

岡山大学大学院 学生員 ○ 鶴海 康雄
 岡山大学工学部 正会員 谷口 健男
 (株)三井造船 高崎 哲也

1. まえがき 近年、土木工学の分野においても、有限要素法を用いた構造解析が幅広く用いられるようになった。しかし、有限要素法を用いて構造解析を行う場合、前処理として対象系の要素分割が必要であり、省時間化及び入力ミスを防ぐためにはその自動化が必要となる。現在では様々な分割法が考案され開発されているが、本研究においては、その中で最も一般的に用いられているブロッキング法を取りあげ、その考え方や問題点及び解決策について触れるとともに、実際にブロッキング法を用いて2次元き裂解析及び3次元構造解析用の要素自動分割法の開発を行い、その適応例を示す。

2. ブロッキング法と各種分割法 分割法の考え方には種々の方法があるが、その代表的なものとしてノードパターン法、QUAD-TREE法、マッピングファンクション法、ブロッキング法の4つがあげられる。ノードパターン法は、あらかじめ格子状に並んだ節点上にモデルを重ね、モデル内部の点により要素分割を行う方法である。またQUAD-TREE法は、モデルを含む領域から分割を始め、モデル外部の要素を取り除き、残った要素をさらに細かく分割するという過程を繰り返す方法である。両者とも、入力データは簡単であるが、境界部の処理を行う必要があり、モデルの境界が複雑な場合には苦勞を要する。マッピングファンクション法は、あらかじめ用意したメッシュの座標値を写像変換することにより、対象系の形状を表現しようとするものであるが、この写像関数を求めるのは非常に困難であり、また対象系の形状もある程度限定される。一方、ブロッキング法は、対象系を部分系に分割することにより複雑な形状を容易に表現し、メッシュサイズやメッシュパターン、物理定数など、部分系ごとの性質の変化にも対応できる。以上より、構造解析のための要素分割を行う場合、ブロッキング法が適していると考えられる。しかし、モデルの形状を適切に表現するためには、その形状が複雑になるにつれて部分系数を増やす必要があり、各部分系の情報を入力データとするブロッキング法においては、部分系数が増えるにしたがって、その入力データ量も増加する。これがブロッキング法の最大の問題点であり、解決策としてメッシュパターンの増加、入力する部分系の情報の減少などが考えられる。したがって、非常に複雑な形状を有したモデルの要素分割を行う場合、ある程度対象系を限定し、それに適したメッシュパターンをより多く用意した要素自動分割法を開発する必要がある。

3. 要素自動分割法 本節では、ブロッキング法を用いて要素自動分割法の開発を行う。なお、各部分系の形状は直線または円弧により構成された、線分、3角形または4角形とする。

3-1. 2次元要素自動分割法の考え方

①3角形部分系の分割 任意の2辺を入力された分割数により等分割する。他の1辺が直線の場合には、図.1-aのように直線で内点を発生させ、他の1辺が円弧の場合には、図.1-bのように、内側に進むごとにその円弧の半径を大きくして曲率を緩和する。

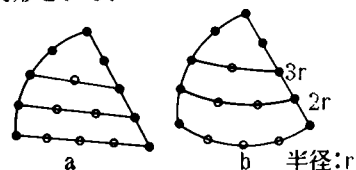


図.1 3角形の分割

②4角形部分系の分割 任意の向かい合う2辺を入力された分割数により等分割する。他の2辺が直線の場合には、図.2-aのように直線で内点を発生させ、他の2辺が円弧の場合には、図.2-bのように2辺の中央点間を等分割した点と先に分割を行った2辺上の点の3点により曲率を定め、内点を発生させる。

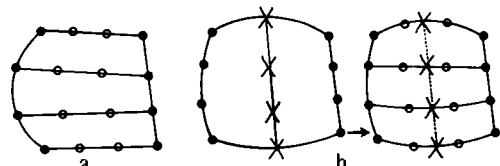


図.2 4角形の分割

③部分系の接続 部分系ごとに行った要素分割を全体系に組み込む場合には、節点番号を付け直す必要がある。そこで、すでに組み込まれた部分系と共有する境界線を持つ部分系については、先に組み込まれた境界線上の節点番号を記憶しておき、その共有する境界線上の点に記憶しておいた節点番号を与える。

