

GAのRC版耐衝撃設計への適用

山口大学 学生員 ○江本久雄 山口大学 正員 宮本文穂
山口大学大学院 学生員 松本剛 山口大学 正員 中村秀明

1. はじめに

衝撃的な荷重を受ける鉄筋コンクリート(RC)版などのコンクリート構造物は、応力波などにより非常に複雑な破壊挙動を示すために静的な荷重を考慮して設計しただけではその破壊挙動に対応することは困難であると思われる。そこで、近年の計算機性能の向上により可能となった精度のよい衝撃破壊挙動解析手法に基づいて耐衝撃性に優れた RC 版の設計を行う必要があると思われる。RC 版の設計は、コンクリートの厚さ、種類、鉄筋の太さ、本数、種類などを組み合わせる組み合わせ最適化問題として取り扱うことができる。本研究では、遺伝的アルゴリズム(GA)と本研究室で研究されてきた非線形有限要素解析手法¹⁾を用いることで RC 版を設計し、さらに GA の特徴を利用して短期間で精度の高い設計案を得られるように試みる。

2. 遺伝的アルゴリズム (GA:Genetic Algorithm)

本研究では、RC 版の各特性を表 1 に示すような 0, 1 のコードで示すビット列に変換し、個体を図 1 に示すように 28Bit でコーディングする。また、多様性を測定する指標として多様度を利用する。

3. 設計システムの構築

3.1. 設計シミュレーション

本設計システムでは、RC 版の耐衝撃性を評価するために次のような評価関数を設定した。評価関数は、本研究室で研究されてきた耐衝撃性評価指標²⁾の指標のうち RC 版の耐荷性を評価する破壊時衝撃荷重と局所的な変形状態を評価する局部変形指数の 2 つを組み合わせることで次式により耐衝撃性の評価を行った。

耐衝撃性評価関数 = $\frac{\text{破壊時衝撃荷重}}{\text{局部変形指数}}$ (1)

なお、目的は耐衝撃性に優れた RC 版を設計することであり、目的関数には式(1)を用いる。制約条件として RC 版の最大重量を 1000kgf、コンクリート版に挿入される最大鉄筋量を 10000cm³、世代交代回数を 100 世代、個体数を 30、突然変異率を 1%とした。

3.2. GA による設計システムの精度の検証

本設計システムの精度の検証を行うために、全通りの組み合わせで RC 版モデルに対する解析および設計シミュレーションを行った。図 2 に示すようにシミュレーションで得られた設計案は全通りの結果において 18 番目により RC 版が得られた。これは、全通りの組み合わせ数が 110592 通りであることから考えると、比較的良い値を示しており、有効であるといえる。

3.3 本設計システムの精度の向上

GA は確率に基づいて機能している手法であるため、突然変異率を変更したり、1 回だけでなく GA の計算を複数回行うことにより、精度の良い設計案を得ることが期待できる。そこで、突然変異率を 1%、3%、5%と設定し、それぞれ 3 回のシミュレーションを行った。得られた RC 版の設計案の順位を表 2 に示す。

表 1 RC 版の特性のコード一覧表

	パラメータ要素 (コード)
版厚(cm)	11.05(00),11.70(01),12.35(10),13.00(11)
コンクリートの種類	普通コンクリート(00),高強度コンクリート(01) 鋼繊維混入コンクリート(10)
補強筋の種類	普通鉄筋(00),高強度鉄筋(01), 連続繊維補強筋(TypeA(10),Type(11))
補強筋の形状	D6(000),D10(001),D13(010),D16(011),D19(100),D22(101),D25(110),D29(111)
補強筋の本数	3(000),4(001),5(010),6(011),7(100),8(101),9(110),10(111) (RC 版の 1/4 部分)

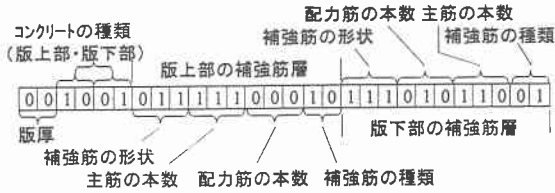


図 1 RC 版の特性のコーディング例 (28Bit)

