

既存橋梁の最適補修・補強計画への遺伝的アルゴリズムの適用

山口大学大学院 学生員 ○小野正樹

山口大学工学部 正会員

中村秀明

山口大学大学院 学生員 山岡健一

山口大学工学部 正会員

宮本文穂

1. はじめに

我が国では戦後の高速道路網等の整備により数多くの橋梁が架設されてきた。しかし、これらの中には車両の大型化や交通量の増大などの厳しい供用条件で使用されてきたために、維持管理対策が必要なほど劣化が進行しているものが少なくない。しかしながら、橋梁管理者が維持管理に割り当てることのできる予算には限界があることから、限られた予算を最大限に活かす維持管理計画を作成できるシステムが近年注目されている。既存橋梁の補修・補強計画の策定は、劣化程度に応じて経年ごとに採用される多数の工法とその効果、あるいは施工時期などをパラメータとする組合せ最適化問題としてとらえることができるが、その膨大な組合せ数のため、直列的な探索法ではその最適化は困難である。そこで本研究では、この補修・補強計画の最適化問題に対する最適化手法として『遺伝的アルゴリズム（以下GA）』を適用し、その近似最適解を高速に求めることを試みるとともに、実際の既存橋梁に対して適用してその有効性を検証したものである。

2. 最適補修・補強計画の考え方

本研究においては、経済性（コスト）および品質（耐荷性と耐久性の両者を考慮したもの）を最適化指標として既存橋梁の補修・補強計画の策定を行う。その方法としては、対象橋梁の予定供用年数を設定し、その年数を満たすことのできる維持管理対策の組合せの中で、維持管理費用の最小化と品質の最大化の両者を考慮した最適補修・補強計画を求める。つまり、これは多目的な組合せ最適化問題として考えることができ、このことより、本研究では多目的計画問題の解法として ϵ -制御法¹⁾を用い、組合せ最適化問題の解法にはGAを用いてその最適化を行った。

3. GAの適用

GAにおける解の探索は、個体という文字列を用いて行うため、対象の問題を文字列の形に置き換える(コーディングする)必要がある。

本研究では、既存橋梁に対する補修・補強の組合せである維持管理対策を表1で示すような0および1のコードに対応づけることで表現し、それを補修・補強計画に従って並べることで、図1で示すような2次元配列状の文字列として表現した。

このようにコーディングした補修・補強計画に対して、選択、交叉、突然変異などの遺伝的操作を行っていくことで最適解を探索していく。

表1 維持管理対策のコーディング例

コード	主桁の維持管理対策
0 1 1 0	樹脂注入 o r 樹脂注入+断面修復
1 0 0 0	ガラスクロス+樹脂注入 o r ガラスクロス+樹脂注入+断面修復
1 1 0 1	モルタル吹付け+樹脂注入 o r モルタル吹付け+樹脂注入+断面修復
0 0 1 0	FRP 4枚 (鋼板) 接着+樹脂注入 o r FRP 4枚 (鋼板) 接着+樹脂注入+断面修復
0 1 0 0	FRP 2枚接着+樹脂注入 o r FRP 2枚接着+樹脂注入+断面修復
1 1 0 0	外ケーブル
0 1 1 1	外ケーブル+樹脂注入 o r 外ケーブル+樹脂注入+断面修復
1 0 0 1	外ケーブル+ガラスクロス+樹脂注入 o r 外ケーブル+ガラスクロス+樹脂注入+断面修復
0 0 1 1	外ケーブル+モルタル吹付け+樹脂注入 o r 外ケーブル+モルタル吹付け+樹脂注入+断面修復
others	補修・補強をしない

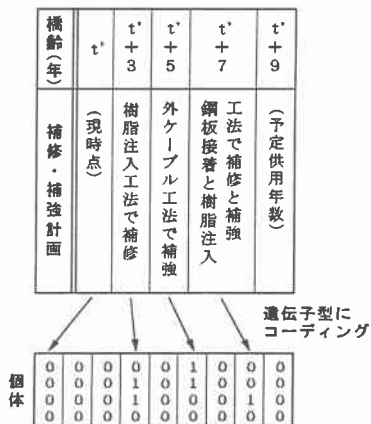


図1 補修・補強計画のコーディング例

4. 最適化のアルゴリズム

本研究では最適化指標として経済性と品質を考慮しているため、補修・補強計画は多目的な組合せ最適化

問題として定式化できる。その最適化手法としてGAと ϵ -制御法を組合せて多段階に最適化を行った。すなわち、まずStep1として経済性(コスト)だけを考慮に入れて総費用の最小化を目的とした最適化を行い、ここで求めた補修・補強計画に必要な費用をcost1として記憶しておく。その後、Step2として前述のcost1に対して管理者が上乗せ可能な予算額 α を設定し、cost1と α を足しあわせたものを新たに予算上限として設定し、品質の最大化を目的とした最適化を行う。そして、Step3としてStep2の上乗せ予算額 α を変化させ、Step2を繰り返すことで、画面上に様々な補修・補強計画を提示するようにした。

