

II-19 ファジィ推論を用いた有限要素CAEシステム

杉田 尚男*

藤原 広和**

矢口 淳一***

鳥居 邦夫****

Hisao SUGITA

Hirokazu FUJIWARA

Jyunichi YAGUCHI

Kunio TORII

【抄録】 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。本研究では、応力集中部への解析者の経験的な判断によつてのメッシュ分割プロセスをファジィ理論にて論理的に表現した。特にファジィラベルによるメンバーシップ関数選択と応力密度分布の情報に基づくCAEシステムを提案する。

【キーワード】 ファジィ推論, 有限要素法, CAEシステム, メンバーシップ関数

1. はじめに

近年のコンピュータの飛躍的な性能の向上によって、有限要素法における解析モデルは大型化・複雑化してきている。そのため、解析のポストプロセッサ部による計算時間よりも、解析の入力データの準備に多大な時間を費やすことになる。それらに対処するために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、連続的な要素配置などにおいて、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。従来の自動メッシュ生成法と最適化手法を組み合わせることが急務である。従来の応力集中部への要素分割に解析者の経験的な判断によって信頼性の優劣が生じることに着目し、その判断のプロセスをファジィ理論にて論理的に表現すると共に、従来の自動メッシュ生成法と組み合わせることにより、応力集中部分に対して有効な要素分割法を提案する。その手法は、フローチャート図1に示すように、初期要素生成を行い、FEM解析結果より応力勾配ベクトルを算出し、応力勾配ベクトルを使用して領域間又は領域内の応力勾配を算出し、その応力勾配を用いてファジィ推論で応力集中部の特定を行った後、要素の再分割を行う4段階より成り、解析対象の応力集中部分の評価とともに初期の段階での最適な要

素分割を可能とするものである。特にファジィラベルによるメンバーシップ関数選択と応力密度分布の情報に基づくCAEシステムを提案する。

また、本研究においては要素分割の際、領域内分割理論の一つであるVoronoi理論を応用している。Voronoi理論は、生態学の虫食い理論や、物理学、都市工学など多くの応用範囲を持つ領域分割理論である。Voronoi理論は、母点に関する領域を生成するので、母点にのみを扱うことでプログラム内のデータの簡略化を行っている。

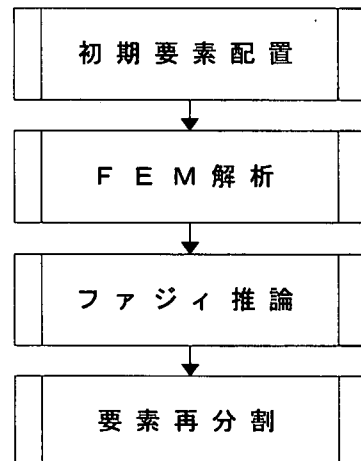


図1 解析フローチャート

2. Voronoi理論¹⁾

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、点 $P_i(x_i)$ に対して最も近い集合がVoronoi分割である。

Voronoi領域は母点間で等領域分割され

* 八戸工業高等専門学校 建設環境工学科
 ** 八戸工業高等専門学校 建設環境工学科
 *** 八戸工業高等専門学校 建設環境工学科
 **** 長岡技術科学大学 環境・建設系

るので凸多角形となり、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2参照)

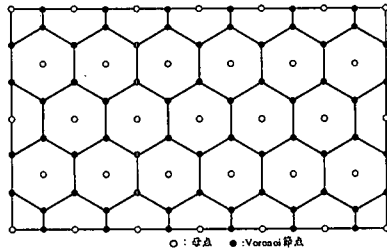


図2 Voronoi図

3. ファジィ推論による応力集中部の特定

(1) 応力勾配

Voronoi理論の応用として、まずVoronoi領域間の応力勾配の算出を行った。Voronoi領域の応力は、Voronoi領域を構成している要素の平均値とした。そして領域間の応力勾配は、隣接しているVoronoi領域間について算出する。その平均値を、応力勾配の代表値とする。以降この代表値を領域間応力勾配とする。領域間応力勾配だけでは、平均値を代表値としているために、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、Voronoi領域内における応力の不連続量を表わすために、領域内で最大応力をとる要素と最小応力をとる要素間で応力勾配を求めた。以後、この応力勾配を領域内応力勾配とする。(図3参照) 応力集中部の特定は、フローチャートにしたがって行う。

