

I - A222

2つの異なる長さの平行干渉き裂がある場合のき裂進展挙動

福井工業高等専門学校 正会員 阿部 孝弘

金沢大学工学部 正会員 矢富 盟祥

徳山工業高等専門学校 正会員 橋本 堅一

1. はじめに

筆者らはこれまでに線形弾性体中にある主き裂先端近傍に平行き裂（干渉き裂と呼ぶ）が存在する場合における、き裂進展瞬間時のエネルギー解放率をE積分を用いて解析し、き裂相互の位置関係やき裂長さの違いによって、主き裂の進展を助長したり、あるいは逆に、主き裂進展を妨げる効果のあるき裂相互の位置関係があることを明らかにしてきた²⁾。本研究では、2つの異なる長さの平行干渉き裂が主き裂先端近傍に存在する場合のモデルを想定し、干渉き裂の長さおよび位置がき裂進展特性に及ぼす影響を考察する。

2. 解析方法と解析モデル

本研究で用いたE積分は経路独立な積分であり、準静的なき裂進展であるかぎり、周知のJ積分と異なり、非均質材料、非直線的なき裂、任意方向に進展したき裂などの場合でも経路独立な積分により、エネルギー解放率を求めることができる。2次元線形弾性体におけるE積分公式は次式で示される。

$$E(l) = \int_{\Gamma} \left(\frac{1}{2} s \cdot \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial l} - \frac{1}{2} \frac{\partial s}{\partial l} \cdot \mathbf{u} \right) ds \quad (1)$$

ここに l はき裂長さ、 s は応力ベクトル、 $\mathbf{u}$ は変位ベクトル、 Γ は積分経路である。式(1)を有限要素法に適用するために、 l に関する微分項を、き裂進展前と進展後の物理量を用いて2点差分近似すると次式を得る。

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

ここに、 n は経路における要素辺の数、 s_i は各要素辺における平面応力ベクトル、 Δs は各要素辺の長さ、 $\mathbf{u}_i$ は各要素辺上における変位ベクトル、 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進展後のモデルの物理量を表している。各辺上の応力は各辺内外の要素応力を平均し、各要素辺上の変位については要素辺端の節点変位を平均して求めている。

本研究で用いた解析モデルをFig.1に示す。有限要素近似モデルは横幅寸法 w （き裂面方向）10cm、縦方向17.32cmとした。本研究では主き裂長さ $l=4$ cm、干渉き裂間距離 $h_a=h_b=0.65$ cm、干渉き裂Aの長さ $2a=2$ cmを固定し、干渉き裂Bの長さ $2b$ 及び水平き裂間距離 d_a, d_b を変えた種々の場合について、それぞれのき裂先端におけるエネルギー解放率をE積分により解析し、き裂相互間の干渉の影響を考察する。

3. 結果と考察

Fig.2はCase1として主き裂先端と干渉き裂A右端の水平位置が等しい場合、Fig.3はCase2として主き裂先端と干渉き裂A左端の水平位置が等しい場合であり、図中に示してあるように、それぞれ(a)干渉き裂A,Bの長さが等しい場合、(b)干渉き裂Bの長さがAよりも僅かに短い場合、(c) Bの長さがAよりも僅かに長い場合の各き裂先端におけるき裂折れ曲がり瞬間時のエネルギー解放率の解析結果である。エネルギー解放率は主き裂1本のみが存在し、それが直進する時のエネルギー解放率で除して正規化してある。また横軸は折れ曲がり角度 θ であり、すべてのき裂先端で上向きが正である。

Case1では、主き裂先端近傍の応力の伝達が2つの干渉き裂の存在によって遮断され、すべてのき裂先端におけるエネルギー解放率は、主き裂が1本のみ存在する場合における値よりも小さくなる。干渉き裂Aおよ

