

電算機への任意 3 次元領域の形状入力について

○岡山大学環境理工学部 正会員 谷口健男
 岡山大学大学院 森脇清明
 岡山大学大学院 学生会員 山下優耶

1. はじめに

3 次元有限要素解析でのボトルネックの一つが解析対象をどの様に計算機に入力するかであり、特に CAD システムを利用できない場合の形状入力の研究は殆ど行われていないのが現状である。しかしながら、少なくとも解析対象系の表面上に任意に置かれた点の 3 次元座標値を入手することはセンサーあるいは測量技術といった工学的方法を利用すれば可能であると考え、以上の前提から、本研究では点座標値だけが与えられる場合を想定した 2 種類の形状生成法を提案するとともに、それらの利点・欠点を比較検討する。

2. 任意 3 次元形状入力法のアイデア

形状入力に利用できる入力データとして、本研究では最も過酷な条件、すなわち対象物体表面上の点座標値に限定する。この条件の設定により、形状入力手段として利用できる方法としてデローニー三角分割法^{1, 2)}だけとなり、本研究ではこの手法を利用した形状入力を考える。なお、このような過酷な条件を設定した理由は、これ以外に入力データが期待できる場合、ここに提案する方法を元にしてそのデータに容易に対応できる新たな方法が提案できることによる。例えば、点座標値以外に点の順序が与えられるような入力データの場合（その一例として等高線データが考えられる）、デローニー三角分割を基本とした TIN(Triangulated Irregular Network の略)が既に提案され、実際に利用されている。

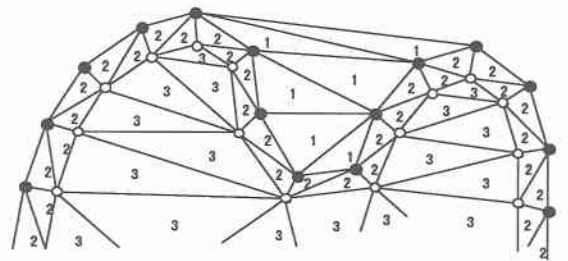


図 1 形状入力のアイデア説明図

形状入力のアイデアを説明しよう。説明のための図は簡単のため 2 次元で表現するが、実際には対象が 3 次元であることから、図中の辺は三角形の面に、三角形は四面体に対応することに注意されたい。図 1 に示すように、表面上の点 (●) 以外に領域内部にそのコピー点 (○) が与えられると、それら両者にデローニー三角分割法を適用すれば、同図に示すように凸領域内を埋める四面体は、表面上の点だけで作られた四面体 (図中の 1)、表面上の点とコピー点で作られた四面体 (図中の 2)、コピー点だけで作られた四面体 (図中の 3)、の 3 種類に分類できる。よって、(1) の四面体を除去すれば、領域内を埋める四面体だけが残る、3 次元形状入力ができる。このアイデアを実現するには、表面上の点のコピーを作る方法が必要である。

3. コピー点の生成法

前節でのアイデアの説明より、表面上のそれぞれの点のコピーを領域内部に作ることが可能になれば、その後はデローニー三角分割の導入により、目的とする 3 次元形状入力が可能となることは明らかである。以下において、このコピー点の作成法を 2 種類提案する。

方法 1: 各点が位置する仮の表面を作る方法

全ての点の中から、その x 、又は y 、又は z 座標値が最大となる点 p を選ぶ。与えられた全ての点群について点 p からの距離が近いものから α 個 (α はユーザが設定) の点 $\{Q\}$ を選んだ後、点 p 周辺にそれら α 個の点から利用できる β 個の点だけ ($\beta \leq \alpha$) を選択し、それらで三角形を作る。その結果得られた三角形群 $\{\triangle(p, q_1, q_2), \triangle(p, q_2, q_3), \dots, \triangle(p, q_{\beta-1}, q_{\beta})\}$ の内向の法線方向 (殆どの点が存在する側) の平均値を求

