

CAD/GIS を用いた自動要素生成法による 構造物周り流れ解析のための三次元都市モデリング

中央大学大学院	学生員	○ 浜田 秀敬
中央大学	学生員	塩海 充由
中央大学	学生員	桜井 紘己
中央大学	正会員	櫻山 和男
岡山大学	正会員	谷口 健男

1. はじめに

都市の大気環境シミュレーションを高精度に行うためには、地形や構造物を正確に表現した都市モデルを作成する必要がある。

本研究は、CAD と GIS を用いた自動要素生成法による三次元都市モデリング手法の提案を行うものである。地形と建物の情報は数値地図から取得し、CAD および GIS を用いて幾何形状を作成した上で要素生成を行う。三次元解析のための四面体要素生成手法としては、三次元 Delaunay 分割法を用いている。本手法の有効性を示すため、実際の都市に対するモデリングを行い、非圧縮粘性流体の解析を行った。

2. 都市モデルの作成

都市モデル作成の流れを図-1に示す。本報告では東京都豊島区池袋地区サンシャインビル周辺のモデル化を例に本手法について説明する。



図-1 都市モデル作成の流れ

(1) 地表面幾何形状の作成 (フロー A)

まず、GIS ソフトの ArcView8.2 により、数値地図データを読み込み編集することで、都市の地表面幾何形状を生成し、有限要素分割に必要な節点情報を取得する。数値地図データ 50m メッシュより標高値を、デジタルデータの MAPPLE2500 より構造物の二次元平面での幾何形状を取得する。本例題では、モデルの対象とした構造物周辺での標高値の差異がなくほぼ平らであるため、等高線を考慮していないが、起伏のある場所では等高線を考慮することでより微地形を表現することが可能となる。

(2) 地表面の要素分割 (フロー B)

GIS により得られた節点情報を用いて地表面の有限要素分割を、修正 Delaunay 法¹⁾により行う。この際、モデリングの領域を外部境界とし、構造物境界を内部境界とすることで構造物内部に要素が生成されないよう分割する。また、モデル領域内に新節点を発生させることで要素の歪みをなくし、数値解析に適した有限要素分割を行う。地表面形状の起伏が激しい場合には、GIS により作成した等高線のデータを基に、等高線が必ず有限要素の辺になるように要素を生成する。地表面の有限要素分割図を図-2に示す。

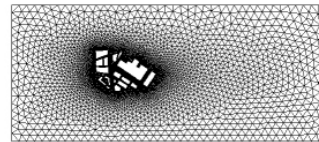


図-2 地表面の要素分割

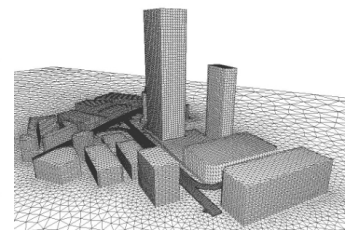


図-3 構造物表面の要素分割

(3) 構造物幾何形状の作成 (フロー C)

地表面の要素分割データは直接 CAD に読み込むことができないため、CAD システムに共通な図面フォーマットである DXF ファイル形式への変換を行う。この変換作業により、CAD データと GIS データの統合が実現される。そして、DXF ファイルに変換した地表面の要素分割データを AutoCAD に読み込み、構造物の幾何形状を作成し、有限要素分割に必要な節点情報を取得する。

(4) 構造物表面の要素分割、地表面と構造物表面の要素結合 (フロー D,E)

CAD により得た節点情報を座標データに変換し、有限要素分割を行う。この際、構造物側面は、ラグランジュ補間法により構造物側面に節点を発生させた上で、有限要素分割を行う。その他の構造物表面に対しては、修正 Delaunay 法により有限要素分割を行う。そして、得られた構造物表面のデータを再び DXF ファイルに変換し、CAD 上で地表面と構造物表面の有限要素データを結合することで、図-3に示すような地形と構造物の形状モデリングとその表面に対する要素分割が完成する。

KeyWords: CAD, GIS, 数値地図, 大気環境シミュレーション, 都市モデル, 三次元 Delaunay 分割法

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1815 FAX 03-3817-1803

(5) 開境界の作成 (フロー F)

形状モデリング領域の境界上の節点情報を基に、構造物表面と同様に開境界を要素生成する。これにより、三次元 Delaunay 分割法の入力データとなる領域表面の表面三角形分割が完成する。

(6) 三次元 Delaunay 分割 (フロー G)

