

高田機工 (株)

正会員○大村和久

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

橋梁は、重要な社会基盤施設の一つである。わが国の橋梁には、現在、交通量や重量車両の増大により、経年劣化が進行している。今後のわが国の経済状況を展望すると、膨大な橋梁のストックを大切に使用せざるを得ない。したがって、限られた予算内で最大の便益が得られるような最適な補修計画案の立案が望まれる。

ここでは、補修計画地域内の道路網上にある橋梁群を対象に、それらの中で損傷の著しい RC 床版を補修するための順位決定支援システムを構築する。

2. 最適維持管理支援システムの構築

本支援システムの流れを Fig.1 に示す。ここでは、数年度にまたがった補修計画の立案を考える。

2.1 橋梁の経年劣化の評価

本支援システムでは、松井・前田が提案した RC 床版の損傷度評価法に基づいてその損傷度を 5 ランクに分類し¹⁾、阪神高速道路公団の RC 床版の経年劣化モデルとリスクの定量化法で経年劣化を評価する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、これが大きいほど、構造物は危険な状態にある。

2.2 経済性の評価

(i) ライフサイクルコスト

RC 床版の補修・補強工法の選定には、様々な要因

を考慮しなければならない。重要な要因の 1 つに経済性が挙げられる。本支援システムでは、経済性をライフサイクルコスト（以下、LCC と称す）の概念で評価する。すなわち、LCC を

$$LCC = C_j + C_j^F \cdot P^F \quad (1)$$

$$P^F = R_j / R_{max}$$

で算定する。ここに、 C_j ：橋梁 j の補修に要した緊急補修費、 C_j^F ：橋梁 j の床版が使用限界状態に陥った場合の緊急補修費、 R_j ：橋梁 j を補修してから 5 年後のリスク、 R_{max} ：使用限界時のリスク（ここでは 100 とする）、である³⁾。

(ii) 金銭の時間的価値

複数年にわたるライフサイクルコストを分析し、補修計画を立案するには、年度ごとに金銭の価値を評価する必要がある。本支援システムでは、各年の費用を金利によって補修計画時の費用に換算し、 n 年後の費用 L' を

$$L' = L(1+i)^n \quad (2)$$

から算定することにした。ここに、 L ：補修計画時の工法の費用、 i ：期間あたりの利率、である。

2.3 補修・補強工法選定に関して考慮すべき項目

個々の橋梁に最適な補修・補強の工法を選定するため、補修・補強による効果と補修工事が周辺環境に及ぼす影響を考慮する必要がある。そこで、本支援システムでは、両者を勘案して最適な工法を選択するため、次の方法でそれぞれを評価した。

補修・補強工法の効果は、補修計画案の作成時から 5 年後のリスクの回復度で評価する。また、橋梁の周辺状況には、路下の状況など、12 個の周辺状況に対する個々の工法の適応度で評価する。適応度の算出には、曖昧さを扱うファジィ推論を用いる。

2.4 Cost Effectiveness 式による評価

補修する橋梁と補修工法の最適な組合せを決定するため、LCC 分析の一評価法である Cost Effectiveness の概念を適用する⁴⁾。すなわち、

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

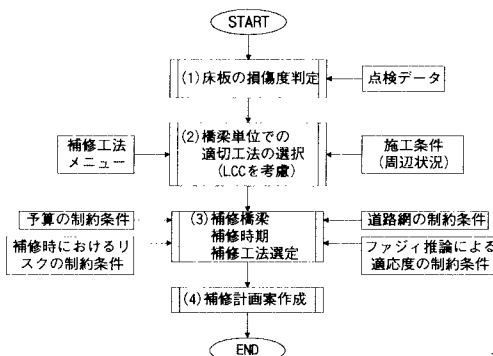


Fig.1 本支援システムの流れ

から評価される。ここに、 R 、 T はそれぞれ前節で述べた補修効果と工法の適応度である。ちなみに、補修・補強による効果 ($R + T$) が大きく、LCC が小さい工法が優れた工法であると考えられる。

2.5 最適化手法

補修すべき橋梁、補修工法、補修時期の組合せが膨大になるため、組合せ最適化問題の解法に適した遺伝的アルゴリズム (以下、GA と称す) を採用する。GA のコーディングは Fig.2 に示すように、1 橋を 5 ビットの遺伝子列で表す。

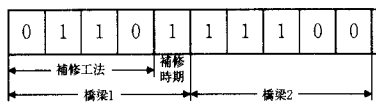


Fig.2 GA のコーディングの一例

3. 数値解析結果とその考察

システムの妥当性を検証するため、Fig.2 に示す道路網と 35 橋の橋梁を補修計画エリアに設定し、10 億円の予算規模で最適な補修計画案を作成した。Table 1 に解析の結果を示す。

初年度の総工費は 8 億 8,299 万円となった。これは 10 億円の予算に収まっている。リスクも、まったく補修しなかった場合の補修計画時から 5 年後のリスクの合計が 1,246 に対して、本支援システムのそれは 562 に半減している。また、対象年数を 2 年とした補修計画案に対して、個々の橋梁に道路網が考慮され、初年度と次年度の 2 ヶ年を通して適切な工法が採用されていると思われる。それゆえ、補修計画案は妥当であると考えられる。

4. あとがき

本研究では、LCC、橋梁の周辺状況、道路網などを考慮した複数年にわたる補修計画案の作成を試みた。今後、対象とする年数を増やし、本支援システムの実用化を目指す。

参考文献

1) 松井・前田：土木学会論文集，No.374/ I -6, pp.419-426, 1986-10. 2) 足立・小塚・水谷：JCOSSAR' 95 論文集，Vol.3, pp.341-348, 1995-11. 3) 古田・金森・堂垣：材料，Vol.47, No.12, pp.1245-1250, 1998-12. 4) 日比：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.

