

(株)春本鐵工所

正会員○中塚紀江

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

社会資本として重要な鋼橋の多くに、経年による老朽化が進行している。このような状況下にあつて、鋼橋の維持管理が極めて重要になってきている。維持管理に必要な費用のうち、塗装の塗替え費用が全体に占める割合は大きく、塗替えの時期をむかえる橋梁の増加とともに、今後、その経費がますます増大するものと思われる。しかしながら、維持管理にあてられる予算には限度があり、限られた予算内で最大の便益を得る適切な方策が望まれる。そこで本研究では、限られた予算内で効率的かつ合理的に塗膜の補修箇所が選定できる補修順位決定支援システムの構築を試みる。

2. 解析手法

橋梁を対象とした塗膜の劣化度の評価基準がさまざまな協会や団体で独自に制定され、定期点検時に適用されている。劣化度の評価結果に基づき、劣化度ごとに分類したものは損傷度もしくは健全度と呼ばれている。ここでは、これを健全性ランクと呼ぶことにし、さまざまな団体の塗替え時期の判断基準を参考に、「塗膜にほとんど異常のないもの」から「塗膜効果が完全に喪失したもの」までを4段階A, B, C, Dに区分する。ただし、それらを0, 1, 2, 3と数値で表す。

塗膜の補修計画では、補修要因や予算などを勘案しながら、最も効率的な補修計画を立案することが重要である。このため、塗膜の補修計画問題を以下のように組合せ最適化問題として定式化する。

$$\text{目的関数: } OBJ(\{I\}) = \sum_{i=1}^n (T_i + A_i) I_i \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\text{制約条件: } g(\{I\}) = D - E \leq 0 \quad (2)$$

$$\text{補修変数: } \{I\} = \{I_1, I_2, \dots, I_n\} \quad (3)$$

ここに、 T_i : i 番目の補修箇所を補修した後の健全性ランクのアップ度による重み、 A_i : i 番目の補修箇所の補修面積による重み、 I_i : i 番目の補修変数の値(補修する=1, 補修しない=0), n : 補修対象となる部位の数、 D : 補修に要する費用で補修変数 I_i の関数、 E : 予算(定数)である。

本研究では、つぎの理由から最適化手法に遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: 以下GAと称する)を使用する。すなわち、

- ① 最適化問題において、目的関数の微分値が不必要で、不連続な関数の場合にも対応できる。
- ② 個体が集団的に適応度を高めるように作動するため、局所解に陥る確率が一つの解をもとに探索する場合より小さいと期待される。
- ③ プログラミングが簡単である。

GAでは、最適解の探索過程を生物の進化におけるダーウィンの適者生存の過程とみなし、増殖、淘汰、遺伝子の交叉および突然変異のプロセスを簡単な数理モデルに置き換え、これを最適化の手法として用いる。

図-1に最も基本的なGAとされる単純GAの枠組みを示す。

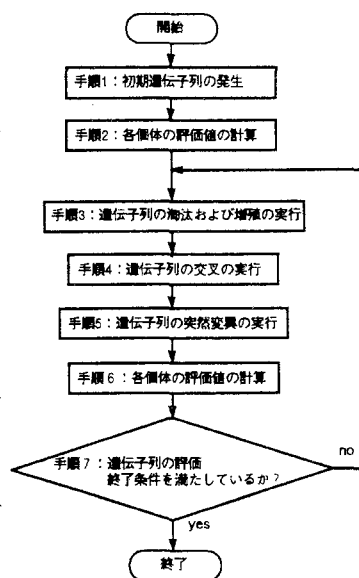


図-1 単純GAのフローチャート

3. 数値計算結果とその考察

塗膜補修の順位決定支援システムは、塗膜の健全性ランクに差異のある多数の補修箇所から最大の塗膜補修が可能となる箇所の組合せを限られた予算内で決定できるようにしたものである。そこで、塗膜補修を必要とする仮定の橋梁群を設定し、その最適解を探索し、システムの有用性を検証する。

