

# 格子ガスオートマトン法を用いた有限要素法自動メッシュ生成に関する基礎的研究

八戸工業高等専門学校 建設環境工学科 学生員 増沢 辰徳  
 八戸工業高等専門学校 建設環境工学科 学生員 中嶋龍一朗  
 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

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推論による評価と従来の自動メッシュ生成法とを組み合わせることにより、論理的に表現した。1)本研究では、ファジィ推論手法とセルオートマトン法、ニューラルネットワークとを組合せ、局所的力学状態の関係を表現し、要素自動生成への可能性を検討した。

## 2. 解析手法

図 1 に示すように、Voronoi 理論を用いて初期要素生成を行う。次にセルオートマトン法を用いて応力を算出し、その応力を用いてファジィ推論による応力集中部の特定を行った後、要素生成を行うという4段階を基本とする。ファジィ推論のための応力値をセルオートマトン法によって応力を算定した。

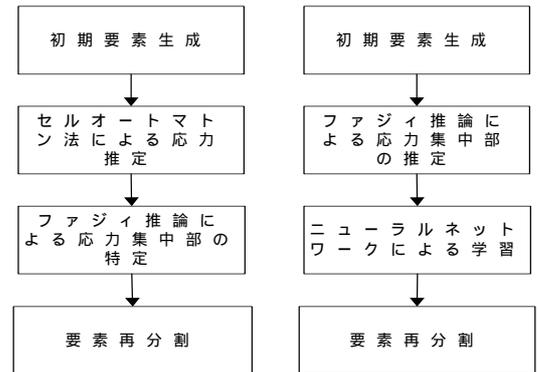


図 1 研究手法(左: CA 導入, 右: NN 導入)

## 3. セルオートマトン法

セルオートマトン (Cellular Automaton ;CA) とは、解析対象をセルと称する区別領域に分割し、各セル上にある種の離散的状態量を定義する。そして近傍セルとの相互作用(ルールと称する)のみを考慮することで各計算段階における状態量を順次求め、全体としての現象を表現する計算手法である。

CAは時間及び空間に対して離散的なアルゴリズムであり、空間を一様に格子分割し、各格子点に有限の状態を持つセルを配置する。すべてのセルが同期を取り、一斉に状態遷移することが特徴で、CAは本質的に並列性を持つ。

今回の研究で用いた格子ガスオートマトン(Lattice Gas Automaton ;LGA)の大きな特徴は計算で取り扱う変数が0と1のブール代数であるということである。コンピュータのビット演算を用いれば、数ビットで1格子点の状態を記述できる。

LGAでは、多角形で敷き詰めた格子に分割し、粒子は格子点上に存在するとし、移動は格子線上に限定される。初期段階として格子点上に粒子を配置する。次に、各粒子は時間ステップごとに格子上を最近接の格子点まで(単位速度にて)移動し、別の粒子と衝突・散乱し、速度方向が変わる。この衝突プロセス(移動・衝突・散乱)はあらかじめ決めた衝突則に従い、すべての粒子について各格子点上で一斉に行い、衝突を繰り返しても変わらない(平衡に達する)まで十分な回数だけ繰り返す。粒子の持つ局所的な状態と個数は統計的なばらつきがあるので、平衡となった値は平均操作を行い、局所的な量でかつ時間の関数である粒子状態を平均した値を算出する。この平均値を用いてマクロな弾性特性が得られる。解析対象が弾性体であるため、LGAのルールに弾性体の境界条件を導入した。3~5体衝突のすべてを考慮したFHP<sup>2)</sup>モデルを適用し、応力の算出を行った。LGAの概略を図 2 に示す。

## 4. 応力勾配

Voronoi 領域内と領域間の2つ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、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。この平均値を領域間応力勾配とする。また、Voronoi 領域内における応力の不

