

3次元フラクチャー領域の自動要素分割

岡山大学大学院 学生員 ○片桐 弘樹
BRGM, フランス E. Fillion
岡山大学工学部 正員 谷口 健男

1. まえがき

地下空間の利用を考える際、地下水の流れ挙動の解析は非常に重要である。この地下水を解析しようとしたとき、内部に断層面及び微小なき裂を有する岩盤をどのようにモデル化するかは大きな問題となる。そこで本研究では、内部なき裂の存在する岩盤の、数値解析用の六面体モデル作成をテーマとした。モデル作成、即ち、対象領域の要素分割の基本としてDelaunay Triangulation^[1]を導入する。

2. 3次元フラクチャー領域の表現

岩盤とその内部に複数のき裂が存在しているという状態を全体系で解析しようとする際には、き裂に囲まれた領域、いわゆる部分領域の集合によって全体を扱えばよい。そこで、以下、無限平面による領域分割（ブロック分割）について示す。なお、以下扱う3次元体（領域）はすべて凸であり、き裂平面はすべて無限平面であるとする。

部分領域の頂点は、き裂のない元領域の稜線と、この領域を分割しようとする平面との交点によって表されている。さらに領域の稜線は2個の平面により決定されているため、結局3個（あるいはそれ以上）の平面の交点が部分領域の頂点となっている。

（手法）

- step.1 元領域の節点座標と、平面方程式 $ax+by+cz+d=0$ の4個の係数の入力
- step.2 平面が領域の内部を通過していれば、領域を切り分ける
- step.3 新しく生成された節点の座標を計算し、節点番号を付ける
- step.4 平面が2個以上あるならば、step.2に戻り現在までに生成されている部分領域について繰り返す
- step.5 各部分領域を構成する節点の節点番号とその座標を出力

サンプルとして図1-1

（元領域）、図1-2（き裂平面が入った領域）を示す。

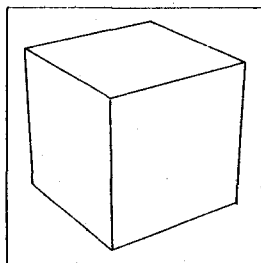


図1-1

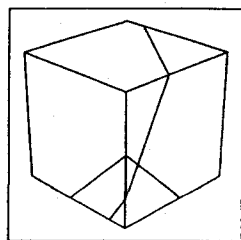


図1-2

3. 領域の自動要素分割

1) 領域の四面体要素分割

ここでは、入力データが少なくなくて済むこと、良好な四面体形状が得られることなどの理由により、Delaunay Triangulationを用いて各部分領域ごとに四面体要素分割を行う。ただ、ここで問題となるのは、隣接部分領域共有面上での三角形要素分割の一致である。隣接する四面体要素の共有面が一致せず、要素と要素が1:1で連続していなければ、共有している節点の節点力は各要素で異なり、応力状態が正しく表されなくなる。このため、例えば図2-1のように、1個の領域を平面によって切り分けたあと発生した2個の部分領域においてそれぞれDelaunay Triangulationを行っても、その共有面[9-10-11-12]での三角分割が、どちらの領域でも[9-10-11]と[9-11-12]というように一致していなければならない。

しかし、これについて、各部分領域の全節点を原点からの距離によって並び替え、順に節点を入力してD-

Delaunay Triangulationを行えば、必ず2領域の共有面での三角形分割は一致するということが、谷口により数学的に証明されているので、理論的には問題はない。

ただし、電子計算機を使用して処理を行うため数値誤差の発生は避けられず、理論的には正しくとも、計算機上では誤りが起こる場合もあり得る。このことをふまえ、四面体要素分割終了後、すべての部分領域について、隣接部分領域との共有面における三角形要素が互いに一致するかチェックを行う。

2) 領域の六面体要素分割

3次元領域に対し、Delaunay Triangulationによって四面体要素分割を行った場合、その四面体形状は良好で、節点配置からもっとも正四面体に近いものができる。しかし、3次元領域における要素は、有限要素法などによる解析を行った場合に必要となる数値積分を行う際に、六面体要素であったほうが精度の高い解を得ることできるため、四面体要素よりも六面体要素が有利となる。

そこで、四面体要素を六面体要素へ変換することにより、領域内要素をすべて六面体要素へ置き換える方法^[2]が提案されているので、以下にそれを示す。

まず1個の四面体要素を考える。図2-2のように、4個の三角形及び四面体の重心(▲、■)と、6本の稜線の中点(○)を新しい節点として発生させ、これらの節点を結んで新たな線分を16本作る(○-▲と▲-■の組み合わせ)。そうすると、図2-3のような六面体が4個生成され、1個の四面体要素から4個の六面体要素を発生させることができる。

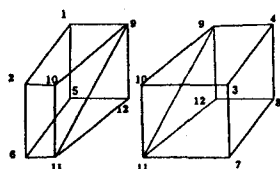


図2-1

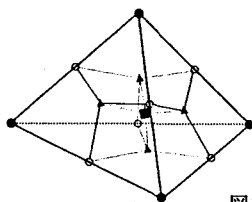


図2-2



図2-3

3) サンプルデータによる要素分割の流れ

(1) 領域分割によって得られた部分領域データより、各個でDelaunay Triangulationを行い四面体要素に分割する。図2-4は4個の部分領域についてDelaunay Triangulationを行った結果である。(隠線処理を施している)

(2) (1)で得られた四面体要素分割データより、六面体要素を生成すると図2-5のようになる。(隠線処理は施していない)

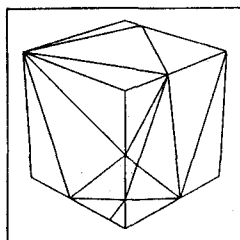


図2-4

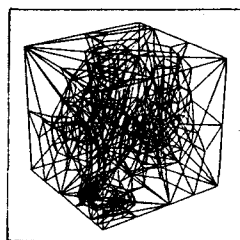


図2-5

4. あとがき

2. 及び 3. で示したステップを踏み、内部にき裂の存在する領域を六面体要素分割することができた。しかも、四面体要素分割の時点で、き裂により分割され生成された各部分領域は、隣接する部分領域との共有面で三角形分割が一致しているため、全体系で解析することが可能である。

(参考文献) [1] 谷口健男, 太田親, "3次元凸体の四面体有限要素自動分割", 土木学会論文集 No432/I-16 p. 137-144, 1991. 7 [2] 谷口健男, "3次元体の形状生成と自動要素分割", 日本機械学会第71期全国大会資料集 (G) No930-63 pp. 67-71, 1993. 10