

長岡技術科学大学 大学院 学生員 杉田尚男
長岡技術科学大学 建設系 正会員 鳥居邦夫

1. はじめに

近年のコンピュータの高速化に伴い、有限要素法構造解析も大型化、複雑化しており、入力データの量も急増している。データ入力の労力を軽減すべく自動要素分割法が幅広く使用されており、対象物の形状を自動分割できる段階に至っている。しかし、3次元の要素分割では要素数の効率化、要素形状、連続的な要素配置という観点において必ずしも最適化されたといいがたい現状であり、特に応力集中部分における要素の生成には対処仕切れていない。そのために要素数や計算時間も必要以上に多くなる傾向が見られる。従来の自動生成法と最適化手法を組合せた自動要素分割法の構築が急務であると言える。

そこで、Voronoi理論による3次元自動メッシュ生成法を提案する。本論は、有限要素解析において応力集中部分を再分割する現象と虫食い理論による生物の縄張り領域の再編成とのアナロジーに着目するものである。すなわち、応力勾配をもとに要素を再配置し、再び解析するという収束計算を通じて要素を最適化しようとするものである。隣接する要素間の応力勾配により最適性を判定し、節点移動や要素変更、母点移動を通じて、要素を最適化するが、その収束をはやめるためにスムージング法も用いている。

本論は、以上の手法を用いた自動メッシュ生成法を3次元シェルに適用し、要素最適化の度合いを検証した。従来の自動要素分割法との大きな違いとして要素を解析対象物の境界条件や応力の方向に移動させることにより、効率的な配置とすることに重点を置いた。

2. 要素分割手順

本研究では、図-1のフローチャートに従い要素を分割していく。Voronoi理論を用いた要素生成法は、解析対象領域を領域多角形に分割し、それを三角形領域へ再分割するという手法である。細分割の基準として、FEM解析で得られた要素ごとの応力値を用いた。

Voronoi理論とは、2次元Euclid空間で n 個の母点 $P_i(X_i)$ ($i=1, \dots, n$) が与えられるとき P_i が一番近い点であるような点の集合 V_i は P_i の勢力圏として

$$V_i = \bigcap_{j=1}^n \{X \in R^2 \mid \|X - X_i\| \leq \|X - X_j\|\}$$

ここで X は、ある位置ベクトル
 X_i は、母点 i の位置ベクトル
は、Euclid距離

で定義される。 V_i は、母点 P_i のVoronoi領域と呼ばれる凸多角形であり、その領域多角形をVoronoi Polygon(図-2)と呼ぶ。このVoronoi Polygonが本研究の最適要素分割の基礎領域となる。

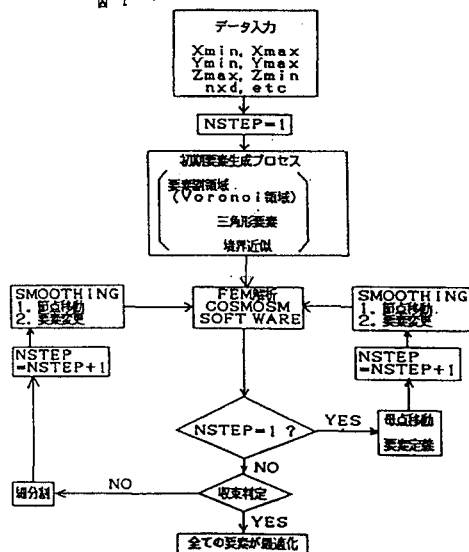
①要素変更

次に母点 P_i とVoronoi Polygonの頂点を結ぶことにより三角形要素を生成する。

1) 隣接する二つの三角形 $\triangle ABC$ と $\triangle ADB$ の内角が 90° 以上のとき、 $\triangle ABC$ の外接円をもとめる。

2) $\triangle ABC$ の外接円内に点 D が存在した場合要素を $\triangle ADC$ と $\triangle BCD$ に変更する。(図-3)

図-1 最適自動メッシュ生成フローチャート



② スムージング

さらに最適の三角形要素を得るために幾つかの要素が共通となる母点（P1）をその要素が作るPolygonの重心点（G1）に移動させて、これを繰り返す。

③ 最適化

FEM解析で得られる応力値を用いて、要素を細分割する。要素の細分割を行う判定条件として

$$\sigma_i < Tc \quad (\sigma_{max} - \sigma_{min}) \quad (2)$$

σ_{max} : 要素の最大応力値

σ_i : 各要素の応力値

σ_{min} : 要素の最小応力値

Tc : 細分割定数

を用い、この条件が満足されるまで細分割する。

3. 適用例とその検証

本手法を三次元shellに適用した。結果、要素は連続的に配置され、一般的要素形状の要素数に対し本手法では、要素数は、約10%~20%減少できることを確認できた。各要素の内角は、形状を損なわない範囲の40°~100°に80%分布しており、形状の改良もはかれている。また、応力集中部分となる部分に細かい要素となるように自動化した結果解析精度も良好であった。

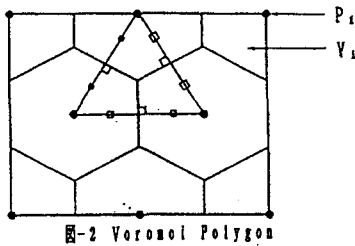


図-2 Voronoi Polygon

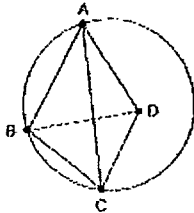


図-3 最適形状化

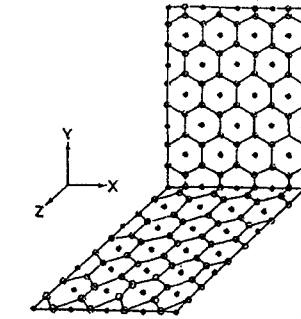


図-4 Voronoi図

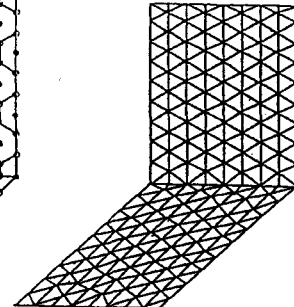


図-5 三角形要素図

SHELL1
節点数=435, 要素数=788

一般要素
節点数=538, 要素数=950

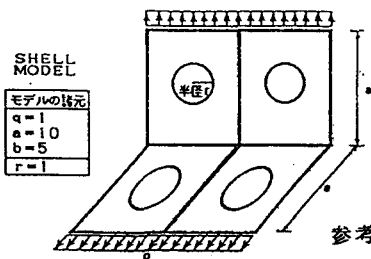


図-6 モデル諸元

参考文献

1. 種村正美、長谷川政美：なわばりによる空間分割のパターン
日本物理学会誌 Vol. 36, No. 5(1981), p. 382.
2. 尾田十八、山崎光悦：有限要素自動分割法の現状とその利用法
機械の研究, Vol. 37, No. 6(1985), p. 704.

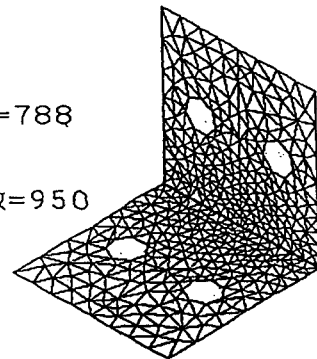


図-7 最適要素図