

等高線データを用いた地形形状作成

ー 3次元地形風の有限要素解析のモデリング ー

岡山大学大学院

学生員 ○志熊 隆

ウエスコ

二井伸一

岡山大学環境理工学部 正員

谷口健男

1.はじめに

近年の電算機の性能の向上は数値風洞という新しい数値実験法の展開を示している。本研究は例えば地形風をこの数値風洞を用いて解析しようとしたとき用いる3次元有限要素モデル作成の第1段階として、地形を精度良く電算機上に作り上げる手法を示し、更にその結果から3次元有限要素モデルを作る一つの手法を示す。具体的には等高線データを入力データとして与えたとき、等高線が再現され、また棚田と呼ばれる現象を解消できた地形を作成する方法、更にそこから地形を表現する有限要素モデルの作成方法を示す。

2.地形表面の作成

1) 等高線の生成と三角形分割

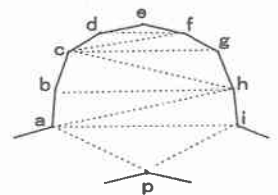
本研究ではまず与えた地形表面上の点(x,y)座標を用いて2次元 Delaunay Triangulation（以下、デローニ三角分割とする）を適用し、等高線の生成と地形表面の三角形分割を行う。

デローニ三角分割を行っていく際に、良好な三角形を得るため多角形の対角線の入れ換えを行う。この作業でいったん作成された等高線の一部が切断されてしまうことがある。これを防ぐため等高線を生成する前段階で、等高線を構成する各線分の始点と終点を格納しておき、デローニ三角分割での対角線の入れ換えを行う際に各線分が等高線上の線分である場合、入れ換えを行わないようにする。これを全ての等高線上の節点について繰り返すことで等高線の生成と同時に、地形表面上の三角形分割が可能となる。

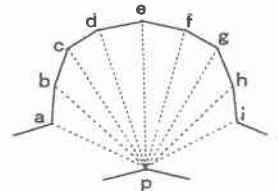
2) 棚田の解消

棚田とは、三角形の3点が同一の高さ z 値である三角形群のことで等高線が幾何学的に複雑な個所で生成されることが知られている。図-1では実線が等高線を、点線が三角形分割によって生成された三角形を表している。このように同一等高線上の3点を頂点として持つ三角形群（図-1(a)のa~iで作られる7個の三角形）は、結果として本来は傾斜地であるべき山地が平坦な地形として表現することになり、この名称が付けられている。そのため、地形内部に生成される棚田部分の解消が必要になる。

棚田の解消方法は、棚田を生成する三角形群（高さが同じ三角形）を取り出し棚田群を構成する等高線上の両端点を求め、その両端点を節点として持つもうひとつの三角形を探索する。これらの作業で集められる三角形は、図-1の点線で表している三角形群である。その三角形の第3番目の点（図-1のp点）から棚田部分の節点を見通すことが可能か調べ、可能点については第3番目の点と結んでいき、図-1(b)のように隣り合う2点とp点とを結んで三角形を作り、棚田を解消する。これらの過程について詳細を述べる。



(a) 棚田



(b) 棚田解消

図-1

- (1) 同じ z 値を持つ三角形を、要素-節点関係を用いて探索する。
- (2) その近傍に位置する三角形を要素-隣接要素関係を用いて探索し棚田を構成する三角形群を取り出す。

ここで、同一等高線上の節点は連続番号であること、ならびに棚田を構成している三角形の節点は同一等高線上の節点であることを利用し、集められた三角形の節点の中で最も小さいものと大きいもの（図-1ではa点とi点がそれにあたる）を調べることで、棚田部分の等高線上の節点が分かる。

- (3) 三角形群の節点番号の最も小さいもの・大きいものを調べ、棚田部分の等高線上の節点（図-1ではa~i点）を求める。

ここまでの過程で集められた三角形群が棚田を構成している。図-1の場合では、図-1(b)のようにa～i点とp点を結び三角形を作ることによって棚田を解消する事ができる。しかし、図-2ではa～e点とd～h点によって構成される二つの棚田が連続して存在している。このように同一等高線上で棚田が連続で存在する場合、それら全ての三角形を取り出してしまい（図-2ではa～hで構成される計6個の三角形）、上記の方法ではこれら複数の棚田の区別はつかない。このような場合も踏まえ、棚田解消に必要な隣接等高線上の節点（図-1ではp点、図-2ではp並びにq点）を求めるため以下の方法を取る。

