

I - A223

き裂干渉問題におけるき裂進展挙動の基礎的研究

徳山高専 正員○橋本堅一
 福井高専 正員 阿部孝弘
 金沢大学 正員 矢富盟祥

1. はじめに

コンクリートや岩石などの非均質材料内の破壊き裂の進展は複雑な経路をっており、時にはき裂が結びついていない場合もある。これらの経路は鉱物粒子、骨材、潜在き裂、材料欠陥などの複雑な干渉を受けて形成されており、それらの干渉が材料の破壊挙動に影響を及ぼすことは明らかである。本研究では、破壊き裂に影響を与える因子の中で特に、他のき裂との干渉を取り上げ、数値解析のおよび実験的にその破壊挙動を考察した。

2. 数値解析と実験

数値解析は有限要素法を用いたE積分法¹⁾で解析することにより、き裂進展時のエネルギー解放率を計算した。扱ったモデルはFig.1に示すような無限遠方で引張応力 σ_0 を受ける片側主き裂を有する無限帯板モデルで、その一方に主き裂に平行なき裂(以下干渉き裂と呼ぶ)を配置した。幾何学諸量は主き裂長さ l と板幅 W の比(l/W)が0.4, 干渉き裂の長さ $2a$ と主き裂長さ l との比($2a/l$)が0.5, 主き裂と干渉き裂間長さ h と主き裂長さ l との比(h/l)が0.162とした。干渉き裂の位置は主き裂先端から干渉き裂先端までの距離 d (Fig.1参照)と主き裂長さ l の比(d/l)を0, -0.25, -0.5として3ケースのモデルを扱った。有限要素近似モデルは幅 W に対して無限方向の長さを $1.732W$ として、要素分割は三角形定ひずみ要素を基本として板幅方向80分割、無限方向160分割とした。き裂先端付近は正三角形を二分した要素で構成し11方向の折れ曲がり瞬間時のエネルギー解放率の解析を行った。

実験には厚さ3mm, 幅20cm, 長さ55cmの三菱レイヨン社製アクリル樹脂板(商品名:アクリライト)を用い、他の諸量は幅を固定して前述の比により決定した。材料の力学的性質をTable 1に示す。ここで破壊靱性 K_{max} は干渉き裂のない供試体の破壊荷重より求めたものであり、他はASTMの試験法に準じて測定されたものである。この材料は非常に線形性が高く、脆性的でもある。実験はそれぞれ3供試体について行った。载荷装置には島津製作所社製の油圧サーボ試験機(EHF-FG1-4LA型)を用いて、载荷速度0.1mm/minの変位制御で载荷した。き裂の加工は主き裂を0.7mm, 干渉き裂を0.4mmの金属切断用糸のこを用いて行ったが、アクリル樹脂板の破壊がき裂先端の形状に敏感なため、き裂先端は直径約1mmの穴をピンバイスを用いて加工し、さらにそのき裂先端部にカッターを用いてき裂を入れた。このことにより実験精度の向上がみられた。

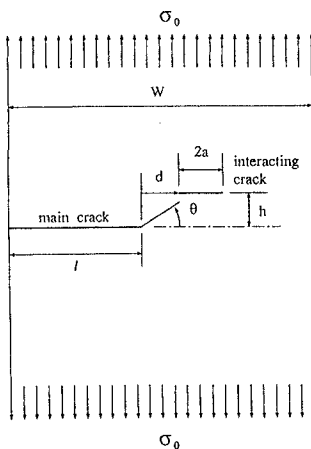
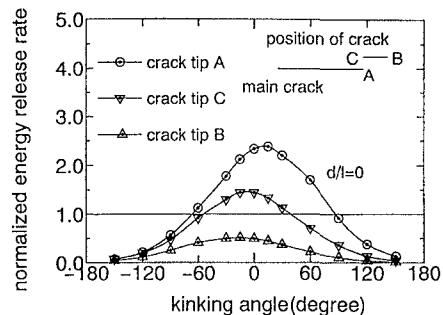


Fig.1 A model for crack interaction.

Table 1 Material constants

fracture toughness(K_{max})	2.26 MPa $\sqrt{m}$
tensile strength	74.5MPa
bending strength	117.7MPa
compressive strength	123.6MPa
shear strength	61.8MPa
Young's modulus	2.94Gpa

Fig.2 Results of numerical analysis($d/l = 0$).

