

I-A 398 点検データに基づく GA を援用した橋梁補修計画に関する研究

金沢大学工学部	学生会員	○ 福山 貴久
同上	正会員	近田 康夫
同上	正会員	城戸 隆良
同上	フェロー会員	小堀 為雄

1. はじめに

既存橋梁の維持・管理支援を目的とした橋梁点検の実施とその分析が多く試みられてきたが、補修計画支援まで踏み込んだものはほとんど見当たらないのが現状である。筆者らは点検データのデータベースに基づいた橋梁補修計画の代替案を作成する橋梁維持管理システム（以下プロトタイプ）の構築を試みた¹⁾。このシステムは、橋梁を評価する際、点検データを使った数量化理論第Ⅱ類から得られるサンプルスコアを用い、補修前後の橋梁の評価を線形判別式を利用して求めている。また、補修計画をナップサック問題として定式化し、さらに計算時間を短縮するために、遺伝的アルゴリズムを用いていた。

プロトタイプによって、効率的な橋梁の補修計画への GA の適用の可能性が示されたわけだが、まだ改良すべき問題点があった。そこで、本研究では、プロトタイプを基にその問題点を改良し、より効率的で実用的なシステムを目指して橋梁維持管理支援システムの再構築を行った。

2. システムの改良 - 遺伝子列の短縮 -

本研究では、膨大な計算量と時間を必要とするナップサック問題を適用するため、GA を用いて解く。GA を適用するためには、線列として扱えるように、ナップサック問題をコーディングする必要がある。橋梁の点検データはデータベースから直接データを読み込んでいる。

データベースにおける点検結果の評価は良い方から 1,2,3 となっており、補修する必要のあるものは、評価が 2,3 の項目である。すなわち、点検結果が 1 の項目は補修する必要がない。

しかし、プログラムの簡単化のために、プロトタイプでは、補修する必要のない点検結果が 1 の項目も含めた線列を作成していた。

補修する必要のない項目にも遺伝子を与えると、組合せ数が膨大になり、GA の解探索の効率が大きく阻害される。

そこで、本研究では、読み込んだ点検データから点検結果が 2,3 のものだけを抜き出した線列を構成することで、解探索の効率を向上させることにした（図-1）。また、本研究では、プロトタイプと同様に、補修される項目（遺伝子が 1 の項目）の点検結果を 1 とする。これは中途半端な補修は行わないと考えたためである。

図-1では、補修する必要のある項目 (a)' を点検結果の項目 (a) から抜き出し、(a)' の項目数に合わせて線列 (b) を与える。線列 (b) で、0 はその箇所を補修しない、1 は補修するということを表す。

(c) の補修後の点検結果は、床版、支承、排水装置、塗装、安定性（材質）の評価が 1 になったことを表す。

橋梁床版主支伸排塗洗軀安安耐
面覆 組 縮水 掘体定定震
鋪高 組 継装 変変構材震
装欄版工構承手置装動動造質性

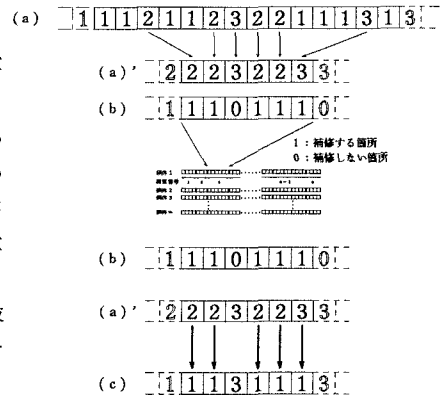


図 1 遺伝子フォーマット

3. 橋梁維持管理支援システムの構築

(1) 橋梁の評価

橋梁の評価値には、点検データを数量化理論第Ⅱ類により分析した結果から得られるカテゴリースコアを用いた線形判別式を利用している。線形判別式は式 (1) で与えられるので、これから各橋梁の評価値（サンプル・スコア） Y が求められる。ここで、 R はアイテム数、 c_j は j アイテムのカテゴリー数、 a_{jk} は j アイテム k カテゴリーのカテゴリー数量である。

$$Y = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} a_{jk} \delta_{jk} \dots \dots \dots (1) \quad \delta_{jk} = \begin{cases} 1 \dots (\text{ある個体が要因の } j \text{ アイテム } k \text{ カテゴリーに反応したとき}) \\ 0 \dots (\text{その他のとき}) \end{cases}$$

