

き裂干渉問題におけるき裂進展挙動の実験的研究

徳山高専 正員 橋本堅一

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保っており、時にはき裂が結びついていない場合もあり、顕著なジグザグ性を有している。これらにみられる経路は鉱物粒子、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いうまでもない。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、基本的なモデルに対してアクリル樹脂板供試体を用いて実験的にその破壊挙動を考察した。

2. アクリル樹脂板による実験

扱ったモデルはFig.1に示すような一方向で引張応力 σ_0 を受ける片側主き裂を有する帯板モデルで、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距離 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。

実験には厚さ2mm、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、他の諸量は幅を用い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（最大荷重）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。たとえば、電動ドリルや電動糸のこで加工する場合は注意しないと著しい破壊を容易に招く。実験はそれぞれ3供試体について行った。載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、載荷速度0.1mm/minの変位制御で載荷した。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。

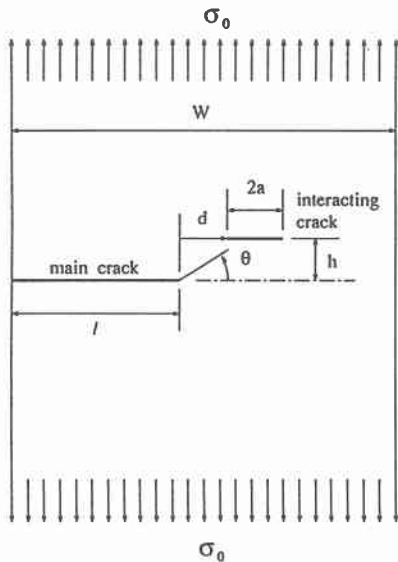


Fig.1 Summary of experimental specimen.

Table 1 Material property

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

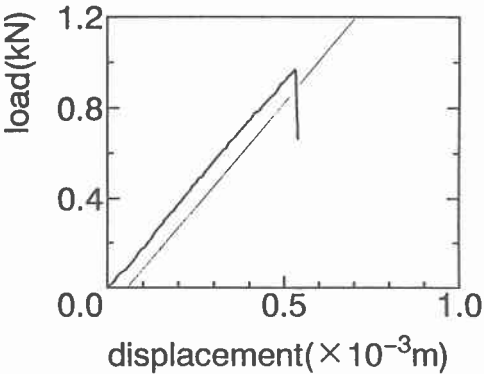


Fig.2 Load-displacement curve in the specimen without interacting crack.

3. 結果と考察

Fig.2に干渉き裂のない場合の荷重-変位図を示す。図には荷重-変位曲線に添って直線を描いているが、ほぼ平行な関係を保っており前述のように線形性は非常に高い。Fig.3はそれぞれの干渉き裂の位置関係における代表的な荷重-変位図を示しており、Fig.4にはそれに対応するき裂の進展経路を示している。またFig.4中の数字はき裂進展の順序を示しており、それと対応するところをFig.3にも数字で示した。ここで $d/l=0$ ではまず主き裂から干渉き裂に向けて破壊き裂が発生するが、最終的な破断にはさらに大きい荷重が必要で、最大荷重を示すところで干渉き裂に連結し、その瞬間き裂進展の慣性効果で一気に破断する。 $d/l=-0.25$ ではき裂の進展はFig.4に示すように干渉き裂から発生し、2の部分まで視覚的に捉える程度の速度でゆっくり進む。さらに実験を続行すると干渉き裂の3の部分から新たなき裂が発生し、主き裂に連結される。 $d/l=-0.5$ では主き裂と干渉き裂の連結はなく、主き裂からのき裂の発生と同時に破断する。き裂発生応力とき裂位置との関係を示すとFig.5のような結果となる。Fig.5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。この図よりき裂の発生は干渉き裂の位置により異なり、 $d/l=0$ のとき、すなわち干渉き裂が主き裂の前方にある時、容易に進展することがわかる。そして干渉き裂が主き裂側に移動するに伴い、き裂の発生に大きな荷重を必要とする。また $d/l=0$ と $d/l=-0.25$ の位置関係では干渉き裂のない場合よりき裂発生に必要な荷重が小さく、き裂発生助長効果が認められる。

以上のように干渉き裂の微妙な位置関係により、かなり異なったき裂進展挙動が起こることが明らかになった。

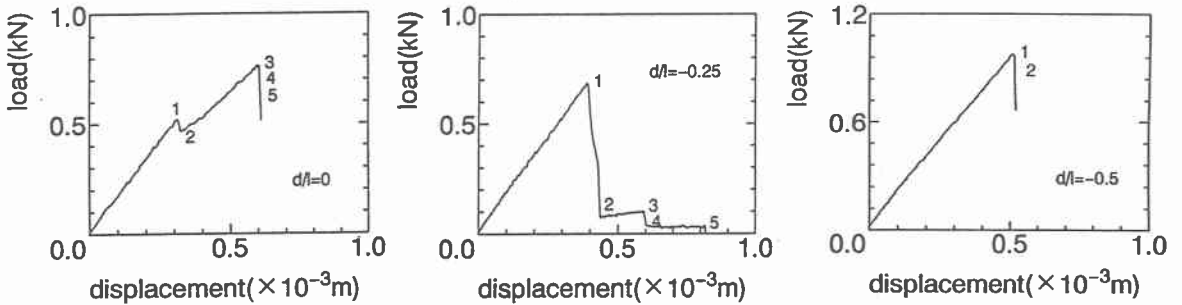


Fig.3 Load-displacement curves with the variations of interacting crack position.

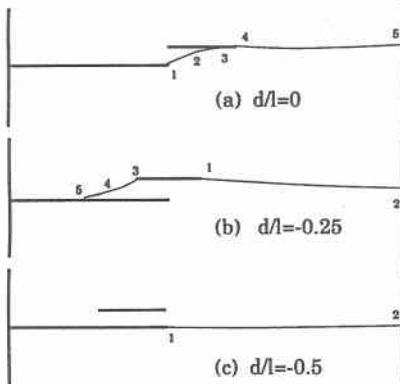


Fig.4 Typical crack paths

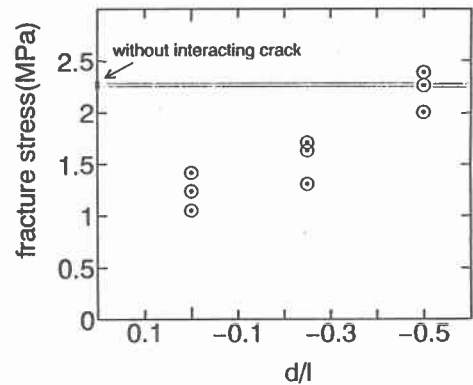


Fig.5 Fracture stress in this experiments

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、実験的に考察した。その結果、干渉き裂の位置による複雑なき裂進展挙動が明らかになった。これらの挙動はある程度、数値解析でも説明が可能であり、今後は数値解析を併用した理論的なき裂進展挙動の検討が期待される。