

(株)横河ブリッジ 正会員 ○片山 憲一
 神戸大学大学院 学生員 河合 優
 神戸大学工学部 正会員 森川 英典

1. はじめに 著者らは、過去 8 橋に対して実橋試験を行い、コンクリート橋の最適維持管理手法として、現場試験結果の統計解析に基づく安全性評価手法¹⁾、経年劣化予測手法²⁾を提案し、実橋に適用してきた。これらの手法により、簡易な試験を最適な時期に行うことにより、橋梁の余寿命を知ることができる。また、これらの経年劣化および余寿命に基づいて適切な対策を講じることにより、合理的な維持管理が可能となる。そこで、本論では、補強工法に外ケーブル工法を選択し、最適な維持管理対策、つまり補強の時期と程度を算定する手法を提案する。また、本問題は多目的最適化問題となるため、多属性効用関数を用いて定式化し、最適化手法としては遺伝的アルゴリズムを用いることとする。

2. 最適維持管理手法 本研究における維持管理は横桁を有する 3 主桁のコンクリート橋上部工に着目し、補強は外ケーブル補強工法を選択し、供用期間中に一回だけ行うものとした。最適化の決定事項は、補強時期および各主桁のプレストレス量である。維持管理を考えるにあたっては、定められた供用期間中の橋梁の安全性を確保することが重要であり、過補強による大幅な安全性の向上は経済的でない。また、安全性の経年変化は主桁間の剛性バランスに影響されることが分かっており²⁾、主桁の局所的な補強が橋梁全体系の安全性を向上させ、劣化を抑制することになる。これらより、最適な維持管理とは、『最小の補強量で橋梁全体系のバランスを向上させ、供用期間中の安全性を確保すること。』とする。この目標を達成するために表 1 に示す 9 つの属性を考えることとした。また、これらの属性に対して多属性効用理論を適用すると、効用関数は以下のように定式化できる。

$$u(x_1, \dots, x_9) = \frac{1}{k} \left(\prod_{i=1}^9 [1 + k k_i u_i(x_i)] - 1 \right) \rightarrow \text{Max} \quad (1)$$

ただし、 k および $k_i (i=1, \dots, 9)$ は定数で、 $u_i(x_i)$ は、 x_i の最も望ましい状態を x_i^* 、最も望ましくない状態を x_i^0 としたとき、 $u_i(x_i^*) = 1.0$ 、 $u_i(x_i^0) = 0.0$ となるように線形変換を行った各属性の単属性効用関数である。よって、式(1)の最大値を求めることにより、最適な補強対策を得ることができる。補強時期の決定に関しては補強期間を数期間にわけ、各期間での最適な補強量を見つけ出し、その結果をもとに、総補強量が最小となる補強期間を算定することとした。

3. 遺伝的アルゴリズムによる最適化 遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm : GA)は、1960 年代に Holland らによって提唱された、生物の進化にヒントを得て最適化問題にアプローチする手法である。近年では、最適化問題に GA が多く適用されており、その応用範囲は広い。本研究における最適化は、最も基本的な GA のアルゴリズムとされている単純 GA を用いる。GA の流れを図 1 に示す。乱数による初期世代の生成を経て、適応度の評価、適応度を指標とした淘汰・増殖、交差、突然変異などの線列操作を繰返し、世代交代を重ねることによりその最良線列を解として採用する。本手法においては、各主桁の補強割合 r_n を決定することになる。GA に適用するためには、これらを遺伝子列として表現しなければならない。本研究では、表 2 に示すように各補強割合を 2 進数としてコーディングすることとした。

表 1 属性

	属性
x ₁	供用年数時における曲げ安全性余裕度(A桁)
x ₂	供用年数時における曲げ安全性余裕度(C桁)
x ₃	供用年数時におけるせん断安全性余裕度(A桁)
x ₄	供用年数時におけるせん断安全性余裕度(C桁)
x ₅	補強量(A桁)
x ₆	補強量(B桁)
x ₇	補強量(C桁)
x ₈	中桁に対するA桁の剛性バランス($(EI)_B/(EI)_A$)
x ₉	中桁に対するC桁の剛性バランス($(EI)_B/(EI)_C$)

