遺伝的アルゴリズムの二次元形状最適化問題への適用

5Q－2

高橋 健一　大谷 芳輝　渡辺 克彦
鹿島建設株式会社　情報システム部

1 はじめに

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms:GA) は、生物進化のメカニズムを模倣した探索アルゴリズムであり、近年注目を集めている。本稿では GA の二次元形状最適化問題への適用について報告する。形状の最適化は工学の様々なフェーズで現れる問題であるが、評価手法すら曖昧なものもあり、多くは設計者の経験に委ねられる。今回は既成の解析手法 (FEM とアダプティブ法) と組み合わせて建設構造物の形状設計支援への適用可能性を探った。

GA の初期集団には離散化した形状の外形線を乱数で与え、この形状を評価するための FEM 計算をアダプティブ法で行う。トンネル状構造物の断面形状を題材とした実験で最適設計の観点から信頼性のある形状が得られたので、その内容について報告する。

2 二次元形状最適化問題

本稿では二次元の形状最適化問題に焦点を当てる。建設構造物には、橋梁の断面急変部、横風の影響が少ない主塔、複雑な地盤条件下での地下大空洞など最適な形状が必要とされる構造物が数多く存在する。もちろん形状設計には意匠的要素が絡むが、機能を充足する最適形状はこの参考ともなり、工学的見地からなる形状最適化は重要である。

二次元形状最適化の例としたトンネル状構造物の外形線最適化問題について述べる。自重と外荷重に対する最適形状を考えるが、これを次の様に表現する。離散化した外形線で構成される任意の二次元形状 (断面形状) を要素分割し、外力として自重と外圧を加える。そして一定の断面積で、すべての要素にかかる力が一定値に収束するような形状を求める。これは同量のコンクリートを用いて最適なトンネル断面を求めることに相当する。

各要素に発生する応力は、有限要素法 (FEM) により求める。また、FEM 計算で任意形状に対応したメッシュ分割を行う手法として「アダプティブ法」を用いる。アダプティブ法とは解析の離散化誤差を定量的に評価し、許容誤差内に納まる様に自動的にメッシュを生成する手法である。

2D Shape Optimization using Genetic Algorithms

Kenichi TAKAHASHI
Yoshiteru OHTANI
Katsuhiko WATANABE

KAJIMA CORPORATION
Information Processing Center

3 GA によるアプローチ

3.1 遺伝子表現

一つの形状に対して、一つの遺伝子を割り当てる。形状は特徴を表すような節点を選び、それらが交叉や突然変異によって致死遺伝子 (例えば、ねじれたような形状) がなるべく生じないよう、節点を表 1の 3 タイプの組み合わせで表現する。これにより原点が中空のトンネル形状が表現できる。

点 A は直交座標系で示した絶対座標タイプである。この点には X 軸と Y 軸の最小と最大値を与え、3bits(8Steps) で離散化された矩形の格子点をとりうるものとする。点 B は点 A に依存する直交座標系で示した相対座標タイプである。この点には基準点 (点 A) と最大増分を XY 座標で与え、同じく 3bits(8Steps) で離散化された矩形の格子点をとりうる。

点 C は極座標系で示した絶対座標タイプである。この点には半径と角度の最小値と最大値を与える。これは扇形内の離散点をとりうる。点 D は点 C に依存する極座標系で示した相対座標タイプである。この点も基準点 (点 C) と最大増分を与えることで点 C に依存する扇形内の離散点をとることになる。点 E、F は形状を滑らかに補間するセグメント依存である。これは両端点とその中点からの最大距離を与え、両端点の垂直 2 等分線上の点をとるものとする。これら点 A,B を x 軸あるいは y 軸上に配置し、点 C,D を第 1 象限に配置することにより、原点が中空であるようなトンネル形状を表現できる。

表 1: 特徴点のタイプ

タイプ	移動方向	引数 1	引数 2
A:絶対座標	X,Y,R,θ	最小値	最大値
B:相対座標	X,Y,R,θ	節点番号	最大増分
C:セグメント依存 (中点専用)	segment vector の垂直二等分線	方向	−

