

GAの階層化による橋梁の維持管理計画最適化モデルの提案

千代田コンサルタント 正会員 富田義紀
 茨城大学工学部 正会員 原田隆郎
 茨城大学工学部 フェロー 横山功一

1. はじめに

道路構造物に対する維持管理費の増大に伴い、近年、橋梁や舗装、トンネルなどに対する経済的かつ予防保全的な維持管理の重要性が高まっている。特に、道路管理者にとっては、年度予算や各種構造物の管理レベルに関する制約のもと、管理対象となる多数の構造物の中・長期的な維持管理計画を立てることが必要である。このような現状に鑑み、著者らは、複数橋梁を対象にした維持管理の年度計画を策定するGA最適化モデル¹⁾を構築してきており、本研究では、このGA最適化モデルの中・長期的な補修計画の策定まで拡張することを目的とする。

しかしながら、複数橋梁への予算配分と、それによる中・長期的な補修計画を同時に最適化する問題を考えると、最適化問題としての制約条件が厳しくなる他に、最適解を検索する空間も広くなり、これまで用いていたGA（遺伝的操作の選択処理にエリート保存を加えた単純GA）を拡張するだけでは解の品質が落ちることが予想される。そこで、本研究では、複数橋梁への予算配分計画を策定する問題と個々の橋梁の中・長期的な補修計画を策定する問題をそれぞれ別々のGAで最適化させるとともに、両者を階層化させることによって、複数橋梁に対する中・長期的な維持管理計画を策定するモデルを開発した。

2. GAの階層化による維持管理計画最適化モデル (1) モデルの概要

GAによって複数橋梁の中・長期的な維持管理計画の解を導出するためには、計画対象となるすべての橋梁に対して、計画策定年までの各年の維持管理対策候補が選ばれるように、個体の遺伝子コーディングを定義する必要がある。しかしながら、このようなすべての組み合わせを個体の遺伝子に単純に定義づけると、解候補の含まれる母集団が非常に大きくなり解の品質が落ちることが予想される。そこで、本研究ではこのような問題を解決するために、**図-1**に示すような階層型GA最適化モデルを提案した。このモデルは、各橋梁の長期補修計画を策定する問題と複数橋梁への予算配分を行う問題とを分離させることで、GAに対する解候補の組合せ数を減少させることを狙う。そして、各橋梁の長期補修計画を導出するGAを、すべての橋梁の予算管理を行う予算配分計画を策定するGAと階層的に組み合わせることにより、複数橋梁の中・長期的維持管理計画の策定を実現する。

ここで、予算配分計画策定GAは、すべての橋梁に対する総予算を各橋梁に最適配分するGAであり、個々の橋梁に対する長期補修計画を導出する処理は長期補修計画策定GAに分散させ、予算配分のみを行うものである。一方、橋梁の長期補修計画策定GAは、各橋梁に対して配分された予算を制約として最適な補修計画を立てるGAであり、決定した最適補修計画案の評価値を予算配分計画策定GAにフィードバックする。

(2) 遺伝子コーディング

予算配分計画策定GAでは、各橋梁に予算総額の何%を配分するかを表現できるように、**図-2(a)**のような遺伝子コーディングを行った。一方、長期補修計画策定GAでは、対策を実施する年に着目し、**図-2(b)**のように前回対策の何年後にどのような対策を行ったかを表現できるように遺伝子コーディングを行った。これにより、補修代替案の組合せ数を減らすことができ、解の探索空間が縮小できる。