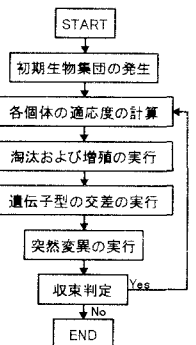


図1 GA の流れ

表に示すように、3 主桁の場合 30 の遺伝子を用いることにより GA に適用することとした。

4. 実橋への適用 対象とする橋梁は、橋齢 41 年、3 主桁で横桁を有する RC 単純 T 桁橋

である。材料試験結果を表 3 に示す。表に示されるように、圧縮強度、弾性係数は全体的に小さい値をとっており、特に、主桁 B における劣化の進行状況は非常に大きいものとなっている。安全性評価および経年劣化予測^{1), 2)}を行った結果、この橋梁は橋齢 61 年で A 桁のせん断安全性が安全性限界を下回ることが分かっている。この橋梁に対し、本手法を適用し、供用期間中の安全性を確保することとする。なお、目標供用年数は 75 年とする。本手法の実橋への適用にあたり、まず、補強期間を表 4 のように 5 年区切りの 3 期間に設定する。GA に関する諸数値は世代数 200、個体数 200、交差率 0.3、突然変異率 0.01 とする。本研究では、予備的な数値実験試行に基づいて決定した。表 5 に補強期間 I における GA による最適値と 1,000,000 個体に対して行ったランダムサーチの結果を示す。ランダムサーチの結果は GA を適用した最適化結果に及ばず、最適化手法としての GA の優位性が示されている。

本手法を実橋に適用した結果を表 6 に示す。これより、本橋梁に対する最適補強時期は、I (42.5 年～47.5 年)であることが分かる。言い換えれば、本橋梁のような橋齢、劣化程度および主桁間でのばらつきが比較的大きい橋梁に対しては、できる限り早い時期に補強を行うほど補強量が小さいということがいえる。図 2 に A 桁のせん断に対する補強前後の経年劣化曲線を示しておく。しかしながら、一般的には、より橋齢の若い橋梁や劣化状態の異なる橋梁に対して本手法を適用し、最適補強時期の存在の有無について検討を行う必要がある。

5. まとめ 最適維持管理手法における最適化手法として遺伝的アルゴリズムを採用し、その有効性を示した。また、本手法を橋齢 41 年の劣化程度と主桁間でのばらつきがかなり大きい実橋に適用し、本橋に対しては補強時期が早いほど補強量が少ないということが分かった。今後の課題としては、より橋齢の若い橋梁や劣化状態の異なる橋梁に本手法を適用し、最適補強時期に関する検討を行う必要がある。

表 2 コーディング

	A 桁の補強割合	B 桁の補強割合	C 桁の補強割合
2 進数	1 1 0 0 0 1 0 0 0 1	1 0 0 0 1 1 0 0 1 1	1 1 0 1 0 0 0 1 1 1
10 進数	78.5%	56.3%	83.9%

表 3 材料試験結果

主桁	圧縮強度(N/mm ²)	弾性係数(kN/mm ²)
A	10.54(4.06)	16.86(2.35)
B	9.55(1.81)	9.12(5.00)
C	11.37(3.67)	13.04(1.76)

()内は標準偏差

表 4 補強期間

補強期間	期間(年)	代表年(年)
I	42.5～47.5	45
II	47.5～52.5	50
III	52.5～57.5	55

表 5 GA の優位性

	最大総効用値
Genetic Algorithm	0.599
Random Search	0.594

表 6 各補強期間の最適補強量

	I	II	III
A 桁	1.30×10^6 (78.6%)	1.42×10^6 (85.0%)	1.59×10^6 (94.4%)
B 桁	5.95×10^6 (29.9%)	6.75×10^6 (32.6%)	5.89×10^6 (27.0%)
C 桁	6.79×10^6 (38.6%)	7.98×10^6 (45.1%)	8.06×10^6 (45.0%)
計	2.57×10^6	2.89×10^6	2.99×10^6

単位:kN

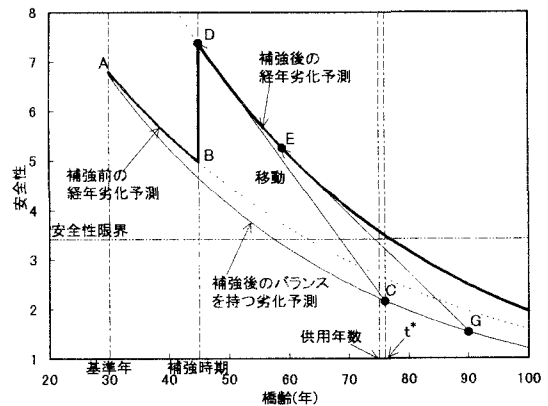


図2 補強前後の経年劣化曲線

【参考文献】

- 1) 宮本文穂, 森川英典, 石田宗弘: 統計データに基づく不確定性を考慮した既存コンクリート橋の安全性評価, 土木学会論文集, No.472/V-20, pp.49-58, 1993.8.
- 2) 森川英典, 宮本文穂, 竹内和美: 統計解析に基づく既存コンクリート橋の安全性および寿命評価, 土木学会論文集, No.502/V-25, pp.53-62, 1994.11.