

アクリル樹脂板の破壊クライテリオンに関する研究

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 学生会員 ○村木陽二
 徳山工業高等専門学校 正会員 島袋 淳

1. はじめに

モードⅠとモードⅡの混合モード負荷条件下における破壊に関しては、すでに種々のクライテリオンが提案され、若干の実験的研究結果も報告されているが、これらの実験結果は材料により異なり、多くの材料の破壊クライテリオンを導くためには、今後、多種類の材料について、系統的かつ詳細な実験的研究を行う必要がある。さらに、従来提案されている実験によるクライテリオンについての報告は、金属およびプラスチックなどの高分子材料に関するものが若干存在する程度であり、実験精度自体もあいまいな点を残している。本研究では、線形弾性体に近い挙動を示すアクリル樹脂板を加工した供試体を用いて混合モード型破壊靱性試験を行った。アクリル樹脂のモードⅠとモードⅡならびにそれらの混合モードの破壊靱性値を、独自に製作した Richard の載荷装置¹⁾を用いて行い、混合モード領域全般における破壊靱性を求め、それに準じたクライテリオンを導き、既に確認されている複数の材料の特性と比較し、本研究の実験結果と従来提案されている破壊クライテリオンと比較した。

2. 実験概要

実験供試体として、線形弾性体に近い変形破壊挙動を与える高分子材料のアクリル樹脂板を使用した。ここでいうアクリル樹脂板は、三菱レイヨン社アクリルライト（商品名）である。ここで、表-1 に本研究で用いたアクリル樹脂材料の力学的性質を示す。表中の破壊靱性値 K_{max} は片側き裂を有する供試体の引張り試験における破壊荷重（最大荷重）より求めたものであり²⁾、他の値は ASTM の試験法に準じて測定されたものである。供試体の寸法は長さ $S=120\text{mm}$ 、幅 $W=60\text{mm}$ 、厚さ $B=2\text{mm}$ とし、切り欠き長さ a は $W/2$ 、すなわち 30mm となるように設定した。また、切り欠きの先端はカッターナイフでさらに、 0.5mm の長さで加工を加え、切り欠きをより鋭敏なものにした。このことにより、破壊き裂の発生がき裂先端の 1 ヲ所に限られ著しい実験精度の向上が確認できる。図-1 に供試体の側面図を示す。載荷試験は、図-2 に示すような載荷用治具を設計、製作し、その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。

表-1 供試体材料特性

破壊靱性値 (K_{max})	$2.81\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$
引張強度	7.45MPa
曲げ強度	117.7MPa
圧縮強度	123.6MPa
せん断強度	61.8MPa
弾性係数	2.94GPa

