

横河工事 正会員 市田孝治*
 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 橋梁には経年による老朽化が進行し、その維持管理が近年極めて重要になりつつある。維持管理に当てられる予算は増加しているものの十分とはいえず、日本経済の先行きを考えた時、将来が決して明るいとは思えない。そこで、荷重の作用を直接受け、損傷が著しいコンクリート床版(RC床版)に注目し、限られた予算の中で効率的かつ合理的にRC床版が補修できるように、その対象となる橋梁の周辺状況と道路網を考慮しながら補修する橋梁と補修工法を適切に選定するための遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms: GA)を用いた補修順位決定支援システムを構築した。

2. 支援システムの概要と解析手法 本システムの概要は、つぎのとおりである(図-1を参照)。まず、補修計画地域の橋梁と道路網を設定する。補修計画地域に存在する橋梁の点検データ中のRC床版の劣化損傷度データから健全度を評価する。施工条件(周辺状況と損傷の種類)を加味し、10種類の補修工法メニューの中からそれぞれの橋梁の損傷にあった工法を選ぶ。ただし、補修予定橋梁の周辺環境は極めてあいまいで主観的な要因であるので、抽象的な量をより客観的に評価するためファジィ推論を用いる。ファジィ推論ルールを作成する周辺環境として、つぎの事項を考える。

- ・住宅地の周辺
- ・工事に対する周辺状況
- ・迂回路の状況
- ・現橋幅員内での交通処理能力
- ・現橋幅員を拡幅しての交通処理
- ・大型車の交通規制
- ・時間、時期の交通規制
- ・全面交通規制
- ・路下の状況
- ・重要幹線道路上の橋梁

つぎに、予算と道路網の制約条件のもとに、適切と思われる補修橋梁と補修工法を提示する。しかし、補修橋梁と補修工法の組合せは多数あり、その中から条件を満足する補修案を決定するにはかなりの労力を要する。そこで、最適解の探索には、その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た簡単な数理モデルにモデル化し、補修変数を淘汰・増殖、遺伝子の交叉、および突然変異させることによって最適な解を探索する単純GAを用いる。大規模組合せ問題の最適化で威力を発揮する単純GAを採用した理由はつぎのとおりである。

- ①目的関数が不連続な最適化問題に適用できる
- ②プログラミングが簡単である
- ③探索された解が最適解でなく、それに近い解でも許容できるような問題

RC床版の損傷評価について、ここでは個々の損傷によって床版の健全度を細かく規定せず、損傷が単一でも複数の種類からなっているても床版の機能に及ぼす影響のことを考えたものとし、「健全度15：問題のない床版」から、「健全度0：床版の機能を失ったもの」までの16段階に分類する。そして、補修・補強によってRC床版の耐力回復・向上、橋梁の利用者への安全性の向上などの度合いを健全度ランクアップと呼ぶ。

本手法で得られる補修計画案には、①補修後の健全度ランクアップが高い組合せのものと、②ファジィ推論

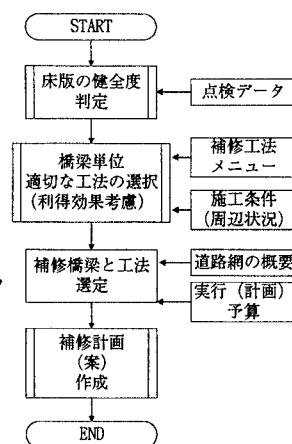


図-1 床版の補修順位決定支援システムのフローチャート

Keywords: 維持管理, RC床版, 遺伝的アルゴリズム, ファジィ推論

* 〒114 東京都北区西ヶ原 1-46-13 Tel 03-3576-5411

** 〒569-11 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1 Tel 0726-90-2438 Fax 0726-90-2493

*** 〒564-80 大阪府吹田市山手町 3-3-35 Tel 06-368-0882 Fax 06-368-0882

による工法の環境への適応度が高い組合せのものの2つの異なった案がある。ここでは、健全度ランクアップ値と適応度のそれぞれをその中の最大値で正規化し、いずれか小さいほうの値をその個体の評価値とする。なお、つぎの事項が探索解に含まれた場合には、その解にペナルティを課した。すなわち、

