

Voronoi理論を用いた要素形状モデリングシステムの開発

八戸工業高等専門学校 学生員 ○市ノ渡 剛
八戸工業高等専門学校 正 員 杉田 尚男
長岡技術科学大学 正 員 鳥居 邦夫

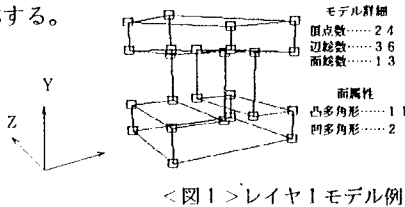
1. はじめに

近年におけるコンピューターの高速化に伴い、FEM解析用モデルは大型化、複雑化しつつある。一方で、モデルの複雑化は入力時間の遅延を招き、パフォーマンスの低下が問題となる。これに対処する為に、要素の自動分割法が広く用いられているが、従来の手法では、その形状や効率の面において必ずしも最適化されたとは言い難い。また対象物を二次元モデルとして解析する場合もあるが、その解析精度を考慮した場合、三次元モデルの優位は明らかである。

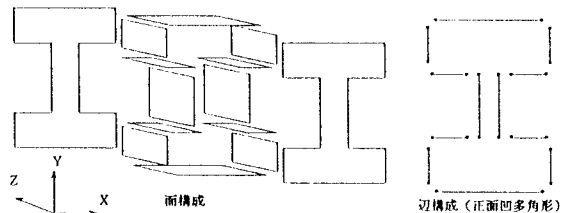
本研究は、これらの問題に対し、Voronoi理論を用いた三次元任意形状の高速モデリング法を提案する。これは、ユーザーによる入力処理を必要最小限のものとし、Voronoi理論を用いた要素細分割を行なう事によって最適要素分割を可能とするものである。これらはフローチャート1に示す手順に従って処理を進める。尚、本論文では初期モデル生成から合成処理に到るまでの過程に於いて述べる。

2. 初期モデル作成

第一段階として、解析モデルの輪郭部を生成する（図1）。本モデルは、面、辺、頂点の各情報によって構成される。各面を構成する頂点番号は、その方向を特に規定していない為、厳密にはサーフェスポリゴンモデルに分類される（図2）。尚、凹多面体も適用出来る為、モデル形状の自由度の向上、モデリング作業の効率化等が期待できる。本モデルは、独自開発によるモデリングソフトを用いて作成、保存する。これにより、ユーザーはマウスオペレーションのみでのモデル作成が可能となる。以後、これをレイヤ1モデルと呼称する。



＜図1＞レイヤ1モデル例



＜図2＞モデル分解図

3. Voronoiメッシュ生成

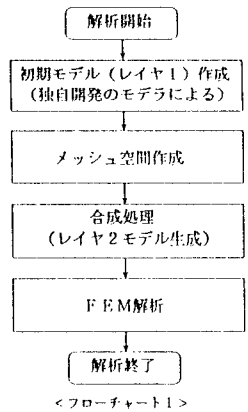
Voronoi理論は幾何学的な領域分割理論として説明する事が出来る。N次元Euclid空間で、n個の母点 $P_i(X_i)$ ($i=1, \dots, n$) が与えられる時、母点が最も近い点の集合 V_i は次式で与える事が出来る。

$$V_i = \bigcap_{j \neq i} \{x \in R^N \mid \|x - x_i\| < \|x - x_j\|\}$$

$$(i = 0 \dots n, j = 1 \dots i-1, i+1, \dots, n)$$

x : 位置ベクトル x_i : 母点 i の位置ベクトル $\|\cdot\|$: Euclid距離

V_i は、母点 P_i のVoronoi領域と呼ばれる凸多面体である。すなわち、このVoronoi領域は、母点と母点を結ぶ直線の垂直二等分面によって構成されるもので、応力解析には、この凸多面体の各頂点(以後、節点と呼ぶ)と母点 P_i を結ぶ事により四面体要素を生成し、これを用いる。



Voronoi領域を生成するにあたり、X、Y、Zの各軸方向に均等に母点を配置する。母点間隔はレイヤ1モデルの最短辺長以下とし、配置空間は、レイヤ1モデルを包括する大きさとしなければならない。これは、以降の合成処理において、不都合を回避する為の処置である。