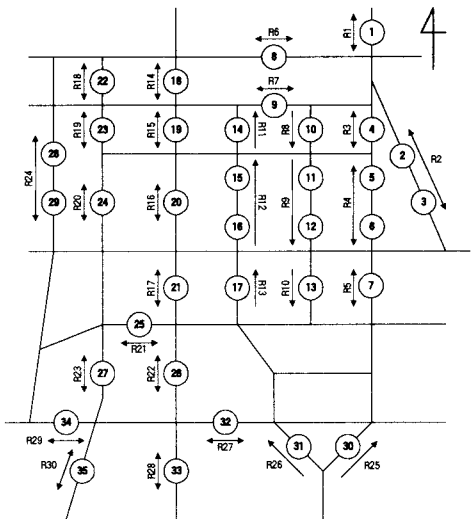


Fig.3 仮定の補修計画エリア

Table 1 予算 10 億円の RC 床版の補修計画案

橋梁番号	主な損傷状態	健全度ランク	補修時のリスク	補修工法		5 年後のリスク
				当年度	次年度	
1	ひび割れ	Ⅲ	32.70	補修しない	鋼板接着	17.45
2	剥離、鉄筋の露出	V	100.00	鋼板接着+モルタル吹き付け	補修しない	38.60
3	部分的鉄筋の露出	Ⅱ	11.98	FRP 接着+モルタル吹き付け	補修しない	14.07
4	豆板、剥離	Ⅳ	45.00	補修しない	部分打ち換え	17.10
5	ひび割れ	Ⅲ	29.19	部分打ち換え	補修しない	17.13
6	陥没	V	100.00	部分打ち換え	補修しない	20.58
7	部分的ひび割れ	Ⅲ	28.66	鋼板接着	補修しない	16.15
8	部分的ひび割れ	I	3.71	補修しない	補修しない	15.87
9	剥離、鉄筋の露出	Ⅱ	8.43	補修しない	補修しない	20.98
10	豆板	Ⅳ	40.00	部分打ち換え	補修しない	9.77
11	ひび割れ	Ⅲ	24.68	補修しない	FRP 接着+樹脂系接着剤注入	6.11
12	ひび割れ	Ⅲ	23.03	FRP 接着	補修しない	7.42
13	剥離、陥没	Ⅱ	6.89	FRP 接着	補修しない	7.41
14	剥離、陥没	Ⅱ	5.03	FRP 接着	補修しない	4.63
15	漏水、遊離石灰	Ⅲ	27.05	補修しない	部分打ち換え	10.40
16	漏水、遊離石灰	Ⅲ	30.05	補修しない	部分打ち換え	13.35
17	ひび割れ	Ⅳ	40.00	補修しない	床版増厚+樹脂系接着剤注入	8.53
18	部分的損傷、ひび割れ	Ⅲ	33.27	補修しない	補修しない	42.77
19	剥離	Ⅲ	30.76	鋼板接着	補修しない	18.79
20	空剥、陥没	Ⅲ	32.09	補修しない	鋼板接着	17.13
21	剥離、鉄筋の露出	Ⅱ	12.26	FRP 接着+モルタル吹き付け	補修しない	15.10
22	剥離、豆板	I	1.78	補修しない	補修しない	8.96
23	部分的損傷、漏水、遊離石灰	Ⅲ	24.00	部分打ち換え	補修しない	9.77
24	部分的損傷、ひび割れ	Ⅱ	11.22	補修しない	FRP 接着	10.10
25	豆板	Ⅳ	40.00	縦桁増設+モルタル吹き付け	補修しない	8.78
26	ひび割れ	Ⅱ	12.55	補修しない	補修しない	28.79
27	剥離、陥没	I	1.69	補修しない	補修しない	8.65
28	漏水、遊離石灰	Ⅱ	9.48	鋼板接着+樹脂系接着剤注入	補修しない	9.46
29	ひび割れ	Ⅱ	8.57	FRP 接着	補修しない	10.87
30	部分的損傷、鉄筋の露出	Ⅳ	46.00	縦桁増設	補修しない	21.73
31	陥没	V	100.00	鋼板接着	補修しない	34.02
32	漏水、遊離石灰	Ⅲ	28.69	FRP 接着+樹脂系接着剤注入	補修しない	15.18
33	ひび割れ	I	3.57	補修しない	補修しない	17.11
34	剥離	Ⅱ	12.97	補修しない	補修しない	30.07
35	ひび割れ	I	1.78	補修しない	補修しない	8.96