- ① R C床版の損傷状態に対して、不適切な補修工法が提示されたとき
 - ② 予算を超過する工事費の計画案が提示されたとき
 - ③ 交通の規制や封鎖を伴う場合、迂回路など道路網を無視する計画案が提示されたとき。すなわち
 - a) 交通規制されたルート上の迂回路となるルートでも交通規制が必要な補修案が提示されたとき
 - b) ルート上の複数の橋梁に交通規制を伴う補修案が提示されるのは、交通処理の観点から妥当である。
- それにもかかわらず、損傷の著しい橋梁に交通規制を伴わない補修案が提示されたとき

3. 解析結果とその考察 本システムを図-2の仮想の道路網と橋梁群からなる補修計画地域（橋梁数20橋、主要道路網7ルート）に適用し、補修する橋梁と補修工法の最適な組合せを予算4億円で求めた結果、総工費が348,700,000円、健全度ランクアップが110、評価値が0.504の表-1に示す補修計画案を得た。これは、

- ① 総工費が予算限度額の4億円以内の計画案であること
- ② 過去の施工例に照らして、個々の橋梁の損傷の種類と健全度にあった補修工法が選ばれていること
- ③ 総健全度ランクアップが110で、全橋梁を補修した場合の69%が補修され、健全度がかなり向上したこと

などの理由から、妥当な補修案であると思われる。

つぎに、道路網に課せられた制約条件が補修案に及ぼす影響を明らかにする。図-2に示した網掛け数字の橋梁は道路の交通規制や封鎖を必要とする大規模な補修工法が選ばれたことを示し、6, 7, 8, 9の橋梁を含む道路(R-1)では交通が規制される。また、その迂回路と思われる12, 13, 14の橋梁を含む道路では14の橋梁の損傷が著しいにもかかわらず、道路R-1が規制されるため、規制を伴わない小規模な工法（または補修せず）が選択された。この結果は、道路網、補修工法、予算などを総合的に評価して補修計画案が立案されていることを示している。また、15, 16, 17の橋梁を含む道路と18の橋梁を含む道路でも、さきの場合と同様、道路の制約条件が補修計画案に反映されている。

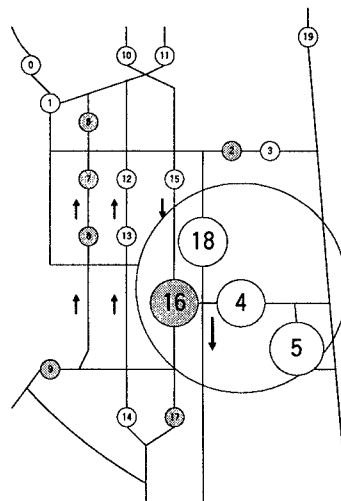


図-2 仮想補修計画エリア

表-1 予算4億円の補修計画案

橋梁番号	損傷状態		補修		補修後健全度
	損傷種類	健全度判定	補修工法	健全度ランクアップ	
0	はく離、鉄筋の露出	4	FRP接着工法	+8	12
1	部分的ひび割れ	12	補修なし	+0	12
2	豆板	8	部分的打ち換え工法	+10	15
3	なし	15	補修なし	+0	15
4	部分的鉄筋の露出	7	吹き付け工法	+8	15
5	部分的ひび割れ	14	補修なし	+0	14
6	陥没の恐れ	2	全面打ち換え工法	+15	15
7	ひび割れ	5	全面打ち換え工法	+15	15
8	部分的ひび割れ	10	部分的打ち換え工法	+10	15
9	はく離、鉄筋の露出、豆板、陥没の恐れ	4	打ち足し工法	+8	12
10	はく離	5	鋼板接着工法	+8	13
11	ひび割れ	5	FRP接着工法	+8	13
12	ひび割れ	9	セメント注入工法	+6	15
13	はく離、陥没の恐れ	4	補修なし	+0	4
14	空洞、陥没の恐れ	1	補修なし	+0	1
15	なし	15	補修なし	+0	15
16	ひび割れ	3	部分的打ち換え工法	+10	13
17	陥没の恐れ	4	部分的打ち換え工法	+10	14
18	ひび割れ	3	樹脂系接着剤注入工法	+4	7
19	部分的鉄筋の露出	10	鋼板接着工法	+8	15

4. あとがき R C床版の補修順位決定支援システムを構築し、その有効性を仮想の道路網と橋梁群からなる補修計画地域に適用して検証した。本システムでは、多数の補修案の中から適切な補修計画案がGAで探索された。しかし、最も評価値の高い解が求められたのではなく、それに近い解であったのかもしれない。本研究の目的は、補修計画を立案する技術者の直感よりも理に叶った計画案を提示することであり、最適解の近似値でも十分に許容できるものと考えた。