(2) ナップサック問題の適用

橋梁の補修計画にナップサック問題を適用するにあたり、次のように、目的関数、制約条件を設定した。

ここで、 n は橋梁数、 e_{i2} は補修前の橋梁の評価値、 e_{i1} は補修後の橋梁の評価値、 C_i は i 番目の橋梁の補修にかかる費用、 C は代替案の費用、 E は予算である。

このナップサック問題は膨大な計算量を必要とするため、GA を用いて解くことにする。GA では制約条件を含む問題をペナルティ関数法を用いて無制約の問題に変換する必要がある。そのため、本システムでは、目的関数 F を制約条件 g と合わせて式 (4) のように定式化した。 r はペナルティ係数と呼ばれるもので、右辺第 1 項の目的関数に対する第 2 項のペナルティ項の効き具合を調節するためのパラメータである。

制約条件が満たされない ($g < 0$) 場合、目的関数にペナルティ項が加えられることによって制約条件があるのと同様の効果がもたらされる。

(目的関数)

$$F = \sum_{i=1}^n C_i (e_{i2} - e_{i1}) \rightarrow \max \quad \dots\dots (2)$$

(制約条件)

$$g = E - C \geq 0 \quad \dots\dots (3)$$

(ペナルティ関数)

$$\Psi = \begin{cases} F & (g \geq 0) \\ F - r(-g) & (g < 0) \end{cases} \quad \dots\dots (4)$$

4. 数値実験の結果と考察

(1) 線列短縮の効果

システムを改良した効果を確認するため、数値実験を行った。対象となった橋梁は 43 橋、予算は 2 億円である。また、収束条件は、集団中の最良の適応度が 100 世代更新されなかった場合、世代交代が 5000 世代に到達した場合とした。

図-1に実験により得られたプロトタイプと改良システムの適応度の推移を表すグラフを示す。図-1からも判るように、改良システムはプロトタイプと比較して、適応度が大幅に増加した。また、世代交代数も大きく減少した。これらは、線列の短縮により組み合わせ数が激減し、解探索の効率が大幅に上昇した結果である。逆に、プロトタイプは組み合わせ数が膨大であるため、最適解に到達する以前に収束した可能性が高い。

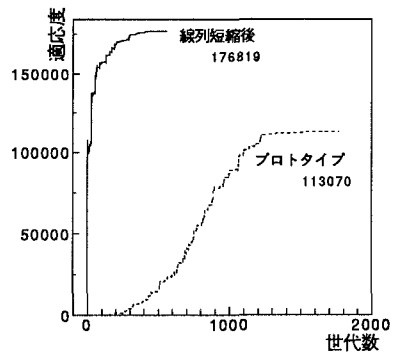


図 2 適応度の推移

(2) 淘汰の方法

プロトタイプでは、淘汰の方法としてエリート保存と増殖を用いてきた。ここで、従来 GA でよく用いられてきたルーレットルールを採用した場合と比較し、考察を加えてみる。

結果を図-1示す。ルーレットルールを採用した場合は、局所解に陥るのが早く、より高い適応度は得られていない。図-1を見ると、エリート保存方式が集団内の最良値と平均値に差が見られ、集団内の個体に多様性が見られるのに対し、ルーレット方式は最良値と平均値の間にほとんど差が見られないために、新たな解を生む可能性が失われていると考えられる。

よって、本研究においてはエリート保存を用いるのが適当と思われる。

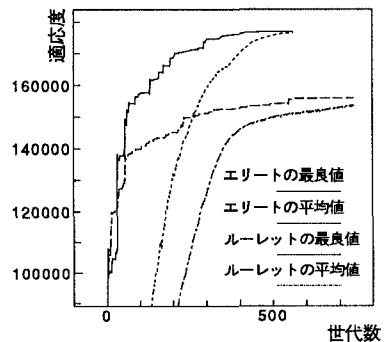


図 3 最良値と平均値の推移

5. 結論

本研究を通して、効率的な橋梁の補修計画への GA の適用の可能性を高めることができた。今後は、路線ごとの補修計画などの目的関数の改良と、橋梁の評価方法の改良に取り組む予定である。

【参考文献】

- 1) 近田康夫，橋謙二，城戸隆良，小堀為雄：橋梁補修計画への遺伝的アルゴリズムの援用に関する研究，土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集，I-376，pp.750～751，1994.
- 2) 近田康夫，橋謙二，城戸隆良，小堀為雄：GA による既存橋梁の補修支援の試み，土木学会論文集 No.513，I-31，pp.151～159，1995.4.