

1. はじめに

有限要素法は既に土木、建築の分野にも広く浸透している。当設計部においても、平面問題、平板曲げ、シェル、浸透流等の解析プログラムが開発され、設計上の諸問題の解決に盛んに利用されている。しかしながら有限要素法を用いて解析を行う場合、大量の節点データ、要素データを準備する必要がある。これらのデータの作成を手で行うとすれば、長時間にわたって多大の労力を要するばかりでなく、データミスも多く、必要な結果を得るまでに3~4日費すのが普通である。このため当初は上記のプログラムが設計に利用される頻度は比較的少く、有限要素法を設計者に道具として普及させるためには、メッシュデータの自動作成プログラムの開発が不可欠であった。

有限要素法のための自動メッシュ作成の研究および実用化については、既に、O. C. Zienkiewicz¹⁾、林²⁾、植原³⁾、川面⁴⁾等の研究が報告されている。ここで述べる方法は基本的には Zienkiewicz の方法と同一であるが単にメッシュデータだけでなく、荷重データの自動作成、バンド幅縮小のための Remumbering、ラインアリナーによるメッシュ図の作成等の機能を付加して、ユーザーに利用し易いように工夫したものである。

2. 自動分割手法

自動分割のためのプログラムを作成するにあたり、次のようなことを考慮する必要がある。

- (1) 入力データが必要以上に複雑にならないこと
- (2) 構造物の境界線(特に曲線状境界線)が比較的容易に近似できること
- (3) 要素分割の粗密が与えられること
- (4) 全体の分割状態が前もって予想できること
- (5) 分割されたメッシュの状態がすみやかに把握できること
- (6) 処理時間が短いこと

次に具体的な分割手順を述べる。

① 基本ブロックへの分割

解析しようとする連続体を材質(ヤング率、ポアソン比)の違い、分布荷重の有無、要素分割の粗密等を考慮して、いくつかの基本ブロックに分割する。基本ブロックとしては図-1に示す4タイプを考慮している。境界が直線であればどのブロックを用いてもよいが、曲線の場合はB-③、B-④のブロックを用いる。なお、ア

ブロック番号	B-①	B-②	B-③	B-④
ブロックの名称	3 ポイントブロック	4 ポイントブロック	6 ポイントブロック	8 ポイントブロック
ブロックの形状				

図-1 基本ブロック

ブロックに分割するにあたり、材質の違いがごく部分的に限られる場合あるいはブロックによっては自動分割による手順では不自然な分割になる場合には、その部分を無視して要素分割を行う。その後材質コード番号の修正や手作業による分割のためのデータを追加するようにしている。

② 基本ブロック内の要素分割

基本ブロックの各辺の分割数を与える。図-1において、B-①、B-③は各辺共に分割数であり、B-②、B-④は辺①-③、辺②-④は同じ分割数であるが、辺①と辺④の分割数は異なってよい。またB-①、B-②は奇数偶数いずれの分割数も可能であるが、B-③、B-④は必ず偶数分割となる。

要素内の分割点の座標は次式で与えられる。

$$x = \sum_{i=1}^N N_i x_i$$

N = ブロックを構成する節点数

$$y = \sum_{i=1}^N N_i y_i$$

x_i, y_i, z_i = 各ブロックの節点座標

$$z = \sum_{i=1}^N N_i z_i$$

N_i は形状関数で各ブロックタイプにより異なる。詳細についてはO. C. Zienkiewicz⁵⁾の著書を参照されたい。なおブロックB-③、B-④については、辺上の節点を故意にずらすことにより、メッシュに粗密が与えられる。(図-2参照)

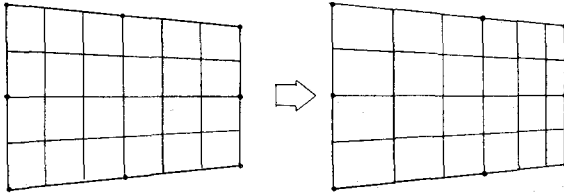
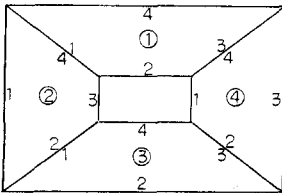


