

I-A 150 主き裂先端近傍に平行干渉き裂が存在するときのき裂進展挙動について

福井工業高等専門学校 正会員 阿部 孝弘
 徳山工業高等専門学校 正会員 橋本 堅一
 金沢大学工学部 正会員 矢富 盟祥

1. まえがき

複数のき裂が存在するとき、き裂相互の位置関係やき裂長さの違いによって、き裂の進展を助長したり、あるいは逆に進展を妨げる効果がある場合がある。また、その位置関係によっては、き裂は直進せずに折れ曲がって進展する。本研究では、片側主き裂先端近傍に平行き裂（干渉き裂と呼ぶことにする）が存在するモデルを想定し、干渉き裂の位置の違いによって、き裂全体の進展挙動がどのように異なるか、すなわち、どのき裂のどの先端がどの方向に進展するかをエネルギー解放率最大の破壊規準に従って考察した。

2. 解析方法と解析モデル

き裂の進展によるエネルギー解放率を求めるには、従来、経路独立なJ積分がよく用いられるが、J積分では、その経路独立性を保つためには、積分経路は進展するき裂の先端のみを囲む必要があり、進展するき裂先端の状況が複雑な場合は、任意の積分経路を取ることができない。また、J積分ではき裂が直進することを仮定しており、き裂が折れ曲がる瞬間時のエネルギー解放率を求めるためには、き裂の折れ曲がり長さを変えた幾つかのモデルについて計算し、折れ曲がり長さが0の極限をとる必要があり非常に不便である。

J積分に対して、本研究で用いたE積分は、準静的なき裂進展である限り、非均質材料、非直線なき裂、任意方向に進展したき裂などの場合でも、複数のき裂先端を含む任意の経路で、経路独立な積分により、求めようとする進展き裂先端からのエネルギー解放率を得ることができる。

E積分によるエネルギー解放率の表示は次式で与えられる¹⁾。

$$E(l, \alpha) = \int_{\Gamma} \int_0^{\alpha} \left(\frac{\partial \mathbf{s}}{\partial \beta} \cdot \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial l} - \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial l} \cdot \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \beta} \right) d\beta ds \quad (1)$$

ここに、 $\mathbf{s}$ は応力ベクトル、 $\mathbf{u}$ は変位ベクトル、 l はき裂長さ、 Γ は領域の境界、 α は荷重パラメータである。本研究では線形弾性体を対象としたため、E積分を線形弾性体に適用し、さらに有限要素法を用いるために、き裂長さに関する微分項を、き裂進展前と進展後における2点差分近似すると、式(1)は次式ようになる。

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left\{ \mathbf{s}_i(l) \cdot \frac{\mathbf{u}_i(l + \Delta l) - \mathbf{u}_i(l)}{\Delta l} - \frac{\mathbf{s}_i(l + \Delta l) - \mathbf{s}_i(l)}{\Delta l} \cdot \mathbf{u}_i(l) \right\} \Delta s \quad (2)$$

ここに、 n は経路における要素辺の数、 Δs は各要素辺の長さ、 Δl はき裂進展長さである。また l および $(l + \Delta l)$ はそれぞれき裂が進展する前と後の物理量を表している。

3. 解析モデル

本研究における解析モデルはFig. 1に示すように、一様引張を受ける横幅 W の無限長帯板中央に長さ l の片側主き裂があり、その先端近傍に主き裂と平行に長さ $2a$ の干渉き裂Aと長さ $2b$ の干渉き裂Bがある場合を想定した。そして主き裂の位置および長さを固定し、干渉き裂の位置および長さを変えた場合における、主き裂先端および干渉き裂Aの両先端が進展する瞬間時のエネルギー解放率をE積分により求め、干渉き裂の位置の違いによるき裂進展特性の変化を検討した。また、き裂の折れ曲がり角度は直進方向から左回りを正とした。