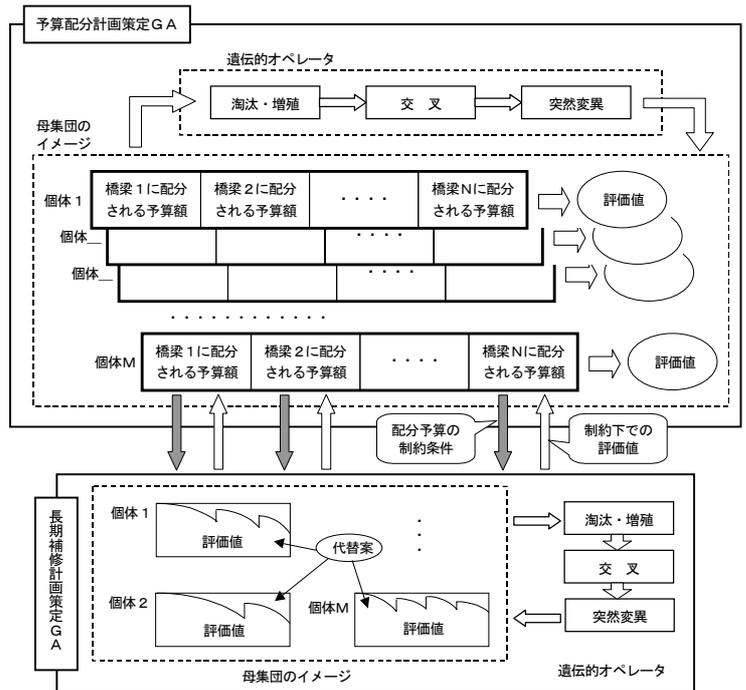


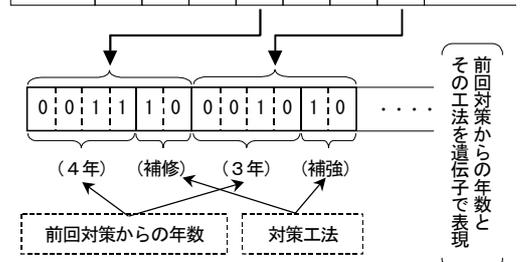
図-1 階層型GA最適化モデルの概念



(a) 予算配分計画策定GA

<補修代替案>

対策年	1	2	3	4	5	6	7	...
対策工法	なし	なし	なし	補修	なし	なし	補強	...



(b) 長期補修計画策定GA

図-2 遺伝子コーディングの方法

キーワード：遺伝的アルゴリズム (GA), 橋梁, 維持管理計画, 最適化問題

連絡先：〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1 TEL：0294-38-5172 FAX：0294-38-5268

(3) 遺伝的操作手法

GAにおける遺伝的操作手法を表-1に示す。予算配分計画策定GAと長期補修計画策定GAのいずれも同じ形式の遺伝的操作手法を用いた。なお、突然変異処理では、評価値の最大値が一定サイクル変化しない場合は突然変異率を1サイクルだけ変化させ、母集団に多様性を持たせることにより、局所解からの回避を図ることとした。

3. 数値シミュレーション

ここでは、橋梁のRC床版に関するデータを用いて、提案する階層型GA最適化モデルと階層化させずに複数橋梁の中・長期維持管理計画を策定するGA最適化モデルとの求解能力の比較を行った。ここで「階層化させない」GAモデルとは、各橋梁ごとの計画策定年までの各年の対策工法を、対策なしを含めて、すべて1個体の遺伝子コーディングで表現したモデルである（個体長＝橋梁数×計画策定年数×対策工法数）。また、このモデルでは解の導出のために1つのGAを適用する。以下では「非階層型モデル」と呼ぶこととする。

本シミュレーションでは表-2に示す実橋10橋を用いた。また、維持管理対策としては補修、補強、更新の3対策の中から決定することとし、表-3に示すように各対策のm²当たり単価と健全性の回復率を設定した。ここで、健全性とは、古田ら²⁾によるRC床版の経年劣化モデルから算出される危険度を健全性と読み換えたものとした（100-危険度）。そして、健全性の回復率とは、対策を施すことによって健全性がどの程度回復するかを表したものであり、本研究では表-3に示すように仮定した。なお、対策費単価については、各対策の代表的工法の実際価格を採用しており、本シミュレーションでは各対策のコストは橋梁面積と対策費単価との積として求めることとした。

最適化問題としては、「予算制約のもと複数橋梁の総健全性を最大にする」とことと定義し、目的関数として式(1)、制約条件として式(2)を設定した。ここで、 $H_{k,t}$: k橋梁のt年目の健全性、 $C_{k,t}$: k橋梁のt年目のコスト、 C_{budget} : 総予算、 N : 橋梁数、 T : 計画策定年である。

