

都市の風況解析に向けた任意形状の建物を含む領域の解析メッシュ作成法

日本大学理工学部土木工学科 学生会員 小野 大輔
 日本大学理工学部土木工学科 正会員 長谷部 寛
 日本大学理工学部土木工学科 正会員 野村 卓史

1. **はじめに** ビル風やヒートアイランド現象など都市の風環境に関する問題に対し数値シミュレーションによる風況予測の重要性が高まりつつある。本研究では有限要素法により風況シミュレーションを行う際に用いる都市域のメッシュを作成することを目的としている。アルゴリズムのコンセプトは始めに領域の底面をメッシュ分割して二次元メッシュを作成し、それを高さ方法に積み上げ三次元メッシュを作成するというものである。本研究では清水らの方法を参考に、任意形状の建物を含む領域の底面の二次元メッシュを作成するアルゴリズムを構築したので報告する。

2. **メッシュ作成アルゴリズム** 以下に底面のメッシュ分割アルゴリズムを説明する。

- () 解析領域内の構造物を線分のみで構成する。
これを幾何モデルとよぶ。〔図1(a)〕
- () 各線分を直角座標軸(,)に平行な線分に割り当て、長さを決定する。
このモデルを認識モデルとよぶ。〔図1(b)〕
- () 認識モデルを直角格子状に要素分割する。このモデルを写像モデルとよぶ。〔図1(c)〕
- () 写像モデルの節点と実空間の節点との間の写像関係に関する方程式を解くことで実空間での節点座標値を求め、解析メッシュを作成する。〔図1(d)〕

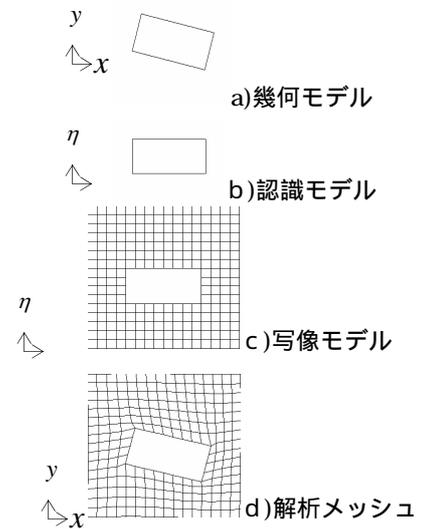


図1 メッシュ生成方法

2-1. **認識モデルにおける辺の方向の決定** 幾何モデル〔図1(a)〕の各辺を写像空間での直角座標軸(,)のどちらかの方向に割り当てる。

その可能性を示す適応度(P, P_η)をメンバシップ関数を用いて表す。図2(a)に示すように、幾何モデルの各辺とx軸との成す角度を θ_x とし、図2(b)に示すメンバシップ関数よりPの初期値を求める。また、対象とする辺とy軸となす角度 θ_y により決まる適応度を P_η と表す。なお $P_\eta = 1 - P$ である。

続いて図2(a)に示す隣接する2辺ABの狭角 θ_α から図2(c)に示すメンバシップ関数より P_α を求める。 P_α は2辺ABが同一方向に写像される可能性が高いか、2辺ABが異なる方向に写像される可能性が高いかを表す値である。各辺の適応度の初期値を決定したら、次式より適応度を修正する。

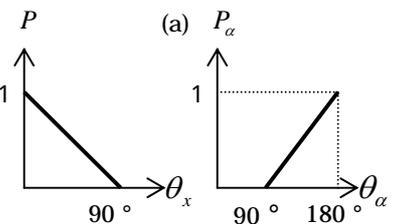
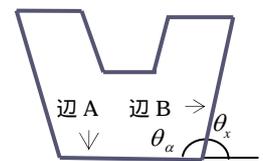


図2 メンバシップ関数

$$\begin{aligned} &) \theta_\alpha \geq 0.5 \text{ の場合} &) \theta_\alpha < 0.5 \text{ の場合} \\ \Delta P'_B &= \beta(P_\alpha - 0.5)P_A P_{\zeta B} \dots(1) & \Delta P'_B &= \beta(0.5 - P_\alpha)P_{\eta A} P_B \dots(3) \\ \Delta P''_B &= -\beta(P_\alpha - 0.5)P_{\eta A} P_{\eta B} \dots(2) & \Delta P''_B &= -\beta(0.5 - P_\alpha)P_A P_{\eta B} \dots(4) \end{aligned}$$

は修正速度を決定する係数で0.05としている。これより、辺Aの影響による辺Bの適応度の修正を行う。

$$P_{B(i+1)} = P_B + \Delta P'_B + \Delta P''_B \dots(5)$$

全ての辺のPの値が0か1に収束するまで式(1)~(5)の計算を繰り返す。

P = 1の場合は 軸に平行な辺へ、P = 0ならば 軸に平行な辺へ写像される。

キーワード：風況解析、有限要素法、写像、解析メッシュ

連絡先：千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 Tel03-3259-0411

2-2. **線分の長さの決定** 図3(a)より，幾何モデルの各方向別の線分の長さ S_i を式(6)より求める．

$$S_i = \sum_{j=1}^{N_i} s_{ij} \dots (6) \quad \left. \begin{aligned} T_1 = T_3 = (S_1 + S_3)/2 \\ T_2 = T_4 = (S_2 + S_4)/2 \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

s_{ij} は幾何モデルでの線分の長さを示す．図3(b)より，認識モデルの各方向別の長さの和 T_i を式(7)より求める．これより認識モデルにおける辺の長さ t_{ij} を決定する．

$$t_{ij} = (T_i / S_i) s_{ij} \dots (8)$$

ここで，認識モデルを作成する二つ目の手順として内角が全て 180° 以内の図形においては，その各線分が持つ元々の適応度を調べ，0 か 1 の近いほうの数値に収束させ認識モデルを作成する．図4は正20角形の幾何モデル(a)，認識モデル(b)を示す．

