

積層構造の有限要素生成法

岡山大学大学院生

学生会員 ○入谷 徹

ヒット・カルリン・アント・ツレンセン・インク

森脇清明

岡山大学大学院教授

正会員

谷口健男

1. まえがき

電算機の有する機能増大によって今日3次元有限要素解析は日常的に行われている。従って、対象とする解析対象をユーザの期待するような3次元有限要素に分割するメッシュ・ジェネレータの開発への要求は益々強くなる傾向にある。

土木工学における地層内を流れる地下水流れやそれに伴う物質移動の解析では対象領域を良好な幾何学特性を持った有限要素、しかも出来れば更に良好な解が期待できる六面体や三角柱要素を用いた3次元有限要素モデルのメッシュ・ジェネレータが望まれる。

本研究では層状構造を有する3次元領域に対し有効なメッシュ・ジェネレータを提案し、その有効さを調べる。なお、両者とも同じ入力データに対し稼動できる形に作り上げることにする。以下にそれら2種類の方法の概略を示すが、前者は六面体要素を、そして後者は三角柱と四面体の組み合わせの有限要素モデルを生成できる方法である。

2. 手法1 六面体有限要素モデルの生成法

この手法は、六面体要素を全ての層（領域）にわたって配置することを目的とする。ただし本手法を適用するにあたり、「領域の輪郭線は全て直交している」ことを前提としている。他方、一つの層内に異なる領域が存在することおよび領域内に空隙が存在することは問題とならない。処理の流れは下記のとおりである。

(1) 図形データの取り込み

2D-CADより層毎の輪郭線情報をファイルに出力しておき、それを本システムへ取り込む。入力情報は、輪郭の隅点座標(X,Y)および領域の輪郭を構成する隅点番号集合である。

(2) 輪郭線の投影（図1参照）

全ての層の輪郭情報を一つの面上にまとめておく。すなわち、輪郭線を投影するイメージとなる。

(3) 投影面の四辺形要素分割（図2参照）

先の輪郭線群を守り、かつ、入力されたユーザが希望する要素長を加味し投影面内を四辺形要素分割する。その際には、投影面全体にわたって単に分割しておけばよい。これら四辺形要素が後の六面体要素作成の基礎となる。

(4) 層毎に六面体要素を生成

次に層毎にその輪郭線を考慮し、先の四辺形要素各々に対して領域の内外判定を実施する。もし領域内部と判断できれば、その四辺形要素をこの層の厚さ分だけ引き伸ばすことで六面体要素が完成する。なお、層厚によってはこの層の厚さを適切な厚さに分割することになる。

この四辺形要素の領域内外判定が本手法の最大の特徴であり、以下に簡単にそれを説明する。なお、上記操作を全層にわたって繰り返すことで、対象領域全体への六面体要素分割が完成することになる。

上に得られた個々の四辺形は全層に共有されることになり、個々の層において、各四辺形がどの領域に位置するのかを判断する必要がある。その判断には各四辺形要素の重心座標(X_G, Y_G)を使う。その重心位置が閉じた境界線のどの間に位置するかによって、その領域を判断する。なお、境界線は必ず閉じていることから、重心位置を通してx軸、y軸に平行な線を描くと、同じ境界線とは必ず偶数回交わることは明らかである。この境界線との交差回数をもとに個々の四辺形を内部に包含する領域を探す。ある境界線と一度交差すると、その領域の内側と判断され、2回目では外部に、そして3回目では再度内側と、といった形で判断を行うことが出来る。

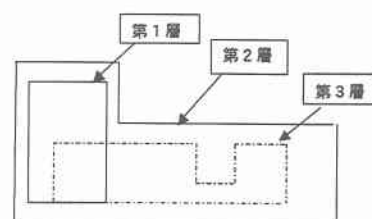


図1 輪郭線の投影

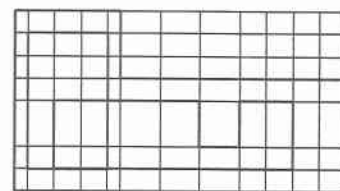


図2 四辺形要素分割
(太線：輪郭線)

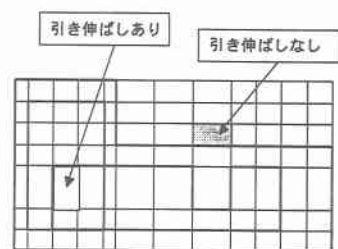


図3 要素の引き伸ばし判断

3. 手法2 三角柱と四面体要素の混合型有限要素生成法

上層, 中間層, 下層の3層からなる積層構造を考え, 上層と下層の2層を三角柱要素で, そして中間層を四面体要素で分割することを考える. 処理の流れは次のとおりである.

