

三次元任意形状に対する自動四面体要素生成

中央大学大学院 学生員 須江 克章
日本工営株式会社 正会員 桜庭 雅明
中央大学 正会員 櫻山 和男

1. はじめに

今日の計算機性能の飛躍的な向上により、数値解析で扱われる領域は二次元から三次元へ、そしてより複雑な形状へとようになってきている。この様な対象の変化に伴い、プリ・プロセッシング、特に解析モデル作成のための要素分割においてその重要性は増してきている。

本報告では、ボクセル要素を用いた要素生成手法¹⁾²⁾に着目し、三次元任意形状に対する確実かつ迅速な自動要素生成手法を提案する。なお、この手法が持つ物体形状表面が凹凸になるとい問題に対しては、物体形状表面を滑らかに表現することが可能な四面体要素を採用し、その問題点の解決を図った。

2. システム概要

図-1 に本システムの流れ図を示す。

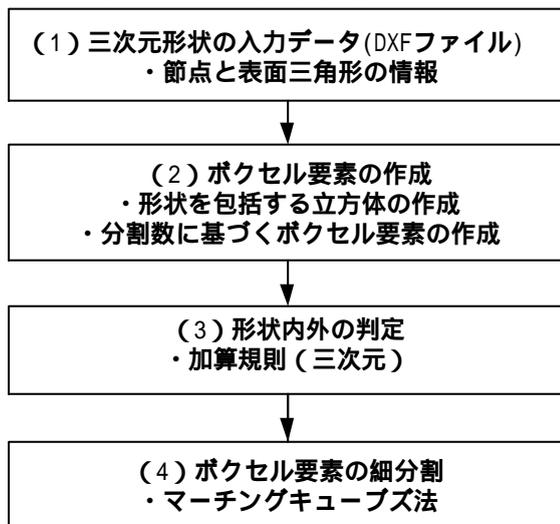


図-1 四面体要素自動生成手順

(1) 三次元形状の入力データ

三次元形状の入力データは、CAD の中間ファイルとして広く用いられている DXF ファイルより抽出する。抽出する情報は、節点情報（節点数と各節点の x, y, z 座標値）と三次元形状の内外を表現する表面三角形情報である。

(2) ボクセル要素の生成

DXF ファイルより得られた節点情報を用いて、物体形状を全て包括するボクセル要素群を生成する。

Key Words: 自動要素生成法, ボクセル, マーチングキューブズ法
〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27
TEL. 03-3817-1815 FAX. 03-3817-1803

(3) 形状内外の判定

DXF ファイルより得られた表面三角形情報を用いて、生成されたボクセル要素から得られる各節点が物体形状の内部にあるのか外部にあるのかを判断する。各節点の物体形状に対する内外判定は、次に示す「加算規則に基づくアルゴリズム³⁾」を用いて判断する。

まず、任意の O 点 (Observation Point) を設け、O 点と物体形状の表面三角形を結び四面体分を生成する。(図-3 参照)

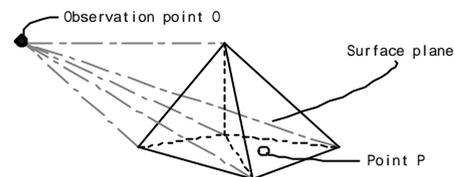


図-3 生成された四面体群

次に、生成された四面体群の中からボクセル要素の節点（節点 P とする）を内部/境界に含む四面体を抜き出す。抜き出された各四面体に対し、図-4 の加算規則に基づいた値を与え、それらの総和を求める。ここで、 n は線分を共有する四面体の総数である。この値が 0 の場合、節点 P はオブジェクトの外部、0 以外の場合には内部と判断する。

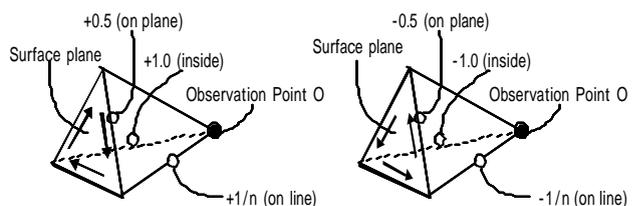


図-4 加算規則

(4) ボクセル要素の細分割

本手法ではマーチングキューブズ法⁴⁾を用いてボクセル要素の細分割を行う。マーチングキューブズ法とは、ボクセルを表示する際に生じてしまう単位格子の凹凸を滑らかな面で表現する手法であり、Lorenson らによって発表された手法である。

本手法で用いる三角形ポリゴンパターンを図-5 に示す。図-5 で節点部分が黒丸で表示されているサンプル点が外部節点 (1 の値) を示し、節点部分に表示の無いサンプル点が内部節点 (0 の値) を表している。ボクセル要素の細分割は、次のページの枠内に示す手順で行う。

[step1]

