

パーソナル・コンピューターを利用した有限要素法の教育用プリ・ポストプロセッサについて

岐阜県庁 正員 ○ 尾崎哲明 名古屋大学工学部 正員 二宮公紀
名古屋大学工学部 正員 梶田建夫 名古屋大学工学部 正員 島田静雄

1. まえがき

計算機の高速・大容量化と有限要素法の目覚ましい発達により、種々の複雑・大規模な問題を解くことが可能になって来ている。特に有限要素法は、構造分野においては各種の問題に対して、各々優れた要素が提案され一大体系を取っており、汎用的な有限要素法プログラムも種々登場している。著者らは、数年に渡り大型計算機専用の構造解析汎用有限要素法プログラムシステムSESNA (Structural Engineering System of Nagoya University) を作成して来た。SESNAで取り扱える要素には、棒要素から3次元体要素まで含まれており、静的問題、動的問題、安定問題の解析を扱うことができる。

解析対象となる問題が大規模で複雑になったため、有限要素法の為の入力データ作成に手間を取り、解析に要する時間の大半が入力データ作成であったと言うことが、頻繁に見受けられるようになった。これを解決するために入力データ作成用プリプロセッサの必要性が叫ばれ、種々の方法が提案されている。

一方、パーソナル・コンピューターの普及や、ハード的な処理能力のアップもあって、大型計算機の端末として扱われる場合やパーソナル・コンピューターの特徴を生かした有限要素法の解析プログラムが見られるようになって来た。著者らも、前述のSESNAのプリプロセッサとしてパーソナル・コンピューターを使用したプログラムを作成して来ており、これと大型計算機上のSESNAとを結びつけて、有限要素法のプリ・ポストプロセッサとしてパーソナル・コンピューターを、解析には大型計算機上のSESNAを使用すると言う、分担性を持たせたシステムを研究している。

プリプロセッサとしての有限要素自動分割アルゴリズムは、アイソパラメトリック補間法、網目法、乱数法など数多く提案されている¹⁾が、現状のところ2次元領域の分割に関するものが圧倒的に多い。

ここでは、プリプロセッサに用いた任意平面領域の自動分割アルゴリズム²⁾について述べ、本システムの適用に関する研究の報告を行う。本自動分割アルゴリズムは、パーソナル・コンピューターの処理能力でも十分に有効な自動分割を出来るだけ短時間に行なうこと、あるいは、ユーザの要求に出来るだけ近い有効なメッシュを出来る限り少ない入力で可能にすることを目標にして開発を行なっている。また、これらのシステムが有限要素法に関する初心者より実務者まで容易に利用できるようにするため、種々なユーティリティーの開発を行った。

2. SESNA SYSTEM

SESNA SYSTEMは大型計算機上で動くパートとパーソナル・コンピューター上で動くパートの組合わせでできている。その構成をFig. 2-1に示す。セグメントA, B, C, D, Fはパーソナル・コンピューター上で処理され、セグメントE, Gは大型計算機上で処理される。セグメントAでは、SESNAを起動させる。ユーザーは、ここで「教育モード」と「実用モード」の選択を行うことができる。セグメントB, Cはプリプロセッサに当たる部分で解析対象体の有限要素法用のデータを作成する。セグメントD,

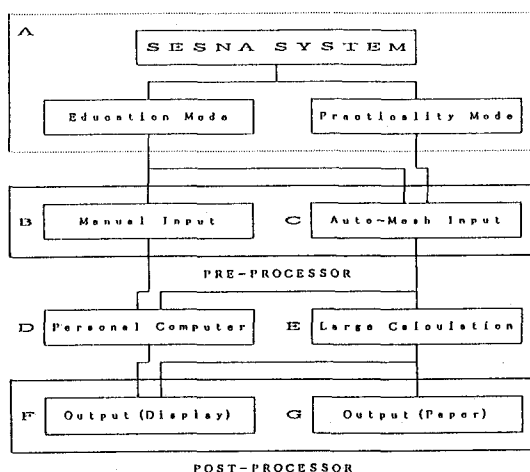


Fig. 2-1 Flow Chart of SESNA SYSTEM

Eでは、B又はCで作成されたデータを用いて実際に解析を行う。セグメントF、Gは、ポストプロセッサに当たる部分で、D、Eで得られた結果を出力する。また、Fは「教育モード」を選択した場合に出題される問題の答えに対する数値データベースを含んでいる。