有限要素近似モデルは横幅10cm、縦方向17.32cmとし、要素は正三角形を基本とする定ひずみ要素を用い、横方向80等分割、縦

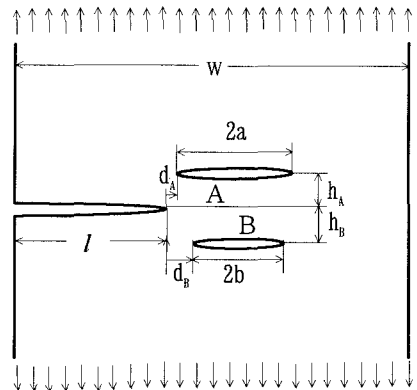


Fig.1 Interacting cracks

方向160等分割とし、積分経路は要素辺上にき裂先端を離れて正六角形とした。また、主き裂長さは4cmとした。

4. 結果と考察

Fig.2は、干渉き裂A、Bの長さを主き裂の1/2とし、垂直き裂間隔を等しく($h_A=h_B$)し、主き裂先端と干渉き裂中央の水平位置が等しい場合($d_A=d_B=-1.00\text{cm}$)における解析結果である。ただし、横軸のエネルギー解放率はE積分による算出値を、無限長帯板に主き裂が1本だけがあり、それが直進するときの解析的級数解²⁾から得られる値で除して正規化してある。縦軸は折れ曲がり角度である。また、Fig.3は干渉き裂の水平位置がFig.2の場合よりも多少右にずれたとき($d_A=d_B=-0.75\text{cm}$)の解析結果であり、Fig.4、Fig.5はそれぞれFig.2、Fig.3で干渉き裂Bがない場合における解析結果である。

Fig.2とFig.3を比較するとエネルギー解放率が最大となる先端は、Fig.2では干渉き裂A右端、Fig.3では主き裂先端となっており、き裂の位置関係が微妙に異なるだけで、き裂進展特性が大きく変化していることが分かる。Fig.2とFig.4を比較すれば、各先端におけるエネルギー解放率の値は相対的にFig.4の方が大きく、き裂の数が多い方がき裂の進展の可能性が小さくなる場合があることがわかる。また、Fig.5では主き裂先端が $+60^\circ$ の方向に折れ曲がるときのエネルギー解放率が最大であり、このような位置関係のときには、主き裂先端が干渉き裂のある側に折れ曲がることになる。

5. あとがき

本研究では、任意の積分経路で、任意方向に進展する瞬間時のき裂先端からのエネルギー解放率を精度よく求められるE積分を用いて、複数のき裂が存在するときの、き裂各先端におけるエネルギー解放率を求め、その進展特性を検討した。その結果、き裂の位置関係の少しの変化で、き裂進展特性が大きく異なる場合があることが明らかとなった。

参考文献

- 1)例えば、Yatomi.C: Int. J. Solids Structures, Vol. 19, No. 2, p183~187, 1983
- 2)白鳥正樹他: 数値破壊力学, 実教出版, p75, 1980

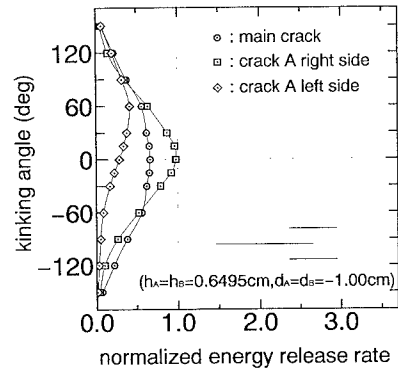


Fig.2 The variations of energy release rate

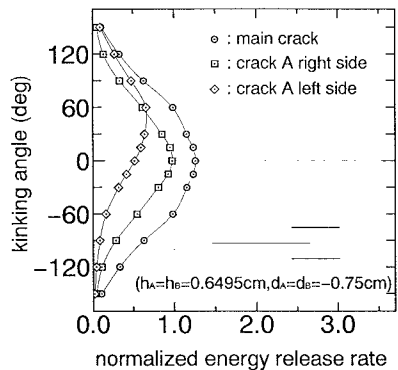


Fig.3 The variations of energy release rate

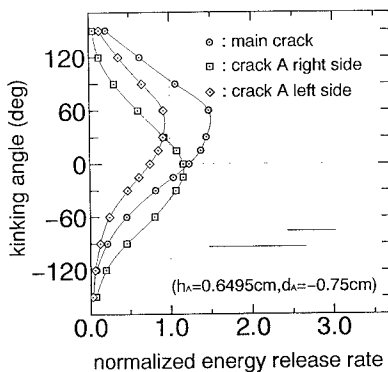


Fig.5 The variations of energy release rate

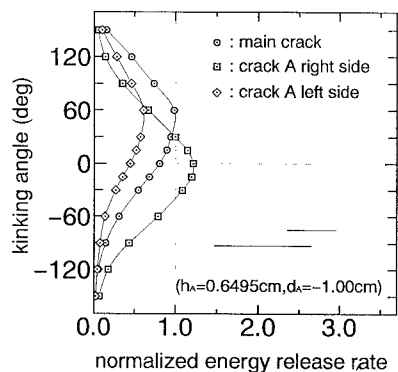


Fig.4 The variations of energy release rate