め、それを点 p の内向き法線方向とする。この操作を表面上の全ての点について行い、得られた法線方向の適切な位置（表面より僅かに内側の位置）に個々の点のコピー点を作る。その後、元の点とコピー点に対してデローニー三角分割適用して、表面上の点だけで作られた四面体を除去する。

方法2：デローニー三角分割を利用する方法

与えられた表面上の点群に対し3次元デローニー三角分割を適用し、点群の支配する凸領域を四面体に分割する。その凸体表面に現れる三角形の中でユーザが設定した許容長さの範囲にある線分で作られる三角形で周辺を囲まれる点（判断1）を探し出し、領域内部にそのコピー点を作成する。なお、表面からの距離はユーザが設定する。表面上の点とコピー点に対し再度デローニー三角分割を適用して領域を四面体に分割する。その後、コピー点に接続しているがコピー点が未だ作られていない点で、上に示した判断1を満たす点についてだけそのコピー点を作成する。以上の操作を全ての点のコピー点を作成されるまで繰り返す。

4. 適用事例

前節に示した2種類の方法を用いて3次元形状を作り出した事例を図2に示す。図2の上図は正弦波を軸周りに回転させて得られる3次元形状をその表面上の点だけから上記2種類の方法で作出したものである。また、図2の下図は余弦波を軸周りに回転させて得られる形状の表面上に点を適切に配置した後、2種類の方法でその形を作り出したものである。二つの適用事例においてそれぞれの左図は表面三角形を、右図はその断面の状況を示したものである。2種類の方法で得られる3次元形状はデローニー三角分割であること、点位置が同じであることから全く同一形状となる。ただし、方法1を図2の下の事例に適用する場合、同図からも明らかなように表面の両端部に急折れ部分があることから、その部分の形状を表現する

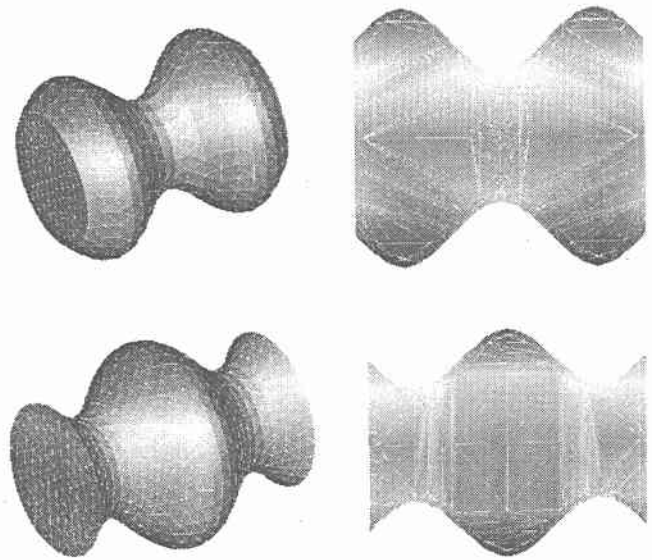


図2 2つの適用事例

には急折れ線上（両端部の急折れ部の円周）に位置する点の順序を入力データとして与えることが必要であった。これが方法1の欠点である。一方、方法2ではデローニー三角分割が複数回（その回数は表面形状に依存）要求されることから、演算時間が要求される場合があるという欠点を挙げる事が出来る。その点、方法1ではデローニー三角分割が1回しか要求されないことが方法2に対する利点である。

5. あとがき

本研究で対象物体表面上の点だけが与えられる場合のその形状を作り出す2種類の方法を示し、それらの利点・欠点の検討を行った。その結果、方法1をさらに改良して、同方法がようにデローニー三角分割をたった1回しか要求せず、しかも点の座標値からその形状を作り出せる方法の検討が望まれる。そのためには急折れ部をどの様に取り扱うかが最大の問題点であり、その解決が望まれる。

参考文献

- 1) Bowyer, A. (1981): Computing Dirichlet tessellations, *The Computer Journal*, Vol.24, No.2, 162-166
- 2) Watson, D.F. (1981): Computing n-dimensional Delaunay tessellation with application to Voronoi polytopes, *The Computer Journal*, Vol.24, No.2, 167-172