

三次元材料内き裂からの破壊き裂発生特性に関する実験的検討

徳山工業高等専門学校 正会員

橋本 堅一

1. はじめに

材料内に先在き裂が存在するような場合に、破壊き裂の進展を三次元的に検討することは重要であるが、扱いが非常に困難なため、これまでその種の報告はほとんど見られない。地震は三次元材料内に存在する断層という、き裂の破壊の一例として捉えることができるが二次元的に考え、線形弾性体で議論する上では、そのせん断破壊的なき裂のずれ、すなわち直線的なき裂進展はほとんど説明できない。本研究はこれらの興味を背景に三次元材料内にあるき裂の進展特性を主にき裂形状に着目して、アクリル樹脂板による実験を行い、その進展挙動について検討した。

2. 実験概要

供試体にはTable 1に示すような材料特性を有する縦10cm×横10cm×厚さ3cmのアクリル樹脂板を用い、荷重面からのき裂面の角度を 45° と固定して、複合載荷モード下で圧縮試験を実施した。供試体のタイプはFig. 1に示すように供試体前後面に垂直なき裂面となる供試体、タイプAを基本として、き裂面が矩形であるものに関してのみ供試体の前後面からある角度を有するタイプBを1供試体（供試体 No. 6, き裂面積約 9.6cm^2 ）準備した。タイプAのき裂形状はFig. 1に示すように矩形（No. 0, 9cm^2 ）、矩形でき裂長さの長いき裂（No. 2, 15cm^2 ）、き裂の先端形状が内側にシェブロン型の形状になっているき裂（No. 3, 12.5cm^2 ）、台形（No. 4, 10.5cm^2 ）、三角形に近しい形をしたき裂（No. 5, 7.5cm^2 ）、矩形のき裂面を同一面に二つ持つき裂（No. 7, 18cm^2 ）、No. 7供試体の二つのき裂を一部連結させたき裂（No. 8, 13cm^2 ）で、タイプBの供試体をあわせて計9種類の供試体を準備した。き裂の加工はまず、直径約6mmのドリルで穴を開けた後、厚さ約0.4mmの糸鋸を用いて加工した。実験を行うに際し、供試体が荷重治具からとび出すことを防ぐための拘束具としてFig. 2に示すような特別仕様の荷重台

