

混合モード試験法と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 学生会員 ○村木 陽二
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

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、既に種々のクライテリオンが提案されているが、材料により異なり、一つのクライテリオンによって説明されないのが現状である。また、従来提案されている実験によるクライテリオンは実験精度自体もあいまいな点を残している。したがって、多くの材料における統一的な破壊クライテリオンを導くためには、今後、多種類の材料ならびにその実験手法について、系統的かつ詳細な実験的研究を行う必要がある。

そこで本研究では、実験方法の異なる3種類の実験を、脆性度が非常に高く破壊が理論的にうまく表現できると予測されるアクリル樹脂を用いて行い、その手法、精度等について詳しく検討すると共に、相互の実験に準じて導かれたクライテリオンならびに従来提案されているクライテリオンを比較した。また、コンクリートを用いての実験によるクライテリオンの確立を最終的な目的としているため、本研究では、建材として頻繁に使用され、加工が容易であり、さらにアクリル樹脂に比べよりコンクリートに近い材質である石膏ボードを用いても、アクリル樹脂と同様に、実験によって破壊靱性を求め、それに準じたクライテリオンを導き、従来提案されているセメントペーストの破壊クライテリオン¹⁾と比較した。

2. 実験概要

2. 1 供試体

本研究では実験供試体として、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と、アクリル樹脂に比べ、よりコンクリートに近い材質である石膏ボードを、各々の試験法に準じた加工を施し使用した。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} は片側にき裂を有する供試体の引張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⁾、他の値はメーカーにより、ASTMの試験法に準じて測定されたものである。

2. 2 試験法

本研究では、試験法が異なる3種類の破壊靱性実験を、各々の試験に準じた供試体を製作して行った。

まず Richard 式試験³⁾は、特別に載荷用治具を設計、製作して使用した。この装置は供試体の両側を6本のボルトで治

表-1 アクリル供試体材料特性

破壊靱性値 (K_{max})	$2.81\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$
引張り強度	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

具に取り付け、その治具をピンで静的容量15kNの油圧サーボ式材料試験機に任意の角度で結合して載荷でき、ピン穴の位置を変えることにより試験片にモードⅠ、モードⅡおよびそれらの混合モード負荷を与えることができる。試験は各載荷角度(0°～90°までの15°毎)でそれぞれ3本の供試体について、一定の載荷速度(0.1mm/min)で引張り試験を行い、破壊荷重により各々の応力拡大係数(K_I 、 K_{II})を求め、それらの関係により破壊クライテリオンを得る。

次に独立モード型試験であるが、モードⅠ型破壊靱性試験載荷装置は、ASTMで定められた3点曲げ試験載荷装置を適用し、モードⅡ試験は過去の実験により純せん断に近い状態が実現されることが確認されているモードⅡ型破壊靱性試験載荷装置を用いた。また、モードⅠ、モードⅡでそれぞれ5本の供試体について試験を行った。

圧裂型試験⁴⁾においては、載荷試験は油圧式圧縮試験機を用いて、2枚の鋼盤の間で供試体を固定し、載荷速度が約0.98kN/secの圧縮荷重を作用させ、供試体に載荷装置を用いて任意の角度で載荷する。本実験に際しての切り欠きと荷重軸との傾き β は、0°、5°、10°、15°、20°、25°、28.5°、35°、40°、50°の10種類とし、各角度でそれぞれ3本の供試体について試験を行う。ここで $\beta=0^\circ$ はモードⅠ、 $\beta=28.5^\circ$ はモードⅡのみの変形様式を生じさせるために採用したもので、他は様々な混合モード状態を生じさせるものである。

3. 実験結果と考察

Richard 式試験におけるアクリル樹脂の実験精度は、4.71～9.49%と全領域において若干ばらつきを持つ結果となった。石膏ボードについては、3.75～17.90%とアクリル樹脂に比べさらに大きなばらつきを生じた。

次に独立モード型試験における実験精度は、モードⅠ 载荷では 17.72%, モードⅡ 载荷では 38.69%と、モードⅠ、モードⅡ 用供試体の双方とも値にばらつきを生じ、特にモードⅡ 用供試体においてそのばらつきが大きなものとなり、一定した結果を得ることができなかった。

圧裂型試験における実験精度は载荷角度によっては、1.2%～6.4%と高い精度を示した領域もあったが、その他の領域では精度が 30%を超えるなど、大きなばらつきを生じた。

3. 1 モードⅠとモードⅡの比較

表-2 は、各試験でのモードⅠおよびモードⅡ 载荷における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、Richard 式試験ならびに独立モード型試験では、モードⅠよりも、モードⅡに弱いということが確認できた。しかし、圧裂型試験における破壊靱性値はモードⅠよりもモードⅡ 負荷条件下で大きな値を示した。これは前二者の試験における供試体の切り欠き部分は同じ加工形状であったのに対し、この試験における加工形状は異なっており、実験結果の相違の原因になったと考えられる。今後は圧裂型試験においても、前二者と同様の加工を施したき裂を有する供試体を用いての実験を行い、その結果を比較、検討する必要がある。