本システムの作成に当たって考慮した基本的な特徴は、次の6点である。

- (1) 「教育モード」を設け、有限要素法の解析ステップが容易に理解できるようにする。これによって、初めて有限要素法を扱うユーザーに体験的教育を施せる様になると思われる。
- (2) パーソナル・コンピューター単独でも解析を行なえる様にする他、パーソナル・コンピューターで作成されたデータを転送することにより大型計算機で解析できるようにもする。これによって、パーソナル・コンピューター単独では解析結果を得るのに多大な時間がかかるような問題でも、大型計算機によって素早く解析結果を得られるようになる。
- (3) 人為的なミスを最小限にするためにインプット・データを出来る限り少なくし、ある程度計算機内で種々の判断をさせるようにする。パーソナル・コンピューターの特徴を最大限に生かして極力、視覚に訴えるようにする。
- (4) 入力および作成データに対する自己チェック機能を持たせる。
- (5) 種々の修正能力を持たせる。
- (6) HELP機能を持たせることによって入力方法、入力状態等を説明できるようにする。

3. プリプロセッサ

本プリプロセッサは平面問題の三角形要素を対象としてデータ作成を行うことができる。まえがきで述べたように各種自動分割法によって要素分割は簡略化、あるいは自動化されてきた。しかし、パーソナル・コンピューター上でデータ作成を行う場合は、分割に必要な演算ステップを出来る限り減少させることに考慮してアルゴリズムを考える必要がある。

2次元有限要素解析を行う場合の最も基本となる要素は三角形要素である。そこで要素分割を行うための節点配置の手法として、六角形パターンを透き間なく連続させた格子モデル(Fig. 3-1)を利用する。

またここでは、六角形パターン中の各六角形には、節点は唯一つしか存在させないものとして考えている。そこで、六角形 $H(i, j)$ と一対一に対応する成分を持つ表を考える。この表を各六角形内に存在する節点の番号で埋めてゆくことにより、節点配置表ができる。Fig. 3-1のような場合の節点配置表の例をFig. 3-2に示す。これを用いることによって、節点相互の相対的位置関係は直ちに知ることが可能となる。このアルゴリズムでは、境界線を形成する節点についてはその節点番号に負号をつけて、内部節点と区別した形で節点番号を格納している。また節点の存在しない六角形に対応する節点配置表の成分は0としておく。

形状が特異なもの、例えば尖頭形状などでは、境界上の異なる2節点が、Fig. 3-3のように同じパターン上に存在するような場合が起こり得る。この自動分割アルゴリズムでは、1つのパターン内に節点を1つずつ配置しているので複数の節点が存在する場合は、それらの節点を各六角形パターン上に唯一となるように分配する必要がある。このときに節点間の相対的位置関係が損なわれないように、ある六角形パタ

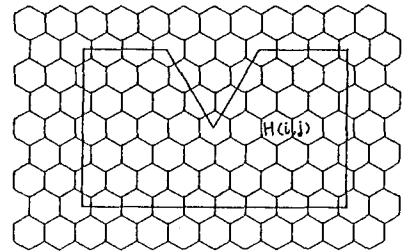


Fig. 3-1 Hexagonal Pattern and Example of Region

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	-2	-3	-4	0	0	-5	-6	-7	-8	0	0
0	0	-9	34	35	-10	0	-11	36	37	-12	0	0
0	-13	38	39	40	-14	-15	41	42	43	-16	0	0
0	0	-17	44	45	46	-18	47	48	49	-19	0	0
0	-20	50	51	52	53	54	55	56	57	-21	0	0
0	0	-22	58	59	60	61	62	63	64	-23	0	0
0	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 3-2 Node Disposition Table of Example of Region