塗膜補修の橋梁モデルを a 橋（箱桁橋）、b 橋（I 桁橋）、c 橋（I 桁橋）の 3 橋とする。補修箇所は、幅員方向に a 橋：2 ヶ所(内面, 外面)、b 橋：4 ヶ所(主桁ごと)、c 橋：3 ヶ所(主桁ごと)、橋軸方向に a 橋、b 橋、c 橋をそれぞれ 3 ヶ所、3 ヶ所、4 ヶ所の合計 30 ヶ所とした。予算は、橋梁群すべてを全面的に塗装した場合に要する費用を基準に、その 6 割すなわち 650 万円とした。

	橋軸方向		
内面	2	2	3
外面	2	1	2

a 橋

	橋軸方向		
幅員方向	0	1	2
	2	2	3
	1	3	2
	1	2	0

b 橋

	橋軸方向			
幅員方向	1	2	1	0
	2	3	2	1
	0	2	1	1

c 橋

◎健全性ランク 0=A, 1=B, 2=C, 3=D

図-2 設定した健全性ランク

表-1 GA に関するパラメータ

世代交代数	150
個体数	30
交叉率	0.60
突然変異率	0.01

まず、補修対象の部位ごとに健全性ランクを図-2 のよう

に、GA のパラメータを表-1 のように設定する。また、選択手法はエリート戦略、進化シミュレーションの終了条件は規定された世代交代数に達した時点とする。なお、設定した数値は数値解析の試行錯誤の結果に基づくものである。

設定した数値やパラメータのもとに、さきの橋梁群に対し、最適な補修部位の組合せを探索したところ、評価値の最大、平均、最小のそれぞれの値が世代の移り変わりとともに図-3 のように変化した。この結果、最大の評価値を与える補修箇所の組合せは図-4 のようである。ちなみに、補修に要する費用は 633 万 1960 円となった。

4. あとがき

構築した塗膜補修順位決定支援システムの特徴はつぎのとおりである。

- (1) 塗膜補修の重要度を 4 段階に分類し、健全性ランクとした。
- (2) 補修順位決定問題を組合せ最適化問題として定式化し GA を適用した。
- (3) GA の選択手法には、収束性に優れたエリート戦略を採用した。
- (4) 補修を決定する要因として、健全性ランクの値が大きいほど補修の必要性が高いこと、補修箇所数が同じ場合、補修面積の広い補修箇所の組合せが選ばれることなどを考慮し、目的関数に組み込んだ。
- (5) 補修費用が予算内に収まるという制約条件を遺伝子列の発生に反映させた。

なお、GA 手法は組合せの数が多い最適化問題に威力を発揮する解法である。本実行例は補修部位が比較的少なく、GA の能力が十分に生かされていない。今後、より大規模な補修計画へシステムを適用し、その有用性を検証する必要がある。さらに、塗膜補修順位決定の要因を再検討し、目的関数に加えることも考えられる。この場合、GA に内包するサブシステムを別途構築すればよい。

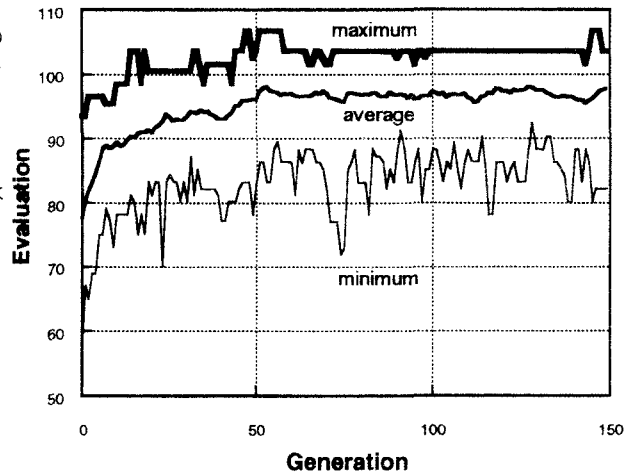


図-3 世代ごとの最大、平均、最小の評価値の推移

	橋軸方向		
内面	2	2	3
外面	2	1	2

a 橋

	橋軸方向		
幅員方向	0	1	2
	2	2	3
	1	3	2
	1	2	0

b 橋

	橋軸方向			
幅員方向	1	2	1	0
	2	3	2	1
	0	2	1	1

c 橋

□ 補修する箇所

図-4 最高の評価値を与える補修箇所の組合せ