

I - A194

大規模道路橋の耐震補強計画におけるGAの適用性に関する研究

福島県土木部 正会員 佐藤文裕 茨城大学工学部 正会員 呉 智深
茨城大学工学部 正会員 原田隆郎 福島工業高等専門学校 フェロー 岩松幸雄

1. はじめに

大地震、特に1995年の兵庫県南部地震により、補修や補強の必要な多くの弱い構造物の存在が浮き彫りにされ、効果的な耐震補強計画の必要性が高まっている。そこで著者らの昨年度の研究¹⁾では、個々の橋梁に対する重要度分析結果に基づく補強計画を検討するためのGA解析モデルを提案している。本研究は、この提案されているGA解析モデルに関して、特にGAの適用性に関して検討したものである。また、本研究では耐震補強をより重視すべく解析モデルの構築を試みた。

2. 耐震補強計画における既存道路橋の重要度分析

本研究では、既存道路橋の重要度分析を行うために、昨年度の奥野らの研究¹⁾により得られた評価項目を採用した。これは、表-1に示す4つの大項目から構成されると定義する。さらに、各大項目は幾つかの小項目から構成され、これらの小項目についてのデータを点数化することによって橋梁全体の評価値とした。既存構造物の重要度や保有耐震性能、地域における地震発生の切迫度については、橋梁単位で点数化され、構造劣化状況については、各部材単位で点数化された後で橋梁単位で評価される。

3. 道路橋の耐震補強計画のためのGA解析モデルの構築

(1) 遺伝子フォーマット

本研究では、耐震補強をより重視すべく、GAによる解析モデルを構築するために、橋梁単位について構造部材に対する補強と構造システム全体に対する耐震補強について検討することとした（図-1）。前者は部材単位の構造劣化状況から判断し、後者は橋梁単位の保有耐震性能から判断する。GA解析モデルにおいては1橋梁について（部材数+1）回の補強判定が伴うものとし、それぞれに「補強する⇒1」「補強しない⇒0」の遺伝子列がすべての橋梁分コード化され、それを1個体と定義した。なお、選択された遺伝子をデコード化する際、対応する評価レベルは必ず最大評価レベルまで補強されることとし、補強費用は評価を1段階高める度に加算される。

(2) 評価値の算出

本研究では、限られた予算の中で最大の耐震補強効果を生み出す耐震補強箇所の組み合わせを考える組合せ最適化問題の目的関数として、式(1)のように定式化した。

$$F = \begin{cases} \sum_{i=1}^n (I_i \times T_i \times S_i \times \sum_{j=1}^m D_{ij}) & (g_1 \geq 0 \text{ and } g_2 \geq 0 \text{ and } g_3 \geq 0) \\ \sum_{i=1}^n (I_i \times T_i \times S_i \times \sum_{j=1}^m D_{ij}) - \alpha(C - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}) - \beta(T_i - T_L) - \gamma(D_{ij} - D_L) & (g_1 < 0, g_2 < 0, g_3 < 0) \end{cases} \rightarrow \text{maximize (1)}$$

ここで、 I_i ：橋梁 i の重要度、 T_i ：橋梁 i の保有耐震性能、 S_i ：橋梁 i の地域における地震発生切迫度、 D_{ij} ：橋梁 i 部材 j の構造劣化状況、 n ：計画対象橋梁数、 m ：部材数であり、 C ：補強予算、 c_{ij} ：橋梁 i 部材 j における補強費用である。また、本研究では必ず最低限の基準を満たすような解を得るため、補強予

