

クラック解析のための要素自動分割法の開発

岡山大学工学部 正員 谷口健男
川鉄システム開発 坂本史己
岡山大学大学院 坂本マリオ教授

1. まえがき

近年、鋼構造物における疲労算によるクラック発生メカニズム、およびその伝播特性を探り、これらは構造系の耐力・寿命算と相連しようとする試みが行なわれるようになった。このような非常に複雑な構造系に対してモックアップ解析も可能なようになったのはFEM解析法の発達に因るところが大きい。ここで問題となるのは系のモデルへの変換である。特にクラック解析においては、クラックの進展に伴って、モデルとその自由度をみなおす必要があり、要素自動分割法が必要不可欠な道具となる。本研究は、これに対して1つの提案を介あうとするものである。

2. クラック解析におけるFEMモデル

クラックの伝播を有限要素法(FEM)で解析しようとする方法として、今日いくつかの手法が提案されているが、その1つとしてクラック近傍の応力拡大係数(通常 AK で示される)をFEM解析により求め、Parisの伝播則 $\frac{da}{dN} = A(AK)^m$ (A :クラック長, N :くり返し回数, A, m :対象物の特性係数)を用いて進展量 Δa を求めようとする方法がある。この手法を用いる場合、クラック近傍におけるFEMモデルは特に精度の良いものとなるべきはならず、すでにいくつかの有効なモデルが提案されている。ここで問題は、クラックの進展に伴い、クラック先端部において精度を高め解を求めるとき、メッシュの再分割が要求される点がある。ここで提案する方法は、クラック先端部のメッシュパターンを固定化し、クラックの進展に伴い、進展した量だけその部分のメッシュを進めるというものである。以下では、この固定メッシュ部をクラックゾーンと呼ぶことにする。これにより、少くとも解析の主目的であるクラック先端部分に関しては最も近い解を得ることが出来る。このゾーン移動を容易ならしめるために、このゾーンを包含する部分領域を設定(これを緩和ゾーンと呼ぶ)し、全体系に残る部分(これを外部ゾーンと呼ぶ)と区別する。以上示した系の部分系への置換により、

○クラックゾーンの移動量が無視できる範囲では、メッシュ再分割は緩和ゾーンに対してのみ行えば良く、外部およびクラックゾーンを再分割する必要はない。

○クラックゾーンの移動量が大きくなった時、緩和および外部ゾーンの再分割を行えばよい。

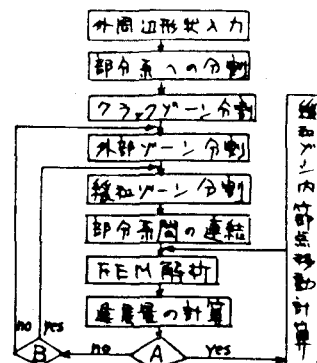
これにより、分割が容易になると考えられる。この方法の利点は、応力解析上最も注意を要する箇所となるこの部分に対しては、決して再分割を行わない点であり、この部分に対する境界条件となる緩和・外部ゾーンの再分割で、全て処理しようとする点にある。

3. 要素自動分割法

クラックを含む系を文献1)、2)に示された手法によりクラックゾーン、緩和ゾーン、外部ゾーンの各部分系に分断する。クラックゾーンに対して適切な分割パターンを入力を行う。クラックゾーン・境界上の節点数を基にして緩和ゾーン、外部ゾーンの分割を文献1)、2)の方法により行い、基本分割を設定する。このFEMモデルに対して応力解析等を行い、その結果よりクラック進展量を求める。進展量だけクラックゾーンの移動を行い、それに従い緩和ゾーン内の節点を標の再計算を行い、応力解析等とくり返す。もし移動量が設定した許容値を越える場合、緩和および外部ゾーンの再分割を行う。以上をまとめたのが、図1のフロー・チャートである。