ーン上に2節点が重複した場合は、その六角形の中心点により近いものをその六角形上の節点とし、他方を隣接する六角形上に移動する。移動は節点間の相対的位置関係を出来るかぎり保存するために2節点を結ぶ直線上を式(3.1)を用いて行なうものとする。

$$X = 2 X_m - X_p \quad (3.1)$$

$$Y = 2 Y_m - Y_p$$

ここで、 (X_m, Y_m) は移動すべき節点の座標、 (X_p, Y_p) は六角形上に残る節点の座標である。これは六角形パターン上での位置を決定するための座標であり、本来の節点座標とは異なっている。本来の節点座標値は保存されている。

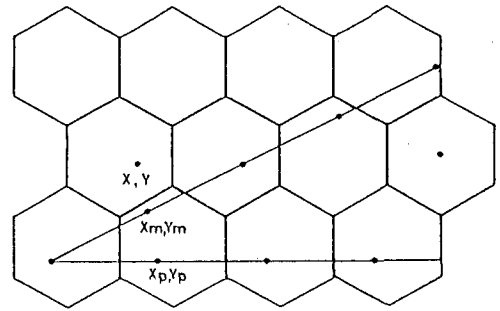


Fig. 3-3 The Special Case of Generation of Nodes

節点が規則的に存在している状態においては、要素を構成すべき節点の選択は、発生段階で設定された通りであり、規則的なメッシュとなる。そのため、要素を構成する節点の選択のための演算処理を行なうことなくメッシュ作成を行なうことができる。しかし、解析領域の境界付近では規則的な要素の作成だけでは、解析形状により十分に対応できない場合が生ずることがある。これに対応するために、特殊な配置パターンを用意しておく。このパターンを節点配置表に照してパターン・マッチングを行う。用意すべき配置パターンは、境界線上に対する節点の与え方により、その種類が決定される。各境界線上に作成すべき要素一辺の長さ R_0 に準ずる間隔で節点を発生させた場合に、用意すべき配置パターンは最少となる。また、全ての境界上の節点に対して、全ての配置パターンを照らし合わせることは処理上、合理的でない。そこで、任意の節点につき、囲む節点の状況により、マッチングを行なうべき配置パターンの対象をバイナリー・サーチにより絞っていく。

以上のアルゴリズムを考慮して三角形要素を作成して行くと境界上の節点を含まない領域内部のみの節点で構成される三角形要素は正三角形となる。しかし、境界上の節点を含む要素においては歪な三角形になる場合が多く生ずる。これをできるだけ回避するために式(3-2)を用いたスムージング機能を持たせ、各節点間のバランスを取ることができるようになっている。スムージングには、節点配置表を用いるためその演算時間は非常に短いものとなっている。

$$(x_i, y_i) = \left[\sum_{k=1}^m (x_k, y_k) \right] / m \quad (3.2)$$

ここで (x_i, y_i) は新しい節点座標、 (x_k, y_k) はスムージングの対象となっている節点の周りに存在する節点座標、 m はその数である。

4. 教育モードとポストプロセッサ

教育モードは有限要素法を理解する為に用いることを目的としているため、データ作成から解法、結果の出力まで、大規模な構造物を扱わないと言う前提で、全てパーソナル・コンピュータでできるよう設計している。ユーザーがセグメントAで「教育モード」を選択すると数種の問題の1つについて解析を行うよう指示される。

ユーザーはデータ入力法としてマニュアル方式と3. のアルゴリズムで作成したオート方式の2通のどちらかを選ぶ。オート方式を選択すればディスプレイが主画面と副画面の2つに分れて表示される(Fig. 4-2(a))。副画面はコンピューターからのメッセージ欄と主にユーザーが入力したデータを表示する入力欄とに分れる。HELP機能は入力待ちの場合いつでも働く。このフローチャートをFig. 4-1に示す。また、マニュアル方式を選択すると副画面にメッセージ欄、入力欄の他に出力欄が現れコンピューターの入力状態が分かるようになる(Fig. 4-2(b))。

データ作成の後、有限要素法で解法する段階になると、要素剛性マトリクスがどの様に全体剛性マトリクスに組み込まれて行くのかグラフィックで視覚的に表示される。全体剛性マトリクス作成の後コレスキー法で連立一次方程式を解いていくがそのコレスキー分解前進代入、後退代入の様子も図化して示される。これによってユーザーが有限要素法の仕組みを理解できるようにしている。

