

重合メッシュ法によるき裂進展解析システムと解析事例

1. はじめに

東京理科大学 菊池正紀教授と著者の研究グループでは、疲労き裂進展解析を行うために重合メッシュ法(s-version FEM)を実装しさまざまな問題に適用できるよう改良を続けてきた。この重合メッシュ法による疲労き裂進展解析の論文(日本機械学会論文集, 75-755, A, (2009), 918)が2011年度日本機械学会賞(論文)に選ばれた。本稿では、開発したシステムが、どのような工学問題に適用できるのか紹介する。

2. 背景

機器・部品の健全性を確保することは機械技術の重要な課題の一つである。とくに疲労破壊は機器の破壊・損傷の原因の80%以上を占めるため、疲労破壊に対する評価は重要である。疲労破壊は通常、機器の応力集中部を起点として発生し、長期間のうち徐々に進展し破壊に至る。そのため微小な疲労き裂の検出とその進展予測が重要な技術と位置づけられている。

3. 重合メッシュ法の利点

き裂の進展を評価するには、有限要素法による応力解析とそれに基づいた応力拡大係数(き裂近傍の力学状態を表し、き裂進展速度と方向を決めるパラメータ)の評価が不可欠である。しかし、時々刻々と形状が変化するき裂に対して評価するためには、き裂を含む構造全体の有限要素モデルを毎回更新しなければならない。この作業は極めて煩雑で、現実的な問題を解くためには簡単に対処できない。この問題を解決するために、著者らは重合メッシュ法に着目し、これを自動メッシュ生成技術と組み合わせき裂進展シミュレーションのためのシステムを構築した。重合メッシュ法とは、グローバルメッシュ(解析対象全体)とローカルメッシュ(たとえば、き裂)を個別に定義し、それらを重ね合わせて同時に解く方法である。有限要素法で研究・開発されたさまざまな手法が適用できる。き裂が複数個ある場合には、有限要素法によるメッシュでは幾何学的制約からメッシュ生成の労力が極めて高まる。この制約がないため、たとえば図1に示すようなき裂進展解析が容易になる。解析結果を得るまでの労力

が極めて少ないことが本システムの最大の特徴である。

4. き裂形状の決定

き裂進展問題が三次元になることで、応力拡大係数の混合モード成分として K_I 、 K_{II} と K_{III} を考慮し、き裂進展方向、き裂進展速度を決める。これらの量を用いて新たなき裂形状を三次元的に決定できる。このき裂形状から自動的に有限要素モデルを生成すれば、解析を自動で継続できる。

5. 解析事例

このシステムを二つの平行き裂の相互干渉問題に適用し、日本機械学会の原子力維持規格と比較した。重合メッシュ法におけるメッシュを図1に示す。このように、三つをそれぞれ独立に作成し重ねればよく極めて簡単にモデル生成が行える。このモデルを用いて詳細に検討した。その結果、二つのき裂の相互干渉効果を判定する新たな基準を提案した。

次に、いくつかの例題を解析した結果を受賞論文にて報告した。パイプ内壁に存在する表面き裂問題を解析して構造物の外形が曲率を持った場合において本手法の有効性を示した。この例題を通して多くの実用問題へ適用できる可能性が示された。また、図2に示す二つの段違い表面き裂の進展挙動を解析し、日本機械学会の原子力維持規格と比較・検討して原子力維持規格が保守的な評価をしていることを確認した。

最後に、硬さの異なる材料が存在する部材の中でき裂が進展する様子を解析した。この様子を図3に示す。円形の破線が母材に比べてヤング率の大きな材料を設定した。母材中を上下に移動しながら進展した。これはヤング率の大きな材料を避けるようき裂が進展する様子がわかる。

6. おわりに

ほかにもねじりを受ける配管中のき裂進展、溶接部における残留応力を考慮した応力腐食割れによるき裂進展解析など、いずれも三次元における解析を行った。また、解析の妥当性を検討するための実験も行っており論文で発表している。これまでの研究活動の結果、東京理科大学を中心に重合メッシュ法の応用に関する共同研究をいく

つかの組織と行っている。今後も工学問題の解析・評価および手法・システムの改良を続けたい。

(原稿受付 2012年5月7日)

[和田義孝 近畿大学]

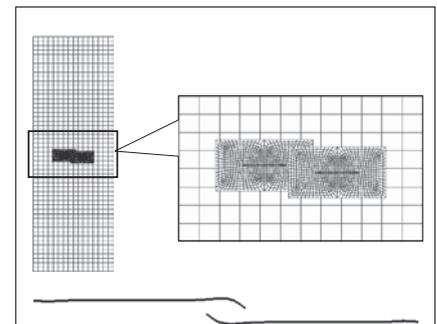


図1 重合メッシュ法による二次元段違い閉口き裂解析のモデルと解析結果

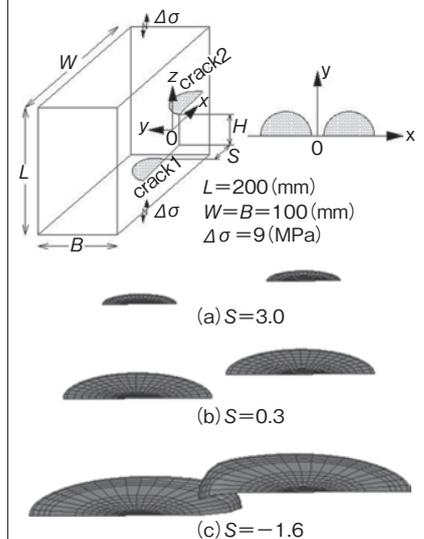


図2 三次元表面き裂の進展解析モデルと解析結果

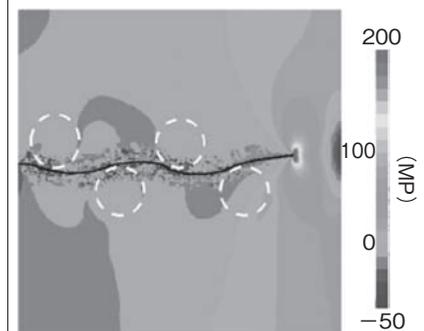


図3 複合材料中における疲労き裂進展挙動