右図に示したフロー・チャートにおける問題点と、解決策について述べる。

- (1). モデルの入力：対象系の形状認識が問題であるが、ここでは複雑な形状を取り扱うことを目的としていることより、文献1), 2)で示される方法、即ち、形状を表現するに必要最低限の節点座標を直接入力する。
- (4). 部分系への分割：(1)と同様の問題があり、従って、2部分系に分割するに必要な節点座標を直接入力するという方法とする。
- (3). クラックゾーン分割：パターンを前もって入力しておき、半径の値を入力することにより自動的に節点値を計算させる。
- (4). 外部および緩和ゾーン分割：文献1), 2)の方法を用いる。
- (5). 部分系の連結：部分系単位で発生させたデータで統一するステップであり、文献1), 2)で開発された方法と活用する。
- (6). 緩和ゾーン内節点座標再計算：進展量が変わる場合の処置であり、緩和ゾーン内節点等の位相構造を変化させ、単に座標値のみを変化させる。
- (7). 分岐A：位相構造の変化を行うかどうかの判定があり、ユーザーにより与えられた許容値により判断する。(図2参照)
- (8). 分岐B：位相構造変化を緩和領域に限定して行うか、外部領域も含めて行うかの判定があり、緩和ゾーン内要素の角度に対し許容値を規定し、それにより判断する。



A: 変位量は許容値以下?

B: 緩和ゾーンとクラックゾーンは同じか?

図1 有限要素分割フロー・チャート

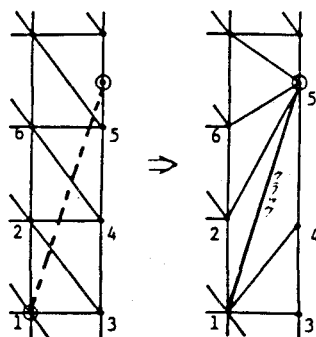


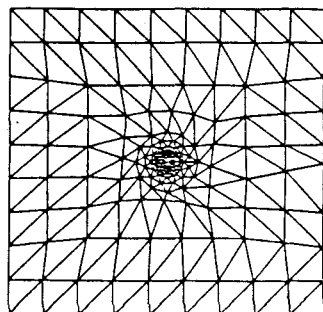
図2 位相構造変化に伴う再分割例

4. 提案した自動分割法の適用例

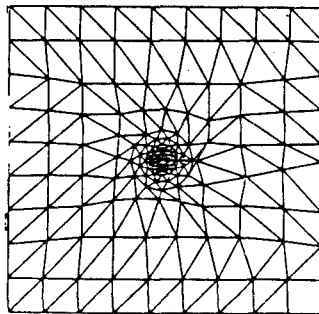
矩形領域内にクラックを規定し、クラックの傾斜角を入力して自動分割法を適用した例を図3に示す。(a)は元の分割、(b)は傾斜角を指定した時の分割結果、(c)は大きく傾斜した時の分割結果を示す。この例は問題化した問題点と12(b)図における緩和ゾーン内の要素の歪みが分かる。分岐Aに対する再分割が必要であると云える。

5. まとめ

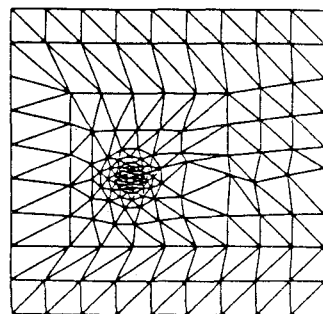
ここで提案した要素自動分割法は“汎用性”と“全自動化”の両目的を達成しようとしたものだが、両者は両立が難しく、今後の方針として、汎用性を限定して全自動化を主目的とするべきであろう。参考文献 1). 谷口・梶谷, “有限要素法のための要素自動分割法の開発”, 第36回土木学会中国四国支部研究発表会, 昭57, pp.31-32 2). 梶谷, “有限要素法のための要素自動分割法の開発”, 岡山大学卒業論文, 昭59



(a) 元の分割例



(b) 傾斜角指定に対する分割例



(c) 大きく傾斜に対する分割例

図3. 提案した要素自動分割法の適用例