上記を元に節点を生成した場合、各点の接続条件は以下の通りである。

- ・母点は、隣接母点及び節点に対し接続線を生成する。
- ・節点は、隣接母点及び最短距離に隣接する節点に対し接続線を生成する。

これらは即ち、相互の点間距離を測定し、ソーティングを施す事によって接続先を確定出来る事を示している。これに従い、メッシュ空間を生成した場合、図3のようになる。

以後、本論文では、これらを構成する節点、母点は、全てを節点と呼ぶ。

4. 合成処理

レイヤ1モデルをメッシュ空間と合成する事により、解析モデルを生成する。その過程をフローチャート2に示す。

<1: 内外判定>

メッシュ空間の全節点につき、レイヤ1モデルに対して、内部配置、部配置、表面接触となる点を選別する。各節点を基とし、任意方向に線を伸ばし、各平面に交差する回数を測定する方法によって内外判定を実する(図4)。内部配置は固定点、外部配置、表面接触は可動点とする

<2: 頂点移動>

レイヤ1モデルの各頂点(ターゲット点)に相当する位置に節点を移動する。各頂点の最短距離の可動点を採用する。

<3: 辺移動>

ターゲット辺に節点を移動する。この時、辺上に対し、臨時に移動指標を作成する。指標は母点分割幅に相当する長さで配置し、至近の可動点を移動対象とする。

<4: 面移動>

ターゲット面に節点を移動する。この時、メッシュ空間の各接続線を直線と見なし、面との交差判定を行なう。判定に適合し、なおかつ可動点である点を面に移動する。

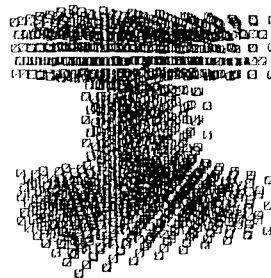
<5: 不要点消去>

全節点を捜査し、最終的に移動しなかった点を取得する。これらは全て不要点と見なし、抹消する。

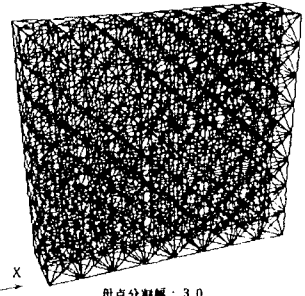
5. 適用例と結論

本手法を用いて、土木構造物としては代表的な形態であるI型钢材をモデリングした。

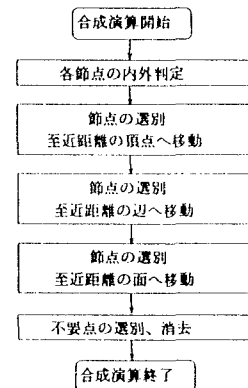
モデルの節点数は2263個、要素数5760個であるメッシュ空間生成から合成処理完了までの計測CPU時間は9.971秒であり、Voronoiメッシュによる高速モデリングが可能となった。



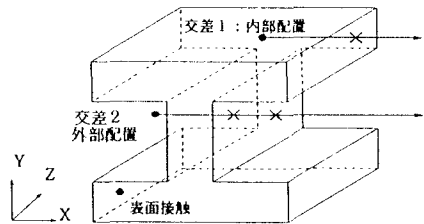
<図5> 節点表示



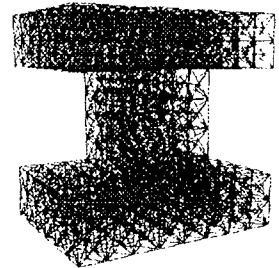
母点分割幅: 3.0
節点分割幅: 1.5
節点総数: 851
四面体要素数: 2048
CPUタイム: 231.7ms
<図3> メッシュ空間



<フローチャート2>



<図4> 内外判定



<図6> ワイヤーフريم表示

参考文献
嘉数侑昇・古川正志 共著、CAD/CAM/CGのための形状処理工学入門(1995)
杉田尚男、島居邦夫、Voronoi理論による三次元体の形状認識に関する基礎的研究:
日本学術会議第46回応用力学連合講演会予稿集(1997)