キーワード：耐震補強計画、既存道路橋、遺伝的アルゴリズム、重要度分析

連絡先：〒316 日立市中成沢町4-12-1 TEL 0294-38-5172 FAX 0294-35-8146

表-1 重要度分析における評価項目

大項目	小項目
既存構造物の重要度 I	災害による外部不経済 車両交通量、大型車交通量、歩行者数、迂回路の有無、混雑度、路線種別、接続先、路線の方向、火災延焼危険度、沿道特性、橋下特性、占用物件
	災害による内部不経済 建設費用、補強期間
	橋梁に影響を及ぼす要因 地盤種別、構造物の種類
構造劣化状況 D	下部構造の変状 基礎の異常な変形、躯体の異常
	支承部の変状 支承本体の損傷、アンカーボルトの抜け出し・損傷、省座コンクリートの損傷、上下部構造間の異常な変異
	落橋防止装置 可動支承における移動制限装置、桁橋から下部構造頂部縁端までの桁の長さ又は基礎防止装置
保有耐震性能 T	耐震設計基準、補修履歴、設計年、アウトリガーおよびせん断破壊を受けた橋脚、橋台形式、斜角、落橋型破壊、曲げ耐力
地域における地震発生切迫度 S	地盤条件、最大基盤加速度、継続時間

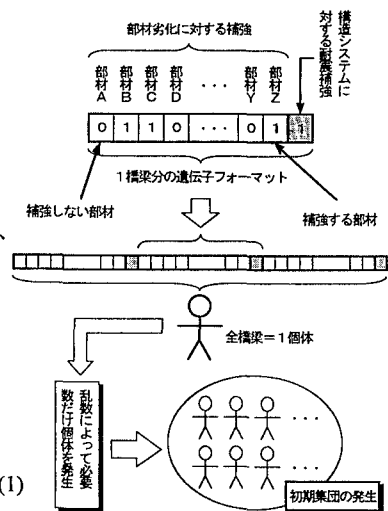


図-1 GA解析モデルにおける遺伝子フォーマット

算の制約 g_1 、保有耐震性能の限界値 T_L に対する制約 g_2 、構造劣化状況の限界値 D_L に対する制約 g_3 をペナルティ関数として組み入れた。ここで、 α 、 β 、 γ はペナルティ係数であり、制約条件の各項が満たされない場合に、制約条件があるのと同様な効果をもたらされる。

（３）GAオペレーターの検討

本研究では、GAオペレーターに関する幾つかの数値実験を行い、その結果を考慮してGA解析モデルを構築した。

選択処理においては、ランク方式とエリート保存方式を併用することとした。エリート保存方式のみでは個体の多様性が保たないため、高い適応度の個体をバランスよくコピーできるランク方式と組み合わせた（図－２）。交叉処理の違いについても検討を行ったが、差異は見られなかったため最も単純な一点交叉処理を用いることとした。また、突然変異においては、変異率が低いと収束が早まり、逆に高いと解の多様性が生まれることが分かっている。このことを考慮して、個体群中の最大適応度の広がり具合によって突然変異率が変化するように、Logistic 曲線を用いて世代ごとに变化するモデルを採用した（図－３）。以上のようなGAオペレーターの適用により、局所解到達への回避、収束性の問題が解消できた。

４．GA解析モデルの信頼性に関する検証

実橋 10 橋によるシミュレーションデータを重要度分析し、GA解析モデルにより耐震補強計画の解を得た。表－２に、シミュレーションのデータ及び結果を示す。表中の「1」が「要補強」と判断された箇所である。補強予算を 15,000 万円とした結果、補強に要する費用は 15,000 万円、収束世代数は 62 世代、適応度の最大評価値は 9857 であった。補強選定箇所については、式(1)のペナルティ項の効果によって、保有耐震性能評価が一定基準以下の橋梁は構造システムの耐震補強を、また、構造劣化状況が一定基準以下の部材は構造部材的な耐震補強をすべきと判定されている。さらに、既存構造物の重要度評価が高く保有耐震性能評価が低い橋梁ほど多くの補強箇所が選定されていることを確認した。

表－２ 10 橋のシミュレーションデータとその運用結果 [(1)・・・補強する, (0)・・・補強しない]