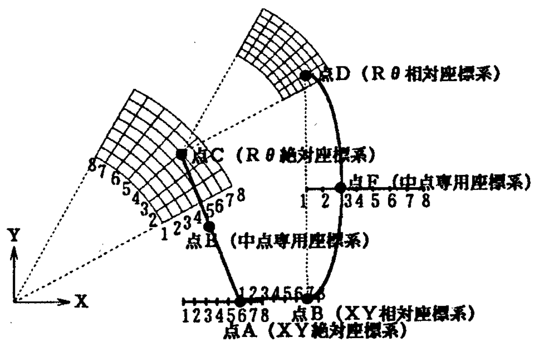

図 1: 点移動の図

3.2 適応度関数

評価関数 (F) は、以下のように定義する。

$$f_1 = abs(Area_{goal} - Area_{indiv})$$

$$f_2 = \sum_{i=1}^{n} abs(Stress_{goal} - Stress_{indiv})$$

ただし

n:要素数, $Area_{goal}$: 目標面積, $Area_{indiv}$: 1 個体の面積

$Stress_{goal}$: 目標応力, $Stress_{indiv}$: 1 個体の応力

$$F = weight_1 * f_1 + weight_2 * f_2$$

この F を最小化する形状を GA によって探索する。

3.3 遺伝的操作

多くの GA では離散世代モデル+ルーレット戦略を採用しているが、この方法では優秀な解が生まれても、次世代に生き残らない可能性がある。そこで、「生存率」を設定して、適応度の低い個体だけを次世代に入れ換える連続世代モデルを採用した。

交叉させる親となる形状は、ルーレット戦略により決定する。ルーレット戦略では、べき乗スケーリングを採用し、淘汰圧力を可変にした。また、交叉は乱数により適当な 2 点を決め切断し、互いに交換する (2 点交叉)。突然変異は、低い確率で適当な位置のビットを反転させる。

4 実験

個体数:500, 世代数:50, 突然変異:0.01, べき乗スケーリング:3 で行った結果を図 2(構造物の自重を考慮しない場合)、図 3 (構造物の自重を考慮した場合) に示す。対称条件を用いて解析を行ったため、全体の 1/4 のみを表示した。

システムは Smalltalk(GA 部) と C 言語 (FEM 計算部) によってインプリメントした。実行時間は EWS(SS20) で約 8 時間である。

5 考察

初めの実験 (自重なし) では、形状は円に似た曲線を描いていることがわかる。これは、外部からの圧力に対して、面積が一定ならば円形が最適である事実と一致する。

次の実験 (自重あり) では、円形と異なる形状を示した。構造物の自重を考慮した場合では、実験等で実際に試してみなければその妥当性を検証できないが、縦方向に丸みを帯びた独特の形状になったことは興味深い。

6 まとめ

GA を二次元形状最適化に適用した。実験の結果、信頼性のある解を得ることができた。形状設計支援のためには、解の精度向上が必要である。そのためには形状を表す遺伝子表現の工夫と、並列処理などによる高速化が今後の課題として挙げられる。

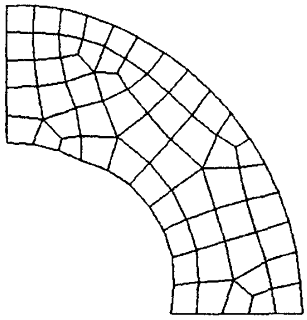

図 2: 構造物の自重を考慮しない場合

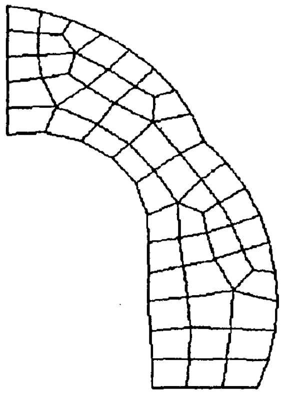

図 3: 構造物の自重を考慮した場合

参考文献

[1] D.E.Goldberg:Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison Wesley (1989)

[2] 北野編:遺伝的アルゴリズム, 産業図書 (1993)

[3] O.C.Zienkiewicz and J.Z.Zhu,'A simple error estimator and adaptive procedure for practical engineering analysis',Int. J. Num. Meth. Eng., pp.337-357 (1987)

[4] M.Ainsworth, J.Z.Zhu, A.W.Craig and O.C. Zienkiewicz , 'Analysis of the Zienkiewicz-Zhua-posteriori error estimator in the finite element method', Int. J. Num. Meth. Eng., 28,pp.2161-2174 (1989)