

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

横河工事（株） 正会員〇市田孝治

1. まえがき 重要な社会資本の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れば、将来にわたっても決して明るいとは思えない。そこで、荷重を直接受け、橋梁の中でも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（工事による周辺住民への影響や道路の重要度など）と道路網を考慮しながら、補修する橋梁とその工法が適切に選定できる補修順位決定支援システムを構築する。

2. RC 床版の損傷と健全度 RC 床版の劣化損傷度の点検データに基づいた劣化度別の分類は健全度などと呼ばれる。ここでもそれを健全度と、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。ここでは、個々の損傷（ひび割れ、はく離、鉄筋の露出と腐食、漏水、遊離石灰、錆の流出、豆板、空洞、陥没）によって RC 床版の健全度を細かく規定しないが、損傷が単一でも複数の種類からなっても床版の機能に及ぼす影響のことを考え、健全度を「床版が健全な状態(15)」, 「多少損傷しているが、その機能に問題のない状態(14~11)」, 「補修・補強が必要な状態(10~1)」, 「床版が機能しない状態(0)」の 4 種類の 16 ランクに区分した。

3. 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。橋梁の点検データの中で、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に見合った工法を選ぶ。ただし、補修予定橋梁の周辺環境を選定時に評価しようと思ってもそれらが極めてあいまいで主観的な要因であるので、ファジィ推論で抽象的な量をより客観的に評価する。

つぎに、予算と道路網を制約条件に補修する橋梁とその工法を選定し、適切な補修計画案を提示する。しかし、補修する橋梁と工法の組合せは多数で、その中から条件を満足する補修案を選択するにはかなりの労力を要する。そこで、最適解の探索過程を生物進化におけるダーウィンの適者生存の過程とみなし、淘汰・増殖、遺伝子の交叉および突然変異のプロセスを有する簡単な数理モデルで表した、大規模組合せ問題の最適化で威力を発揮する遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithms：GA）を用いる。これは、

①最適化問題の目的関数在不連続な場合にも適用できる

②プログラミングが簡単である

③求めようとする解が最適解に近い解でも許容される

などの理由から採用した。

また、周辺の環境や損傷の種類・程度などあいまいな判断材料をもとに補修すべき橋梁とその工法を決定する場合には、往々にして人の主観が入りやすく、計画案が適切か否かを立証しづらい。そこで、計画案ができるだけ客観的な判断のもとに提示できるように、周辺環境や損傷などのあいまいな評価をファジィ推論で行う。

本手法で得られた補修計画案には、①補修後の健全度ランクアップと、②ファジィ推論による工法の環境

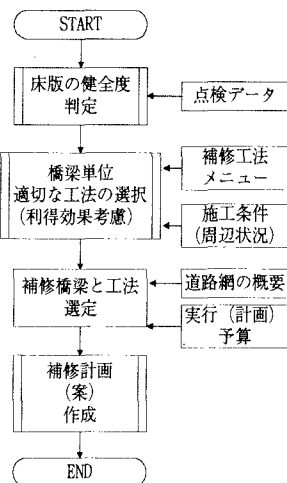


図-1 床版の補修順位決定支援システムのフローチャート

への適応度、の2つの値が得られるが、ここでは、健全度ランクアップ値と適応度のそれぞれに対し、その最大値と考えられる値で正規化し、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、その探索解にペナルティを課した。すなわち、

- ① RC床版の損傷状態に対して、不適切な補修工法が提案されたとき
- ② 総工費が予算を超過する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の迂回路となるルートでも交通規制されるような補修案が提示されたとき
 - b) 同一ルートにある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

4. 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、補修する橋梁と工法の最適な組合せを予算4億円で求め、表-1の総工費が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4億円内に収まる計画案であること
- 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見合う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、補修案として妥当な案を提示していると思われる。

つぎに、道路網に課せられた拘束条件が補修案に及ぼす影響を検討する。図-2の網掛け数字の橋梁は補修時に道路の交通規制や封鎖を必要とする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関わらず、道路R-1が規制されるため、規制のいらない工法（または補修せず）が選択された。これは、道路網、補修工法、予算などを総合的に評価して適切な補修計画案が立案されていることを意味している。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。

5. あとがき RC床版の補修順位決定支援システムを構築し、仮想の道路網と橋梁群からなる補修計画地域に適用し、その有効性を検証した。本システムでは、多数の補修案の中から最適案がGAで探索されたが、最も評価値の高い解が求められるとは限らず、それに近い解が求められることもあった。しかし、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にある、最適解の近似値でも十分に許容できると考える。

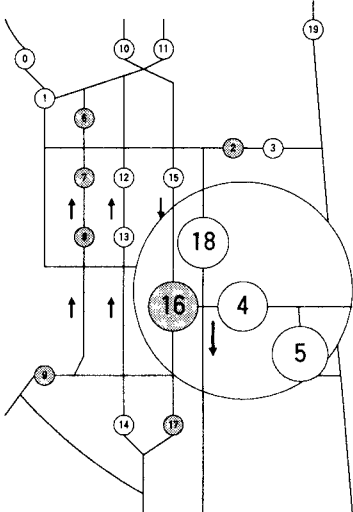


図-2 仮想補修計画エリア

表-1 予算4億円の補修計画案

橋梁 番号	損傷状態		補修		補修後の 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