ポストプロセッサの機能として、変位と応力を表示できる。変位については、その量を数値で見ることができ、他、変位を拡大又は縮小して図示することができる。応力についても数値表示できる他、相当応力又は主応力を10段階に分けて各要素ごとに濃淡を付け応力状態を一目で分かるよう図示することもできる。

また、「教育モード」の場合のポストプロセッサの機能の1つに、最適と思われる分割による解法の結果をデータ・ベース化しておき、ユーザーの結果と比較でき、解の応力集中などによる影響についても示すことができるようにしている。

5. まとめ

本プリプロセッサの有限要素自動分割におけるアルゴリズムの特徴は、六角形パターンを用いた節点配置表による分割法を採用したことと、不規則な条件になる境界付近の要素作成にはパターン・マッチングによる方法を取入れていることである。この2つの方法を併用することによって、節点間のスムージングや節点番号の付け替えの作業に対しても、非常に短時間で処理可能になりパーソナル・コンピュータを用いた実用的な有限要素分割が出来ることになった。

また、このプリプロセッサを含むシステムを実際の解析に利用するのみでなく、初心者学習用としても利用できるようにした。

参考文献

- 1) 尾田十八、山崎光悦：有限要素自動分割の現状とその利用法(1)、(2)、(3)、機械の研究、第37巻、第6,7,8号(1985)、pp. 704-708、pp. 835-840、pp. 935-939
- 2) 尾崎哲明：有限要素自動分割におけるアルゴリズムとその適用について、名古屋大学工学部修士論文、1986、19p.

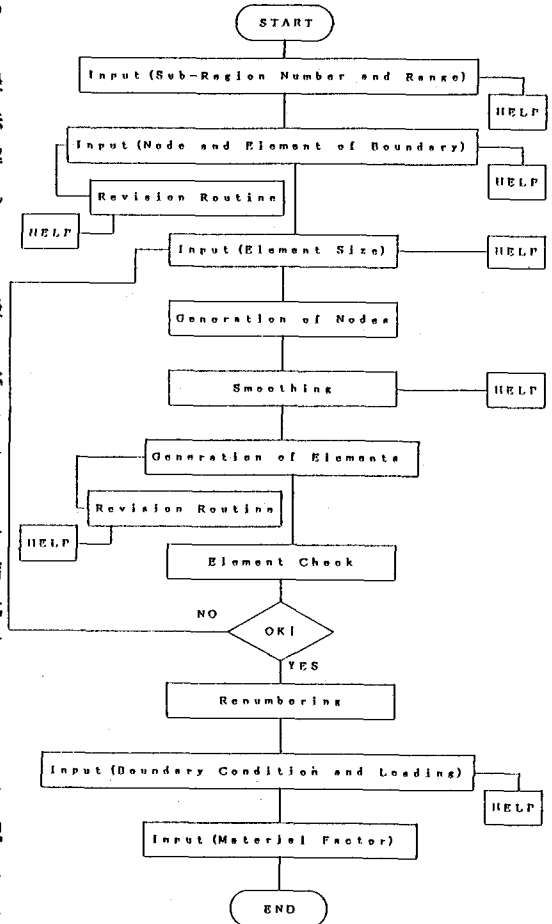


Fig. 4-1 Flow Chart of Auto-Mesh Pre-Processor of SESNA SYSTEM

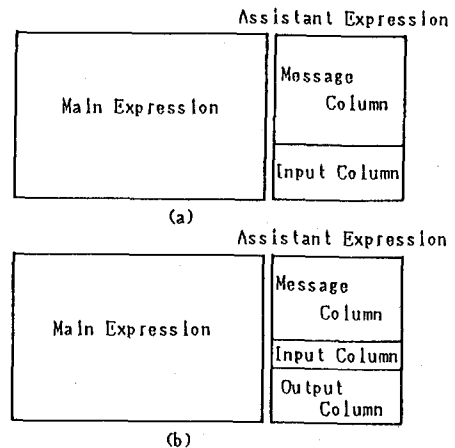


Fig. 4-2 Display of Manual Input and Auto-Mesh Input