

エネルギー解放率を用いた破壊靱性値の評価について

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○鶴谷 久晴
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 敦

1. はじめに

破壊靱性を評価する場合、物体内のき裂進展エネルギーを考えることがひとつの方法として挙げられる。この種の方法としてはき裂先端を囲む任意の経路積分で求まる Rice の J 積分があり、その簡便評価法も提案されている¹⁾。しかし、この J 積分での評価手法では弾性変形分を無視しているために材料によっては誤った評価が行われることがある。これらの問題点を考慮した手法として、過去に岩石材料で有効な評価手法として提案された Begley と Randes による方法²⁾を若干修正した E 積分による方法³⁾がある。

本研究では線形挙動を与え、比較的従来の破壊理論を説明できるアクリル樹脂材料を用いて、E 積分による評価手法で破壊靱性について実験的に評価した。E 積分での評価手法は、J 積分による方法とは異なり、切り欠き長さの若干異なる同寸法の供試体を用いて三点曲げ試験の荷重－載荷点変位を求め、評価までの変位や荷重を一定にしないで、ある状態（たとえば最大荷重）に至った点と点とを結び、その面積から破壊靱性を導くものである。ここで、E 積分での評価手法の具体的な例を図-1 に示す。

図-1 の手法により、E 積分による評価は次式¹⁾で表される。

$$E = \frac{\delta A}{B(a_1 - a_2)}$$

(1)

ここで、 a_1 は長い方の供試体の切り欠き長さ、 a_2 は短い方の供試体の切り欠き長さ、 δA は a_1 、 a_2 から求まる面積(図-1 参照)、 B は供試体幅である。この方法は E 積分の概念に相当し、弾性材料であればエネルギー解放率に対応するものである。

また、弾塑性体材料であれば J 積分の物理的意味が明確でないのに対して、E 積分は“ある状態に達するのに必要とされる外力がなすべき仕事のき裂長さの違いによる差”と解釈することができる。また E 積分のほか、簡便式を用いた J 積分値、応力拡大係数から弾性係数を考えてのエネルギー解放率を

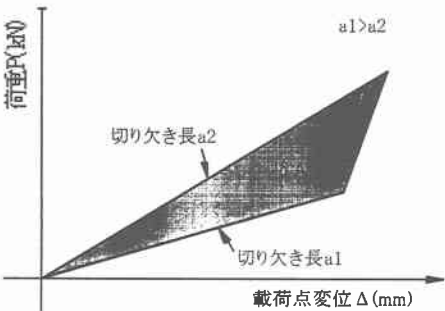


図-1 E 積分による評価法¹⁾

表-1 供試体材料特性

破壊靱性値(Kmax)	2.81MPa√m
引張強度	7.54MPa
圧縮強度	117.7MPa
せん断強度	61.8MPa
弾性係数	2.94GPa

求め、E 積分の評価値と比較、検討を行う。

2. 実験概要

(1) 供試体

本研究では供試体として、アクリル樹脂板を加工したものを利用した。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)により求めたものであり、他の値は ASTM の試験法に準じて測定されたものである。

試験方法は 3 点曲げ試験とし、その供試体寸法は 30×30×140mm、スパン長さは 120mm とした。供試体中央部には直線人工切り欠き(幅 0.5mm)を設け、その長さは 14、15、16mm の 3 種類を用意した。

(2) 試験方法

ASTM で定められている 3 点曲げ試験に準じて行った。試験機には静的容量 15kN の油圧サーボ式材料試験機を用い、載荷変位速度は 0.25mm/min とした。載荷点変位は、材料試験機の載荷システムで得られる載荷荷重、載荷点変位をコンピュータでオンライン処理を行い、直接データの記録とした。

