

空隙の干渉を受ける破壊き裂の進展特性に関する基礎的研究

徳山工業高等専門学校 正会員 ○橋本堅一
 徳山工業高等専門学校 正会員 島袋 淳
 金沢大学工学部 正会員 矢富盟祥

1. はじめに

材料内にき裂や空隙が存在するとき、そのき裂の長さ、空隙の数、さらには、き裂相互の位置関係およびき裂と空隙の相互の位置関係によって、き裂の進展を助長させるような干渉をしたりあるいは逆にき裂の進展を妨げるような効果を与える場合がある^{1), 2)}。このようなき裂の進展挙動を微視的に破壊力学的に論ずることも、岩石やコンクリートのように引張強度が非常に小さく、脆性破壊を起こすような材料では重要となるものと考えられる。

そこで本研究では、まず均質性が高く、線形挙動に近い変形特性を有するアクリル樹脂板を用い、円形空隙の位置を4ヵ所考え、その進展挙動を検討した。次に数値解析としては、E積分法を適用することにより、線形弾性体内のき裂と、その先端付近にある空隙との干渉によるエネルギー解放率の変化を求め、実験結果と比較、検討した。

2. 実験モデルと実験方法及び数値解析

扱ったモデルは、図-1に示すようなモデル軸方向で引張応力 σ_0 を受ける片側主き裂を有する帯板モデルで、そのき裂先端近傍にき裂先端から一定距離 r で円周方向に分布する空隙を考えた。ここで、主き裂長さ ℓ と板幅 W の比 ℓ/W は0.5としている。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、き裂の長さは前述の比より10cmとした。空隙の加工は直径6mmの電動ドリルを用いて行い、その位置は前述の r を5mmに固定した。空隙との角度 θ は 0° 、 45° 、 90° 、および 135° の4方向とし、空隙のない供試体を含め各々3供試体を準備した。載荷試験は特別に設計した治具に供試体を取り付けて載荷速度0.1mm/minの変位制御で載荷した。数値解析には有限要素法を用いて、その結果をE積分法に対して適用した^{3), 4)}。有限要素モデルは図-2の通りである。き裂先端近傍に6節点三角形アイソパラメトリック要素を、き裂先端から離れた部分は8節点四角形アイソパラメトリック要素を用いている。E積分による方法はき裂長さの異なる2つのモデルの解析が必要である。その2つの解析モデルのうちき裂が進展する前の基本モデルについては節点数が749、要素数が240であり、き裂進展モデルについては要素数が同じで節点数は751である。積分経路は5本（図-2の太線参照）設け、き裂の折れ曲がり角は15方向（図

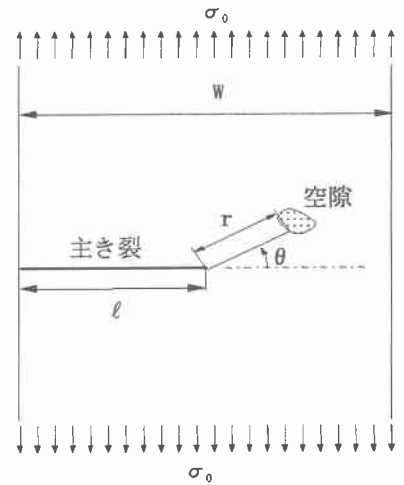


図-1 実験及び解析モデル

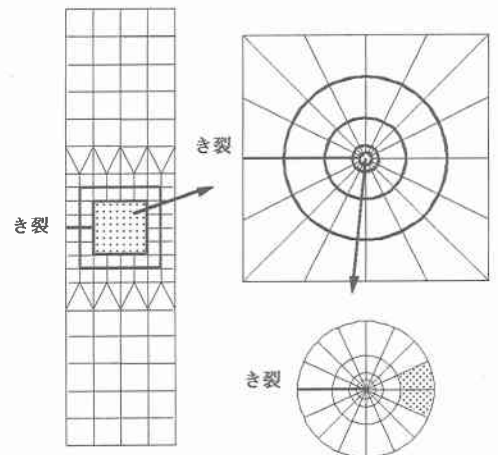


図-2 有限要素メッシュ図

-2き裂先端部参照)を考えた。空隙は弾性係数を他の部分の0.001倍として近似した¹⁾。空隙は隣接する2個の要素で構成される近似的な矩形とし、き裂先端からの距離 r を実験と同様になるように、 $r=0.05l$ を用い、き裂進展角度と最大エネルギー解放率がどのように変化するかを8通りのモデルにより検討した。ここで、主き裂先端から2要素で構成される空隙の中心へ方向 $\theta=0^\circ$ 、距離 $r=0.05l$ の空隙位置が図-2に網掛して示されている。

