

I-20

ファジィ推論を用いた3次元有限要素
自動メッシュ生成法

八戸工業高等専門学校 建設環境工学科 学生会員 ○金田 知
 八戸工業高等専門学校 建設環境工学科 学生会員 木下 貴昭
 八戸工業高等専門学校 建設環境工学科 正会員 杉田 尚男

1. 緒言

コンピュータ処理能力の飛躍的な性能の向上に関わらず有限要素解析に必要な時間は、それほど減少していない。現在、有限要素法における解析モデルは大型化・複雑化し、解析作業においてメインプロセッサ負荷に対するプリプロセッシング負荷の割合が急激に増加している。モデル生成の効率化の必要性があり、様々な自動メッシュ分割法が提案されているが、要素数・要素形状などにおいて、必ずしも最適化されたとは言いがたい。特に応力集中部分に関する要素分割においては、未だ解析者の判断にゆだねる部分が多く、信頼性の低下を引き起こすことがある。本研究では、応力集中部への解析者の経験的な判断によるメッシュ分割プロセスをファジィ理論を用いて論理的に表現した。そして従来の自動メッシュ生成法と組み合わせることで、応力集中部に対して有効な要素分割法を提案する。特に3次元構造体(立方体、直方体に限る)における応力集中部分の要素生成を意識し、従来のメンバーシップ関数(Member Ship Function:MSF)と応力密度分布の情報に応じた節点配置法に改良を加えた。

2. Voronoi 理論

N 次元 Euclid 空間において n 個の点 $P_1(x_1), P_2(x_2), \dots, P_n(x_n)$ が存在するとき $P_i(x_i)$ に対して最も近い点の集合 V_i は式(1)で与えることができる。

$$V_i = \bigcap_{j:j \neq i} \{x \in R^N \mid \|x - x_i\| < \|x - x_j\|\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$(i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, i-1, i+1, \dots, n)$$

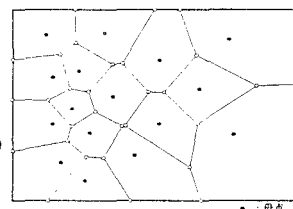


図-1 Voronoi 図

x : ある位置ベクトル x_i : 点 i の位置ベクトル $\|\cdot\|$: Euclid 距離

V_i は点 $P_i(x_i)$ の Voronoi 領域と呼ばれ、Voronoi 領域を生成している点を母点、その領域多角形の各頂点を Voronoi 節点と呼ぶ。Voronoi 領域は母点と母点とを結ぶ垂直二等分線で構成されるので、Voronoi 節点は、その周りの3個の母点を頂点とする三角形の外心となる。応力解析には、母点とそれにより生成された Voronoi 節点を結ぶことで三角形要素を形成し、それを初期要素として用いる。(図-1 参照)

3. ファジィ推論による応力集中部の特定

(1) 応力勾配

領域全体の応力分布を表すものとして、Voronoi 領域境界の応力勾配ベクトルを定義した。Voronoi 領域境界の応力勾配ベクトルは、その Voronoi 領域を構成している Voronoi 母点と Voronoi 節点から求めるものとし、領域境界の応力勾配 SG_{ij} は Voronoi 物体を形成する Voronoi 領域境界について算出する。そしてそのベクトルと SG_{ij} を、応力勾配ベクトルの代表値とする。以降この代表値を領域境界応力勾配ベクトルと呼ぶ。領域境界応力勾配だけでは、Voronoi 領域内の局所的な応力の変化が評価できず、過小に評価される場合がある。そこで、局所的な応力分布を示すものとして、Voronoi 領域内の応力勾配ベクトルを定義した。Voronoi 領域内における応力勾配ベクトルを表すために、領域内で母点と要素重心間で応力勾配ベクトル sg_i を算定した¹⁾。以降この応力勾配ベクトルを領域内応力勾配ベクトルと呼ぶ。

(2) ファジィ推論

この2つの応力勾配を用いてファジィ推論を行い応力集中部の特定を行う。推論方法²⁾として MAX-MIN 合成重心法を用いた。前件部メンバーシップ関数として、領域境界応力勾配ベクトル、領域内応力勾配ベクトルの2つを定義する。推論結果は、区間0～100で定義し、それを応力密度の度合いとする。

4. 要素再分割

応力集中部分から離れた母点は応力集中部付近の母点よりもより多く動かなければならない。移動前の領域内応力勾配ベクトルに要素重心・母点間距離と応力集中部・母点間距離の関係から求められる値を応力勾配ベクトルに乗することにより移動後の座標値が求められる。一番最後に収束判定を行い前回移動後と今回移動後の母点座標の誤差が1%以内であったのを確認し収束と判定する。

5. 適用例

単純な3次元モデル図-2を用い、本手法の効果を検証する。モデルの諸元は、ヤング係数 $E = 2.10 \times 10^5 \text{ kN/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、長さ $b = 120 \text{ mm}$ 、高さ $h = 30 \text{ mm}$ 、幅 $b = 40 \text{ mm}$ 、集中荷重 $q = 10 \text{ kN}$ とした。初期配置における要素配置図と応力図を図-3、図-4、再分割後の要素配置図と応力図を図-5、図-6に示す。

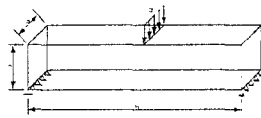


図-2 全体解析モデルと1/4 解析モデル

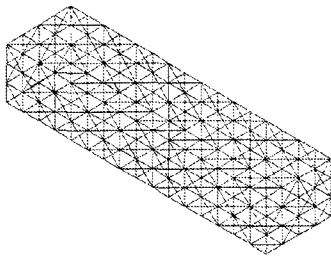


図-3 初期配置における要素配置図

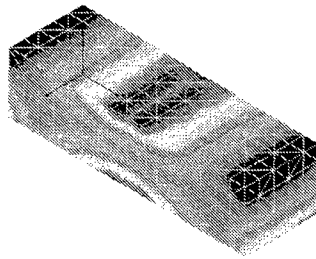


図-4 初期配置における応力図

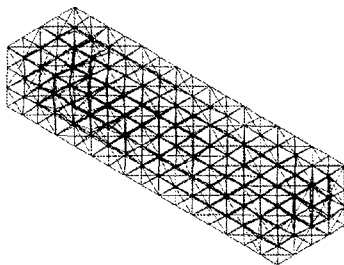


図-5 再分割後の要素配置図

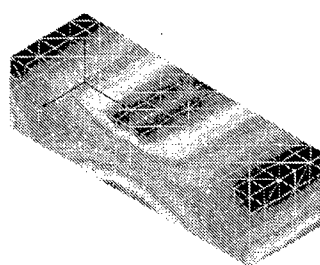


図-6 再分割後の応力図

6. 結言

本手法を用いることにより、単純な3次元構造体の最適メッシュ分割が得られた。また Voronoi 理論の応用により扱うデータを大幅に減らすことが可能となった。今後の課題としては、3次元構造体の任意形状を考慮したシステムの開発が必要である。

参考文献

- 1) 杉田尚男, 伊賀隆幸, 鳥居邦夫, 応力勾配を用いたファジィ推論による自動メッシュ生成法, 日本計算工学会論文集, Vol.1.5, 1999, pp. 119-124.
- 2) 杉田尚男, 鳥居邦夫, ファジィ推論による応力集中部の特定と最適自動メッシュ生成法, 第6回システム最適化に関するシンポジウム論文集, Vol.6.12.1999, pp. 57-64.