

II-2 地下空間の3次元管理支援システムの構築

株式会社 構造計画研究所 小林伸一
株式会社 構造計画研究所 久保 清
岡山大学環境理工学部 谷口健男

1. はじめに

今日、多くの都市地域において下水道、共同溝、また大都市では地下鉄といった地下構造物の施工が行われている。それらの計画・設計では地表面を含めた地下空間の3次元的な有効利用が、また施工においては安全性の確保が望まれる。そのためには、地表面上の情報を集合した地理情報システム(GIS)、地下空間の地層・岩盤の情報を集合した地質情報システム(GIS)、そして既設地下埋設物の情報である施設管理システム(FM)を統合化したシステムの開発が必要である。このシステムの開発の第一段階としてその空間に位置する全ての形状の表現が不可欠になる。これら3種類の情報システムで扱われる対象の幾何学的特性を調べると、前2者は自然に作り出された形状であるのに対して、最後の対象は人工物である。さらに、前2者について更に詳しく調べると、前者では非常に多くのデータが与えられるのに対して、後者では一般に非常に少ないデータしか与えられないのが通常である。これらの情報の違いを踏まえて、本研究ではこれら3種類のデータを有効に用いて、個々の対象の3次元形状を表現できるソフト・ウェアを提案した後、それらを用いてこれら2種類のGISとFMを統合化した地下空間3次元管理システムの構築を目指して開発を進めてきた結果を発表するものである。

2. データの種類とそれらを用いた形状表現法について

まず、地理情報システム、地質情報システム、そして施設管理システムで取り扱われる対象物の形状表現を行う手段を確立するため、それらで取り込まれる形状のデータについて具体的に述べる。

地理情報システムでは地表面の形を3次元的に表現する手段が要求されるが、そこで与えられる地形情報のデータとしては、等高線情報であるコンターデータや地表の利用形態の違いを区別する境界線情報といったもののいである。それらは点情報(3次元座標値)と点の順序といったものであり、既に多くのソフトウェアが開発され、利用されている。例えばTINがその一例である。本研究では少なくとも点座標値だけは与えられるものと想定して、筆者の一人が既に提案した修正2次元デローニー三角分割を基本とした地表面の三角分割法を用いることにする。[1] この方法を用いると、単なる点情報だけでなく等高線情報や地表の区分線といった線情報も取り込むことが出来、結果的に地表面を三角形で覆い尽くすことが可能となる。

地層や岩盤の形状表現では多くの場合地表の場合と異なり、余りに少ない情報しか与えられないのが通常である。例えば、ボーリング・データがその一例である。この場合、対象形状を表現するのに必要な点データが不足するため、形状表現に必要なデータ(点)を適切な内挿法で追加発生させ、数学的手段で面を作成する手法を採用する。より適切な表面形状を提案できるようにここでは幾つかの面の形状の中からユーザが選択できるようにする。

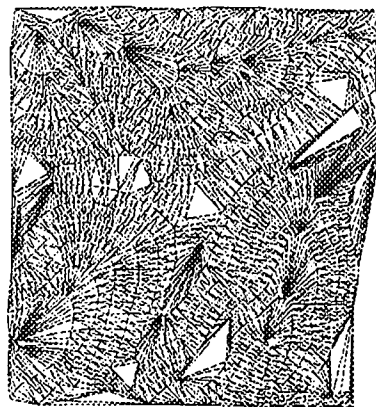
しかしながら場合によっては、地表面と同様に地層の形状を表現するために必要十分な点情報(例えば地層のコンター・データ)が与えられる場合もある。また、地層形状は地表面に比べて一般に複雑な場合(褶曲や断層の存在)が見受けられる。これらの場合を想定して、もし対象形状が比較的簡単な場合では地表面の生成と同様に修正デローニー三角分割の利用で、また幾何学的に複雑な場合では3次元デローニー三角分割を利用して、地層表面の形状を三角分割する方法を提案する。

既設地下埋設物や計画されている地下構造物の形状は人工物であることより、CADを用いて容易にその3次元形状を表現できる。一度、その形がフレームで表現できれば、その表面を三角形で覆い尽くすことは容易である。この様に、人工物の形状表現にはCADシステムを用いた手法を採用することにする。