Table 1 Material property

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

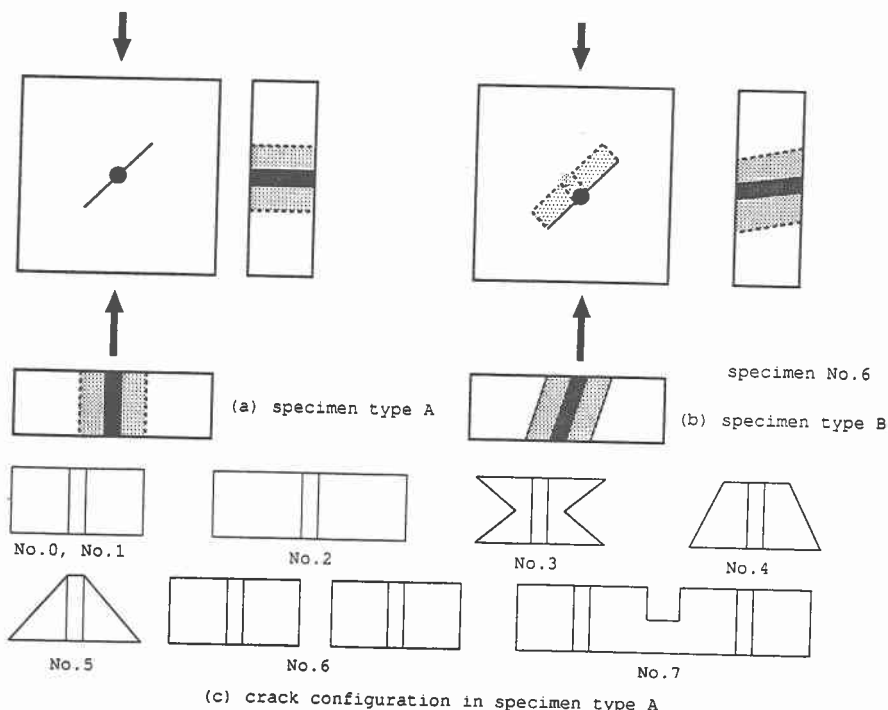


Fig. 1 Summary of specimens

を使用して、載荷速度 10^{-2}mm/sec の変位制御で荷重を加えた。

3. 実験結果

No. 0 供試体の実験における荷重-載荷点変位図を Fig. 3 に示す。本実験に用いた供試体の材料であるアクリル樹脂板は線形性の高い材料であるが、き裂が発生することにより若干の非線型性を示すことが分かる。片方の破壊き裂で弱い非線型性を示した後、もう一方の破壊き裂発生により非線型性を増していることを明確に捉えることができる。き裂の進展特性は Fig. 4 に示す写真のようにすべて爪型形状をしており、もとのき裂面から折れ曲がって発生した。すべての供試体においてき裂の発生はき裂先端の一点に限られ、すなわちき裂先端に沿って進展することではなく、き裂の発生時に音を伴うようなき裂進展特性と静かに進展するき裂進展特性の二つの破壊き裂の発生特性が存在した。しかし、き裂の種類によるき裂の発生特性は特定できなかった。き裂発生時に音を伴うような瞬間的き裂進展特性を有する供試体のき裂面はクリアな面をしており、安定成長したようなき裂の面はざらざらした感じの面になっていた。またき裂の発生が異なるき裂面から同時に発生する供試体 (No. 1, No. 2, No. 5) と片方から発生する供試体 (No. 0, No. 3, No. 4, No. 6) が存在した。さらに No. 7 供試体は 4 き裂先端から同時に破壊き裂が発生しており、No. 8 供試体はき裂面が一体となって、相対する 2 き裂先端から同時に発生した。き裂強度的には相対するシェブロンき裂を有する No. 6 供試体や三角形に近いき裂形状の No. 5 供試体が高いき裂発生強度を示し、面積の広い No. 2 供試体や二つのき裂をもつ No. 7 供試体が低いき裂発生荷重を示した。

4. おわりに

今回の実験においては、き裂の進展挙動に、二次元的解析との決定的に違う効果を見出すことはできなかった。すなわち、9 種類のき裂を 3 次的に考慮しても一軸方向の圧縮力だけではき裂は折れ曲がり、地震時に見られるような断層のずれのような挙動は確認できなかった。その原因として考えられるものの一つに横からの拘束圧がなかったことが挙げられる。結果的には二次元的解析の結果と同じく、破壊き裂はもとのき裂に対してある程度角度を持って進むという結果に至った。しかし、そのき裂もただ単純に進むというわけではなく、自由面方向に頂点を持つ放物線をえがいた爪型形状をしていた。材料の構成関係によっても異なったき裂進展特性が得られることが予想され、このことが、今後考慮すべき要素になろう。また、破壊力学的にはモードⅢ、すなわち面外せん断型の載荷や弱面に対する調査も必要になってこよう。

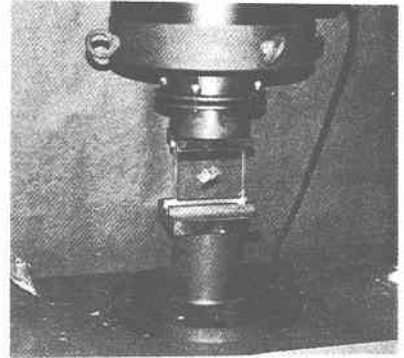


Fig. 2 Summary of experiment

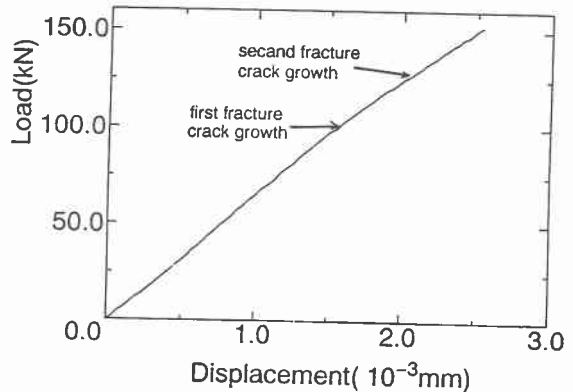


Fig. 3 Typical load-displacement curve

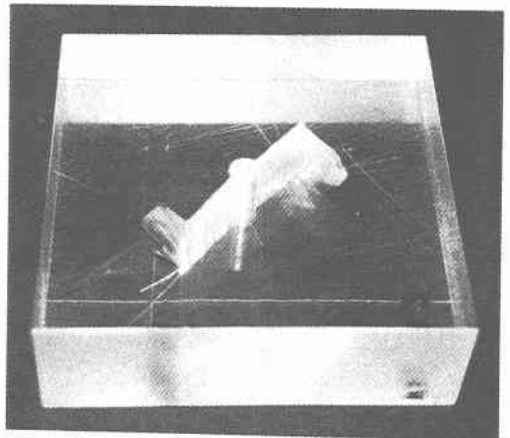


Fig. 4 Typical crack extension property