

# CAD/GIS を用いた都市の形状モデリングと 三次元 Delaunay 分割への適応

中央大学大学院	学生員	浜田 秀敬	
	DTS	非会員	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

騒音や大気汚染等の環境問題を数値シミュレーションによって高精度に評価するためには、地形や構造物を正確に表現した都市のモデル化が重要となる。近年都市のモデル化に用いられるデジタルデータとして、航空写真測量を基に作成された二次元 GIS データや、都市部においてはレーザー測量を基に作成された三次元 GIS データがある。しかし、これらの GIS データには、高架橋等の土木構造物が考慮されていないといった問題がある。

そこで本研究では、CAD と GIS を用いて地形と構造物を正確に表現した形状モデリング手法を構築した。そして、作成された都市のモデルを三次元 Delaunay 分割法に適用することで、空間領域を四面体要素に分割し、三次元解析に適した要素分割を行った。本手法を実際の都市のモデル化に適用してその有効性を示す。

## 2. 都市モデルの作成

図-1 に本モデリング手法のフローチャートを示す。以下にその手法について詳しく述べる。

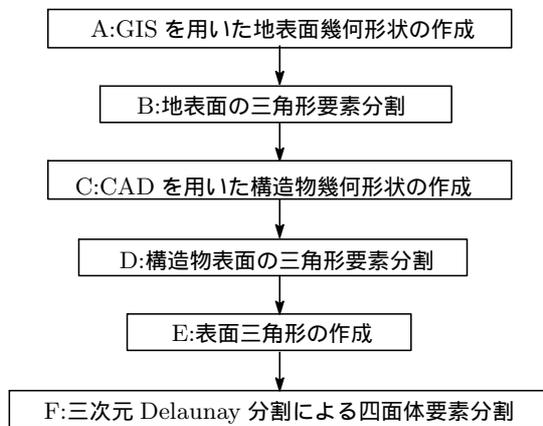


図-1 都市モデル作成の流れ

### (1) GIS を用いた地表面データの作成手法 (フロー A,B)

数値地図 50m メッシュ (国土地理院発行) と、二次元平面での住宅情報地図 MAPPLE2500(昭文社発行) の空間データを GIS 上で編集することにより、標高値と建物情報を取得する。このとき、MAPPLE2500 上の高架構造物に関しては、三次元性を有するため考慮していない。次に、GIS により取得した地形及び建物情報から修正 Delaunay 法<sup>1)</sup>により三角形要素を生成する。地表面の三角形要素分割図を図-2 に示す。なお、GIS ソフトとしては ArcView3.2 を用いた。

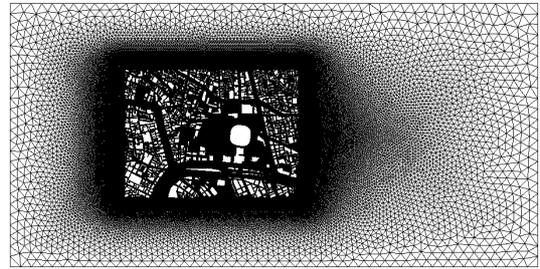


図-2 地表面の三角形要素分割図

### (2) 構造物データ作成手法 (フロー C,D)

地表面の三角形要素から、AutoCAD2004(以降 CAD とする)を用い、構造物の三次元幾何形状を作成する。地表面のデータは txt ファイル形式であるため、直接 CAD に読み込むことができない。そのため、CAD システムに共通な図面フォーマットである DXF への変換を行う。データ変換には、C++言語によって作成した変換ツールを用いた。図-3 は構造物の作成過程を示しており、実在する複雑な幾何形状を有する構造物をモデルに説明する。

まず、CAD に読み込んだ地表面のデータから、モデリング対象となる構造物の境界上の節点を取り出す。そのデータを基に構造物の幾何形状を作成していく。これにより、地形を考慮した構造物をモデリングすることが可能となる。

建築構造物の三次元幾何形状の作成は、複雑な幾何形状を有する構造物において、実際の構造物の写真や一般に公開されているデータを基に、CAD 上で形状モデリングを行った。その他の構造物に関しては、MAPPLE2500 の属性データである最上階数データを用い、最上階数×4m を構造物の高さとし、二次元平面の構造物形状をそのまま立ち上げている。また、最上階数のデータを持っていない構造物に対しては二階建てと仮定した。

首都高速道路のように三次元性を有する構造物の場合は、地形データから直接幾何形状を作成することができない。そこで MAPPLE2500 より構造物の形と位置情報を取得し、それを基に幾何形状を作成する。