3. 実験結果および解析結果と考察

図-3は空隙を入れた場合の破壊応力と空隙の方向 θ の関係を示す実験結果である。図中空隙のない供試体の結果は実線で示しており、太い実線がその平均である。●型のプロットはそれぞれ空隙を入れた場合の破壊応力を示しており、■型のプロットはその平均値を示している。この図より、空隙を入れた場合の破壊応力のばらつきもそれほどみられず、精度よく実験できたといえる。また、主き裂先端から空隙への角度 θ は $\theta=0^\circ$ 、 45° のとき、空隙のない場合と比較して破壊応力は低下していることに対し、 $\theta=90^\circ$ 、 135° では、空隙のない供試体の破壊応力に近い値を示している。このことはき裂先端前方に空隙が存在する場合は、き裂の進展に対し助長効果をもつと考えられ、後方に空隙が存在することにより空隙による干渉効果が少なくなっていると考えられる。

図-4には空隙を2つの要素で近似し、実験結果と比較するために、 $r=0.05l$ で空隙のない場合のエネルギー解放率で正規化した最大エネルギー解放率と θ の関係が示されている。図より、 $\theta=0^\circ$ のとき、エネルギー解放率が最大となっていることから、空隙が $\theta=0^\circ$ に存在するとき最も進展しやすいと考えられる。このことは、実験結果(図-3)においても、 $\theta=0^\circ$ のとき破壊応力が最も小さくなっていることから、実験結果と同様の結果が得られたと考えられる。次に、 $\theta=45, 90, 135^\circ$ 付近の解析結果では、 $\theta=45^\circ$ の正規化エネルギー解放率は $\theta=0^\circ$ より小さいが、1をこえているため空隙がない場合との比較では、き裂は進展しやすくなると考えられる。しかし、実験では $\theta=0^\circ$ のときとほぼ等しい破壊応力を示すことから、空隙のない供試体と比較すると実験結果をうまく説明しているが、 $\theta=0^\circ$ との結果の比較は若干異なる結果となった。また、 $\theta=90, 135^\circ$ 付近での解析結果は、エネルギー解放率が1以下であるため、き裂がない場合と比較して、き裂は進展しにくくなると考えられる。しかし、実験結果において、 $\theta=90, 135^\circ$ での破壊応力は空隙がない場合の破壊応力とほぼ等しいことから、これも若干異なる結果を与えた。

参考文献: 1) 橋本堅一, 矢富盟祥, 石田啓: き裂先端付近に介在物あるいは空隙がある場合のE積分による解放率の解析, 構造工学論文集, Vol. 41A, pp. 499-508, 1995. 2) 橋本堅一, 柳井竜, 矢富盟祥: 空隙の干渉を受ける破壊き裂の進展挙動に関する研究, 破壊力学シンポジウム講演論文集, Vol. 9, pp. 162-166, 1997. 3) 矢富盟祥, 橋本堅一, 石田啓: 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, 日本機会学会論文集, A-61, 2521-2528. 4) 橋本堅一, 鱈洋一, 矢富盟祥: 混合モード荷重下にある異方弾性体内のき裂のエネルギー解放率の数値解析, 材料, 46, pp. 976-980, 1997.

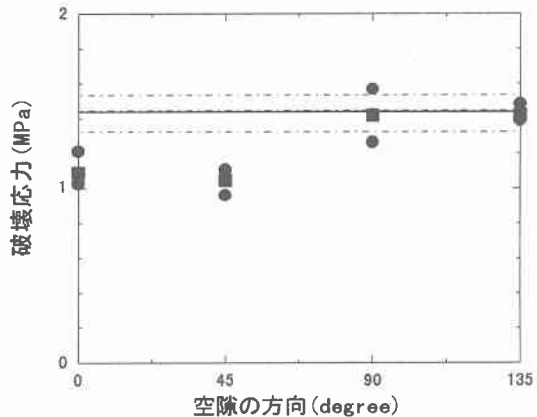


図-3 空隙の存在する方向と破壊開始応力

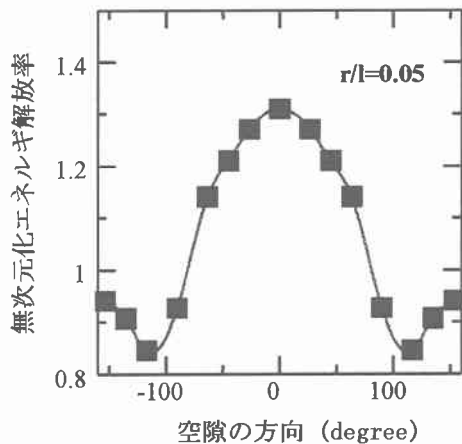


図-4 正規化エネルギー解放率と空隙の存在する方向との関係