

I - A212

任意 3 次元体の形状入力と要素分割の研究

岡山大学環境理工学部	正会員	谷口 健男
岡山大学大学院	学生員	ホセ・イバラ
岡山県		大森 唯資
鹿島建設		佐野 敏之

1. はじめに

任意の形状を持つ 3 次元領域を対象にして、有限要素解析を行う際に必要とされる要素の分割とその形状改良を半自動的に行う手法を提案する。対象領域の基本データとして大まかな表面形状と節点の情報しか与えられていない場合でも、本手法を用いることで解析に適した良好な形状を持つ要素群に分割することが可能になる。

2. 要素の形状入力

本研究では、対象領域を四面体要素に分割する基本的な方法として、デローニー四面体分割法を用いる。このデローニー四面体分割法は、「対象とする接点群の存在位置を問うことなく、それらすべての節点を用いて四面体を生成することができる」「分割された四面体で、その外接球の内部には他の節点を含まない」などの利点を持っており、与えられた節点配置では、最も解析に適した要素を作成することが可能になる。しかし、一方で「領域外の不要な個所にも四面体を生成し凹領域でもそれを包括する凸領域を生成する」「表面形状が与えられていても、それを壊すような四面体を生成する可能性がある」という性質も持ってっており、得られた四面体要素集合が必ずしも実際の領域の形状を表現しているとは限らないという欠点がある。(図 1) ただし、節点配置が良好であれば、本来の凹部分の表面形状は、それを包括する凸領域の内部に存在している。また、仮に表面を破壊していても新たな節点追加を行えば表面形状を再構成することが出来る。そこで、本研究における 3 次元領域の四面体分割と表面形状の電算機への入力、デローニー四面体分割法の適用と節点の追加による再分割によって行う。この手順は次の通りである。

- 1) デローニー四面体分割
- 2) 四面体群の領域内外判断
- 3) 領域外要素の取り除き
- 4) 残された四面体による対象領域の表面形状を可視化
- 5) ユーザーによる形状の良否判断。
 - ・ ユーザーが満足する形状が得られていれば終了、得られなければ次のステップへ移る
- 6) 被破壊表面と追加点の指定 → 1)へ

これによって、対象領域をユーザーが満足し得る表面形状を持った四面体群に分割できる。(図 2)

3. 表面三角形の形状改良

前述した方法によって、対象領域の表面形状が入力されることになる。しかし、ここで得られた形状は表面を表すには十分であるが、解析に適しているとはいえない。そこで、解析に適した四面体要素への改良を行う必要がある。本研究では、領域の表面三角形形状を改良することで、四面体要素を改良する方法を用いる。解析に適した表面三角形は、「個々の形状」と「周辺要素との面積比」の 2 つの要因を十分に満たすことが必要である。最良の要素の場合、形状が正三角形で、しかも周辺要素との面積比が一定ということになる。もし、この形状が劣悪なものであれば、「節点の追加」によって三角形の細分割を行うことで改良する。節点の追加位置としては、「偏平率が悪い場合は最長辺の中点」、「面積比が悪い場合は重心位置」を提案する。

この節点追加によって三角形は細分割され、良好な形状となるが、この新しい三角形は四面体を構成する面ではない。そこで、この表面を用いた四面体要素に切り直すために修正デローニー法を用いる。前述したデローニー四面体分割法では既に得られた領域表面形状が破壊されるため、領域内へ新しく節点を追加した場合にも、既存の表面形状を破壊することなく四面体に再分割可能なように修正した手法が修正デローニーである。この手法の適用によって、節点の追加によって改良された表面三角形を壊すことなく四面体要素に再分割することが可能となる。

参考文献 1) 谷口健男、FEMのための要素自動分割、森北出版株式会社

3.四面体要素の形状改良

前述した手法によって対象モデルは良好な表面形状を持つ四面体要素に分割された。しかし、モデルの表面節点のみを用いて生成された四面体要素は歪みが大きく、数値解析に悪影響を及ぼすため、領域内部に新たに節点を設け領域を細分割する必要がある。今回用いる手法は、八分木法を用いる。ここで形状が悪いと考えられる場合は以下の二通りである。

- ・各節点に集まる要素の数(次数と呼ぶ)にばらつきがある場合
- ・各節点に集まる要素の体積比率にばらつきがある場合

上記の場合についてあらかじめ以下に示した方法で処理をしておけば、良好な要素を得ることができる。

a.【次数の調整】

前者の解決法として、本研究では内部点の設置法に八分木法を用いているため最も好ましい次数は28であると考えられる。今回はなるべくこの値に近づくように要素を修正する。

b.【点位置の移動】

後者の解決法として、体積比のばらつきを解消するには、ラプラシアン法による節点の移動を採用することにより体積比を均一化させる。

4.対象モデルの形状評価

以上で得られた要素について以下の形状判断の条件に当てはめて、得られた要素をチェックする。

- ・(四面体の高さ)/(底面三角形の平均辺長)(1)
- ・(頂点の射影点が底面三角形内部に存在しない)(2)

(1)式の値が1.2を越えるか、もしくは条件(2)に当てはまれば形状の悪い要素となる。

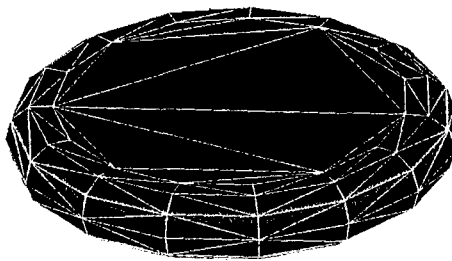
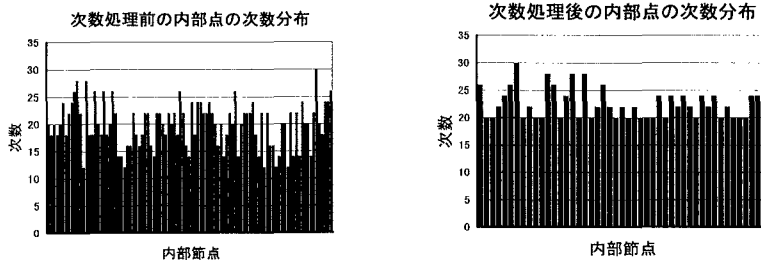


図1. デローニー四面体(凸体)

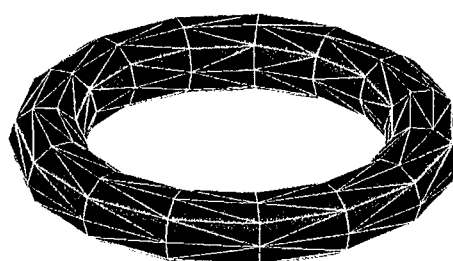


図2. 作成された四面体群(トーラス)

5. おわりに

本研究では、幾何学的に複雑な三次元領域の要素自動分割法として、デローニー四面体分割法、次数調整法、ラプラシアン法を用いた要素分割の手法を提案した。その結果、境界表面の要素形状を変えることなく領域全体を形状の良好な四面体要素群に分割することが可能となった。しかしながら、その次数調整法については内部点の次数のみに適用が可能で、表面節点の次数については未だ具体的な改良法が見つけられていないため、表面節点の次数調整法についても開発する必要があると思われる。