(1) 図形データの取り込み

用いるデータは手法1と同様, 2D-CADより得られた上層と下層の輪郭線情報である. その一例を図4に示す.

(2) 境界边上への節点追加と四面体分割

図5に示すように各面それぞれに入力されている要素長を基準に境界上に新節点を追加する. 本手法で用いる3次元デローニー四面体分割法には境界を生成する機能がないため, 境界边上に適切な節点を追加することによって, 境界を必ず生成できるようにする. ただし, ここでの節点追加は境界边上のみのとする.

節点追加後, 上面と下面のデータに3次元デローニー四面体分割法で中間層を四面体分割する.(図6参照)太線で示した境界が生成されているのが分かる. なお, 境界が生成されなかった場合は要素長を変更し, 境界边上への節点追加からやり直す.

(3) 中間層表面上への点追加による四面体細分割

中間層表面の三角形形状改良のため, 三角形要素内部に節点を追加する.(図7参照)節点追加位置は偏平率法により決定し, 最も歪んだ三角形の最長辺の中点に節点を追加し, 中間層の要素再分割を行う. なお, ここでは境界边上への節点追加は行わない.

(4) 上層と下層の三角柱生成

中間層表面の三角形を用いて上層と下層をそれぞれ三角柱でモデル化し, その層を適切な層数に分割して, 要素分割を終了する.

4. 適用事例

手法1

3層構造の六面体要素分割の例である. 入力データを図8に示す. 灰色の部分に六面体要素が生成される. 図9が全体図. 各層はそれぞれ2層に分割.

手法2

四面体と三角柱要素を用いた3層構造の要素分割の例である. 入力データは上層面, 下層面の2つ.

(図10参照) 図11が全体図. 上層の分割数は4, 下層の分割数は3である.

5. あとがき

3次元積層構造に対し有効な2種類の有限要素モデル生成法を提案し, それらの適用性を実例で検討した. 事例で示したように, 両者ともに想定したように, 六面体と四面体・三角柱の混合の3次元有限要素モデルを生成できることを示した. 2つの適用事例においては, 共に非常に薄い層を対象としている. 地層構造ではz方向に沿って非常に長い領域を扱うこととなる.

参考文献

- 1) 谷口健男: FEMのための要素自動分割, 森北出版, 1992
- 2) 太田 親: 3次元有限要素解析のための要素自動分割法, 修士論文, 1991

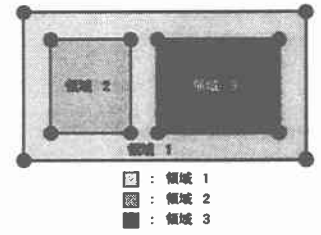


図4 入力データの例

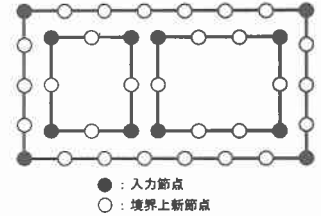


図5 境界边上への節点追加

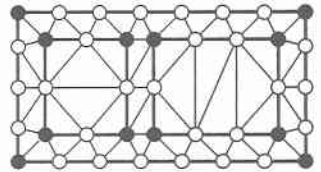


図6 中間層の四面体分割

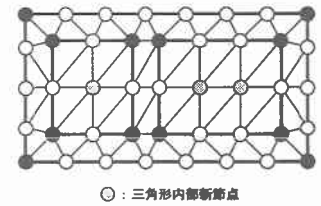


図7 四面体細分割



図8 入力データ

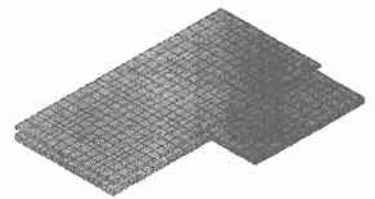


図9 六面体要素分割結果

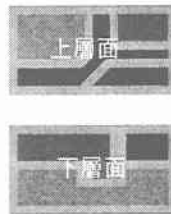


図10 入力データ

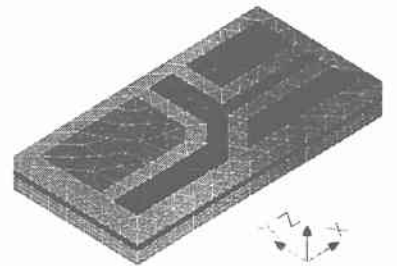


図11 三角柱+四面体要素分割結果