

PS I - 1 き裂伝播解析用メッシュジェネレータ —デラウニーの三角形分割法の利用—

岡山大学工学部 正会員 ○谷口健男

岡山大学大学院 学生員 太田 親

1. まえがき 有限要素法による橋梁等の構造体内でのき裂伝播解析において要素分割の自動化は不可欠であり、更にき裂の伝播挙動が全て解析解に支配されることより、解析精度の向上並びにその精度保持が解析の各段階で要求され、他の有限要素解析とは比較にならない様々な条件が発生する。これら諸要求は1) 境界条件および境界形状が複雑である、2) き裂自体が境界でありそれが成長する、3) 複数個のき裂を扱う必要がある、4) 高精度解析のためき裂先端にはレギュラーな要素配置が必要である。本研究の目的は上記諸要求を満足させるき裂伝播解析のための要素自動分割法の提案にある。

2. 要素分割法の考え方

①ここで取り扱うき裂は鋼橋の様な3次元構造体内に位置する2次元構造要素において発生するものである。計算機の性能を考慮した時、解析法として有効なものは多段階解析法であり、ここではこの手法を用いることにする。従って、要素分割の基本としてブロックング法を用いる。

②各ブロックに対するメッシュ分割法として演算時間等を考慮した時、メッシュ関数の利用が有効である。従って、ブロックの要素分割には様々なメッシュ関数を準備し、それらの中から適切なものを選択し用いることにする。

③き裂先端部を含むき裂進展領域を一つのブロックと考えた時、その部分に対するメッシュ関数を作成することは殆ど不可能である。例え作成できたとしてもユーザーの要求を全て満たすとは限らない。ここで、このブロックに対する要素分割法としてデラウニーの三角形分割法の適用を図る。デラウニー法とは任意に配置された節点について、まずそれら節点を全て包括する三点（スーパートライアングルと呼ぶ）の外接円を描き、その内部において順次より小さなスーパートライアングルを作成して小分割を繰り返し、結果として互いに近接する三節点で最も正三角形に近いものを作成する手法である。

④デラウニーの方法の欠点として節点分布は凸でなければならないことが挙げられる。従って、対象領域内にき裂が存在した場合、き裂の存在を無視して与えられた節点を用いて三角形の集合に置き換えてしまい、結果としてき裂線が発生されない場合が生じる。この現象を阻止するためにはここではき裂線として認識させたい節点を他の部分の節点分布以上の密度でもって配置する。この操作によってき裂線は必ず発生できることになる。

⑤解析精度を向上させるにはき裂先端部の要素配置はレギュラーであって、また他の部分に比べて十分小さな要素が配置されねばならない。デラウニー法を用いてこの様な要求を満足させる要素分割をその部分で行うことは必ずしも不可能ではないが、ここでは次に示すような手法を採用する。き裂先端に位置する場所に一つの節点に置き、他の部分にはグリッド状に節点を配置する。更に、上に示したようにき裂線として認識させたい線上に節点をより密に発生させる。この準備の後デラウニー法を用いて三角分割を行う。その後、き裂先端位置に当たる一つの節点を前もって作成しておいたレギュラーなメッシュパターンで置き換える。以上示した手法によってき裂先端には十分精度検討された信頼のおける要素分割が出来ることになる。

⑥成長したき裂の扱いは、き裂として新たに認識された要素の境界線上の節点を二重節点（一つの節点を二つの節点で置き換える）として扱い、関連する要素一節点関係を新しい節点番号で置き換える。

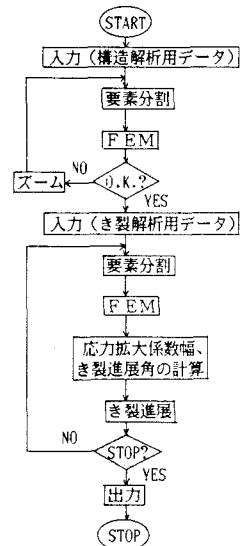


図1 き裂伝播解析の流れ図

⑦要素分割するために配置された節点分布はユーザーが適当に設定しただけでその分布状態は解析に十分適したものとは言えない。すなわち、デラウニー法を利用して三角形要素に分割した後、節点分布の修正が必要な場合がある。ここではラブラシアン法を用いて節点座標を移動せしめる。ラブラシアン法とは、いま考えている節点を全周辺要素の重心位置におくものである。これを修正したい節点に対して繰り返し、その移動量がある値に収束した段階で止める。

