筋露出、腐食	0.42	28.69	FRP接着	4年後	0.07	18.85
3	部分的損傷、鉄筋露出、腐食	0.49	30.76	モルタル吹き付け	本年度	0.49	25.39
4	剥離、豆板	0.71	46.00	部分打換え	本年度	0.06	24.24
5	ひび割れ	0.58	24.27	樹脂系接着剤注入	2年後	0.58	25.40
6	部分的損傷、漏水、遊離石灰、錆の流出	0.81	100	部分打換え	2年後	0.16	29.06
7	剥離、床版陥没等	0.61	44.00	FRP接着+モルタル吹付け	本年度	0.26	8.37
8	部分的損傷、ひび割れ	0.24	5.03	補修しない	-	0.24	13.13
9	剥離、鉄筋露出、腐食	0.52	25.28	鋼板接着	3年後	0.12	16.18
10	豆板	0.45	24.78	鋼板接着	1年後	0.05	16.03
11	ひび割れ	0.48	21.65	縦桁増設+樹脂系接着剤注入	1年後	0.00	3.67
12	ひび割れ	0.51	22.26	縦桁増設	4年後	0.01	11.05
13	剥離、床版陥没等	0.36	12.08	補修しない	-	0.36	27.98
14	剥離、床版陥没等	0.45	27.66	鋼板接着	3年後	0.05	22.96
15	漏水、錆の流出、遊離石灰	0.57	30.19	部分打換え	1年後	0.00	25.92
16	漏水、錆の流出、遊離石灰	0.64	43.00	床版増厚+樹脂系接着剤注入	2年後	0.04	7.22
17	ひび割れ	0.37	8.12	樹脂系接着剤注入	1年後	0.37	13.85
18	部分的損傷、ひび割れ	0.31	6.97	補修しない	-	0.31	18.23
19	剥離	0.58	30.21	床版増厚+吹付け	本年度	0.00	4.92
20	空洞、床版陥没等	0.64	44.00	床版増厚+モルタル吹付け	本年度	0.04	5.55