3. 2 実験結果と既報のクライテリオンとの比較

図-1 に本研究におけるアクリル樹脂のクライテリオンと従来提案されているクライテリオンを併記した。またこの図において、独立モード型試験の破壊靱性値はモードⅠとモードⅡの値のみ算出したため、図中の曲線は 2 次曲線により近似している。この図より、Richard 式試験における実験値は、既報の周応力説ならびに最大エネルギー解放率理論と比較的一致した結果が得られ、供試体の寸法効果を考えると、独立モード型試験もある程度これらに一致した結果であると考えられる。しかしながら、圧裂型試験における結果はそれらの値に比べ、大きなものとなり、複合応力仮説¹⁾に最も近い挙動を示した。この原因としても、前述のようなき裂先端の加工の違いならびにき裂部分の加工の不均一性などが考えられる。しかし、圧裂型試験では、実験値がセメントペーストと類似した傾向¹⁾が得られたため、3 種類の既報のクライテリオンと比較すると、圧裂型供試体においては複合応力仮説が最も有効なクライテリオンであると考えられる。

図-2 には石膏ボードと既報のセメントペーストのクライテリオンを示す。前述のように、セメントペーストは複合応力仮説と一致した挙動を示すとされていたが、本研究における石膏ボードを用いての実験値はそれを大きく下回る値を示した。これもまた前述と同様、試験方法の違いなどが、その主な原因であると考えられるが、セメントペーストの切り欠き部分の加工が半硬化時に行われたため、硬化中に切り欠きが閉塞し理想的な形状が得られなかった可能性があるため、

表-2 破壊靱性値の比較

		モードⅠ K_{Ic}	モードⅡ K_{IIc}	K_{II}/K_{Ic}
混合モード 型試験	アクリル樹脂	1.851 (MPa√m)	1.518 (MPa√m)	0.820
	石膏ボード	0.298 (MPa√m)	0.180 (MPa√m)	0.604
独立負荷試験		1.940 (MPa√m)	1.660 (MPa√m)	0.856
圧裂型試験		1.207 (MPa√m)	1.592 (MPa√m)	1.319

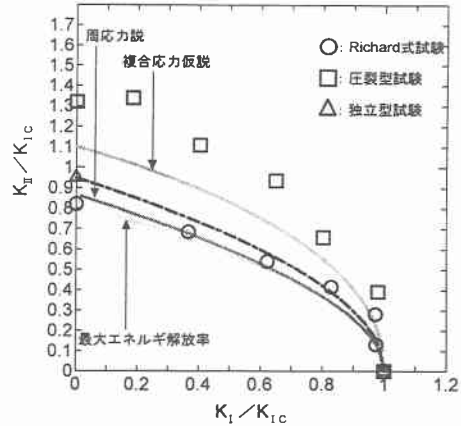


図-1 アクリル樹脂と既報のクライテリオンの比較

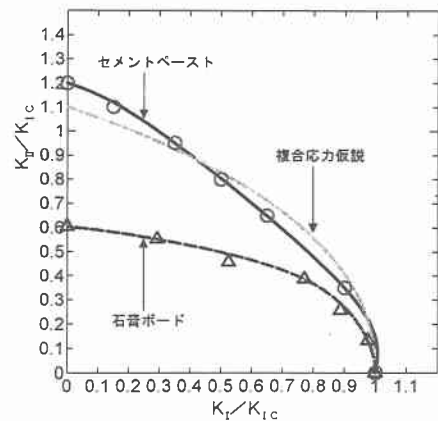


図-2 石膏ボードと既報のクライテリオンの比較

こちらも 3.1 で述べた比較、検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 矢富盟祥, 藤井清司, 菊池正, 中川浩二: 複合応力仮説による岩質材料の混合モード破壊条件とその実験的検証, 土木学会論文集, 第382号/Ⅲ-7, 1987, pp. 193-199.
- 2) 橋本堅一, 島袋淳, 矢富盟祥, 鱸洋一: 圧縮荷重下における3次元的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, No207, 1999, 97-101.
- 3) H.A.Richard and K.Benitz: A Loading Device for the Creation of Mixed Mode in Fracture Mechanics, *Int.J.Fract.*, Vol.22, 1983, pp.R55-R58.
- 4) C.Atkinson, R.E.Smelser and J.Sanchez: Combined Mode Fracture via the Cracked Brazilian Disk Test, *Int.J.Frac.*, Vol.18, No.4, 1982, pp.279-291.