3. **解析メッシュの生成** 認識モデルを取り除いた領域を直交格子状に要素分割し写像モデルを作成したら，構造物の辺上の節点座標を求め，これを境界条件として写像モデルと実空間の写像関係を表す方程式を解き解析メッシュを作成する．Laplace 方程式と弾性体の支配方程式を解き解析メッシュを作成し，双方を検討した．

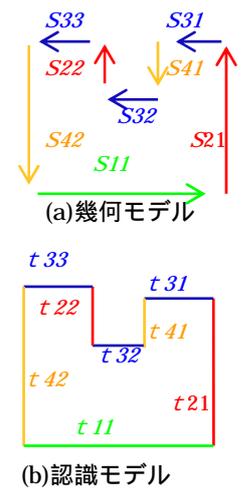


図3 線分の方角の分割

[1], Laplace 方程式

$$\frac{\partial^2 x}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial \eta^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 x}{\partial \eta^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial \eta^2} = 0 \dots (9)$$

[2], 弾性体の支配方程式

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left\{ \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial u}{\partial \eta} + \nu \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial \eta} \left\{ \frac{E}{2(1+\nu)} \left(\frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) \right\} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left\{ \frac{E}{2(1+\nu)} \left(\frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial \eta} \left\{ \frac{E}{1-\nu^2} \left(\nu \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) \right\} = 0 \dots (10)$$

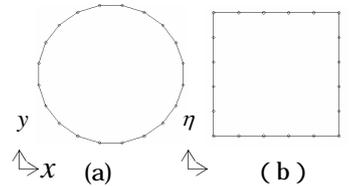
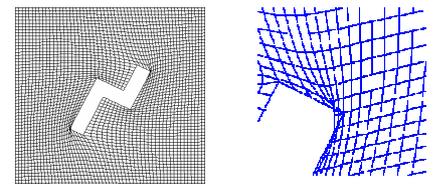
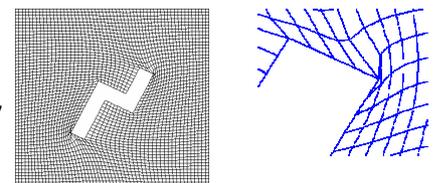


図4 幾何モデルと認識モデル

図5において(a)は Laplace 方程式，(b)は弾性体の支配方程式 ($\nu = 0.45$) を解き作成した解析メッシュを示す．Laplace 方程式より作成したメッシュはメッシュが物体内部に食い込んでしまった．また，弾性体の支配方程式の結果はメッシュが物体内部に食い込むことなく，またポアソン比の値を変えてメッシュを作成したところ値が 0.5 に近づくにつれて非圧縮性が増し物体の角周辺のメッシュのひずみが低下した．(図6)



(a)Laplace 方程式



(b)弾性体の支配方程式 ($\nu = 0.45$)

図5 解析メッシュ

以上の結果より弾性体の支配方程式を用いメッシュ作成をした．

4. **ひずみの平滑化** 物体の角付近にひずみの大きな要素が集中するので要素のひずみが領域全体で平滑化させるよう以下の操作を行った²⁾ 式(10)を解くことで作成される解析メッシュの各要素のひずみ $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ を算出し式(11)で表されるひずみのノルム $\bar{\varepsilon}_e$ を各要素ごとに求める．

$\bar{\varepsilon}_e$ が最大となる要素を基準として各要素の重み C_e を式(12)より求める．

$$\bar{\varepsilon}_e = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \gamma_{xy}^2} \dots (11) \quad C_e = 1 + \frac{\bar{\varepsilon}_e}{\varepsilon_{e \max}} \alpha \dots (12)$$

α は重みの幅で，今回は 20 とする．

各要素のヤング率を $C_e E$ として式(10)を再度解き，メッシュを作成する．

以上の手順でひずみの小さい解析メッシュを作成することができた．

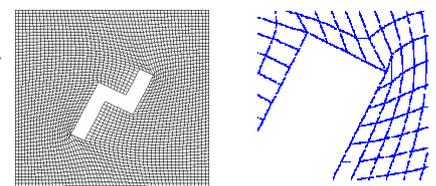


図6 $\nu = 0.499$ のときのメッシュ

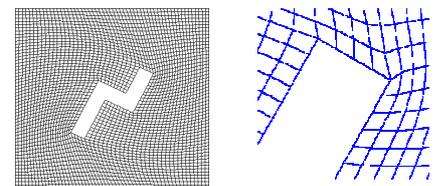


図7 重み操作後のメッシュ

参考文献

- 1) 清水，高橋，千葉，山下：日本機械学会論文集(A 編)，59 巻 565 号 pp188-195，1993
- 2) 野村，西村：土木学会論文集，No. 455/I=21，pp65-74,1992. 10