図-2 メッシュの粗密

③ 隣接する辺の節点番号の同一化

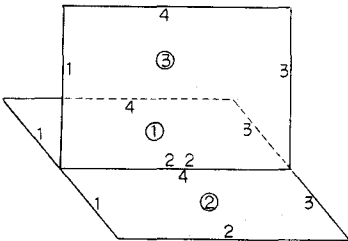
各ブロックが細いメッシュに分割されるとブロック番号の小さい順に各節点に番号をつける。この場合、ブロックの辺上の節点は互に同一でなければならない。このために図-3に示すように各ブロックの辺に隣接しているブロック番号を与える。



ブロック 番号	隣接するブロック番号			
	辺-1	辺-2	辺-3	辺-4
1	2		4	
2		3		1
3	2		4	
4		3		1

図-3

なお図-4に示すような立体板型構造の場合、図-3に示すデータだけではブロック③の辺③上の節点番号の同一化ができない。このようなブロックに対しては、さらに図-4の右側に示すようなデータを追加する。



ブロック 番号	辺-1		辺-2		辺-3		辺-4	
	ブロック	辺	ブロック	辺	ブロック	辺	ブロック	辺
3			1	2				

図-4

④ 境界条件の指定

境界条件はブロックの各辺ごとに指定する。なお弾性床上の平板曲げ解析のための節点バネデータもブロッ

7単位で地盤反力係数が与えられれば、容易に作成される。

⑤ 発生する要素の形状および材質コード番号の指定

各ブロックごとに発生する要素の形状（三角形、長方形、四辺形）と材質コード番号を指定する。

⑥ 荷重データ

構造物に作用する分布荷重（土圧、水圧等）の要素荷重、節点荷重への変換も、基本ブロックの各節点上での荷重強度が与えられれば、②で述べた形状関数を利用して容易に行うことができる。

3. Renumbering

本プログラムにより生成されたメッシュの節点番号は通常非常にとひはなれたものとなる。連立方程式の解法としてウェーブフロント法を用いれば、バンド幅の大小は殆ど問題にならない。しかし自由水面を有する浸透流解析のように繰返し連立方程式を解かねばならない場合、ウェーブフロント法では計算時間が長くなる。このような場合には Renumbering のプログラムにより、節点番号差を最小にした後、バンドマトリクス法を適用して計算時間の短縮をはかっている。なお Renumbering はコリンズの方法⁶⁾を用いている。

4. ラインプリンターによるメッシュ図

生成されたメッシュはプロッターにより図化することができる。しかしながらプロッターによる処理は図面はきれいであるが、ターンアラウンドタイムがかなり長くなる。ユーザーにとってメッシュ分割図はデータに誤りがないかどうかおよび大体どのように分割されているかが確認できればよい。この目的のためにラインプリンターによるメッシュ図作成のプログラムを開発し、所要のメッシュ図を得るための時間を大幅に短縮することができた。なおラインプリンターではメッシュの細い部分は適切に表現できないので、この部分をズームインする機能を付加している。

5. 三次元連続体のメッシュ分割

三次元連続体のメッシュ分割の手法もこれまで述べてきたものと同様である。基本ブロックとしては図-5に示すような4タイプを組み込んでいる。そして各ブロックにおいて各面に隣接するブロック番号を指定することにより、隣り合う面上の節点番号の同一化を行うことができる。なお生成される要素の形状は三角柱および六面体である。

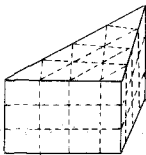
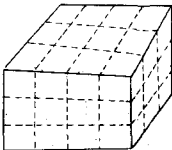
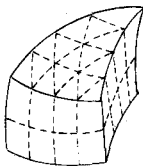
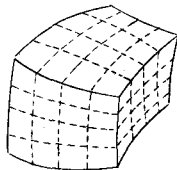
ブロックの名称	6 ポイントブロック	8 ポイントブロック	15 ポイントブロック	20 ポイントブロック
ブロックの形状				

図-5 基本ブロック

6. まとめ

本プログラムにより、メッシュ作成に伴うデータ量は従来の $1/8 \sim 1/15$ に減少し、半日～1日で所要のデータが得られるようになった。そして設計者にとって有限要素法が一層身近なものになったと言える。

