

II-9 土木施工プロセスのCGデータの生成

岡山大学環境理工学部
岡山大学大学院修士課程
東急建設(株)情報システム部
東急建設(株)施工本部土木設計部

正会員 ○谷口健男
学生員 横山信之
正会員 二宮 功
正会員 小澤靖一

1. まえがき

土木工事の施工プロセスをコンピュータ・グラフィックス技術を用いて画面上に映像として表示することは、一般市民に工事の内容を理解してもらうのに役立つだけでなく、工事現場の関係者に工事の内容や工法の説明・理解を容易ならしめ、工事段階での安全性の向上にも大いに役立つと考えられる。しかしながら、土木工事では地形といった自然な形状を含む場合が多く、現在使用されているCADシステムでは扱いが困難な場合が発生する。そこで本研究ではCADで欠如している自然な形状、およびその加工(例えば、掘削、盛り土等)、土木構造物と一体化といった3次元形状のコンピュータ・グラフィックスデータの生成法を提案する。その方法として地形表面を表現するデータの生成を2次元デローニー三角分割^{1), 2)}で、他の形状のデータ生成にはCADを用いる。ここでは、山間部でのトンネル工事を一例として取り上げ、そのコンピュータ・グラフィックスのデータ生成の手順を説明する。

2. 自然地形の生成とその改良

入力データとして地図より得られる等高線上の節点座標と等高線の高さの間隔だけを想定し、これらのデータを用いて地形のCG用のデータを作成することを考える。地図より拾い出された点の座標は一種のデータ・ベースとして保存されている場合が多い。ここでは工事部分を包含するデータ・ベースを想定して、ユーザが例えば工事部分を含む四辺形(4個の節点座標)を入力して、その領域の内部に位置する全ての節点を拾い出す。(図1参照)

入力データとして節点の座標を考えていることより、デローニー三角分割が最適であると思われる。具体的には、まず入力された全ての節点のx, y座標を用いて2次元デローニー三角分割によって対象領域を三角形分割した後に、z座標を用いて三角形を修正する。これによって生成された三角形の辺によってすべての等高線を表現することができる。この結果得られる形状を示したものが図2である。しかしながら、一つの三角形の3頂点が全て同じz座標を持っている場合には、いわゆる棚田現象(実際は傾斜した三角形であるものが、平面上に位置する三角形となることを言う)が発生し、グラフィックス表示上好ましくないため、そのような三角形を筆者等が以前提案した方法^{1), 2)}で修正する。棚田の解消を行った最終の地形を示したのが図3である。なお、同図では図1で

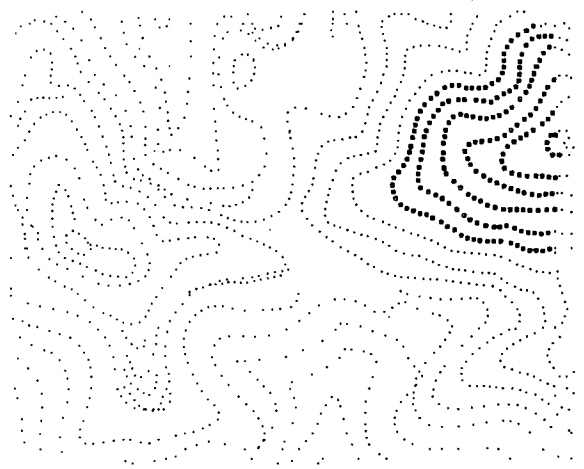


図1 節点

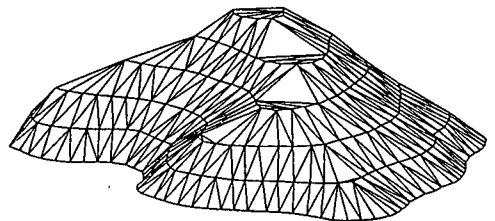


図2 地形図(棚田有り)

