

|                |     |            |
|----------------|-----|------------|
| 岡山大学大学院        | 学生員 | ○片桐 弘樹     |
| 岡山大学工学部        | 正員  | 谷口 健男      |
| B R G M , フランス |     | E. Fillion |

## 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、内部に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<sup>[1]</sup>を導入する。

## 2. 六面体要素分割

### 1) き裂平面による領域分割

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、き裂平面による領域分割について示す。なお、以下扱う3次元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。つまり、全領域に存在するすべての平面(き裂平面に元領域の表平面を加えたもの)の中から選んだ任意の3平面の交点のうち、元領域の内部に含まれるものが全部分領域の頂点となる。

《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

### 2) 領域の四面体要素分割

ここでは、入力データが少なく済むこと、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、隣接部分領域との共有面上における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。しかし、これについては、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、理論的には問題ないことが明らかである。

ただし、すべて計算機上での処理であるため、数値誤差によるエラーは存在しないとは言いきれず、チェックは必要である。

### 3) 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う場合に必要となる数値積分において、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<sup>[2]</sup>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2-1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2-2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。

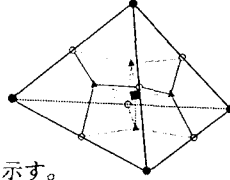


図2-1

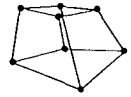


図2-2

4) サンプルデータによる要素生成の流れを図2-3に示す。

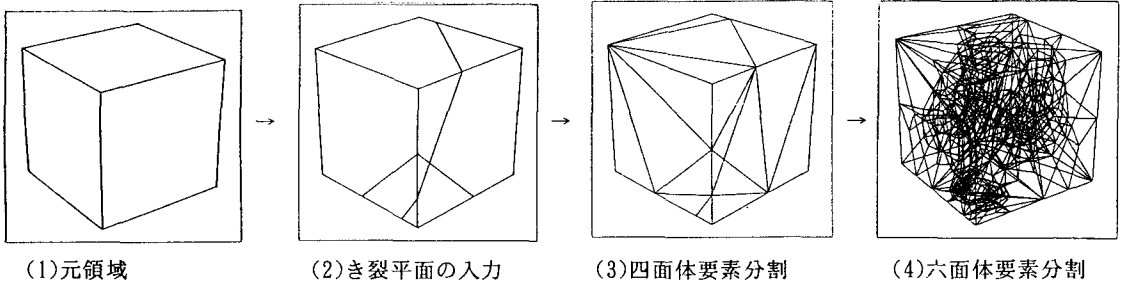


図2-3 要素分割の流れ((4)のみ隠線処理なし)

### 3. 解析例

図3-1に示すような、内部にき裂平面が存在する3次元領域を、ここに提案した手法(非構造型)と、従来よりの手法(構造型)によるモデルとで解の比較を行う。なお、図3-1に表されるモデルは、「き裂平面には厚さはないものとするが、高い透水性( $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ )を持つ」「領域下部(厚さ10m)は、他の部分に対し透水性が1/10である」というような境界条件を満たしている。

図3-2は六面体要素分割を行ったものである。

残差は、自動で要素分割を行ったもので $1.96 \times 10^{-16} (\text{m}^3/\text{s})$ 、そうでない場合で $5.00 \times 10^{-16} (\text{m}^3/\text{s})$ となっており、ほぼ同様な値と考えてもよいと思われ、要素分割の自動化による解への悪影響は少ないと考えられる。

図3-3は自動で要素分割を行った場合の等ポテンシャル線と手動で行った場合の等ポテンシャル線を重ね合わせ比較したものである。両者に差がないことより、ほとんど一致している。

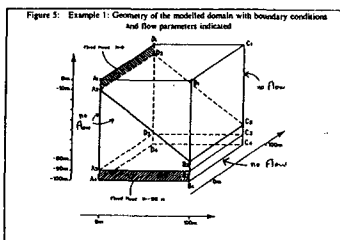


図3-1

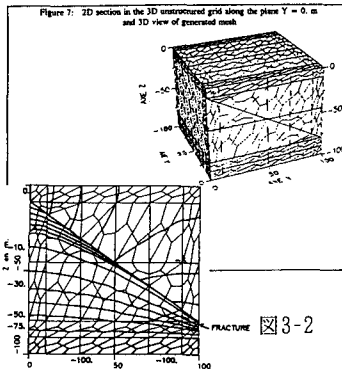


図3-2

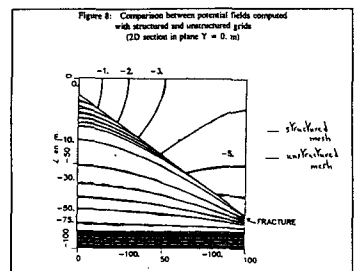


図3-3

### 4. あとがき

内部にき裂の存在する領域を六面体要素で分割することができた。四面体要素の時点で、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おり、全体系で解析することが可能である。しかも、従来用いられてきた構造型の要素分割法における解と、ここで掲げた非構造型の自動要素分割法における解にはほとんど差がみられないことが明らかとなり、汎用性は高いといえる。

(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 pp. 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 (C) No930-63 pp. 67-71, 1993. 10