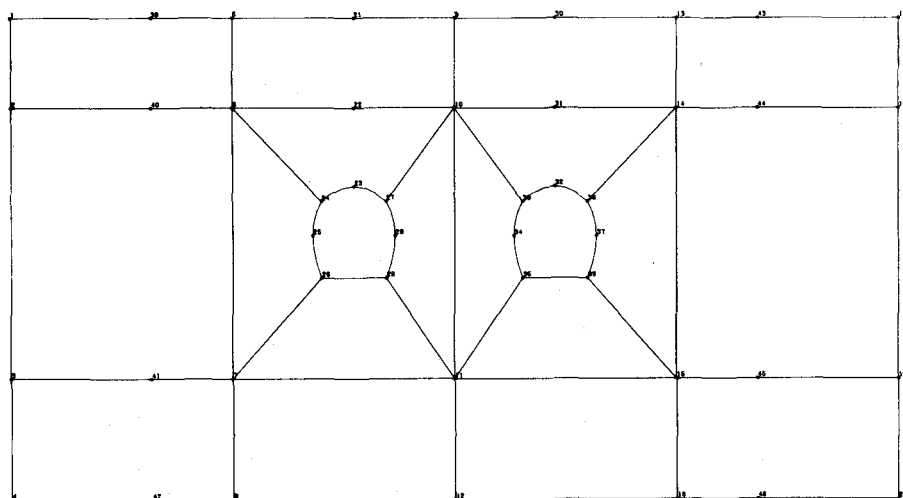


図-6 基本7x7分割図

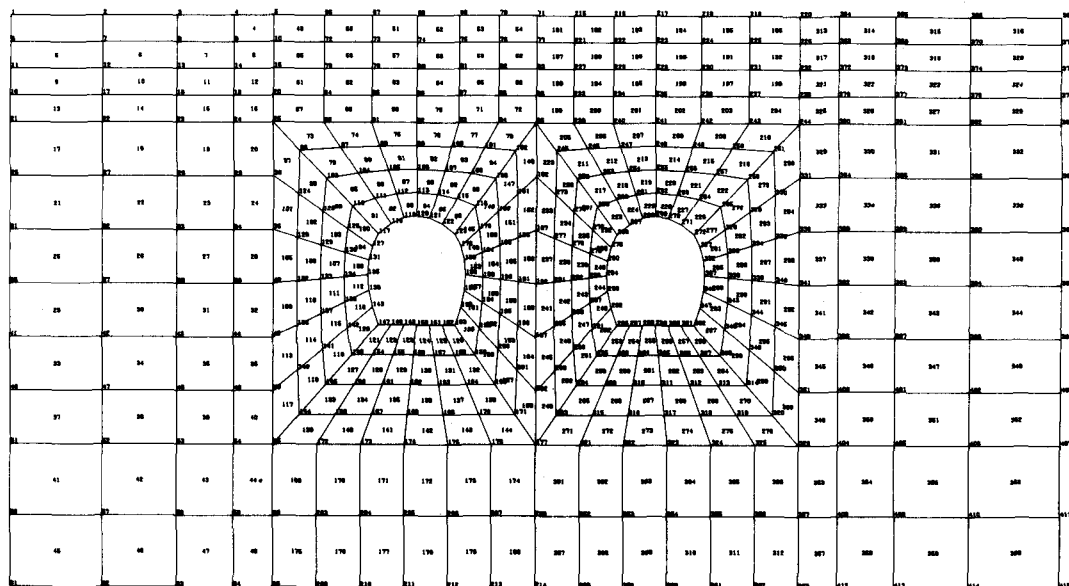


図-7 メッシュ分割図

参考文献

- 1) O. C. Zienkiewicz and D. V. Philips "An Automatic Mesh Generation Scheme for plane and Curved Surface by Isoparametric Coordinates" *Int. J. Num. Meth.* Vol. 3 519~528 (1971)
- 2) 林泰道: "有限要素法のための自動分割手法" 三菱重工技報 Vol. 9, No. 5 P. 73~79
- 3) 柳原, 他: "有限要素法における精度を考慮した自動分割について". 日本鋼構造協会オ5回大会論文集
- 4) 川面, 他: "有限要素法による構造解析のための自動データ作成法" 日本鋼構造協会オ7回大会論文集
- 5) 吉識, 山田: 訳 "基礎工学におけるマトリックス有限要素法" 培風館
- 6) R. J. Collins "Bandwidth Reduction by Automatic Renumbering" *Int. J. Num. Meth.* Vol. 6. 345-356 (1973)