

I - 12

ファジィ推論最適化による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 学生員 橋本佳征
 八戸工業高等専門学校 建設環境工学科 学生員 小向康尊
 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. はじめに

本研究は、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を用いて論理的に表現した。ファジィ推論は有限要素配置を施す際の要因として重要な意味を持ち、推論部分における簡略化・効率化は後の要素生成に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、推論法の中でもシングルトン法を適用し MAX-MIN 合成重心法と比較検討した。特にラベル数の違いが応力集中部に及ぼす影響について検証した。

2. Voronoi 理論¹⁾

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

$$V_i = \bigcap_{j=1}^n \{x \in R^n \mid \|x - x_i\| < \|x - x_j\|\} \\ (i = 0, \dots, n, j = 1, \dots, i-1, i+1, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (1) \\ x: \text{ある位置ベクトル} \\ x_i: \text{母点 } i \text{ の位置ベクトル} \\ \| \|: \text{Euclid 距離}$$

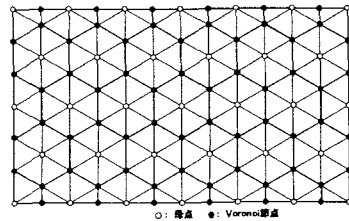


図-1 Voronoi 図

V_i は点 $P_i(x_i)$ の Voronoi 領域(Voronoi多角形)と呼ばれ、連続的に点の数だけ領域を確保する。一領域を分割した図をVoronoi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節点と呼ぶ。Voronoi領域は母点間で等分割され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-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

Voronoi 理論の応用として、まず領域間の2つの応力勾配²⁾の算出を行った。領域の応力は要素平均値とし、応力勾配は、隣接している領域間について算出する。この平均値を応力勾配の代表値とし、以降これを領域間応力勾配とする。これだけでは、平均値を代表値としているため、領域内の局所的な応力の変化が評価できず、過小評価される場合がある。そこで、領域内における応力の不連続量を表わすため、領域内で最大をとる要素と最小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。

(2) シングルトン型簡略化ファジィ推論

応力勾配を用いてファジィ推論を行い、応力集中部を特定する。推論方法として、簡略化推論法を用いた。前件部メンバーシップ関数は、領域間内応力勾配の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。推論結果の最大値が応力集中部と特定される。

MAX-MIN 合成重心法より、簡略化推論法は計算効率が良いという利点がある。後件部が厚みを持たない高さのみのファジィ集合を用いたものであり式(2)で表される。(図-2 参照) シングルトン簡略化推論法においてラベル数を変化(4×4, 5×5)させ適用を行った。

4. 要素再分割

応力集中部として特定された点を中心に要素を細分化することで、解析を行う際の離散化の誤差を少なくする。上記のファジィ推論によって導き出された推論結果を元に、データベース化されたメンバーシップ関数を応力集中影響内の

