

I - B 193 免疫アルゴリズムの RC 版耐衝撃設計への適用

NTT 松本 剛 山口大学工学部 正会員 中村秀明 山口大学工学部 正会員 宮本文穂

1. はじめに

衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート（RC）版の設計は、一般的に経験的な数値データにより得られた静的な設計荷重に基づいて行われているのが現状である。しかし、静的な荷重を考慮したのみでは複雑な衝撃破壊挙動に対して有効な設計を行うことは困難であると思われる。そこで本研究では、衝撃破壊挙動解析手法と免疫アルゴリズムを用いて RC 版の耐衝撃性を考慮した設計案を複数個提示するシステムの構築を試みた。

2. 免疫アルゴリズム（IA：Immune Algorithm）

IA は、生体の免疫システムの抗体産生機構とその自己調節機構を工学的に模倣したアルゴリズムである。免疫システムは生体内に侵入してくる抗原に対して抗体を産生するだけでなく自己に対しても免疫性を示すため、その特徴をモデル化した IA では、複数解が存在する問題に適していると考えられる。

本研究では、より確実に複数の解が求まるように IA¹⁾の改良を行った。その IA の概要を図 1 に示す。なお、最適化問題では抗原とは目的関数と制約条件を示し、抗体とはその入力データを示す。

3. RC 版耐衝撃設計支援システムの構築

実際に IA に衝撃破壊挙動解析手法である積層化非線形有限要素解析法を適用し、設計問題に対する IA の有効性を検証する。

3.1. 積層化非線形有限要素解析法²⁾

本解析法は、RC 版を版厚方向に層状に分割した各層に薄版の有限要素解析法を適用し、積層化手法を用いて弾塑性解析を可能にした手法である。本研究では RC 版の対称性を考慮して 1/4 部分のみの解析を行った。

3.2. RC 版のコーディング

IA に衝撃破壊挙動解析法を適用するには、対象となる RC 版の特性をコーディングしなければならない。本研究で用いた RC 版の特性とその種類およびそれぞれのコードを表 1 に示し、コーディング例を図 2 に示す。

3.3. 設計シミュレーション

設計問題を次のように設定し、本設計支援システムにより RC 版の耐衝撃設計を行った。なお、世代数 150、抗体数 30、突然変異率 0.01 とし、交叉操作には一点交叉、突然変異操作には任意 1 ビットの反転を用いた。また、高強度コンクリートは扱わなかった。

<設計問題①>

目的関数：耐衝撃性に優れた RC 版を設計する。

（耐衝撃性の評価には耐荷性と変形状態を考慮して破壊時衝撃荷重を局部変形指数で除した値を用いた。）

制約条件：RC 版の最大自重は 1.0tf、最大鉄筋量は① $2.5 \times 10^3 \text{cm}^3$ ② $1.0 \times 10^4 \text{cm}^3$ ③ $3.0 \times 10^4 \text{cm}^3$

3.4. 得られた設計案

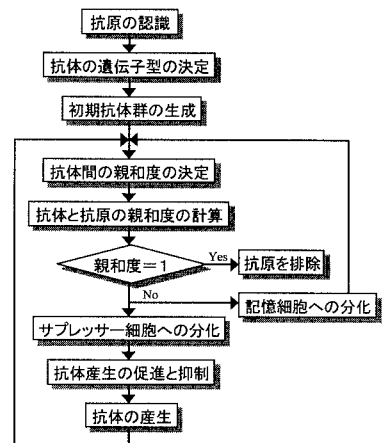


図 1. 改良した免疫アルゴリズムの概要

表 1. RC 版の特性とそのデータ

	データ	コード
版厚	最大版厚の 17~20/20 倍	00,01,10,11
コンクリートの種類	普通コンクリート・鋼繊維コンクリート（・高強度コンクリート）	00,01 (・10) ※11:致死遺伝子
補強筋の種類	普通鉄筋・高強度鉄筋・連続繊維補強筋(Type A・B)	00,01,10,11
補強筋の形状	D6~D29 の 8 種類	000,001,...,111
補強筋の本数	3~10 本(RC 版 1/4 部分)	000,001,...,111

注) 補強筋の上(下)層とは RC 版上(下)部の主筋と配力筋の高層を示す。

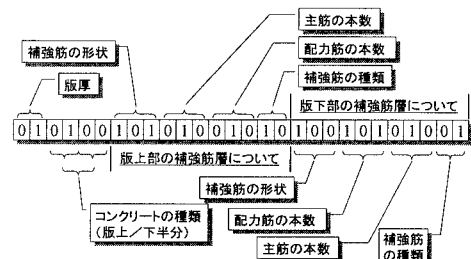


図 2. RC 版モデルのコーディング例（積層化）

キーワード：鉄筋コンクリート版、ソフトな衝撃荷重、耐衝撃設計、免疫アルゴリズム

〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557 TEL 0836-35-9951 FAX 0836-35-9951