CAD によって得られた幾何形状の情報から、修正 Delaunay 法又は、ラグランジュ補間法により節点を発生した上で三角形要素分割を行っている。

### (3) 表面三角形の作成 (フロー E)

地表面と構造物表面の三角形要素を結合することで、地形と構造物を考慮した形状モデリングが完成する。地形デー

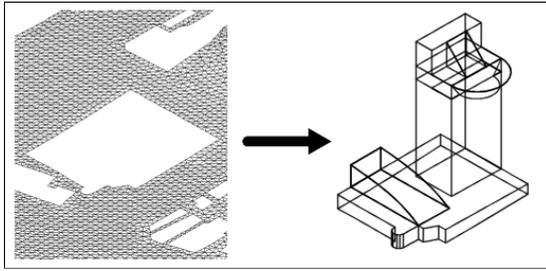


図-3 構造物の作成過程

タと構造物データを DXF ファイル形式へと変換し、CAD 上で結合する。図-4 は形状モデリングの完成図である。

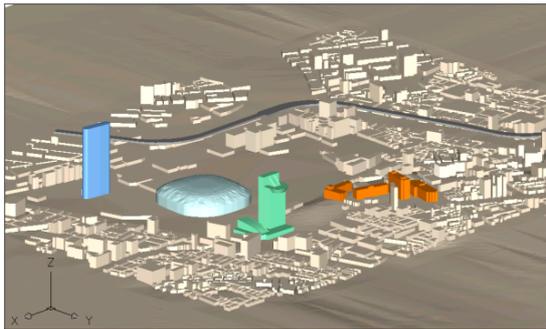


図-4 形状モデリング (文京区)

#### (4) 三次元 Delaunay 分割 (フロー F)

CAD と GIS を用いて作成した表面三角形の三角形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。この手法は生成された各要素の外接球に他の節点を含まないことから、要素の形状が良いという長所がある反面、節点の位置に依存した四面体要素が生成される。また、境界という概念を持たないことから、境界表面を貫く要素が生成されることがある。そこで本報告では谷口らによって提案された、コピー点を用い、任意形状を考慮した四面体要素分割を行った<sup>2)</sup>。

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。

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. 境界表面上の節点のみからなる四面体要素

ここで、3 の要素を削除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。

しかしながら、本研究においてコピー点を用いても境界を貫く不適切な要素が生成されることが確認された。これらの要素は、CAD と GIS による形状モデリングによって生成された、表面三角形の節点配置の不適切さによるものである。図-5(二次元図)の(A)に示すように、境界面同士が近接している境界形状有するモデルにおいて、境界表面上の節点間隔が大きいと、(B)のように境界を貫いた不適切な要素が生成される。そこで、入力データである表面三角形を用い、境界表面が表現されているか判定する。もし、

(B)のように境界表面が生成されていない場合、その表面状に新たに節点を追加し Delaunay 分割する。これを(C)のように境界表面が生成するまで繰り返す。最後に境界表面状の節点のみからなる 3 の要素を削除することにより、境界を貫く不適切な要素を防ぐことができる。

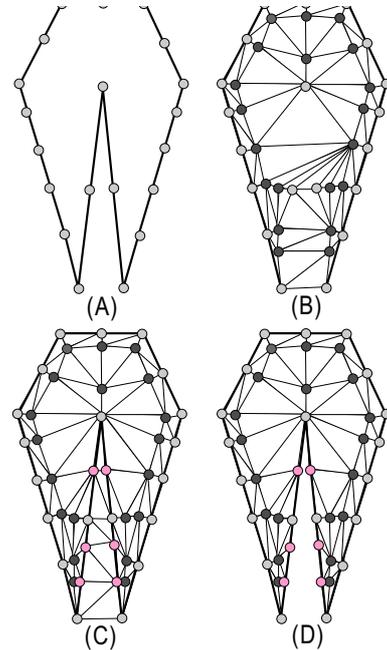


図-5 境界を貫く要素の発生と節点の発生

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の歪みが大きい。数値解析を行うには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を用いた<sup>3)</sup>。

三次元 Delaunay 分割により得られた有限要素分割図とその有限要素を用いた解析結果は、講演時に示す。

### 3. おわりに

本論文では、大規模な都市モデルを作成するため、GIS と CAD によるモデリング手法を構築した。その結果 CAD と 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であることを示した。

今後は地表面の被覆条件や、植生等を考慮した、より正確な都市のモデリングを行っていくと共に、Delaunay 分割の信頼性の向上のため、アルゴリズムの改良を行う予定である。

#### 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) 浜田秀敬，桜井紘己，高瀬慎介，櫻山和男，谷口健男，'CAD/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'，日本計算工学会論文集，Vol.3，pp.845-848，2003