まず、A橋とB橋を対象に、計画策定年30年、総予算1.3億円で解析した。2橋でのシミュレーション結果を表-4に示す。非階層型モデルがB橋よりもA橋に多くの予算を投じているのに対して、階層型モデルではその逆の解を導出している。今回のシミュレーションでは、各橋梁の健全性は規模に関係なく同等の評価であると設定したので、面積規模の大きな橋（A橋）に予算を投じた場合よりも規模の小さな橋（B橋）に予算を投じた場合を優良な解として導出するように問題設定されている。階層型モデルでは、面積規模が小さいB橋に多くの予算を投じることで高い評価値の解を導出していることから、非階層型モデルでは導出できなかった解を探し出すことができたといえる。

次に、A橋～J橋を対象に、画策定年30年、総予算8億円で解析した。10橋でのシミュレーション結果を図-3に示す。階層型モデルでは、殆どの橋梁の評価値が非階層型モデルに比べて上回っている。前述の2橋のシミュレーションよりも解析対象がより複雑になっているにも関わらず、導出された解の評価値は高いことから、本研究で提案した階層型モデルは、様々な実橋を対象とする場合にも有効である可能性を見出した。

4. おわりに

本研究では、GAを階層化させることにより、複数橋梁の中・長期的な維持管理計画を策定する最適化モデルを提案した。数値シミュレーションの結果、階層型GA最適化モデルが、階層化させないGAモデルでは回避できなかった局所解からの脱出を実現できたとともに、複数橋の維持管理計画の策定に関して有効である可能性を見出した。ただし、解の導出に要する計算コストの軽減が課題として残されており、今後、長期補修計画策定GAを並列処理させる方法などの検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 呉, 原田, 横山: 遺伝的アルゴリズムによる大規模既存道路橋の耐震補強計画支援モデルの構築, 構造工学論文集, Vol. 44A, pp. 1037-1046, 1998. 3
- 2) 古田, 金森, 堂垣: ライフサイクルコストを考慮した橋梁群のRC床版の最適維持管理計画支援システムに関する研究, 材料, Vol. 47, No. 12, pp. 1245-1250, 1998. 12

表-1 遺伝的操作手法

選択処理	ルーレット方式+エリート保存方式
交叉処理	1点交叉
突然変異処理	通常の突然変異（ただし、評価値の最大値が一定サイクル変化しない場合は突然変異率を変化させる）
終了判定方法	設定した世代数に到達したとき終了

表-2 実橋10橋の橋長と幅員

橋梁	橋長(m)	幅員(m)
A	122.90	9.6
B	43.85	11.5
C	144.14	7.5
D	38.90	8.5
E	58.00	15.8
F	126.19	7.5
G	186.00	12.0
H	20.74	11.0
I	144.00	7.5
J	55.70	4.0

表-3 対策費単価と健全性の回復率

対策方法	対策費単価 (千円/m ²)	健全性の回復率 (%)
補修	14	20
補強	44	60
更新	200	100

$$\sum_{k=1}^N \sum_{t=1}^T H_{k,t} \Rightarrow \text{maximum} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^N \sum_{t=1}^T C_{k,t} \leq C_{budget} \quad (2)$$

表-4 2橋でのシミュレーション結果

橋梁	非階層型モデル		階層型モデル	
	費用(千円)	評価値	費用(千円)	評価値
A	68,431	2411	51,913	2352
B	58,496	2616	73,624	2690
合計	126,927	5027	125,537	5042

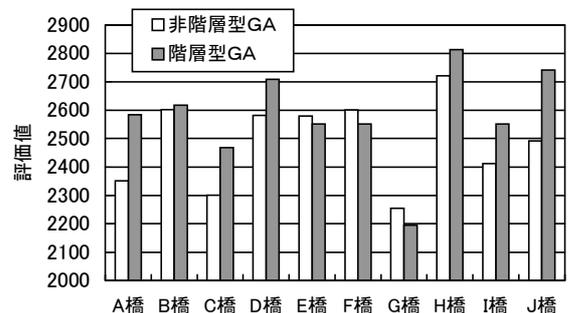


図-3 10橋でのシミュレーション結果