

東京大学工学部 学生員 ○西尾 崇
 東京大学工学部 正会員 清水 英範
 東京大学工学部 正会員 柴崎 亮介

1. はじめに

近年、都市域においては、建物の高層化・地下空間利用の拡大など、土地をより高度に活用しようという動きが盛んである。このような情勢のもと、都市計画、都市施設の設計・施工・維持管理といった種々の都市行政を従来のような平面的な地図に基づいて行うことは不十分な状況になりつつあり、都市の構造物の分布・形状や利用状況など各種のデータを3次元的に管理、利用することの可能な3次元数値地図システム開発¹⁾への要請が強まってきている。

3次元数値地図において地表面は地上と地下を区別する境界であり、構造物の高さや深さの基準となる。そこで、各構造物を立体的に関係づけるためには地表面の形状が正確に表現できることが不可欠である。そのため、3次元数値地図を作成するためには地表面をどのように効率的かつ正確に表現するかが大きな課題となっている。

地表面を数値的に表現するための方法は従来から数値地形モデルとして様々なものが提案されている。しかしその対象となっていたのは、比較的縮尺が小さく表現すべき構造物の多くない自然的な地形であり、それとは性質を異にする都市域の地形の大縮尺表現にそのまま適用するのは適切ではない。

そこで本研究では、3次元数値地図の対象となる都市域における地表面の表現方法について考察し、それに基づき数値地形モデルの構築方法を提案する。

2. 数値地形モデル

(1) 数値地形モデルの概要

数値地形モデルとは計算機により管理することを目的として地表面を数値表現したものである。最も簡単な表現方法は2つの変数 x , y による関数 $z = f(x, y)$ によるものである。しかし、実際の複雑な地形が一つの関数形で表せることは少ない。そこで何点かの代表データ（計算機に管理するデータ）から他の点の z 座標を近似的に求めるのが現在多く用

いられている方法である。この内挿の方法によって数値地形モデルは次の3つに分類できる。

①三角網 (TIN) モデル

②等高線図モデル

③グリッドモデル

TIN (Triangulated Irregular Network) モデルは代表的な標高点を頂点とする三角形群で地表面を分割し、その三角形平面の集合として地表面を表現する方法であり、代表データとしては標高が既知の点を選べる。そのため、重要な地形だけ標高点を多くとることも可能である。等高線図モデルはこれまで平面地図に用いられてきた等高線をそのまま線の情報として計算機に導入する方法であり、等高線上の点が代表データとして選ばれる。この方法は地形の傾向や特徴を人間に分かりやすい形で表示できる点に特色がある。グリッドモデルは縦横に区切ったグリッド点の標高を代表データとして保存する方法である。これは平面座標を規則的に配置することにより空間検索などの計算機処理が容易にできる点に特色がある。

(2) 都市域の地形の特徴

従来構築されてきた数値地形モデルは、比較的小縮尺で、表現すべき構造物の多くない自然的な地形を主な対象としていた。このような地形において数値地図を作成する場合には、代表データから他の点の標高を内挿するという従来の方法で実用上の問題は特にない。しかし、都市域では道路設計や住宅地開発などにより地形が人工的に改変されており、道路周辺の切土や盛土などはその代表例としてあげられる。このように都市域における地表面の形状は人工構造物などから制約を強く受けており、それらが大縮尺で正確に表現するためには、代表的な標高点のとり方やそれらを用いた内挿の方法を工夫する必要がある。

