

ANSYSによる弾性解析

Elastic Analysis by ANSYS

川村 壮司

Takashi KAWAMURA

1. はじめに

有限要素法 (FEM) は, コンピュータの発達に伴い様々な分野で利用される頻度が高くなってきた. 市販の有限要素法は, その知識がなくても操作方法さえ覚えれば, 何かしらの応答が得られる. 非常に便利ではあるが, 出てきた答えをそのまま鵜呑みにして信用することは危険である. そのため, 有限要素法を使用するには, ある程度の経験が必要とされている.

著者は, これまで市販の有限要素法を用いて破壊力学に関する研究を行ってきた. 使用していた有限要素法ソフトは, MSC 社製の Marc/Mentat であった. しかし, 高専において研究を行うにあたり, サイバネット社製の ANSYS を購入した.

そこで本論文は, ANSYS を用いて, 破壊力学の弾性解析を行い, 要素分割数による影響を検証した. また, 厳密解との比較による検討も行った.

2. 破壊力学の概念

ここでは, 破壊力学の詳細な説明は省略する. 破壊力学は, Irwin によって提案された, き

裂を有する材料の破壊の予測を行うことができる学問である. また, この破壊の予測は, 弾性範囲に限られている. よって, 本来であるならば, 線形き裂力学と呼ばれるものである.

線形き裂力学について二次元問題のモード I 型き裂材を例にとりて説明する. 以下, き裂先端を原点とする.

図 1 は, 線形き裂力学の概念を模式的に示したものである.

線形き裂力学は, 試験片(1)と実物(2)において, 応力拡大係数 K_I が両者で等しいとき, き裂先端付近の弾性応力場が等しくなり, さらにレスポンスの等価性により弾塑性応力場も等しくなり, したがって試験片と実物で同一現象が生じることを保証するものである. すなわち, 線形き裂力学は応力拡大係数 K_I を厳しさの尺度とするものである.

3. 解析条件

図 2 は, 平面応力条件下の解析に用いた形状と寸法を示している. 形状は中央にき裂を有する帯板である. また, 寸法は図 2 に示すとおりである.

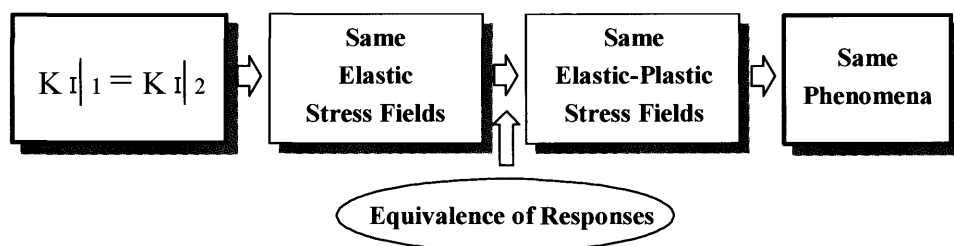


Fig.1 Linear crack mechanics and non-linear crack mechanics [1 : Specimen , 2 : Real Object].

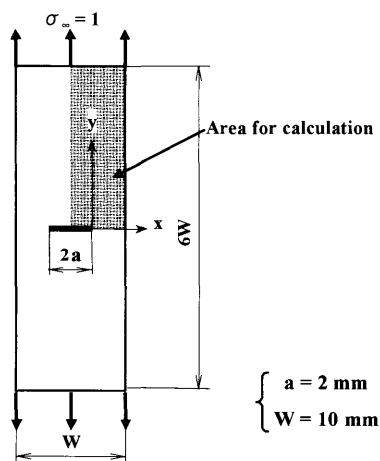


Fig.2 Treated problems.

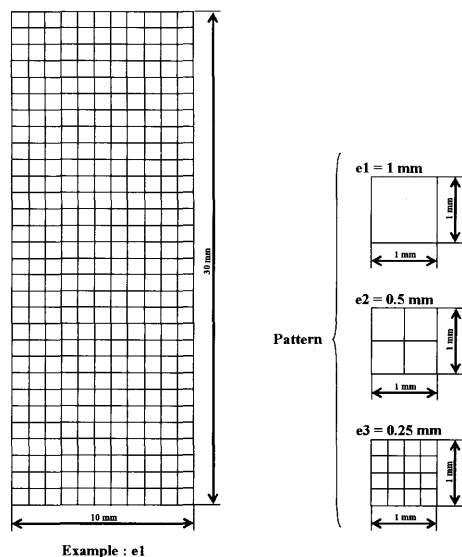


Fig.3 FEM mesh pattern.