5. 実橋への適用

本システムの妥当性を検証するため、山口県内に実際に架設されている「Y橋」の主桁に対して劣化度診断を行った後、予定供用年数を100年として補修・補強計画の最適化を行った。

最適化の結果として、図2にStep1として費用の最小化を目的として最適化を行った結果、図3に上乗せ予算額 α を75U(ここで費用の単位U(Unit)は、1U=¥1,000/m²と概略換算)として主桁耐荷性および主桁耐久性を考慮した品質の最大化を目的とした最適化を行った結果をそれぞれ示す。また、GAの最適化手法としての妥当性の検証のため、比較手法として分枝限定法を用いた最適化を行った。その結果を表2に示す。

図2より、本手法により策定された費用最小化を目的とした補修・補強計画は、橋齢62, 67, 76年にそれぞれ異なる補修を3回実行することが最適と出力され、これにより予定供用年数を満足させることが可能であることが分かる。また、図3より上述の結果にさらに75Uの費用を上乗せすることにより、維持管理対策として補強が選ばれ、耐荷性の向上により品質指標が46%から70%に向上していることが分かる。また、計算速度はGAによる最適解の探索時間は数分~十数分程度であったのに対して、分枝限定法で行ったものはあまりに膨大な時間がかかるために目的関数の簡略化をしなければならないほどであった。両手法により出力された最適解は表2と図2を比べるとほぼ一致しており、計算速度の面からGAの有効性が検証された。

6. まとめ

本研究で得られた主な成果をまとめると以下ようになる。

- ①既存橋梁の補修・補強計画の最適化を組合せ最適化問題としてとらえ、その最適化手法にGAを用いることで、高速にその近似最適解を求めることを可能にした。
- ②既存橋梁の補修・補強計画の最適化において、経済性(コスト)のみならず耐荷性および耐久性を考慮した品質も考慮に入れた計画の策定を対話的に行い、様々な補修・補強計画を提示することを可能にした。

参考文献

- 1) 伊藤正夫, 今野浩: 数理計画の応用<理論編>, 産業図書, 1982

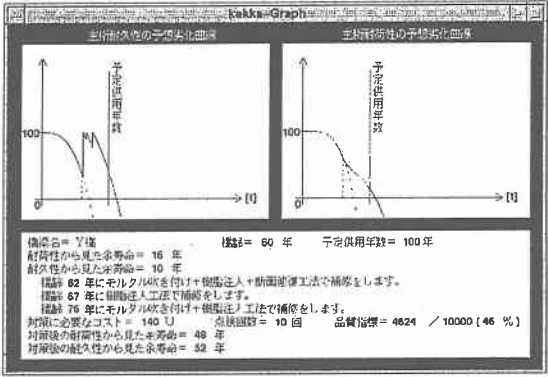


図2 費用最小化の最適出力結果

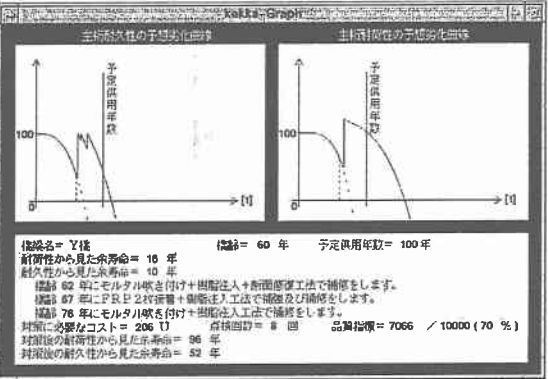


図3 品質最大化の最適出力結果 ($\alpha = 75$)

表2 分枝限定法による最適化(費用最小化の場合)

橋 齢	維持管理対策	費用(U)
65 年	ガラスクロス + 樹脂注入 + 断面修復	91.0 U
70 年	ガラスクロス + 樹脂注入	
75 年	樹脂注入	