

2本の平行き裂における長さの違いによるエネルギー解放率の変化

福井工業高等専門学校 学生員○山本 将司
 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

1. まえがき

材料内に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のある場合がある。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、2つのき裂が平行な位置関係で存在するモデルを想定し、片方のき裂長さの変化が、き裂の進展挙動にどのような影響を及ぼすの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. 解析モデルと解析方法

本研究における解析モデルは図-1に示すように、遠方で一様引張を受ける横幅 w の無限長帯板中央に2本のき裂A、Bが並列に存在する場合を想定した。ここで、き裂面方向を水平方向、それと直角の方向を鉛直方向と呼ぶことにする。そして、上側のき裂Aの水平方向の位置及び長さ $2a$ を固定し、下側のき裂Bの長さ $2b$ を変えた場合における、き裂Bの右先端が折れ曲がり進展する瞬間時のエネルギー解放率をE積分により求めた。このとき、A、B両き裂の左端の水平方向の位置は固定した。また、2本のき裂の鉛直方向の間隔 h (以後、鉛直き裂間隔と呼ぶ)を変化させた場合についても同様の解析を行い、き裂の長さや位置関係の違いがき裂進展特性へどのような影響を及ぼすか検討した。なお、き裂の折れ曲がり角度 θ は上向きを正とした。

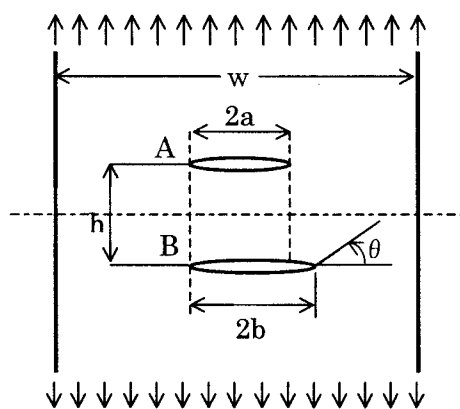


図-1 解析モデル

本研究では線形弾性体を対象としたため、き裂進展によるエネルギー解放率を求める公式は、次式で与えられる¹⁾。

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

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 は領域の境界である。有限要素近似モデルは、横幅10cm、縦方向17.32cmとし、正三角形を基本とした定ひずみ三角形要素を用い、正三角形の大きさを変えて、3層に分けた分割とした。き裂の入る中央部分は、横方向の分割数160、縦方向の分割数48とし、5本の積分経路を設定した。また、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(1)式は次式のようにになる。

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

ここに、 n は経路における節点の数、 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わしている。

3. 結果と考察

図-2は、き裂Aの長さを1.0cm、鉛直き裂間隔 h を0.2165cmとし、き裂Bの長さをき裂Aと同じとき、1要素(0.0605cm)、及び2要素(0.125cm)大きくしたとき、並びに、1要素(0.0605cm)、及び2要素(0.125cm)小さくしたときにおける解析結果である。ただし、縦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中央に主き裂Aと同じ長さのき裂が1本だけあり、それが直進進展するときの解析的級数解から得られる

値で除して正規化してある。横軸は折れ曲がり角度 θ である。

き裂 B が長いほどエネルギー解放率は大きくなり、 $2b$ を $2a$ より 2 要素長くしたときのみ、正規化したエネルギー解放率の最大値は、1.0 を上回った。しかし、それ以下のき裂長さでは、たとえ、き裂 B の長さが A よりも長くても、1.0 より小さく、き裂が 1 本の場合より、2 本の場合の方が材料の荷重方向の見かけの引張破壊強度は大きくなる傾向があると言える。また、き裂長さが 1 要素 (0.0625cm) 異なるだけで、エネルギー解放率最大の値は 0.15~0.24 程度変化し、エネルギー解放率はき裂長さの変化に非常に敏感であると推測できる。そして、エネルギー解放率最大の破壊規準にしたがうとすれば、き裂 B の長さが短いとき、 -15° と下向きであった折れ曲がり角度が、き裂 A と同長になり、き裂 A より長くなるほど、 -15° に比べ 0° の値が大きくなり、き裂長さが大きくなるほど、直進性が顕著になると言える。

図-3 は、き裂長さの増加による最大エネルギー解放率の増加割合の変化を表したもので、横軸はき裂 B の長さの増加分を $2a$ で除して無次元化し、縦軸に正規化したエネルギー解放率の最大値の増加割合をとった。

