

モードⅢき裂変形様式の応力拡大係数の適用に関する検討

徳山高専 正会員 ○橋本 堅一

1. はじめに

モードⅢ(面外せん断)き裂変形様式の応力拡大係数 K_{III} は扱いの容易さもあり, 多くの厳密解や解析解が2次元問題に対して求められている. しかしこれらの解析結果はモードⅠの応力拡大係数 K_I の解析結果が破壊靱性評価に用いられているように使用された実績がなく, 実際はどのような条件の下で利用できるかは明らかでない. 本研究ではモードⅢの破壊靱性評価を得るための方法を模索することを目的に数値解析により2次元問題の応力拡大係数 K_{III} の適用性について検討した.

2. 解析手法とモデル

解析方法は, 対象モデルと対象モデルから微小面積を進展させたモデルの2つの解析モデルのもつひずみエネルギーの差を進展させた面積で除してエネルギー解放率を求め, 次式で応力拡大係数をエネルギー解放率に換算した.

$$G_I = \frac{1-\nu^2}{E} K_I^2, \quad G_{III} = \frac{1+\nu}{E} K_{III}^2 \quad (1)$$

ここで G , K はそれぞれエネルギー解放率と応力拡大係数で添え字は各き裂の変形様式を表している. また E および ν はそれぞれ縦弾性係数とポアソン比である.

解析したモデルは Fig.1 に示すモデルで, それぞれの2次元の応力拡大係数の解析解は(2)式と(3)式で与えられる.

$$K_I = \sigma_0 \sqrt{\pi a} F_I(\xi), \quad \xi = a/W, \quad \sigma_0 = 3SP/(2W^2), \quad (2)$$

$$F_I(\xi) = 1.090 - 1.735\xi + 8.20\xi^2 - 14.18\xi^3 + 14.57\xi^4$$

$$K_{III} = 2P/\sqrt{\pi a} F_{III}(\xi), \quad \xi = a/W, \quad F_{III}(\xi) = \sqrt{\pi\xi/\sin\pi\xi} \quad (3)$$

用いた有限要素モデルは Fig.2 に示すメッシュ分割で, 要素は8節点アイソパラメトリック6面体要素を用いた. 両方のモデルとも1/2領域を解析し, き裂の長さはモデル高さの1/2とした. モードⅠのモデルに対しては長手方向の一端下部節点の上方向を拘束し, もう一端を対称条件として, リガメント部分の長手方向を拘束して, リガメント上部に1/2の荷重を载荷した. モードⅢのモデルは一端のすべての方向を拘束して, もう一端は逆対称条件としてリガメント部の载荷方向を拘束した. モードⅢの2次元解の長手方向は無限長さを持

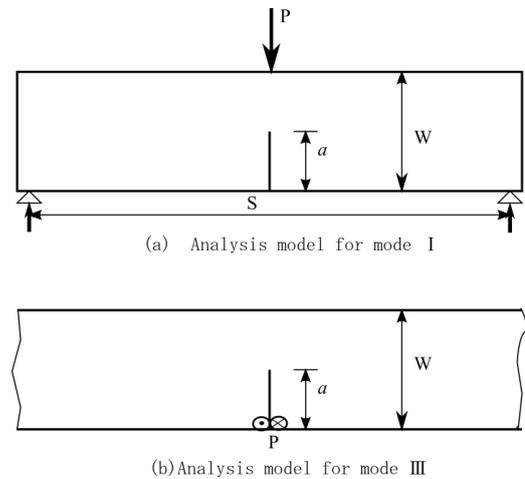


Fig.1 Analysis model for mode I and mode III

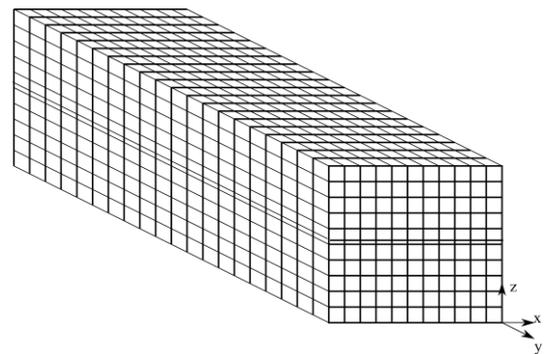


Fig.2 Finite element mesh division

つものであるが, 全拘束部の一列前を全拘束して結果が変わらないことを確認している. 図中, 高さの異なる要素が, き裂進展モデルに対応する要素である. 対称面および逆対称面の1節点を解放して, き裂進展モデルとするため, 端は1要素分の面積の進展量, その他は2要素分の面積の進展量となる.

ひずみエネルギーを求める方法には, 要素内の応力とひずみを用いる方法, 荷重と载荷点変位を用いる方法, き裂周辺の面積分を用いる方法等があるが, 扱いの容易な荷重と载荷点変位を用いる方法を採用した.

