

RC 製高欄の耐衝撃設計支援システムにおける IA の適用

山口大学研究生 学生員○江本久雄

NTTデータ九州テクシス 中村隆彦

山口大学工学部 正会員 中村秀明

山口大学工学部 正会員 宮本文徳

1. はじめに

高架道路上に設置される鉄筋コンクリート（以下、RC）製高欄は車両の衝突により、衝撃的な荷重を受け複雑な破壊挙動を示す。本研究では、近年のコンピュータ性能の向上により精度のよい衝撃破壊挙動解析が可能になったことから設計問題への免疫アルゴリズム（以下、IA）の適用を行った。まず、IA の解探索性能を検証するために三次元多峰性関数により最適解探索シミュレーションを行った。次に、解の精度向上を目的としたシャッフリング交叉を IA に適用したうえで、従来から研究されてきた積層化非線形有限要素解析法と IA を組み合わせることにより、RC 製高欄の耐衝撃設計支援システムを構築した。

2. 免疫アルゴリズム(Immune Algorithm:IA)

現実の設計問題では目的関数や制約条件に含めることのできないパラメータが多数存在する。このような場合、複数の設計案を提示し、環境条件、施工条件などに合ったものを設計案の中から設計者が選択するのが合理的であると思われる。したがって、最適解が一つしか求まらない従来の単純 GA ではこのような設計問題に対し不十分であると考えられる。そこで近年このような設計問題に対し、GA を改良したシェアリング GA¹⁾や生態系における免疫機構を工学的に模倣した IA²⁾が提案されている。本研究では、複数の準最適解を探索できる IA を RC 製高欄の設計問題に適用した。IA のフローチャートを図-1 に示す。

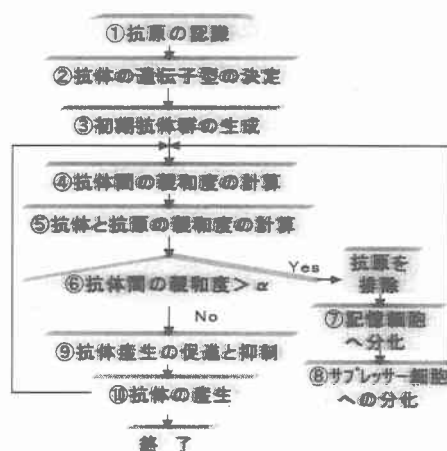


図-1 IA のフローチャート

3. シャッフリング交叉の提案

GA や IA のように生態系における遺伝子操作をコンピュータ上で計算する場合、多くの場面で「交叉」という操作が行われる。本研究では、これまでに適用されているランダム一点交叉を改良した「シャッフリング交叉」を提案する。ランダム一点交叉からシャッフリング交叉に移行する場合、

- ① 個体（抗体）の遺伝子数だけ乱数を発生
- ② 発生した乱数の大きい順にソート
- ③ ②で求めたソートの順番にランダム一点交叉を行う

の3つのステップを追加するだけであり、新たにランダム多点交叉を導入するよりもはるかに少ない労力で同等の効果をを得ることができる。シャッフリング交叉はビット列が長くなったときにコーディングの癖の影響を小さくするのににより効果的であると考えられる。

4. 3次元空間における性能比較

シャッフリング交叉の性能を検証するため、式(1)に示す三次元空間の多峰性関数において、IA の交叉法としてランダム一点交叉とシャッフリング交叉を適用し、両者の比較を行った。用いた多峰性関数を式(1)に示し、検証結果を図-2 に示す。

$$F3(x, y) = \sin^6(5\pi x) + \sin^6(5\pi y) \quad \{x | 0 \leq x \leq 0.5, y | 0 \leq y \leq 0.5\} \quad (1)$$

三次元空間における検証の結果、交叉方法はランダム一点交叉がわずかに多くの解を発見すること、および、シャッフリング交叉では多様性を維持できるため解の精度が極めて高いことがわかった。そこで、本設