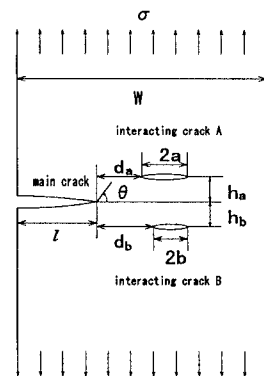


Fig.1 Interacting cracks model

Key Word: エネルギー解放率, 干渉き裂, E積分, 有限要素法

〒916 鯖江市下司町 TEL 0778-62-1111 FAX 0778-62-3416

〒920 金沢市小立野2-40-20 TEL 0762-34-4608 FAX 0762-34-4600

〒745 徳山市久米高城3538 TEL 0834-29-6328 FAX 0834-29-6328

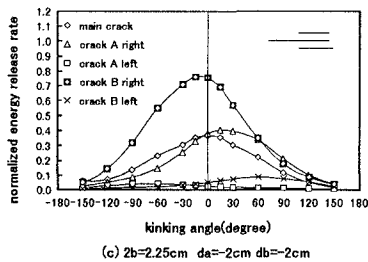
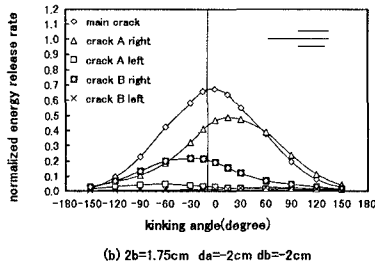
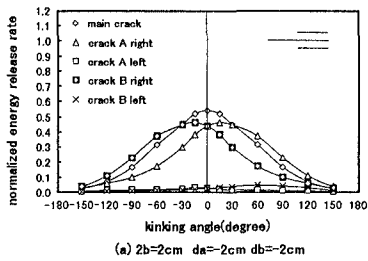


Fig.2 The variations of energy release rate for Case1

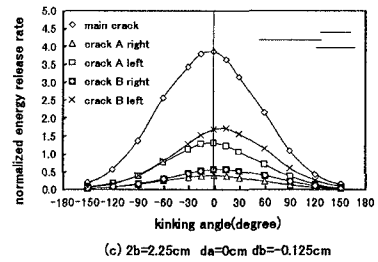
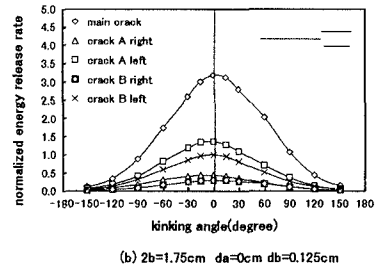
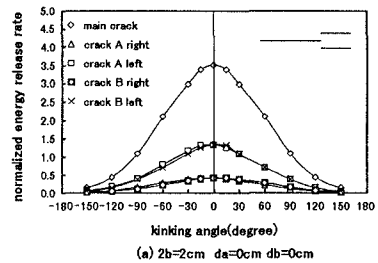


Fig.3 The variations of energy release rate for Case2

びBの長さが等しく、き裂の配置が上下対称である(a)では、主き裂先端が直進進展する瞬間時のエネルギー解放率が最大となり、材料の破壊靱性の等方性を仮定し、エネルギー解放率最大の破壊規準に従うとすれば、主き裂先端が直進進展する可能性が大となる。干渉き裂Bの長さが僅かに小さい(b)でも主き裂先端における値が最大となり、さらに干渉き裂A右端との値の差も(a)に比べて大きくなることから、主き裂の進展がより生じやすい状態である。ところが、干渉き裂Bの長さが(a)に比べて僅かに長く、B右端の水平位置が主き裂先端よりも僅かに右に位置する(c)では主き裂先端における値が非常に小さくなり、干渉き裂B右端が最大となるためB先端から進展することになる。このようにCase1におけるき裂の位置関係は干渉き裂長さの僅かの違いによって進展するき裂先端が異なる(不安定な)状態にある。

Case1に対してCase2では、干渉き裂の存在によって主き裂の先端の引張応力が拡大され、主き裂先端が進展する瞬間時のエネルギー解放率は、主き裂が1本のみ存在するときよりも3~4倍大きくなり、干渉き裂Bの長さが長いほどその値は大きくなる。しかし、Case1と異なり干渉き裂Bの長さが異なっても主き裂先端におけるエネルギー解放率の値が常に最大であり、Case2のき裂の位置関係においては主き裂先端のみが進展する(安定な)状態にある。

4. あとがき

本研究では、主き裂先端近傍に異なる長さの平行干渉き裂がある場合におけるき裂の相互干渉の影響をE積分によって得られたエネルギー解放率を用いて考察し、き裂の位置関係によってき裂の進展挙動が大きく異なる場合があることが明らかとした。なお、他のき裂配置における解析結果については当日口頭で発表する。

参考文献 1) C. Yatomi, Int. J. Structure, Vol. 19, No. 2, pp. 183-187, 1983

2) 阿部, 矢富, 橋本, 第8回破壊力学シンポジウム論文集, pp. 97-101, 1995