- (4) 集められた三角形の各辺のうち、(3)で求めた等高線上の各線分である辺（図-2ではa～hまでの各線分）、並びにb～dのように重複している辺を除いたものが、棚田部分の入り口にあたる両端点を持つ線分（図-2ではa～e、d～h）であり、この線分を取り出す。
- (5) この線分を一辺として持つ三角形を要素-節点関係より探索し（図-2では $\triangle aep$ と $\triangle dqh$ ）、図-2のp並びにq点を求める。
- (6) p点から棚田を生成する節点が見通すことが可能か、両端点から時計回り・反時計回りの両方で1点ずつ調べていく。
- (7) 可能点*についてp点と結んでいき、三角形を作り直し、棚田を解消する（図-2(b)参照）。
- (8) 不可能点*については、それら両端点の前後の点を含め三角形分割を行う。

* p点からの見通しが可能か調べる式は等高線上のn点のx,y座標を (x_n, y_n) 、n+1点を (x_{n+1}, y_{n+1}) とすると、 $see = x_n \times y_{n+1} - x_{n+1} \times y_n$ となり、 $see > 0$ のときに見通し可能、 $see < 0$ のとき見通し不可能となる。

3) 適用事例

右の図-3は総点数736点の等高線データを用いた地形表面の三角形分割である。（太線は等高線を示す）

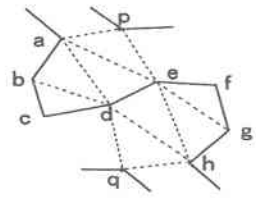
3.3 次元地形の有限要素モデルの生成

図-3のように作られた地形メッシュは3次元形状を良好に表示しているが、有限要素メッシュとしては

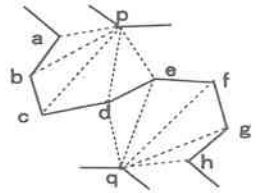
歪んだ三角形形状が存在することより不適切である。このため図-3の地形（これを旧メッシュと呼ぶ）上に新たにレギュラーな三角形メッシュ（これを新メッシュと呼ぶ）を覆い、その新メッシュの点の高さ（z値）を旧メッシュの三角形の3頂点のz値より求める。なお、その点の（x, y）は、新メッシュ上の値を用いる。これにより、新メッシュの点の（x, y, z）座標値を一義的に決定できる。なお、要素-接点関係は新メッシュのそれをそのまま利用する。以上の操作により有限要素モデルに必要な要素-接点関係、及び点の座標値を作成することができる。

4. あとがき

本研究では、3次元地形表面を精度よく表現できる三角形分割の方法を提案し、それを用いて有限要素モデルの作成法を示した。なお、有限要素モデルの生成についてはその手法の紹介にとどまったが、今後その具体的手法の提案が望まれる。



(a) 連続する棚田



(b) 棚田解消

図-2

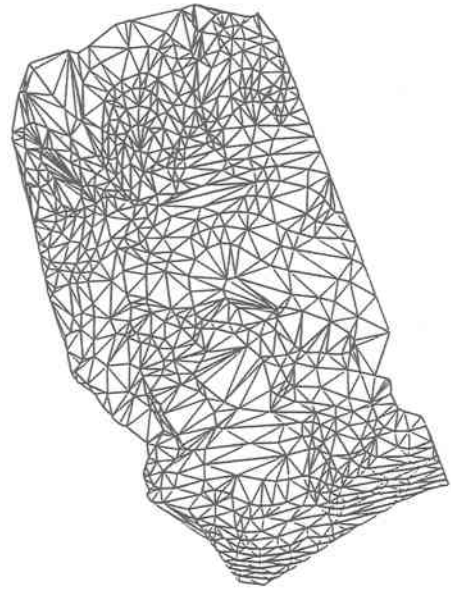


図-3 地形表面の三角形分割