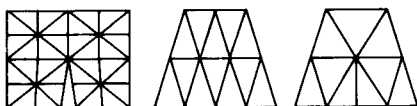


図.3 メッシュパターン
a.クラック先端用 b.緩和領域用

3-2. 2次元き裂解析用の要素分割法 2次元連続体のき裂伝播解析を有限要素法を用いて行う場合、応力集中の発生するクラック先端部での解析が最も重要であり、十分な解析精度を得るために、要素サイズを小さくし分割パターンを一定とすることが望まれる。一方、外周辺部では応力の変化がさほど激しくないと考えられるので、解析を効率的に行うために比較的粗い要素分割を行う。このき裂解析のための要素分割をブロック法を用いて行う場合、き裂の入った複雑な形状に加え、メッシュサイズの全く異なるクラック先端部と外周辺部をうまく結び付ける必要があり、その部分系数は著しく増加する。そこで、クラック先端部や緩和領域専用のメッシュパターン（図.3-a, b）を組み込むことにより、部分系数の減少を図る。クラックの進展については、初期クラックより進展方向を予測し、あらかじめその方向にクラック進展経路を定めておく。そして、クラックはこの経路上にある許容値以内の誤差で進展するものと仮定し、クラック進展に伴う再分割を行う。この要素自動分割法を用いて実際に要素分割を行った例を図.4 に示す。

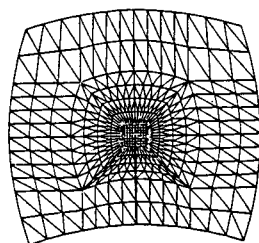


図.4 分割例1

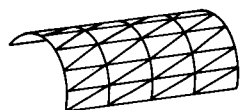
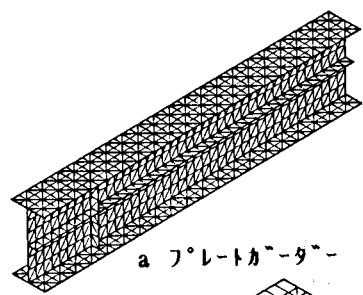
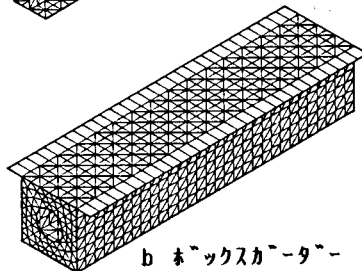


図.5 シェル構造用のメッシュパターン

3-3. 3次元構造解析用の要素分割法 対象とする構造物の形状が単純である場合には、モデルは2次元体で十分であるが、プレートガーダーのスティフナ接合部の応力集中やボックスガーダー、シェル構造物などを有限要素解析する場合には、2次元体のモデル化では不十分である。そこで、3次元連続体を2次元連続体の集合体としてモデル化することにより、構造物の特徴を十分に表現し、自由度の膨大な増加を防ぐ。分割はブロック法を用いて行い、シェル構造にも対応出来るよう面外方向への曲率を持つ分割パターン（図.5）を用意する。この分割法において、線分の部分系は1次元要素すなわち、はりまたは棒要素となり、3角形、4角形の部分系は2次元要素すなわち、面内要素、板曲げ要素、平面シェル要素となる。図.6-a, bに、この要素自動分割法を用いて実際に要素分割を行った例を示す。



a プレートガーダー



b ボックスガーダー

図.6 分割例2

4. あとがき 本研究は、2次元き裂解析及び3次元構造解析用の要素自動分割法の開発をブロック法を用いて行った。2次元き裂解析のための分割法は、前もってき裂進展方向が予測できる場合に、特に有効であり、3次元構造解析のための分割法は、モデルが2次元で適切に表現できない場合にその効果を発揮する。しかし、両者ともブロック法の問題点を完全に克服しておらず、今後の課題として、多角形部分系の分割パターンの組み込みなどが考えられる。しかし、これも十分なものとはいえず、入力データ量をより減少させるためには、ある程度解析対象モデルを限定し、専用のメッシュパターンを組み込む必要がある。

<参考文献> 1) 谷口健男, 鶴海康雄, 岡山大学工学部紀要, Vol.21-2, 1987, 47-63

2) 鶴海康雄, 谷口健男, 木村透, "き裂の伝播解析のための要素自動分割法",

土木学会第41回年次学術講演会, I-245