載荷速度を 25tf/msec, 50tf/msec, 75tf/msec として RC 版の耐衝撃設計を行った。図 3 に示すように、得られた設計案では版上部と比較すると版下部に多くの補強筋が挿入された。一般には引張応力が大きくかかる版下部に補強筋は多く配置されるが、得られた設計案はそれと同様の結果を示しており、本設計支援システムにより妥当な結果が得られたと思われる。

4. 設計支援システムの実用性の向上

積層化非線形有限要素解析法は、解析法の特性から押し抜きせん断に有効であるせん断補強筋を考慮することができない。そこでせん断補強筋を考慮した設計を行うために、3次元弾塑性有限要素解析法を導入した。

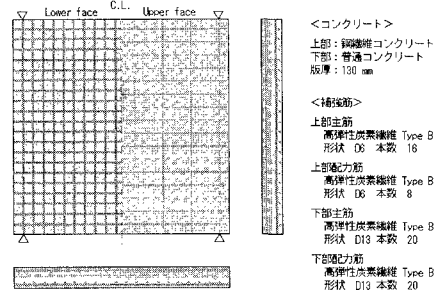


図3. 得られた設計案の例 (25tf/msec)

4.1 3次元弾塑性有限要素解析法³⁾

本解析法は、コンクリート要素に 8 節点 6 面体要素を用い、鉄筋要素を線材として 3 次元有限要素解析法を適用した手法である。本研究では RC 版モデルの対象性を考慮して、1/4 部分のみの解析を行っている。

4.2 せん断補強筋を考慮した設計

3 次元弾塑性有限要素解析法を用いたときの RC 版の特性を図 4 に示すように 2 進数でコーディングを行った。設計問題①に対し、載荷速度を 90f/msec としたときに得られた設計案の一例を図 5 に示す。得られた設計案にはせん断補強筋が十分に配置されており、押し抜きせん断を防ぐ傾向が得られていることがわかる。また主筋と配力筋の配置においても、本数的には版上部の補強筋と比較すると版下部の方が多いものの版下部に配置された補強筋の方が太く、鉄筋量は版下部の方が多くなっていることから妥当な結果が得られたといえる。

4.3 設計支援システムの今後の展望

3次元弾塑性有限要素解析法は積層化非線形有限要素解析法と比較すると節点数および自由度が多くなるため、3次元弾塑性有限要素解析法を用いた設計支援システムにより設計を行うには膨大な計算時間を要する。そこで、積層化非線形有限要素解析法を用いてせん断補強筋以外の特性を考慮した RC 版の設計を行い、得られた設計案を I A の特徴でもある初期記憶細胞（データベース）として用い、3次元弾塑性有限要素解析法を用いた設計支援システムにより設計を行うことが考えられる。これにより、短時間でせん断補強筋を考慮した設計が行うことが可能になると思われる。

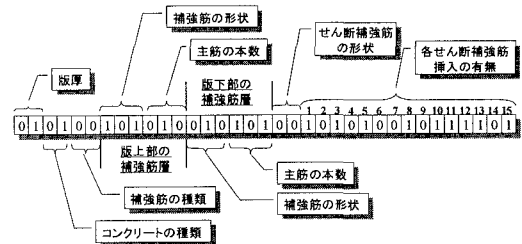
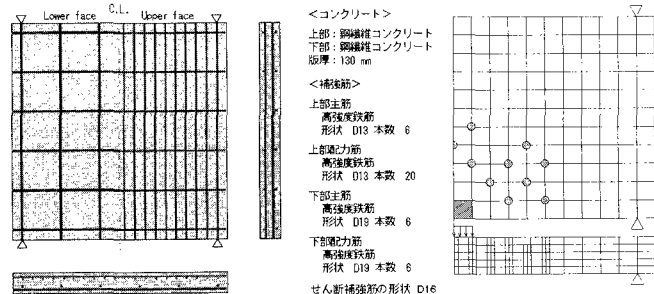


図 4. RC 版モデルのコーディング例 (3 次元)



(1) 配力筋・主筋 (2) せん断補強筋

図5. 得られたせん断補強筋を考慮した設計案の例 (90tf/msec)

5. まとめ

本研究では、IA の有効性を示し、衝撃荷重下における RC 版の自動設計システムの構築を試みた。その結果、設計問題を扱うには IA は有効であり、衝撃破

壊挙動解析手法を用いることにより RC 版の耐衝撃設計を行えることがわかった。また、両解析手法を用いた設計支援システムを組み合わせることにより、より実用的な設計支援システムの構築が期待できる。

参考文献

- 1) 森一之・築山誠・福田豊生：免疫アルゴリズムによる多峰性関数最適化，電学論，C117, No. 5, pp. 593~597, 1997.
2) 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. 7.
3) 宮本文穂・北山篤・五嶋真澄：3次元有限要素解析によるRC版の衝撃破壊挙動解析と精度の検証，構造工学論文集，Vol. 42A, pp. 1325-1336, 1996. 3.