3. 要素自動分割法とその適用例

構造系全体解析を含めてのき裂伝播解析法の流れ図を図1に、またき裂先端領域を含めたき裂進展領域を対象とした要素自動分割法の流れ図を図2に示す。なお図2に示した手法を用いた場合の要素分割の流れを図3で示したのが図3である。更に複数個のき裂が存在し、それらが進展してゆく過程を示したのが図4である。この要素分割法を使用する際の留意事項をまとめると、1) 図3・4から判るように部分系の辺上分割数をもとに節点を発生させるので、その減少は発生節点の大幅な減少を引き起こし、結果として要素分割を粗くするため解析精度上好ましくない。2) き裂先端部の要素長は小さいほど良い解析結果が得られる訳ではないので、き裂先端周辺以外とのバランスを考えて要素長を決定する技術的判断が要求される。3) 部分系形状として凸型四辺系を扱う。ここで、あまりに歪んだ四辺形は分割後歪んだ要素を生むため極力避けるべきである。

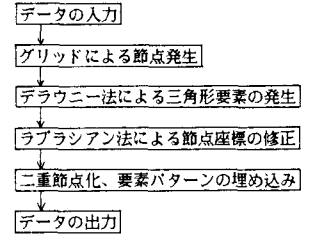


図2 要素自動分割の流れ図

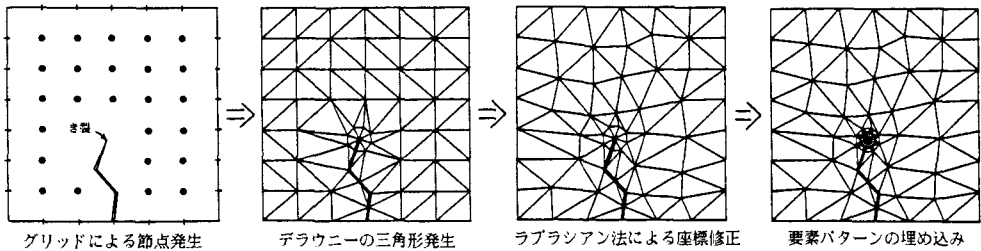


図3 要素分割手法の流れ

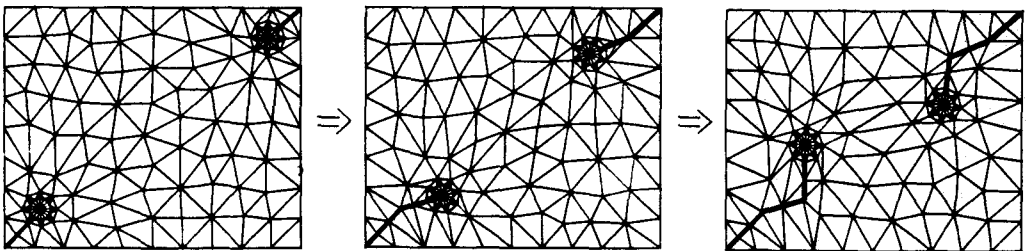


図4 複数き裂進展への適用例

4. あとがき

本研究においてブロッッキング法、デラウニーの三角形分割法、メッシュ関数を用いたき裂進展解析用の要素自動分割法を提案した。適用例でも判るように当初の目的を充足する手法が提案できたと言える。今後の課題として3次元への拡張が望まれる。

《参考文献》 S.W.Sloan, "A Fast Algorithm for Constructing Delaunay Triangulations in the Plane", Adv. Eng. Software, 1987, Vol.9, No.1