3. 結果と考察

Fig.1 にモードⅠモデルのき裂進展モデルのき裂進展量について検討した結果を示す. 縦軸は得られた応力拡大係数を2次元の応力拡大係数の解析解で除して

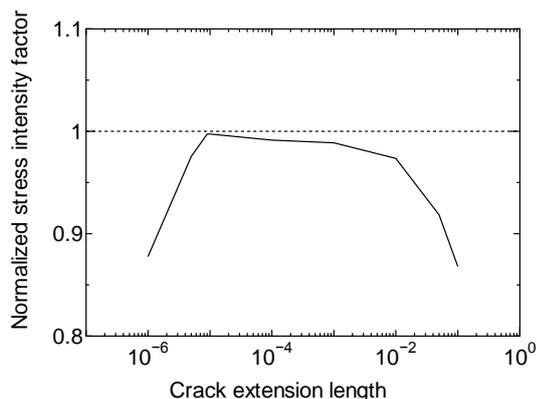


Fig.3 Investigation of crack extension length for mode I model

無次元化したもので、横軸にき裂の進展量をほとんどの有限要素として用いた正6面体要素の一辺の長さを1としたときの進展長さを示す。き裂進展量を小さくすると2次元の解析解に近づき、0.00001 ℓ では2次元の解析解と0.27%の差をもって一致している。さらに小さくすると倍精度扱いでは誤差が発生してくるので、き裂進展量は0.00001 ℓ で解析を進めた。

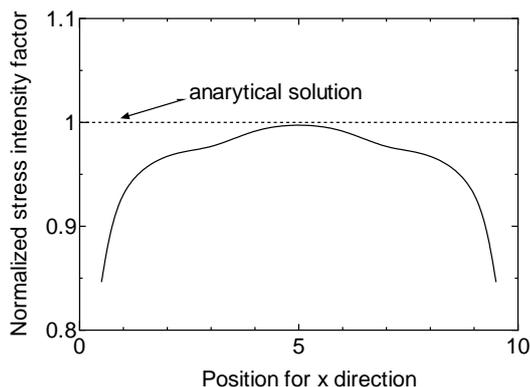


Fig.4 Analysis result for mode I model

モードIモデルの解析結果をFig.4に示す。横軸はモデル幅を10としたときのき裂先端線に沿った応力拡大係数の評価点で縦軸はFig.3同様、2次元解で無次元化した応力拡大係数の解析結果である。き裂面の中央部では2次元の解析解と0.27%の差をもってよく一致しているが、評価点が自由面に近づくにつれて、その値は小さくなり、2次元解とは遠ざかる。この傾向は破壊靱性試験などに見られるき裂の進展挙動をうまく表現している。

モードIIIモデルの解析結果をFig.5に示す。応力拡大係数は中央部分で最大値を示し、モードI同様、自由面に近づくほど小さくなる。しかし、その値は1.916から2.488の範囲内にあり2次元応力拡大係数の厳密解から換算した応力拡大係数とは大きく異なっている。このことはこのモデルの厳密解を用いて破壊靱性値を

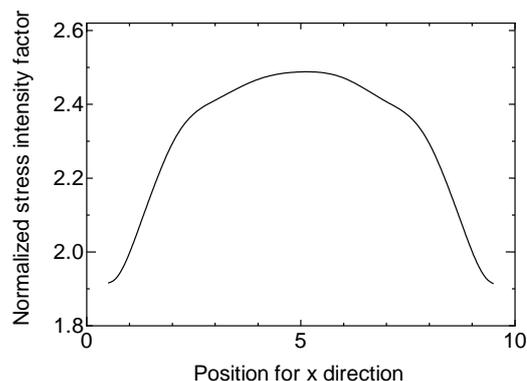


Fig.5 Analysis result for mode III model

評価する場合、実際の破壊靱性値より小さな値で評価することを示唆している。

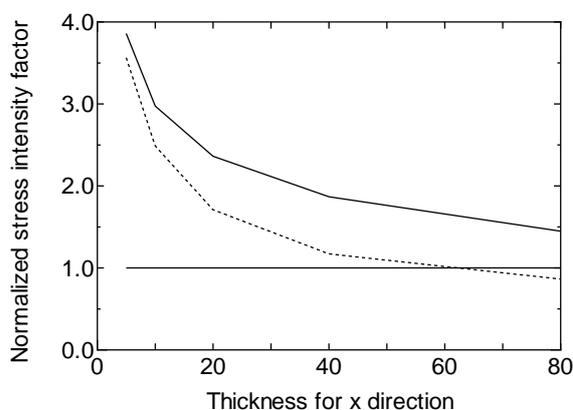


Fig.6 Change of SIF due to specimen thickness

モードIIIの厳密解がどのようなモデルに適用できるかという疑問に対してx方向のモデルの厚さを変化させて、検討した。その結果がFig.6である。破線はFig.2の標準モデルのy方向モデルで解析したもので、実線はその長さを2倍にしたものである。双方ともx方向の厚さを厚くすると2次元厳密解に近づいている。y方向のモデル幅が標準モデルの長さであれば、x方向の厚さを6倍にすると、厳密解を下回っている。これは端部の拘束についてその拘束面積が大きいための影響が表れたものと考えられる。y方向のモデル幅が標準モデルの長さの2倍にしたものはx方向の厚さを8倍にしても厳密解に近づいている。この傾向から判断すると、材料のモードIIIの破壊靱性を評価する場合、供試体の板厚をかなり長くしたいと使用できないことになる。

4. おわりに

以上のように、モードIIIの2次元厳密解は常識的な板厚供試体では使用できないことを明らかにした。もし、モードIII破壊靱性が求める必要が厚なら、今回行ったような数値解析で対応する必要がある。