3. 結果と考察

Fig.2~Fig.4に数値解析結果を示す。縦軸は得られたエネルギー解放率を干渉き裂の無い既報の級数近似解²⁾で除して無次元化したものであり、横軸は折れ曲がり角度（Fig.1における θ ）を示している。これらの図において最大エネルギー解放率クライテリアに従えば最大エネルギー解放率を示す角度でき裂は折れ曲がり進展することになり、1より大きい場合は干渉き裂がない供試体より壊れやすく、1より小さい場合は壊れ難いと解釈できる。Fig.5は代表的なき裂の進展経路を示し、Fig.6は実験結果を破壊応力とき裂位置との関係で示した。ここでFig.5の数字は進展した順を与えており、Fig.6中の細線は干渉き裂がない場合の実験結果を示している。これらすべての図から考察すると、 $d/l=0$ ではFig.2の解析結果より主き裂先端が干渉き裂の方向に折れ曲がり進展することが説明でき、最大エネルギー解放率が他のどのケースよりも大きいため、どの場合よりも壊れやすいと解釈できる。これに対してFig.5, Fig.6の実験結果でも同様な傾向が読みとれる。 $d/l=-0.25$ では数値解析からはFig.3の干渉き裂のBの先端がエネルギー解放率最大を示しているため、いわゆる飛び移り現象が起こることが推測される。またエネルギー解放率が1より大きいため、干渉き裂のない供試体より壊れやすいと判断できる。これに対して実験でもその傾向が示されている。 $d/l=-0.5$ では数値解析では最大エネルギー解放率が1より若干小さいため、干渉き裂のない供試体より壊れにくいと判断されるが、実験ではほぼ同じ程度の破壊応力が示されており、幾分異なった傾向が得られた。しかし、主き裂からの直進方向進展特性などは実験結果も解析結果も同様な傾向であった。以上のことにより本研究では実験結果を数値解析結果により概ね説明できる結論を得た。

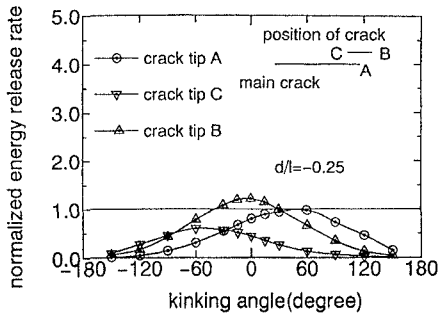


Fig.3 Results of numerical analysis($d/l = -0.25$).

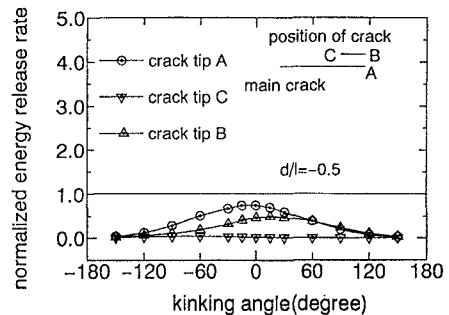


Fig.4 Results of numerical analysis($d/l = -0.5$)

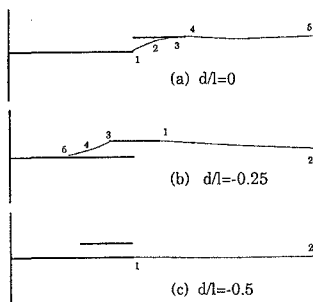


Fig.5 Typical crack paths

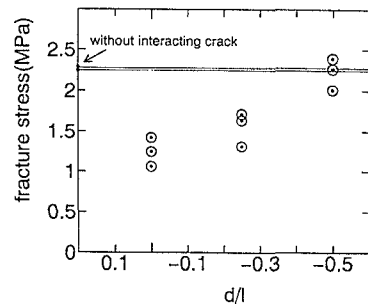


Fig.6 Fracture stress in this experiments

4. おわりに

本研究では破壊き裂の進展挙動を特に他のき裂との干渉を考慮して数値解析的および実験的に考察した。その結果、最大エネルギー解放率を用いた数値解析結果は実験結果をうまく説明していた。このことにより本研究で用いた数値解析法は実用的であると判断され、様々な変形の複雑な材料への適用に有用であると判断される。

参考文献

- (1) たとえば、矢富、橋本、石田：E 積分による斜荷重下でのき裂折れ曲がり瞬間時におけるエネルギー解放率の有限要素解析，日本機械学会論文集（A 編），61-592，pp.2521-2528，1995
- (2) たとえば，W. F. Brown, Jr. and J. E. Srawley：Plane Strain Crack Toughness Testing of High Strength Metallic Materials, ASTM STP 410, pp. 12, 1966