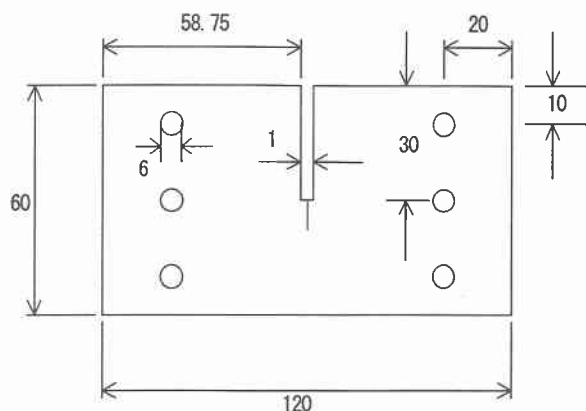


図-1 混合モード用供試体

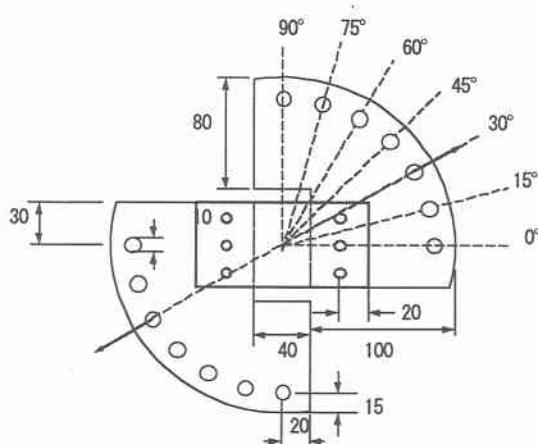


図-2 載荷用治具

3. 実験結果および考察

本研究における実験精度は全領域において4.71～9.49%と若干ばらつきを生じた。たとえば、モードⅠ載荷時ではき裂が直進せずに微量の角度で進展し、き裂の進展が途中で止まり、それ以上の進展が見られないような供試体もあった。これは載荷時に、モードⅠ成分のみでなく、微量のモードⅡ成分がき裂の進展に影響を及ぼしたものと推測できる。これらの原因として、き裂先端の加工が十分ではなかったこと、また、その加工が均一性に乏しかったこと、さらに載荷装置に供試体を設置した際にずれ(偏心)が生じ、載荷荷重がき裂部分に様に生じていなかったことが考えられる。図-3はモードⅠ、モードⅡ載荷における代表的な供試体の荷重-変位図を示したものである。この図より本研究で用いた材料の変形挙動はほとんど線形挙動に近いことがわかる。このことより、その他の破壊力学的理論研究に有効であると推測される。また、モードⅠおよびモードⅡ載荷における破壊靱性値を比較すると、モードⅠとモードⅡの破壊靱性値は異なっており、今回実験に用いたアクリル樹脂はき裂を開口させるような負荷条件下(モードⅠ)よりも、き裂をせん断させるような負荷条件下(モードⅡ)に弱いということが確認できた。次に、表-2はモードⅠおよびモードⅡ載荷における3供試体の破壊靱性値の平均をとり、まとめたものである。この結果から値を比較すると、アクリル樹脂のモードⅠ・モードⅡ破壊靱性値の関係は、 $K_{II}/K_{IC} = 0.82$ となった。この値を既に報告されている多種類材料のモードⅠ・モードⅡ破壊靱性値の関係と比較すると、材質的には同じメタクリレート樹脂であるPMMAとよく似ているといわれているが、それとは異なる結果になった。これは前述の比較と同様に試験方法の違いなどが要因として挙げられると考えられるがPMMAの報告には実験精度等の記述がないことから評価値の疑問点も残している。さらに、図-4に本研究におけるアクリル樹脂の破壊クライテリオンと従来提案されているSihの最大周応力クライテリオンならびにWuの最大エネルギー解放率クライテリオンを併記した。この図より、従来提案されている双方のクライテリオンに近い値を得ることができた。図-5には応力拡大係数比、 $K_I/(K_I + K_{II})$ におけるき裂の進展角度を示した。この図でもモードⅠとモードⅡの混合モードの状態では理論的なクライテリオンによく一致しているが、モードⅠならびにモードⅡの載荷時には若干誤差を生じている。この原因として、純粋なモードⅠの載荷とモードⅡの載荷を実現することはこの載荷治具では実験的に非常に困難なためと解釈できる。

参考文献

- 1) H.A. Richard, K. Benitz: A LOADING DEVICE FOR THE CREATION OF MIXED MODE IN FRACTURE MECHANICS, *Int Journ of Fracture* 22, pp. 55-58 1983.
- 2) 橋本堅一, 島袋淳, 矢富聖祥, 嶋洋一: 圧縮荷重下における3次元材料内き裂からの破壊き裂進展に関する実験的検討, 第10回破壊力学シンポジウム講演論文集, NO. 207, pp. 97-101, 1999.

表-2 破壊靱性値の比較

モードⅠ	K_{IC}	1.851(MPa $\sqrt{m}$)
モードⅡ	K_{IIC}	1.518(MPa $\sqrt{m}$)

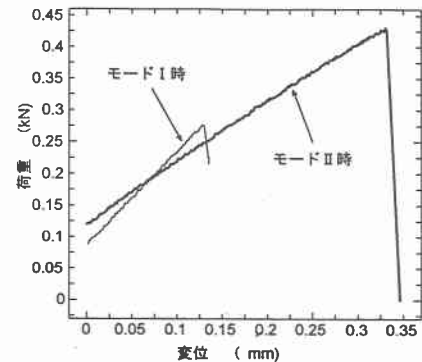


図-3 モードⅠ・モードⅡ供試体荷重～変位関係例

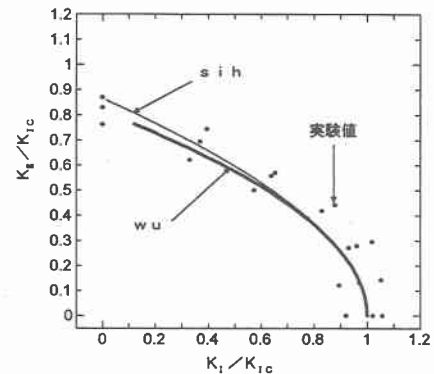


図-4 クライテリオンの比較

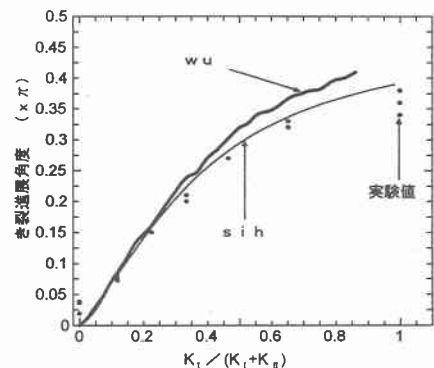


図-5 $\frac{K_I}{K_I + K_{II}}$ と き裂進展角の関係の比較