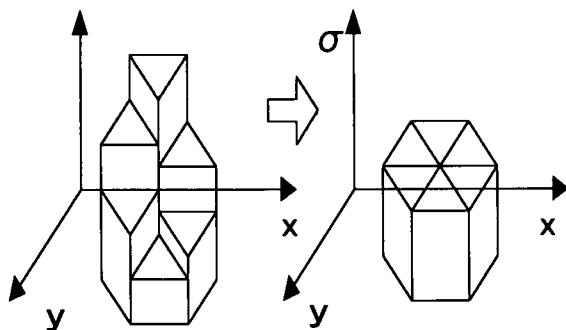


図3 Voronoi 領域応力

(2) ファジィ推論

思考や判断あるいは理解や認識などの決定過程において、人間が日常的に行っている推論の様式を眺めると、その多くは自然言語を用いた弾力的で柔軟な知識表現に基づいており、必ずしも記号論理でいう厳密で正確な推論の形式性を有しているわけではない。むしろ知識あるいは得られた事実に対する自然言語表現に基づき、言葉がもつ曖昧性や表現上の意味性を考慮しながら、近似的に妥当と判断される結論を引き出す形で実行されていると考えられる。

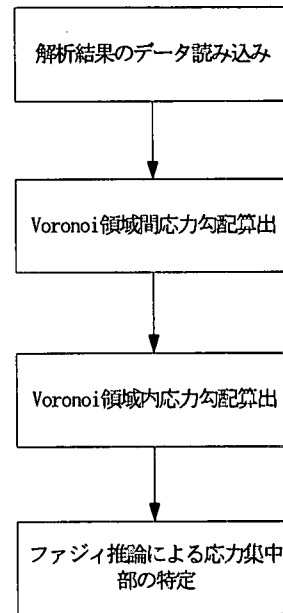


図4 集中部特定

4. 推論方法

前記の2つの応力勾配によりファジィ推論を行い、応力集中部の特定を行う。その推論方法として、簡便で良好な結果を示すことで知られているMAX-MIN合成重心法とMAX-MIN合成高さ法から、より良好な結果を求めるものとする。本研究においては、アルゴリズムが簡単な推論方法として上記2法を用いた。前件部メンバーシップ関数として、領域間・領域内応力勾配の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。すなわち、推論結果の最大値が応力集中部と特定される。