計支援システムの交叉法はシャッフリング交叉を適用することにした。

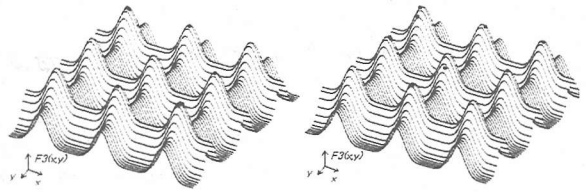
5. 高欄設計問題への IA の適用

IA と積層化非線形有限要素解析法を組合わせて高欄の耐衝撃設計支援システムを構築した。なお耐衝撃性評価関数は式(2)を用いた。

$$\text{耐衝撃性評価関数} = \frac{\text{破壊時衝撃荷重}}{\text{局部変形指数}} \quad (2)$$

この評価関数において破壊時衝撃荷重は大きな値のもの程良く、局部変形指数は曲げ破壊に近いほど値が小さくなる。この評価値を積層化非線形有限要素解析法によって求め、IA における評価値とした。なお、高欄要素のパラメータを表-1 に示し、それらを組み合わせた IA におけるコーディングを図-3 に示す。得られた設計案を図-4 に示す。

これらの設計案は破壊時衝撃荷重、局部変形指数、ともに極めてよい値を示しており、本設計支援システムによりほぼ妥当な設計案を提示できたと思われる。



(a) シャッフリング交叉の結果
(b) ランダム一点交叉の結果

図-2 三次元多峰性関数 F_3 の結果

表-1 高欄モデルの材料のコード一覧表

パラメータ	Code	バリエーション	必要箇所	パラメータ	Code	バリエーション	必要箇所
補強筋の本数	5本 00	2	上部下部の主筋・配筋層の層	版厚	22	2	版全体
9本 01				(mm)	23		
13本 10					24		
17本 11					25		
補強筋の形状	D6 000	3	版上部版下部の2箇所	コンクリートの種類	普通コンクリート	2	版全体
D8 001					高強度コンクリート		
D10 010					鋼管埋入コンクリート		
D12 011					高強度鉄筋		
D16 011				鉄筋の形状	高強度鉄筋 (Type A)	2	版全体
D19 100					高強度鉄筋 (Type B)		
D22 101							
D25 110							
D29 111							

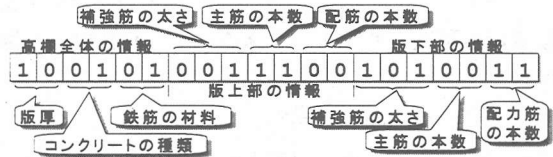
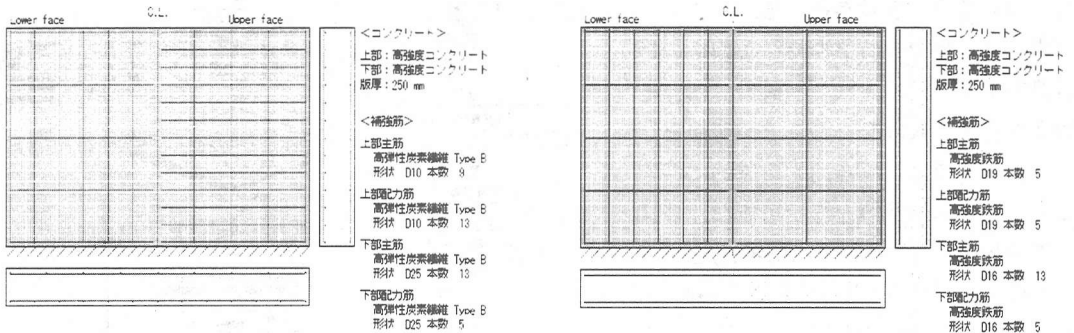


図-3 高欄の特性のコーディング例



(a) 設計案 1

(b) 設計案 2

図-4 設計問題に対して得られた設計案

6. まとめ

本研究で得られた成果を以下に示す。

- ①IA においてシャッフリング交叉を新たに提案した。シャッフリング交叉を行うことによりある程度の多様性を維持しながら確実に解探索が行われ、これまでよりも精度の高い設計案を提示できることがわかった。
- ②三次元空間における多峰性関数を用い、広範囲な解空間での解探索能力の検証を行った。その結果、IA ではほぼ確実に複数の解を見つけることができ、IA の有効性が検証された。
- ③IA と積層化非線形有限要素解析法を組合わせて耐衝撃性を考慮したシステムを構築した。その結果耐衝撃性に優れた高欄の設計案を提示できた。

参考文献

- 1) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム 2, 産業図書株式会社, 1995
- 2) 松本剛：免疫アルゴリズムの RC 版耐衝撃設計への適用に関する基礎的研究, 山口大学大学院理工学研究科修士論文, 1998