3. 実際の3次元形状の表現手段

3.1 地表面の生成

地表面上に位置する点の座標値が与えられたとする。そのデータに対して修正デローニー三角分割を利用すると与えられた点の支配する凸空間が三角形で覆い尽くされる。コンター・データや地表面の区分線といった追加データがある場合、修正デローニー三角分割を一部修正して設定された点間の結合を達成した上で、表面を三角分割することが出来ることは既に提案済みである。[2] また、コンピュータ・グラフィックス上問題のあるいわゆる棚田現象についてもそれを解消する手段は同様に提案され、実用化されている。以上より、地表面の形成とその三角分割は修正デローニー三角分割を基本として可能となる。



3.2 地層・岩盤形状の生成

個々の地層・岩盤の形状は一つ一つ取り出して作成する方法を採用する。なお、ここでは上に述べた分類に従って、順次形状表現法を説明する。

データ数が少ない場合：

この場合、下記の数学的な関数の内からユーザが適切なものを選択し、その関数を用いた形状を与えられた点群を用いて作成する方法を採用する。なお、ここで準備している関数としては、ラグランジェ、スプライン、ベジエ、3次関数を準備している。与えられた点群を用いて、まず適切な内挿法により必要な点を発生させ、次いで、選んだ関数を用いて座標位置を決定し、その後表面上の点群を用いて三角分割する。

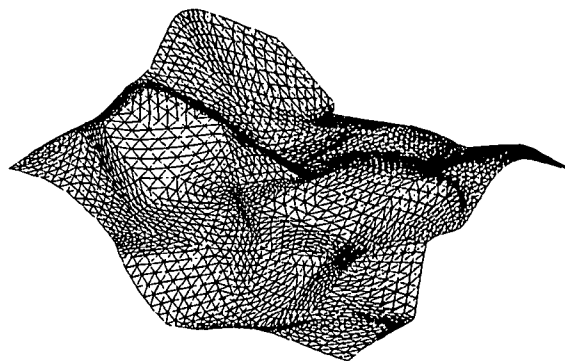


図2 三角分割された地層面の一例

データ数が十分であり面の形状が簡単な場合:

地表面の生成と同様に与えられた点群の(x, y)座標値だけを用いて2次元修正デローニー三角分割により、点群の支配する領域を三角形に分割し、その後z値を入れて3次元形状を表現する。

データ数が十分であるが面の形状が複雑な場合:

与えられた点の3次元座標値に対して3次元デローニー分割を適用すると、点群の支配する3次元凸領域が四面体に分割される。領域外部の不要な外部四面体を排除して、残された四面体の表面三角形だけを取り出すと、対象とする3次元形状が三角形で覆い尽くされる。なお、不要な四面体の排除法や対象形状の認識については今後の課題として残されている部分があることを注意しておく。

3・3 人工物の形状生成

CADシステムを利用して3次元形状をフレーム表現した後、フレームと定義した面上に点を設定し、それら点群を用いて表面を三角形で覆い尽くす方法を採用する。

4. 3次元地下空間形状の生成

前章においては、地表を含め地下空間に位置する全ての3次元形状の表面を独立して三角形で覆う手法を述べた。しかしながら、実際の3次元形状はこれらの多くの3次元形状が互いに交差しあっていることより、独立して生成された形状(表面が三角形で覆い尽くされている)の間の交差計算が必要となる。本章の目的はこの交差計算の説明を行うことにある。

二つの三角形の交差により交線が発生することよりそれら二つの三角形は交線を用いて三角形に再度細分割されなければならない。また3つの三角形の交差は交線だけでなく交点をも発生させることになる。よって、この場合には交点と交線を用いて関係する三角形を小三角形に細分割することになる。