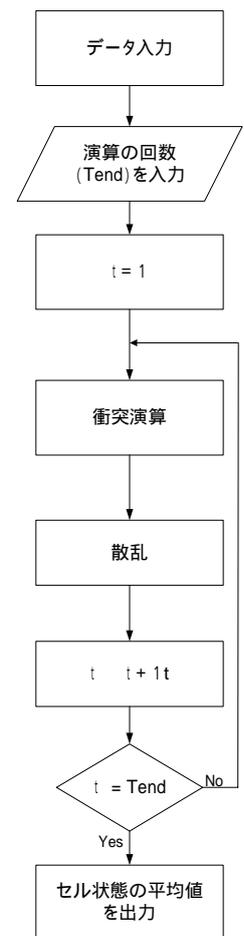


図 2 LGA 法の概略

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領域内応力勾配を求めた。

### 5. ファジィ推論

推論方法として、シングルトン型簡略化推論法を用いた。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。推論結果の最大値が応力集中部と特定される。簡略化推論法は、後件部メンバーシップ関数が厚みを持たない高さの概念のみのファジィ集合(シングルトン)を用いたもので、MAX-MIN合成重心法に比べて応力集中部が顕著に表れる傾向がある。

### 6. 推論部分におけるニューラルネットワークの導入

階層型ニューラルネットワークは多入力・1出力のニューロンを一つのユニットとして、入力信号は入力層から出力層へ方向にのみ伝達される。2)手法としては、ファジィ推論による応力集中部の特定をした後に、入力層にはファジィ推論時に前件部メンバーシップ関数として定義した領域間・領域内応力勾配を、出力層にはファジィ推論値を与えた。

### 7. 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再分割する。上記のファジィ推論、セルオートマトン法、ニューラルネットワークの学習の結果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要素配置に反映させる。

### 8. 適用例

分割された有効平板モデルを解析対象とし、仮想母点法により生成された要素検討をする。高さ  $h = 100\text{mm}$ 、幅  $b = 50\text{mm}$ 、引張力  $q = 100\text{N/mm}^2$ 、板厚  $1\text{mm}$ 、ヤング係数  $E = 210000\text{MPa}$ 、ポアソン比  $\nu = 0.3$ 、半径  $r = 10\text{mm}$ 、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。

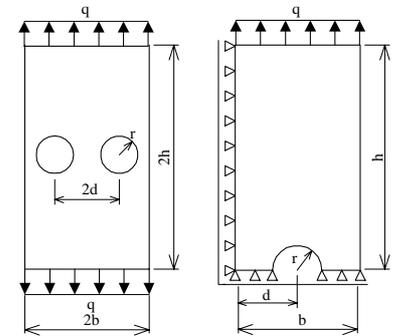


図 3 解析モデル

図5にファジィ推論値を示す。図6にCA推論値を示す。図7にNN導入(学習回数30000回)により得られた再分割後の要素配置を示す。

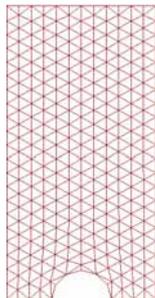


図 4 初期 Voronoi 点配置図

(要素数 508 節点数 289)

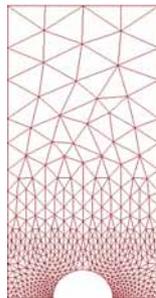


図 5 再配置図(ファジィ)

(要素数 852 節点数 478)

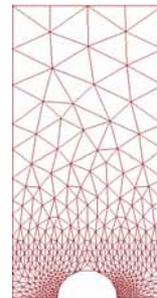


図-6 再配置図(CA)

(要素数 777 節点数 437)

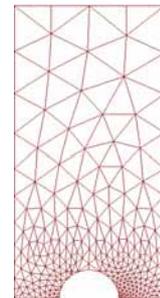


図 7 再配置図(NN)

(要素数 455 節点数 265)

### 9. おわりに

ファジィ推論を用いて再配置したメッシュよりも CA や NN を用いたメッシュ生成の方が要素数・節点数ともに減少する傾向がある。また角度分布は、ファジィ推論のみと比較すると正三角形に近いメッシュ分布が多くなる傾向があり、連続的な要素配置が可能である。今後の課題としては、再配置後の要素配置について再配置手法を検討する必要がある。

### 10. 参考文献

- 1) 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.
- 2) 小野田 茂定. セルオートマトンによる流れの数値シミュレーション.
- 3) 矢川元基, 吉村忍, 松田聡浩. 感性と設計. 培風館. 1999.