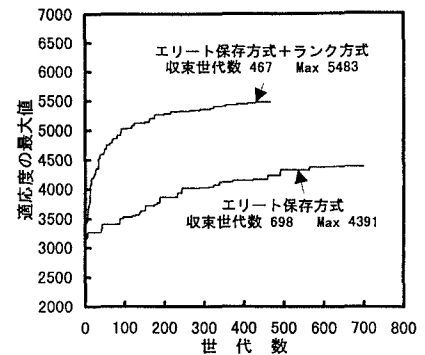
橋梁	橋長 (m)	幅員 (m)	I	T	S	D								
						部材1	部材2	部材3	部材4	部材5	部材6	部材7	部材8	部材9
1	365.0	8.7	30	Ⅲ(0)	1	V(0)	I(1)	I(1)	I(1)	Ⅱ(1)	I(1)	Ⅳ(0)	Ⅱ(1)	Ⅲ(0)
2	261.2	9.7	29	Ⅲ(0)	1	Ⅲ(0)	Ⅲ(0)	I(1)	V(0)	Ⅲ(0)	Ⅱ(1)	V(0)	Ⅲ(0)	V(0)
3	214.3	12.0	28	Ⅲ(0)	1	Ⅱ(1)	Ⅲ(0)	V(0)	I(1)	V(0)	I(1)	Ⅳ(0)	Ⅳ(0)	Ⅱ(1)
4	144.0	8.7	27	Ⅲ(0)	1	Ⅳ(0)	V(0)	Ⅲ(0)	Ⅱ(1)	Ⅳ(0)	Ⅳ(0)	V(0)	V(0)	Ⅳ(0)
5	123.0	10.4	26	I(1)	1	Ⅱ(1)	Ⅳ(1)	I(1)	V(0)	Ⅱ(1)	Ⅱ(1)	Ⅱ(1)	Ⅱ(1)	Ⅱ(1)
6	93.0	9.0	25	I(1)	1	I(1)	Ⅲ(0)	Ⅱ(1)	Ⅲ(1)	V(0)	V(0)	I(1)	Ⅳ(1)	I(1)
7	70.0	8.1	24	Ⅱ(0)	1	V(0)	Ⅳ(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	Ⅲ(0)	V(0)	Ⅲ(0)
8	57.2	8.8	23	Ⅱ(0)	1	Ⅱ(1)	Ⅱ(1)	Ⅳ(0)	Ⅳ(0)	Ⅲ(0)	Ⅲ(0)	V(0)	Ⅲ(0)	V(0)
9	55.0	10.0	22	Ⅲ(0)	1	Ⅲ(0)	Ⅲ(0)	V(0)	V(0)	V(0)	V(0)	V(0)	Ⅳ(0)	Ⅱ(1)
10	43.8	10.5	21	I(1)	1	Ⅳ(0)	V(0)	Ⅲ(1)	Ⅱ(1)	Ⅱ(1)	Ⅱ(1)	Ⅳ(1)	V(0)	Ⅱ(1)

５．結論

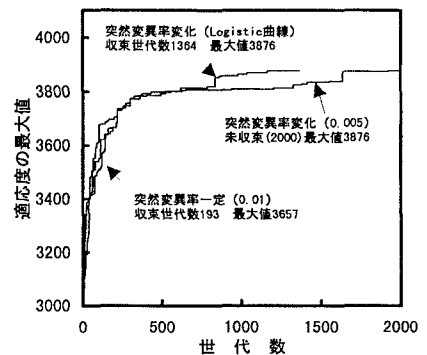
- ・道路橋の耐震補強計画を策定する問題を組合せ最適化問題として考えることにより、補強すべき橋梁や部材を変数として橋梁の重要度分析によって得られた評価値を最大化するような定式化を行った。
- ・定式化した組み合わせ最適化問題に対してGAを適用した解析モデルを提案し、各種のGAオペレーターの検討を行うことによって信頼性の高いGA解析モデルを構築した。
- ・補強費用や劣化箇所の諸条件を仮定したモデルを、目的関数と制約条件を設定したGA解析モデルで判定することで、モデルの有効性が確認された。

【参考文献】

- 1) 奥野直敬、岩松幸雄、呉 智深、原田隆郎：道路橋の補強計画における Genetic Algorithms 評価システムに関する研究、土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集、I -A399、pp.798-799、1996.9



図－２ 選択処理の違いによる適応度の収束性及び最適解の比較



図－３ 突然変異処理の違いによる適応度の収束性及び最適解の比較

さらに、既存構造物の重要度評価が高く保有耐震性能評価が低い橋梁ほど多くの補強箇所が選定されていることを確認した。