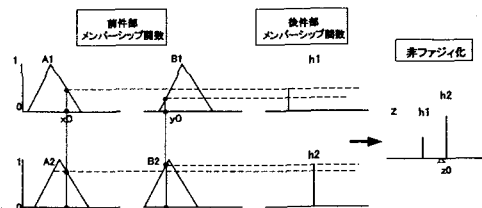


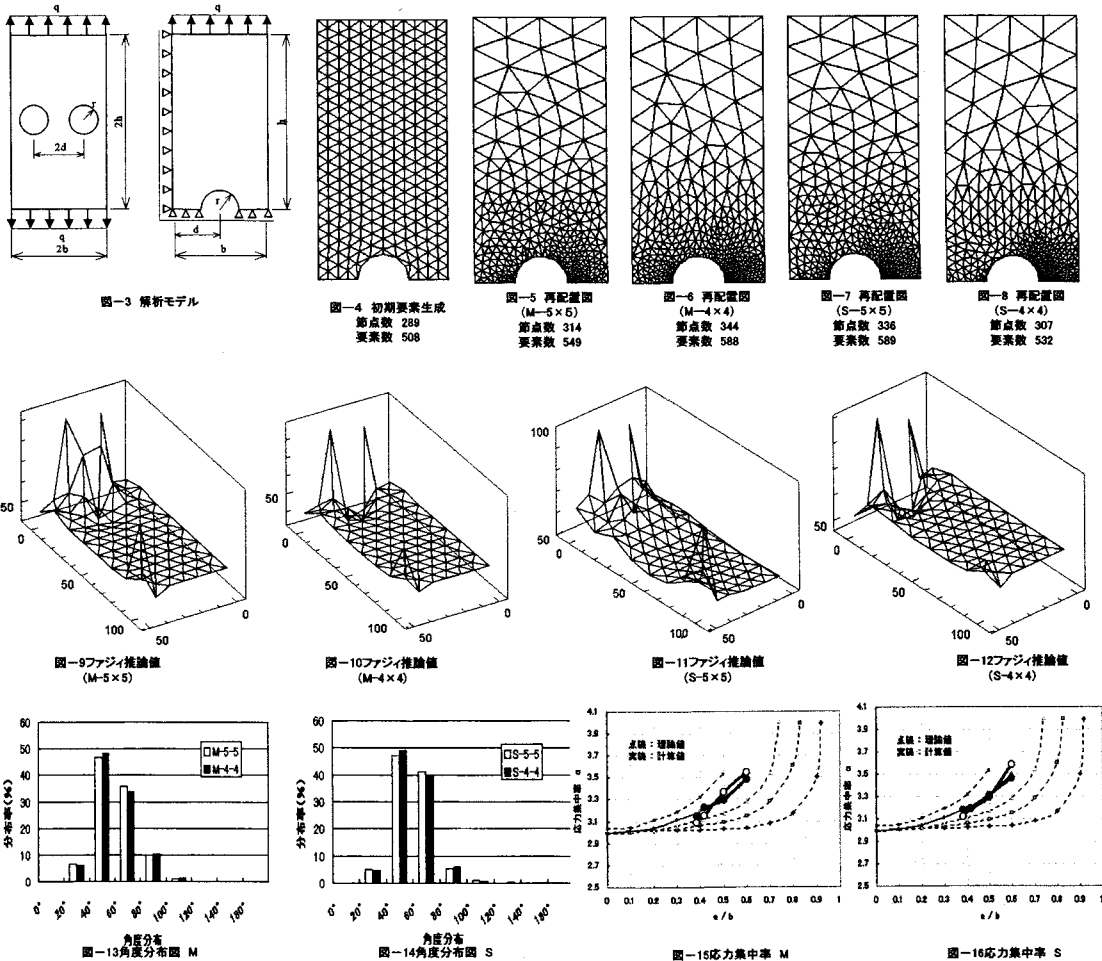
図-2 簡略化推論法

$$h_i = \mu_{A_i}(x_0) \cdot \mu_{B_i}(y_0) \quad (i = 1, \dots, n) \\ z_0 = \frac{h_1 z_1 + h_2 z_2 + \dots + h_n z_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad \dots\dots\dots (2)$$

要素配置に反映させる。

5. 適用例

平板モデルを解析対象とし、推論結果の変化を検討する。高さ $h=1000\text{mm}$ 、幅 $b=500\text{mm}$ 、引張力 $q=100\text{ kN/mm}^2$ 、板厚 10mm 、ヤング係数 $E=210000\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、半径 $r=100\text{mm}$ 、全体解析モデルと $1/4$ 解析モデルを図-3に、初期配置による要素配置図を図-4に示す。図-5～図-8はそれぞれの再分割、図-9～図-12にファジィ推論値、図-13、図-14に角度分布、図-15、図-16に応力集中率³⁾を示す。(MAX-MIN合成重心法→M、シングルトン型簡略化推論法→S)



6. 結言

同一対象に対して推論部だけをラベル数 5×5 からラベル数 4×4 に変更した場合、ラベル数 4×4 のほうがファジィ推論値をより顕著にとらえることができた。その後の再分割では、応力集中率や角度分布の結果からラベル数 4×4 の要素数の約50%が正三角形に近く、歪みの少ない要素を生成した。今後の課題として応力勾配入力による推論の再検討と可能性分布を考慮したメンバーシップ関数の導入などの最適化が必要であると考えられる。

7. 参考文献

- 1) 谷口健男, FEMのための要素自動分割—デローニー三角分割法の利用—, 森北出版, 1992.
- 2) 杉田尚男, 伊賀孝幸, 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.
- 3) 西田正孝. 応力集中. 森北出版社, 1967.