I－250

遺伝的アルゴリズムによる二次元形状最適化問題

鹿島建設（株）　正会員　○大谷 芳輝　高橋 健一　渡辺 克彦

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。土木分野への適用例としては、トラス構造、仮設鋼矢板、斜張橋ケーブル張力などの最適設計への適用が研究されている。本稿ではアダプティブ法とＧＡを組み合わせて土木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、アダプティブ法を用いて二次元応力変形解析を行った。トンネル状構造物の断面形状を題材とした結果、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

二次元形状最適化の例としてトンネル状構造物の形状最適化問題について述べる。自重と外力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、外力として自重と等分布荷重を加える。そして全要素に発生する応力が一定値に収束するような形状を求める。

また、ＦＥＭ解析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の自動要素分割機能を用いる。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、許容誤差内に収まるように自動的にメッシュを生成する手法である。

3．ＧＡによるアプローチ

(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決め、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（図－１）。

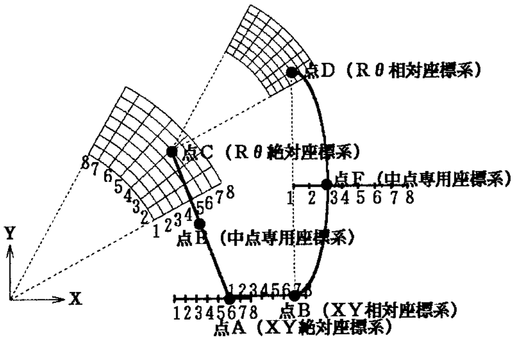
点Ａは直交座標系で示した絶対座標タイプである。この点にはＸ軸とＹ軸の最小と最大値を与え、3bits(8steps)で離散化された矩形の格子点をとりうるものとする。点Ｂは点Ａに依存する直交座標系で示した相対座標タイプである。この点には基準点(点Ａ)と最大増分をXY座標で与え、同じく3bits(8steps)で離散化された矩形の格子点をとりうる。点Ｃは極座標系で示した絶対座標タイプである。この点には半径と角度の最小値と最大値を与える。これは扇形内の離散点をとりうる。

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、円管・ボックスなど幅広い断面形状を表現できる。

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　節点定義

(2) 適応度関数

最適化の評価関数として以下の項目（表－２）を用意し、任意選択が可能とした。

表－２　評価関数一覧

重量	引張（圧縮）最大主応力
断面積	Ｘ＆Ｙ方向引張（圧縮）応力
Ｘ（Ｙ）方向変位	せん断応力（絶対値）
主応力分布	全断面引張（圧縮）

適応度関数(F)は、以下のように定義する。

$$f_i = \sum_{j=1}^{n} abs(S_g - S_j)$$

ここで、f_i:各評価値,n:要素（節点）数,
Sg:許容値,Sj:各要素（節点）値

$$F = \sum_{i=1}^{m} weight_i \cdot f_i$$

ここで、m:評価する目的関数の数、
$weight_i$: f_iに対する重み

よって、このFが最小となる形状をＧＡによって探索することとする。

(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．結果

荷重は自重と要素内向き等分布荷重、境界条件はＸ、Ｙ軸対称条件を用いた。ＧＡパラメータは、個体数:500,世代数:30, 突然変異:0.03,べき乗スケーリング:1、目的関数として主応力分布を用い、全要素が許容値内で均等になるようにした。結果を図－２(等分布外力のみの場合)、図－３(構造物の自重を考慮した場合)に示す。

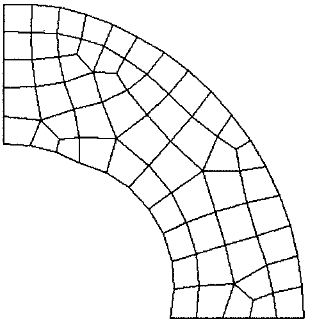
実行時間はEWS(SS20)で約４時間であった。

５．考察

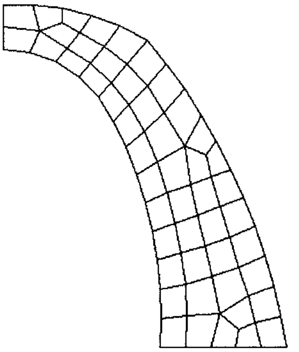
等分布外力のみの結果（図－２）では、形状はほぼ円に似た曲線を描いている。これは、外部からの圧力に対しては、円形が最適である事実と一致する。等分布外力＋自重ありの結果（図－３）では、円形と異なり、縦長の楕円形状を示した。水平方向よりも鉛直方向の荷重成分が大きいことから、縦長のアーチ形状となることは、妥当である。これらのことから、形状最適化問題に対する本手法の適用可能性が確認できた。

６．まとめ

ＧＡを二次元形状最適化に適用した。結果として、信頼性のある解を得ることができ、本手法の適用可能性が確認できた。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。これらの課題を解決することにより、複雑な物性値・荷重条件・制約下においての最適な形状を、簡単に求められると考える。



図－２　等分布外力のみの場合



図－３　構造物の自重を考慮した場合

参考文献

1)北野編:遺伝的アルゴリズム,産業図書 (1993)
2)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)
3)M.Ainsworth,J.Z.Zhu,A.W.Craig and O.C.Zienkiewicz,'Analysis of the Zienkiewicz-Zhu a-posteriori error estimator in the finite element method',Int. J. Num. Meth. Eng. ,28, pp.2161-2174 (1989)