CAD と GIS を用いて作成した表面三角形の有限要素分割データを入力データとし、解析領域内部を三次元 Delaunay 分割により四面体要素を生成する。三次元 Delaunay 分割はアルゴリズム上、非凸形状を表現することができない。そこで本報告では、コピー点を設置し、任意形状を考慮した四面体要素分割を行った²⁾。コピー点はある節点 p に注目した場合、節点 p を共有する面の全ての法線ベクトルを求め、それら全ての平均を節点 p からの法線方向とし、領域外部に設置する仮節点である。

コピー点を設置し三次元 Delaunay 分割を行うと 3 種類の要素が生成される (図- 4 参照)。

1. コピー点と表面の節点からなる四面体要素
2. コピー点のみからなる四面体要素
3. 表面節点のみからなる四面体要素

ここで、1 と 2 の要素を除去することにより任意形状での三次元領域を表現することが可能となる。

表面形状の表現には、領域表面の節点およびそれらの節点のコピー点のみで四面体要素を生成するため、生成される四面体要素は非常に偏平なものになってしまう。そこで領域内部に新節点を発生させ、四面体要素の細分割を行うことで、数値解析が可能な四面体要素を生成する必要がある。この際、構造物の表面など物理量の変化の激しい部分は四面体要素が細くなるような要素の粗密付けをするため、新節点の発生にはそれらを考慮した要素サイズ関数 f_p を用いた (図- 5 参照)。図- 5 はわかり易くするため二次元で見た図である。この d_{min} 、 d_{max} の距離の関数により要素サイズを自由に変化させることが可能となる。

三次元 Delaunay 分割後の x 方向断面と、 y 方向断面の要素可視化図を図- 6 に示す。

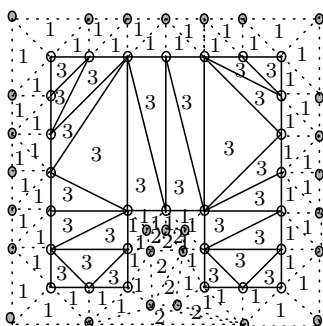


図- 4 コピー点の設置

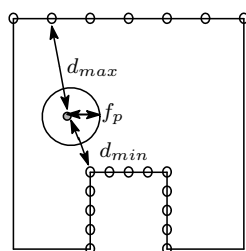
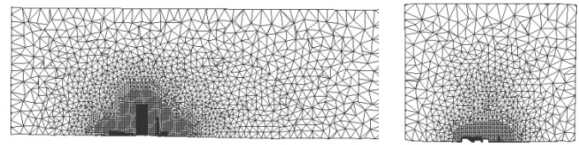


図- 5 要素サイズ関数



総節点数 = 81106, 総要素数 = 353121

(左 : x 方向断面図, 右 : y 方向断面図)

図- 6 三次元 Delaunay 分割後の四面体要素

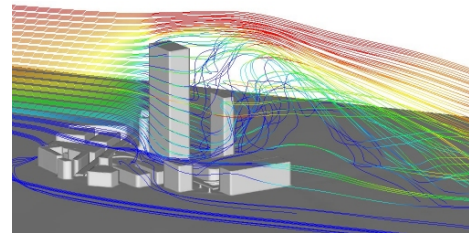


図- 7 非圧縮性粘性流体解析の流線可視化結果

(7) 数値解析例

本手法の有効性を検討するために、生成した有限要素メッシュを用いて、Navier-Stokes 方程式に基づく非圧縮性粘性流体解析に適用した。解析モデルには図- 6 に示す四面体要素を用い、解析の際には、松本らによって提案された安定化気泡関数要素³⁾を用いている。解析の結果可視化図を図- 7 に示す。

3. おわりに

本報告では、CAD および GIS を用い、地形と構造物を正確に考慮した都市モデル作成を行った。そして、生成された有限要素を用いて解析を行い、本手法の有効性を示し以下の結論を得た。

1. CAD および GIS を用いることで、地形および構造物を正確に表現した都市のモデル化が可能となった。
2. 作成した都市モデルを三次元 Delaunay 分割により四面体要素を生成し、また要素サイズ関数を用いて新節点を発生することで、三次元解析に適した四面体要素分割が可能となった。これにより、構造物周りの複雑な気流の流れを捉えることができた。

今後は三次元都市モデルを迅速に行えるようにし、さらに三次元 Delaunay 分割法の改良を行い、解析の精度について検討する予定である。

参考文献

- 1) 谷口健男：FEM のための要素自動分割，森北出版（株），1992.
- 2) 山下優耶，森脇清明，谷口健男：3 次元体表面上の点座標が与えられた場合の形状生成法，日本計算工学会論文集，Vol.3,2001.
- 3) J.Matsumoto and M.Kawahara：Shape Identification for Fluid-Structure Interaction Problem Using Improved Bubble Element,IJCFD,2001,Vol.15,pp.33-45.