拾い出した節点の内、ある標高以上の点だけを選び出して地形表面を作り出している。以上のプロセスの内、棚田処理以外はデローニー三角分割であることより、節点数を n で示すとそれに要する演算時間は $O(n \log n)$ に近いことが知られている^{3)・4)}。この棚田解消アルゴリズムに含まれるループ長を修正・改良した結果、表1に示したように大幅な演算時間の節約が可能となり、高速な自然地形形状の生成が可能となった。

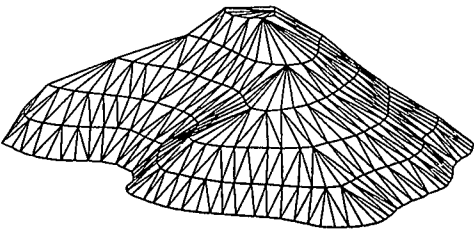


図3 地形図(棚田なし)

3. CADによる人工物の形状生成

3次元CADを用いて人工物の形を定義する。ここで言う人工物とはトンネル、建物、ダムといった構造物だけに限定されず、例えば盛り土、切り土といった平面や曲面の様な幾何学的に単純な形状であってCADの持つ機能でもってその形状を規定できるものを総称することにする。

設置される場所と関係なしに、CADでもって人工物を定義し、得られた形状データをDXFファイルで出力する。このとき、地形データとの整合性を図るために、形状は全て三角形でもって表現する。トンネルの形状を図4に示す。

データの節点数	去年の処理時間	現在
1355	56.11秒	11.41秒
9513	2000.75秒	65.92秒
28843	約7時間	514.29秒
105494		2471.92秒

表1 演算時間

4. 位置決め

地形と人工物の形状は独立に定義されたことより、次のステップはどの位置に人工物を設定するかを与えることになる。言い換えると、2種類のデータを同一座標系に置き換えることである。これはCAD上で形状定義されたデータを一種の剛体変位でもって地形上の位置に移動させることでもって対処できる。両データを一体化させた図を表示したものを図5に示す。同図より分かるように、この場合ではトンネル構造が地形を貫通する形になる。

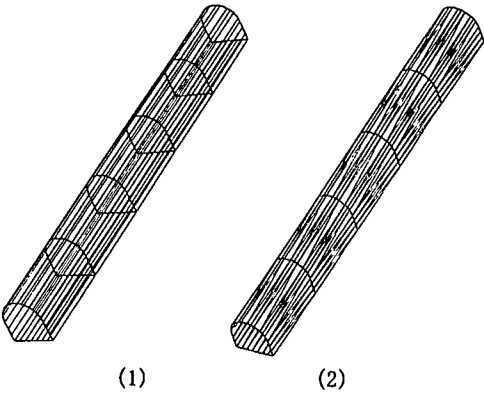


図4 トンネル

5. 地形およびCADデータの加工処理

前節までで作成した地形表面のCG用データにCADデータを合成し、必要に応じて地形およびCADデータの加工等を行わねばならない。即ち、図5よりも明らかなように、三角形で表示された2種類の面を交差させていることより、三角形同士が交わることでその箇所では交線が発生し、3個の三角形の交差によって交点が発生する。交点の出現によって、その交点を用いた既存三角形の修正が必要になる。既存三角形の修正

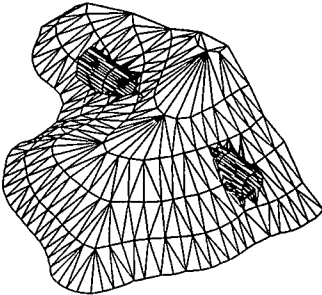


図5 地形表面とトンネル

後、 unnecessary部分、例えば図5におけるトンネル構造の地形より外部に位置する部分や地形表面のトンネル構造の内部に位置する部分を削除する必要がある。

以上をまとめると、この加工処理の基本は「点の追加と削除、線の追加と削除、面の追加と削除」であるが、その基本は1)点の追加・削除による既存三角形の修正・変更と、2)三角形集合の認識の2種類である。1)の既存三角形の修正・変更は交差部の厳密な三角形表現に、そして2)の三角形集合の認識は削除すべき面を拾い上げることを示す。ここで用いている手法はデローニー三角分割であることより、前者については自由に行うことが出来る。後者では作成された三角形集合を包括する線の集合