そこで本研究では、従来のモデルが地形表現の制約データとして点データを用いていたのに加え、線

分を地形の制約データとして代表面の内挿を行う方法を提案する。なお、このように地形表現上、確保しなければならない線をブレイクラインと呼ぶ。

（3）採用する数値地形モデル

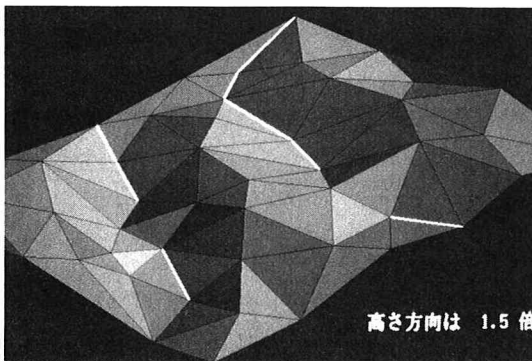
地表面の形状が必ずブレイクラインを含むように内挿する方法としてはTINモデルが最も適していると考えられる。すなわち、TINモデルにおいてはブレイクラインを必ず三角形の一辺にすることによって、他の方法と比較して容易にこの問題に対応できるからである。また、このモデルは等高線モデルやグリッドモデルへの変換もできるなど汎用性に優れている。そこで、本研究ではTINモデルに基づいて数値地形モデルを構築することとする。

3. 数値地形モデルの構築

（1）三角形分割

標高点を用いて地表面を三角形分割する方法は幾通りも存在する。この時に地表面上の点をなるべくよい精度で内挿するためには、その点に最も近い3点で三角形がつくられていなければならない。そのためには、分割された三角形ができるだけ正三角形に近くなるようにすることが要求される。これに応える最適化の方法としては様々な方法があるが²⁾、ここでは三角形群の最小の角が最大になるようにする（最小角最大原則）方法を用いて三角形分割を行う。この原則によれば次のようなアルゴリズムで三角形分割は一意に行える³⁾。

- ①任意の3点を選ぶ
- ②その3点を頂点とする三角形の外接円を描く
- ③円内に他の点があればその三角形を採用する



(a)

（2）ブレイクラインの導入

ブレイクラインが必ず三角形の一辺となるように分割するのは、以下の方法による。

- ①上述のアルゴリズムによって作成された三角形のうち、その辺がブレイクラインと交差する三角形の頂点を選び出す。
- ②ブレイクラインの左右両側において各々同様のアルゴリズムで三角網を再構成する。

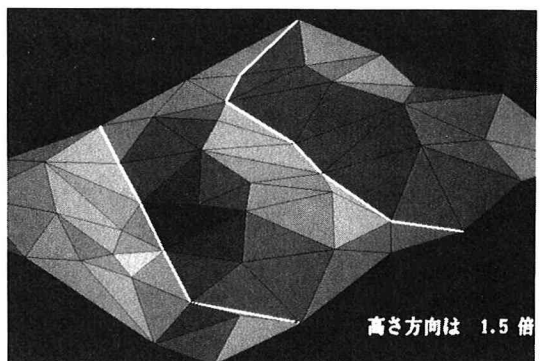
これによってデータ量を増加させることなくブレイクラインを考慮できる。道路中心線をブレイクラインとした場合の三角形分割の例を写真1に示す。ここで(a)はブレイクラインを考慮しなかったために道路の縦断勾配が非現実的な変化をしている例を示している。一方(b)は構築した手法によって三角網を作成しなおした例である。

4. おわりに

本研究では都市域を対象とした3次元数値地図に適した地形の表現方法について考察し、TINモデルに基づく数値地形モデルを構築した。この数値地形モデルは、ブレイクラインを必ず三角形の一辺にすることにより都市域の地形を正確に表現することが可能である。

【参考文献】

- 1) Shibasaki, R., E. Shimizu and H. Nakamura: Three Dimensional Digital Map for An Urban Area, Int. Archives of Cartographic and Data Base Applications of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission IV, Int. Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1990.5
- 2) 伊理正夫: b i t 別冊 計算幾何学と地理情報処理(1986.9) pp. 126-128
- 3) 岸本一男: 領域の最適三角形群への分割アルゴリズム, 情報処理(1978.3) Vol. 19 No. 3



(b)

写真1 道路中心線をブレイクライン（白線）とした三角形分割