ここで、図-2 の結果は h が 0.2165cm のときの曲線で表わされるが、傾きは大きく、き裂 B がき裂 A と同長のときから 1 要素 (6.25%) 大きくしただけで最大エネルギー解放率は 35.4% も増加し、前述のように非常に敏感であると言える。しかし、 h が大きくなるに従い、き裂 A の影響が弱まるため、き裂長さの増加による最大エネルギー解放率の増加割合は小さくなり、その比は 1 対 1 に近付き、 h を 1.9426cm としたときのそれは 7.0% と僅かになった。

図-4 は、 h の増加による最大エネルギー解放率の変化を表わしたものである。横軸に $h/2a$ をとり、縦軸に正規化したエネルギー解放率最大の値をとったが、 h の小さい、A、B 両き裂が接近した状態では、き裂長さの違いによるエネルギー解放率の差は著しく、非常に敏感だが、2 つのき裂が離れるにしたがい、その影響は小さくなり、収束していくという自明の結果が得られた。しかし、き裂 B の長さがき裂 A よりも長い場合に h の増加に伴って極小値が存在するという興味深い結果が得られた。

これらの解析を $2a$ の値を 1.5cm、2.0cm と変えて行ったところ、同様の結果が得られた。

4. あとがき

本研究では E 積分を用いて、2 つのき裂が平行な位置関係で存在するときのエネルギー解放率を求め、その進展特性を考察した。

参考文献

1) 橋本, 矢富, 石田, 土木学会論文集, No. 513/I-31, pp.17~25, 1995

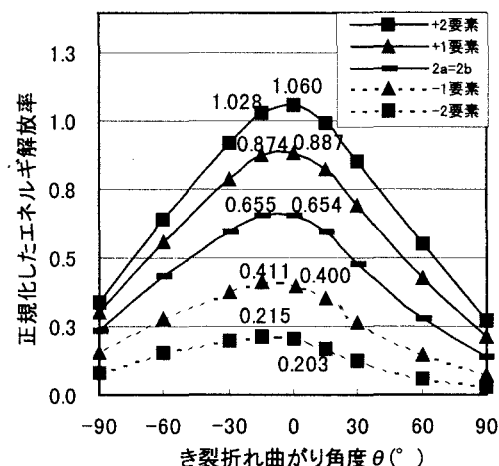


図-2 エネルギー解放率の変化
($h=0.2165\text{cm}$, $2a=1.0\text{cm}$)

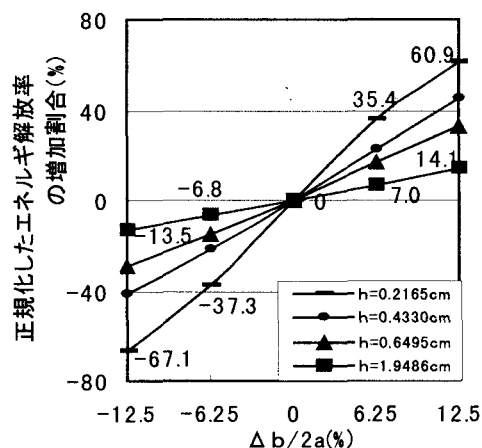


図-3 h の増加による最大エネルギー解放率の増加割合の変化 ($2a=1.0\text{cm}$)

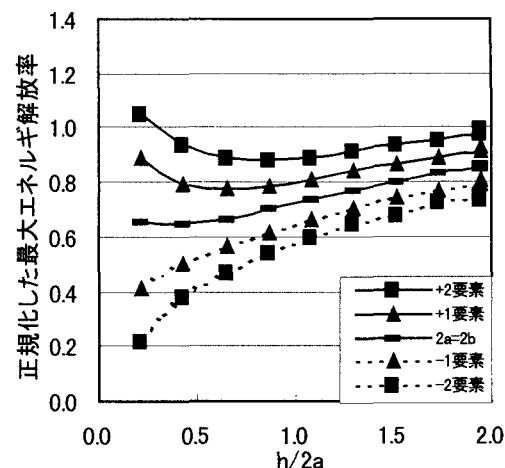


図-4 h の増加による最大エネルギー解放率の変化 ($2a=1.0\text{cm}$)