表2からわかるように、突然変異率が3%のときでは、1%と5%のときと比べ、比較的良好設計案が得られている。突然変異率が1%のときは、3回目のシミュレーションでは、1回目、2回目と比べると悪い結果となった。これは、図3に示すように、突然変異率が1%のときには、多様度は10世代目よりも早い世代のうちに0.1以下となるため、この初期収束で精度の良い解が得られなかった場合は、他の準最適解が得られにくいと思われる。それに対して、突然変異率が5%のときには0.2~0.4の多様度を維持しており、異なる個体が1%、3%のときより多く存在するが、収束する前に他の探索点に移るために設計案の精度は、不安定となったと思われる。それに比べ、突然変異率が3%のときは3回の計算の中で得られた設計案の順位は高く、しかもほぼ同等であり、安定的に解が得られていることが分かる。また、多様度は、40世代以降においても0.1~0.2の間で安定している。そのため、局所解に陥ったときでも1%のときよりも局所解から他の解を探索することができるために精度の良い設計案が得られたと思われる。本研究では、突然変異率を3%と設定した。

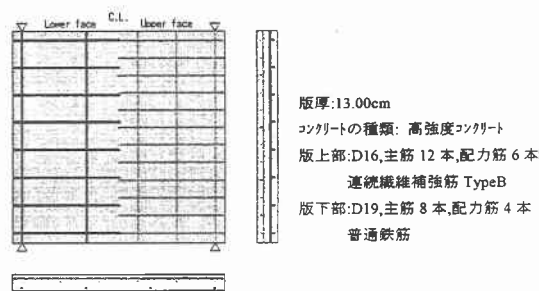


図2 シミュレーションにより得られたRC版

表2 得られた設計案の順位

回数	1回目	2回目	3回目
突然変異率 1%	18番目	5番目	94番目
突然変異率 3%	2番目	5番目	2番目
突然変異率 5%	2番目	11番目	34番目

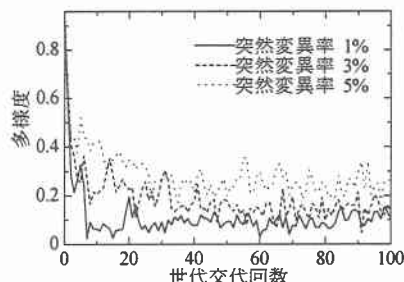


図3 設計シミュレーションにおける多様度

4. 得られたRC版の設計案の検証

本設計システムによりRC版の設計案を提示する。目的関数としては、式(1)を用い、制約条件は、最大重量を1000kgf、最大鉄筋量を30000cm³、載荷速度を75tf/msecとした。また、突然変異率3%とした。この設計問題に対して得られた設計案を図4に示す。図4からわかるように、版下部の鉄筋量が版上部の鉄筋量よりも多く、しかも配力筋より主筋の方が鉄筋の本数が多いという傾向を示している。これは、コンクリートは引張に弱いため引張応力がかかる版下部には引張に強い鉄筋が多く配置されたものと思われる。また、一般的に配力筋よりも主筋の方が多く配置されるが、その傾向を示していると思われ、本設計システムにより得られた設計案は妥当であると思われる。

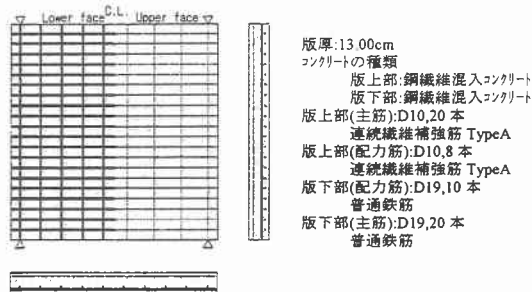


図4 本設計システムにより得られた設計案

5. まとめ

GAをRC版の積層化非線形有限要素解析手法に組み合わせることで、耐衝撃性に優れたRC版の設計案を得ることができ、設計問題に対してGAは有効であることが確認された。また、突然変異率を変更することによってより精度のよい設計案が得られることが分かった。

参考文献

- 1) A. Miyamoto, Michael W. King, M. Fujii: Nonlinear Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Slabs under Impulsive Loads, ACI Structural Journal, Vol. 88, No. 4, pp. 411-419, 1991.
- 2) 北山篤: コンクリート構造物の衝撃破壊挙動特性と耐衝撃性評価に関する解析的検討, 神戸大学大学院自然科学研究科修士論文, 1996. 2.