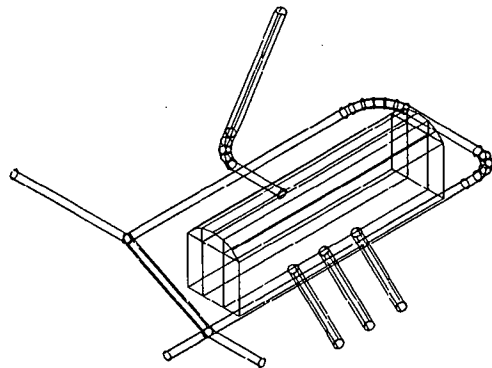


図3 CADによる人工物の形状

いま、三角分割された二つの面(異なる二つの対象物の表面)を考える。それぞれから一つずつの三角形を取り出すと、それらは次のいずれかとなる。

場合1: 平行な二つの面上に位置する場合

場合2: 同一面上に位置する場合

場合3: 交差する場合

場合1は排除できる。場合2では交差が無い場合と交差が存在する場合に分けられ、交点の数として0~6の場合が考えられる。場合3が通常の二つの三角形間の交差のケースとなり、交点数としては0~2が考えられる。場合1と2の扱いは比較的簡単であることより、ここでは説明を省く。

場合3では以下の様な扱いによって交差計算を行う。一方側の三角形の面に対して他方側の三角形の3辺が交差するかどうか、それとは逆に交差が発生するかどうか、の判定と交点の計算を行う。この操作を繰り返し、二つの面上の個々の三角形内(その辺上を含める)に交点と交線の情報を追加する。全ての交差計算の後、個々の三角形について新しい交点と交線情報を考慮してその三角形を小三角形に細分割する。

5. 結果と考察

図1に等高線データから作成した地表面の三角分割結果を示す。図2は一つの地層の表面の三角形分割を、そして図3は地下構造物のCADによるフレームを示す。これらの結果を同一空間内に設定し、三角形表面同士を交差させ、交点と交線を基に関係する三角形を小三角形に細分割した最終結果は図4に示す。この様に本研究で提案した手法は地表面、地層そして人工物が交錯する地下空間の3次元形状を表現する有効な手段として利用できることが判明した。

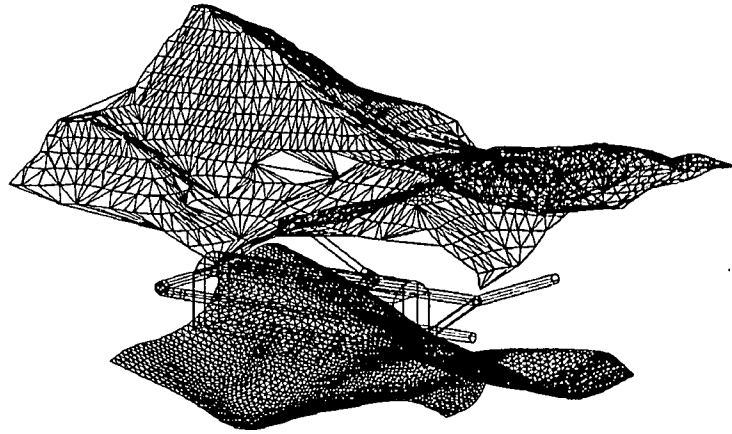


図4 地下空間の3次元形状

6. あとがき

本研究で提案した手法は、地下空間に存在する個々の3次元物体の表面形状を独立して生成し、その後それらを互いに交差させ、実際の空間形状を表現するというものである。本研究の結果、そのシステムの概略は出来上がったものといえよう。しかしながら、次のような問題も残されている。まず、褶曲した地層といった3次元的に複雑な形状への3次元デローニー分割の利用の問題、そして交差計算の問題である。前者は3次元形状の認識をどの様にして行うかという問題を抱えている。後者では実数値を扱うことより数値誤差の問題を抱える。その問題解決は今後の重要な課題と言えよう。そのためには本研究で提案した手法よりも更にロバストな手法の提案が待たれる。

参考文献

- [1]谷口健男, 'FEMのための要素自動分割-デローニー三角分割の利用-', 森北出版 (1992)
- [2]横山, 谷口, 二宮, 小澤, "自然な地形上に位置する土木構造物のCGデータの作成", 土木情報システム論文集, Vol.3, pp.39-46 (1994)