各ボクセル要素において、計8つのサンプル点の総和を求める。

[step2]

step.1で求めた総和に応じて、図-5に示す三角形ポリゴンを作成する。総和が4の場合は三角形ポリゴンパターンが3種類あるため、1つに限定できない。そこで、面についてもサンプル点の総和の比較を行い三角形ポリゴンパターンを1種類に限定する。

[step3]

ボクセル要素の各面(計6面)において、計4つのサンプル点の総和を求める。

[step4]

面における三角形ポリゴンのパターンは図-6に示すように定義されている。step.3で求めた総和に応じて、三角形ポリゴンを作成する。

[step5]

step3, 4の作業を全ての面(計6面)について行う。

[step6]

次に、作成された各三角形ポリゴンを底面としてそれぞれサンプル点の値が0の頂点と結ぶことで、ボクセル要素を四面体群に細分割する。なお、生成された四面体の体積が0の場合は、要素に追加しない。

[step7]

step1 から step6 を各ボクセル要素について行う。

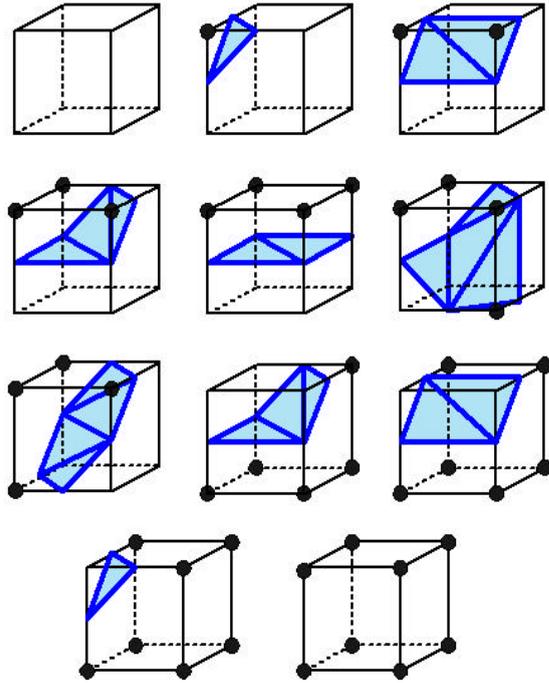


図-5 ボクセル要素の細分割パターン

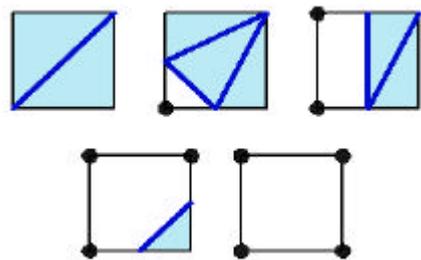


図-6 面における三角形ポリゴンのパターン

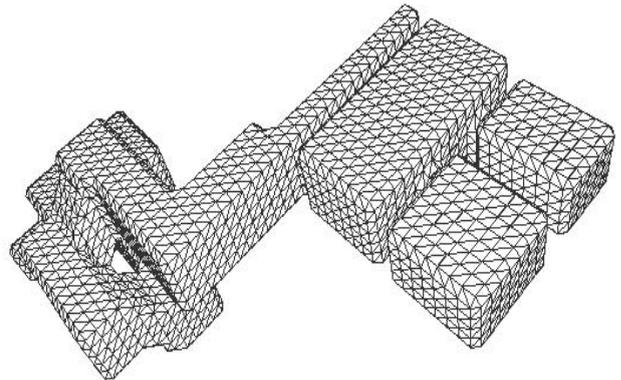


図-7 ビル内モデルの有限要素分割
(節点数 6,590 , 要素数 20,649)

図-7に本手法により生成されたビル内モデルの有限要素分割図を示す。

3. おわりに

本報告では、三次元任意形状に対する自動要素生成法としてマーチングキューブズ法を導入する方法を提案し、以下の結論を得た。

- (1) ボクセル要素が持つ物体形状表面が凹凸になる問題点に対して要素形状として四面体を用いることで解決し、任意三次元形状に対して迅速かつ確実に要素生成を行うことができる要素生成手法を構築した。また、本手法のアルゴリズムは簡易であるため、自動的に要素生成を行うことができる。
- (2) 要素の粗密付けを行っていないため、形状を正確に表現しようとする場合に領域全体が細かな要素分割になり、総節点数、総要素数が多大になる恐れがある。

今後の課題として、物体形状付近を細かく分割する要素の粗密付けを導入する予定である。

参考文献

- 1) 鈴木克幸, 寺田賢二郎, 大坪英臣, 米田直樹, "ボクセル情報を用いたソリッド構造の解析法", 日本造船学会論文集 第182号, 1997.
- 2) 清水 仁, "構造物および複雑地形を考慮した地形風数値解析のためのモデリング手法の構築" 修士論文, 1998.
- 3) 手塚明, "逐次・格子法による三次元有限要素分割", 計算工学会論文集 Vol.2, pp587-588, 1997.
- 4) Lorensen W.E., Cline H.E., "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm", ACM Computer Graphics, Vol 21, No.4, pp.38-44, 1987.