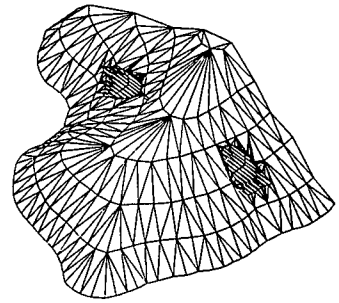


図6 地形表面とトンネル(不要部分削除後)

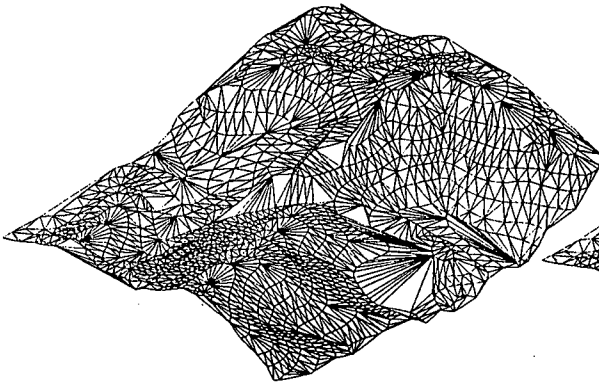


図7-a 地形表面

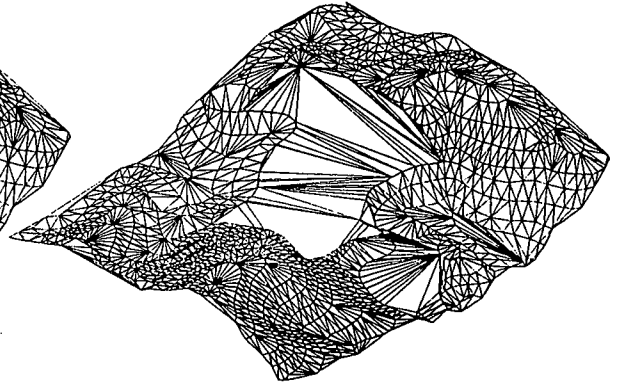


図7-b 切り土

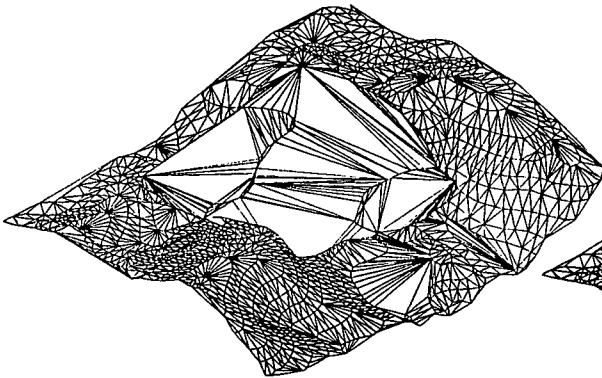


図7-c 盛り土

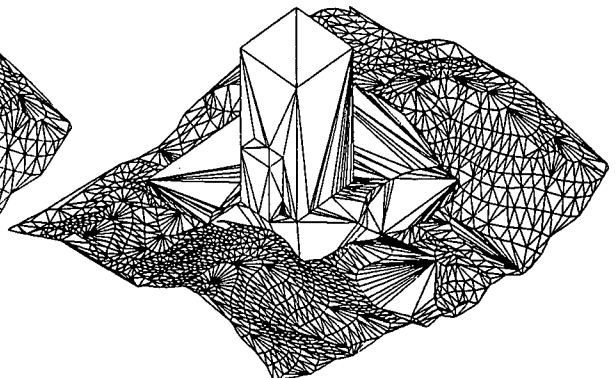


図8-d 地形と構造物

(点の集合)が認識できれば良い。以上の基本操作を基にして、本研究ではデローニー三角分割で作成された地形とCADで作成された人工物の表面(これも三角分割されている)を結合させ、3個の三角形の交差部に点を追加させ、その点を用いて新たに表面を三角分割する。さらに、面と面の交差を計算できれば、交差線上に位置する点あるいは線集合が認識できたことになり、その一周する線の内部に位置する不要な三角形の部分集合が認識できることになる。よって、不要な三角形の削除が可能となる。以上示した手順による一例を図6に示す。同図よりも明らかなように、不要なトンネル構造と地形表面が削除されている。

他の事例を示す。図7-aは基になる地形であって、これは第2節に示した手法で作られたものである。この地形に対して、図7-bでは切り土を、図7-cでは盛り土を行って整地し、その上に構造物の設置を行ったのが図7-dである。以上の全ての図はCGデータとしての三角形分割図でもって示している。図8は図6の図形に修正を加え、山間部に橋を設定した図である。

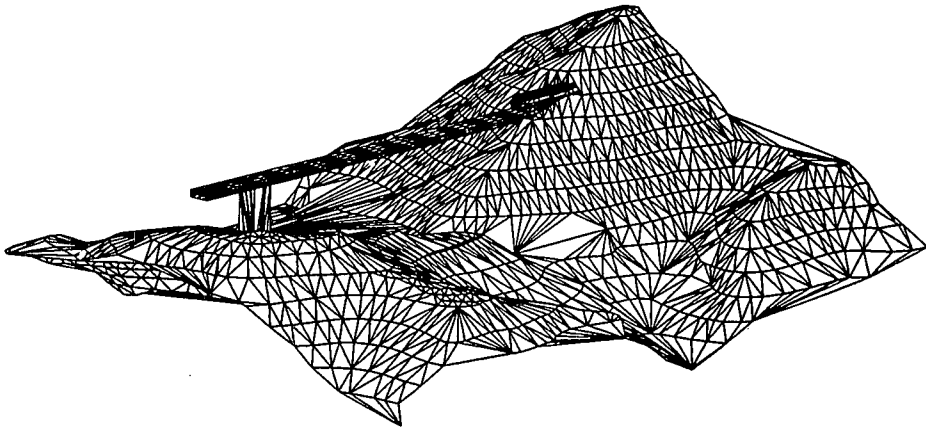


図8 地形表面と橋

6. あとがき

本研究ではデローニー三角分割を基本とする地形表面の生成、その加工法さらに手法の改良を提案し、さらにそれに要する演算時間と実際の適用例を示した。筆者等が従来より提案してきた方法を演算時間的に大幅に改良できたと考えられる。また、地形の加工法をより柔軟な方法として確立でき、従ってここに示したように土木工事のプロセスを自由にCGで表現できることができる。

参考文献

- 1) 谷口健男、横山信之、二宮功、小澤靖一：自然な地形上に位置する土木構造物のCGデータの生成、土木情報システム論文集、vol. 3、1994、pp. 39-46
- 2) Haruyuki Tamura, Isao Ninomiya, Yasukazu Ozawa, Takeo Taniguchi, Nobuyuki Yokoyama : Fast data generation for 3D Computer Graphics of landscape with engineering structures, Computing in Civil and Building Engineering , Pahl & Werner(eds), Balkema, pp993-1000, 1995
- 3) SLOAN, S.W. : A fast algorithm for constructing Delaunay triangulations in the plane. Advances in Engineering Software, Vol. 9, No. 1, pp. 34-pp55, 1987
- 4) 谷口健男：FEMのための要素自動分割、森北出版, 1992