(1) MAX-MIN 合成重心法

例として x, y を入力値としてあたえ、推論結果を z で返す

IF x is A_i and y is B_i THEN z is C_i

というような IF-THEN 形式のファジィルールを用いたアルゴリズムである。ファジィルールの合計の重心をとる (図 6 参照)。

(2) MAX-MIN 合成高さ法

非ファジィ化までのプロセスは MAX-MIN 合成重心法と同じであり、高さ法の方が重心法よりも計算効率がよいという利点がある。(図 7 参照)。

(3) メンバーシップ関数ラベル数の変更

メンバーシップ関数のラベル数による推論結果の変化を検討する。

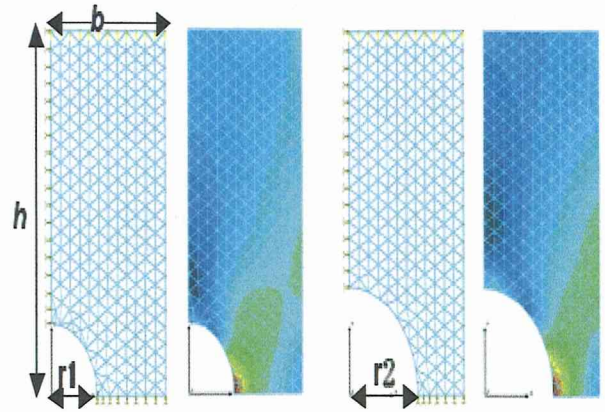


図 5 解析モデル

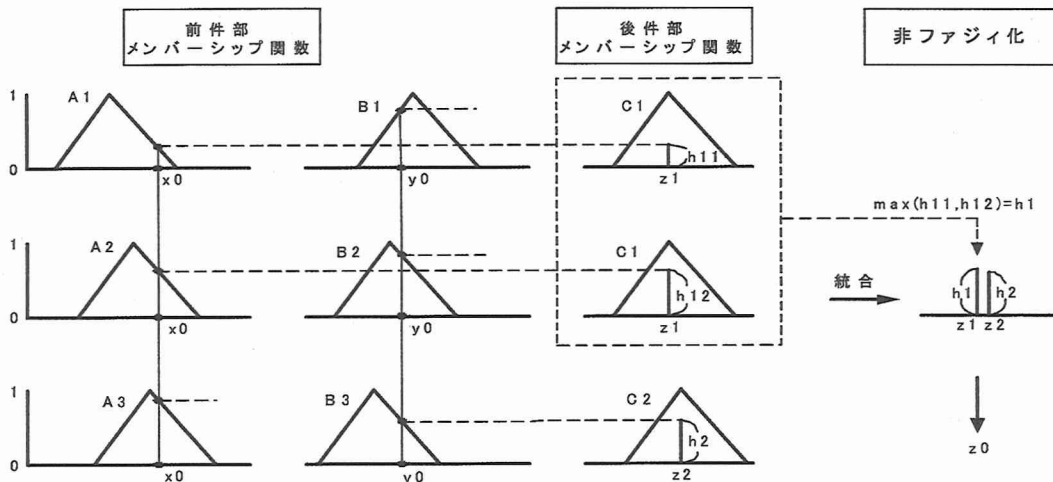


図 6 MAX-MIN 合成重心法

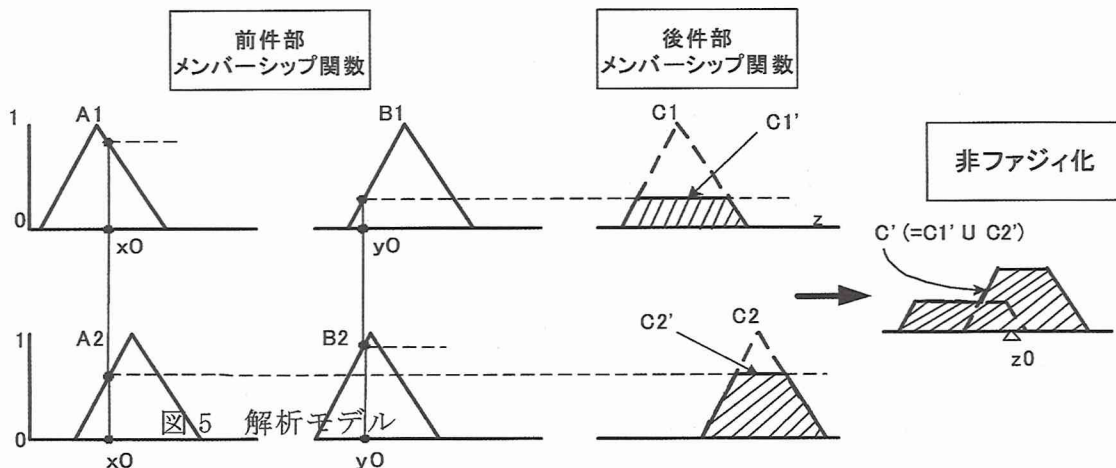


図 7 MAX-MIN 合成高さ法

4. 解析対象とした一円孔モデル

本研究において、解析対象とした一円孔モデルは、有限要素法自動メッシュ生成により分割された二種の有孔平板とする(図5参照)。

高さ $h=100\text{mm}$ 幅 $b=50\text{mm}$