図3は、本解析に用いた形状に対する要素分割を示している。要素分割をした際、四角形要素の一边が1mmになるようにしたものをe1(=1mm)、同様にして一边が1mmとした要素中に要素数が2倍になるよう細かくした要素をe2(=0.5mm)、さらに同様にして4倍に細かくした要素をe3(=

0.025mm)とした。なお、計算対象領域は対称性を考慮して図2の細線を施した1/4の部分に該当している。

材料は、軟鋼(ヤング率 $E=210\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$)とした。

弾性解析の際には、平面応力条件下を仮定した。

4. 適用事例

本論文では、FEMによって計算された結果が正しいかどうかを判断するために、体積力法(BFM)により真の値の応力分布を求めた。これにより、FEMの応力分布と比較することができる。また、FEMにおける要素分割数が及ぼす影響についても示した。

まず、各要素分割(e1, e2, e3)による、それぞれの応力拡大係数を求めた結果について述べる。その後、要素分割を細かくしたことによる影響から応力拡大係数の値が変化する理由を述べる。

4.1 応力拡大係数の算出

要素分割数を三段階に変化させて、その計算結果に及ぼす影響について述べる。

応力拡大係数は、応力外挿法により求め、厳密解と比較した。なお、厳密解は体積力法汎用プログラムを使い、6桁まで収束させた値を用いている。

以下の図4から図6は、縦軸に無次元化応力拡大係数、横軸にき裂先端からの距離を取っている。

図4は、要素分割がe1の場合、応力外挿法により、無次元化応力拡大係数を求めた結果である。これより、わかるように、応力外挿法により求められた無次元化応力拡大係数は1.0964で、厳密解との誤差は、15.9%である。

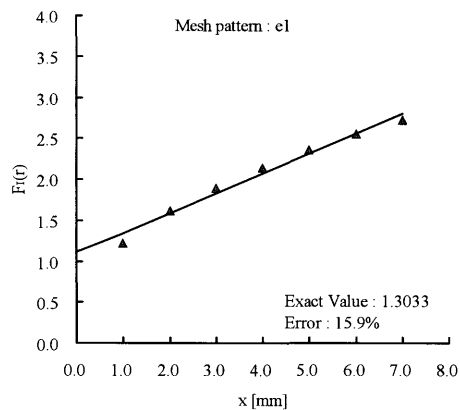


Fig.4 Stress extrapolation method (e1).

図5は、要素分割がe2の場合、応力外挿法により、無次元化応力拡大係数を求めた結果である。これより、わかるように、応力外挿法により求められた無次元化応力拡大係数は1.1728で、厳密解との誤差は、10.0%である。

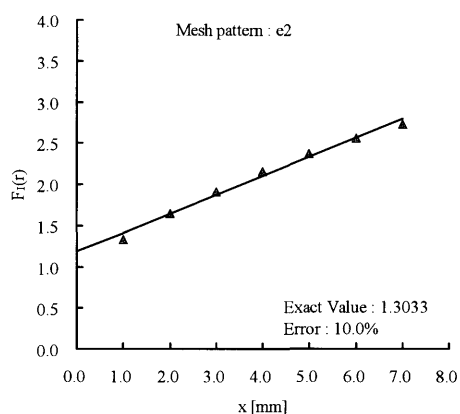


Fig.5 Stress extrapolation method (e2).

図6は、要素分割がe3の場合、応力外挿法により、無次元化応力拡大係数を求めた結果である。これより、わかるように、応力外挿法により求められた無次元化応力拡大係数は1.194で、厳密解との誤差は、8.4%

である。

以上のように、要素分割数が増えることで、有限要素法の特徴でもある厳密解に解が近づいていることがわかる。なお、有限要素法によって得られる解は、近似解ではない。

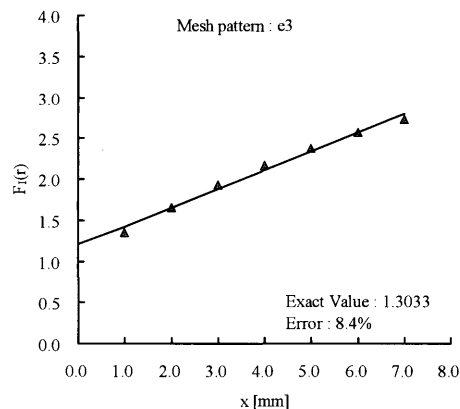


Fig.6 Stress extrapolation method (e3).