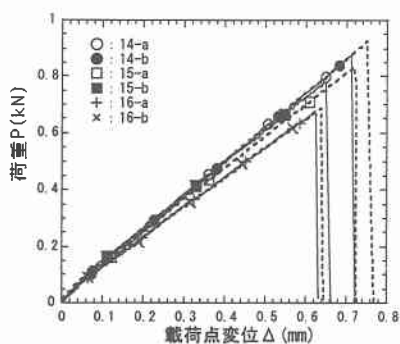


図-2 荷重-載荷点変位

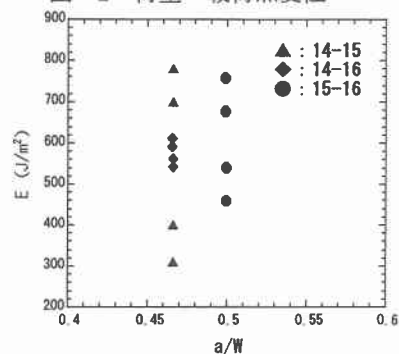


図-3 E積分によるエネルギー解放率

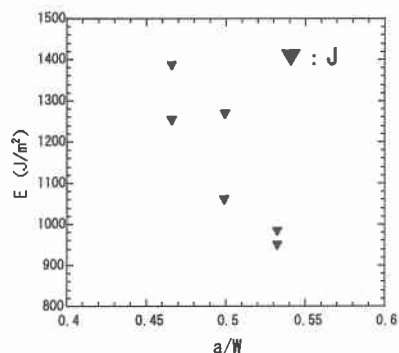


図-4 J積分値

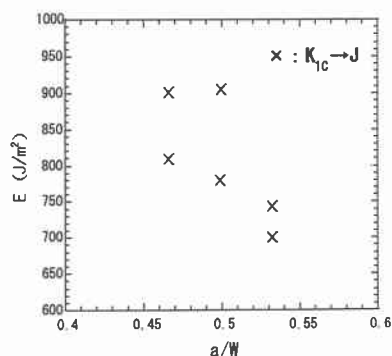


図-5 応力拡大係数からのエネルギー解放率

4. 実験結果と考察

(1) 荷重-載荷点変位の関係

図-2は実験結果から縦軸に荷重 P (kN), 横軸に載荷点での変位 Δ (mm)をプロットしたものである。切り欠き長さが等しければ、載荷荷重-載荷点変位の傾きはほぼ等しく、線形挙動に近いことがわかる。

しかし、破壊荷重には多くのばらつきがみられる。原因として、き裂の加工が十分でなかったこと、切り欠き先端部分に対して平行に載荷されず偏心を生じてしまったこと等が考えられる。

(2) E積分による評価

E積分の計算方法は、図-2より荷重-載荷点変位が線形挙動に近いことから、これに対して直線近似を行い、エネルギー解放率と考えられるE積分値の計算を行った。ここで、E積分の概念によるエネルギー解放率の計算結果をまとめたものが図-3である。図より、エネルギー解放率は $300 \sim 800 \text{ J/m}^2$ の間に分布しており、評価を行う供試体のき裂長さの差が大きいほど、また、供試体幅に対する切り欠き長さの比 a/W が大きいほど、エネルギー解放率の値はばらつきが少なくなる傾向にあり、切り欠き長さに依存性を示し、供試体幅に対するき裂が深いほど有効な評価ができると考えられる。

(3) J積分

簡便式によりJ積分値の計算を行い、まとめたものを図-4に示す。図より、J積分値の特徴は、 a/W の値が増加すればJ積分値は減少傾向にあり、切り欠き長さに依存性を示し、供試体幅に対するき裂が深いほどE積分値に近い評価が得られると考えられる。

(4) 応力拡大係数 K_{Ic}

応力拡大係数のからエネルギー解放率への計算の際、弾性係数は 2.94 GPa , ポアソン比は 0.2 とした。

計算結果をまとめたものを図-5に示す。図より、応力拡大係数をエネルギー解放率に換算した値は、J積分値より小さくなったが、J積分値の結果と同様に減少傾向にあり、切り欠き長さに依存性を示し、類似した傾向を示した。

参考文献

- 1) 國尾武, 中沢一, 林郁彦, 中村弘之: 破壊力学実験法, 朝倉書店, pp.45-88, 1984.
- 2) Begley, J. A. and Lands, J. D.: The J integral as a fracture criterion, ASTM STP 514, pp.1-20, 1972
- 3) 橋本堅一, 工藤洋三, 矢富盟祥, 中川浩二: 花崗岩の破壊靱性評価に関する検討, 岩盤力学シンポジウムに関するシンポジウム論文集, Vol.20, pp.81-85, 1988