引張力 $q=3\text{kN}$ 板厚 10mm

ヤング係数 $E=2.06 \times 10^5\text{kN/mm}^2$

ポアソン比 $\nu=0.3$ 半径 $r_1=20\text{mm}$
 $r_2=30\text{mm}$

解析結果を半径 20mm (図8~10) に示す。

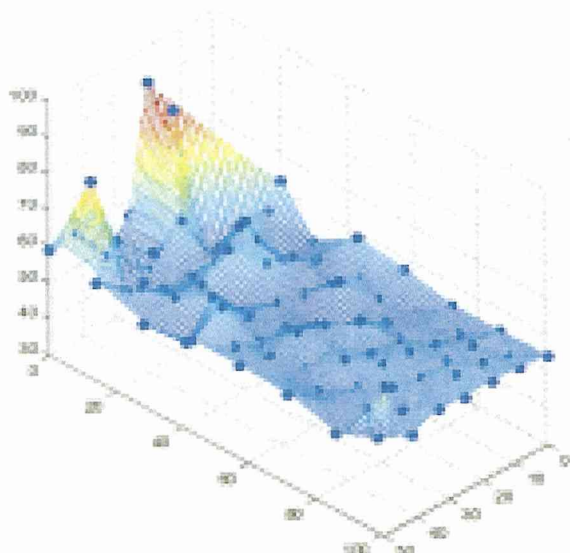


図8 ラベル5 重心法

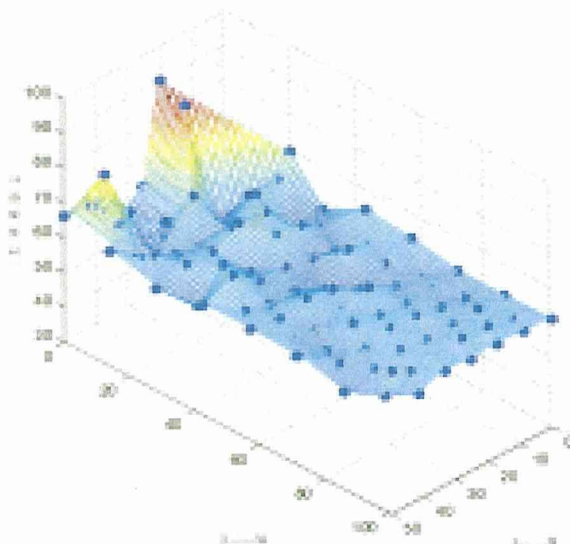


図9 ラベル5 高さ法

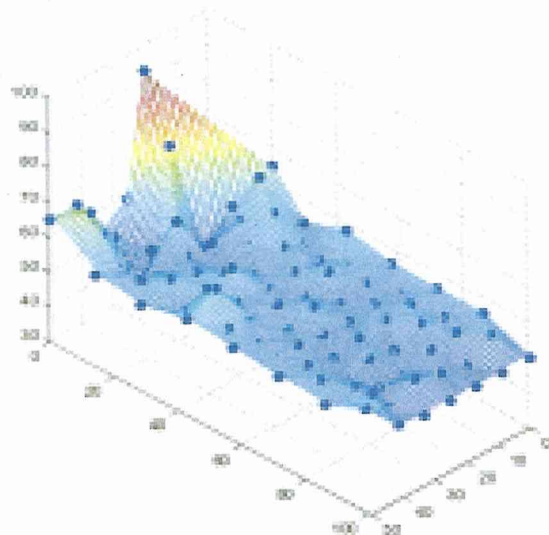


図9 ラベル7 重心法

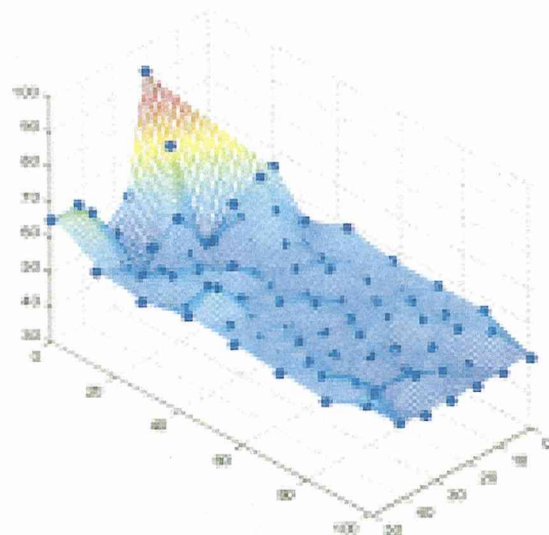


図10 ラベル7 高さ法

5. 結言

MAX-MIN合成重心法とMAX-MIN合成高さ法を比較した場合、MAX-MIN合成高さ法による推論法を用いた場合の応力勾配がなだらかであり、応力集中部が顕著に確認できる。ラベル数の増加を行った場合も同様である。今後の課題として、他のモデル、他の推論方法による集中部推論の確認および最適化が必要である。

参考文献

- 1) 杉田尚男、荒田智博、鳥居邦夫、メンバーシップ重複領域を考慮した自動メッシュ生成法、日本計算工学会論文集、Vol.2、2000、pp199~204