4.2 き裂先端の重要性

ANSYSによって求められた値から算出した応力拡大係数は、簡単な分割数であるにも関わらず、分割数を増やせば、真の値に近づいていく、有限要素法の特性どおりの結果が得られた。そこで、分割数を増やすということは、き裂先端において、どのような意味があるのかをみる。

以下の図7から図9は、縦軸に応力、横軸にき裂先端からの距離を取っている。なお、いずれの場合も、き裂先端の応力値は、本来無限大となるべきものであるので、無視する。

図7は、要素分割がe1の場合、有限要素法と体積法により得られた応力分布を比較した結果である。これより、わかるように、き裂先端の値を除き、緩やかに似ていることがわかる。

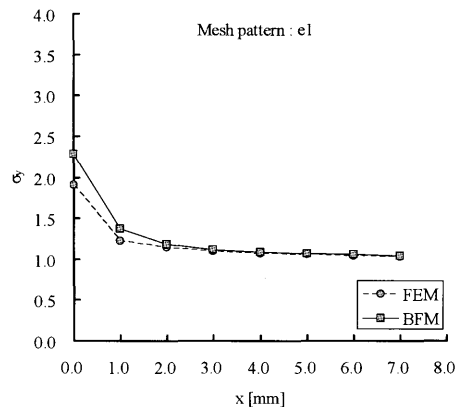


Fig.7 Relative stress distributions near crack tip (e1).

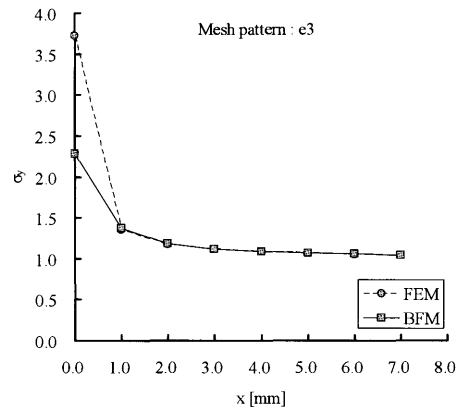


Fig.9 Relative stress distributions near crack tip (e3).

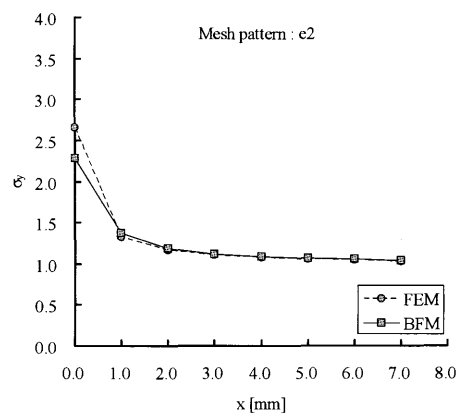


Fig.8 Relative stress distributions near crack tip (e2).

図8は、要素分割がe2の場合、有限要素法と体積力法により得られた応力分布を比較した結果である。これより、わかるように、き裂先端の値を除き、よく似ていることがわかる。

図9は、要素分割がe3の場合、有限要素法と体積力法により得られた応力分布を比較した結果である。これより、わかるように、き裂先端の値を除き、極めてよく似ていることがわかる。

以上のように、要素分割数を増やすことは、外挿法を用いたき裂の解析において、有効な手段であることがわかる。すなわち、これを発展させると、き裂先端近傍の要素分割を細かくすることが重要であるという結果が得られる。

5. おわりに

本論文では、有限要素法汎用ソフトであるANSYSを用いて、破壊力学に関する弾性解析を行った際の結果について述べた。ANSYSを用いて、破壊力学関係の解析を行う人の助けになれば幸いである。

今後も、弾性解析および弾塑性解析における強度評価パラメータについて、研究を行きたい。

最後に、平成15年度の研究重点配分を頂くことで有限要素法を買うことができました。関係各所に、心から感謝致します。

「受理年月日 2004年9月29日」