

花崗岩における破壊靱性の方向依存性について

徳山高専 正員○橋本堅一

徳山高専 正員 工藤洋三

京都大学 正員 矢富盟祥

山口大学 正員 中川浩二

1. はじめに

花崗岩は内部に存在する微小クラックの影響で引張強度、圧縮強度などの材料定数の他、力学試験で測定される物理量のほとんどに方向依存性（異方性）を持つことが知られている。破壊靱性についてもピーク荷重による応力拡大係数（ K_{IC} ；破壊靱性の目安値）に異方性があることが報告されており¹⁾、またクラックの進展にともなう応力拡大係数にも異方性が認められている²⁾。本研究では、これらに関係してA E評価法によるクラックの発生時における応力拡大係数を破壊靱性として取り上げ、花崗岩に存在する代表的な3つの直交する面のなかで一番割れやすい面（rift面）と割れにくい面（hardway面）を亀裂が進展する場合の破壊靱性にどの程度の異方性があるかについて検討した。

2. 実験

実験は3点曲げ破壊靱性試験により実施した。供試体には伊予大島産の大島花崗岩を用い、ASTM型の長方形供試体とした。供試体の諸量は供試体厚さ（ W ）を40mmとし、供試体幅 $B=W$ 、支点間距離 $S=4W$ 、切り欠き長さ $a=W/2$ となるように選択した。供試体数はrift面を破断面とするもの、hardway面を破断面とするもの各々、2本である。実験においてはそれぞれもう一つの代表的な面、grain面を載荷面にしている。用いた載荷試験機はサーボ制御機構を有する載荷装置（島津サーボパルサEHF-EUB30-20L）で変位速度 4×10^{-4} mm/sの変位制御で実験を行った。計測量としては載荷荷重、載荷点変位、切り欠き先端付近の縦方向と横方向のひずみおよびA Eのイベントカウントのほか亀裂開口変位を扱い、パーソナルコンピュータでGP-IBインターフェイスを介して5秒間隔にてオンライン処理している。実験に際しては若干の荷重をかけて供試体の両側に取り付けた2本の変位計による変位と供試体の両側面に貼り付けた2枚のクロスゲージからのひずみにより線荷重における荷重の偏心を入念に調べ、できるかぎり平面ひずみ状態に近いかたちの載荷が実現できるようにしている。

応力拡大係数の算出はASTMの公式によるものとし、評価点としてA Eによりクラックの発生点を決定し、その時の荷重（ P_0 ）と初期切り欠き長さ（ a_0 ）により破壊靱性 K_{IC} （ a_0, P_0 ）を求めた。

3. 実験結果と考察

Fig.1に実験により得られた代表的なrift面を破断面する場合の荷重－載荷点変位図を示す。図中にはA Eのイベントカウントも示している。このようにA Eは荷重がピークを示すかなり前から発生しており、本研究ではA Eが連続的に出始める点（↓で示す）を線形破壊力学の適用限界と考え、その点の荷重と初期切り欠き長さで応力拡大係数による破壊靱性を評価した。

Fig.2は荷重－亀裂開口変位図である。ここで○で示したものがhardway面を破断面としたもので、*で示したものがrift面を破断面としたものである。この図からピー

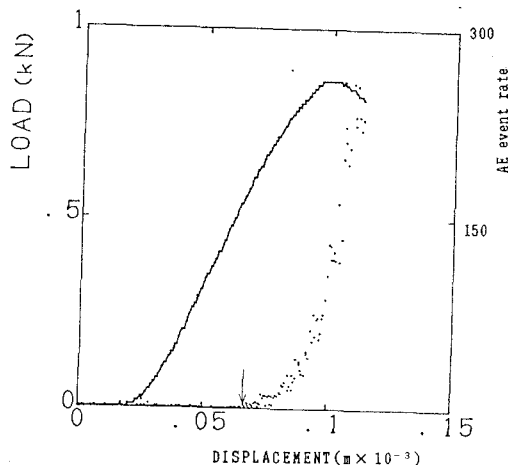


Fig.1 Determination of crack onset

ク荷重時の亀裂開口変位はほとんど変わらないことがわかるが、rift面を破断する方が0.6kNあたりから大きい開口変位を与え始めていることがわかる。これは明かにrift面に多く存在する微小クラックの影響であろう。

Fig.3は荷重と切り欠き先端に貼り付けたひずみゲージによるひずみの関係を示す。(a)がhardway面を破断したもので、(b)がrift面を破断したものである。ここで両者とも縦横両方向、引張応力場を示している。ただhardway面を破断する場合は1kN程度までは縦方向ひずみが横方向ひずみに比べて大きい値を示し、その後主破壊と関連したクラックの進展により横ひずみが著しく大きくなるが、rift面を破断する場合、最初から横方向ひずみの増加量が大きく、そのまま破壊へと至る。このこともクラック分布に関係している。すなわちhardway面を破断する場合は微小クラックは水平方向に多く存在するので縦方向ひずみが大きく出る傾向にあるが、rift面を破断する場合、クラックは鉛直方向に多く存在するので横方向ひずみが生じやすい傾向にある。このように計測量のほとんどに微小クラックの影響が現れた。

本研究で得られた破壊靱性をTable.1に示す。表にはピーク荷重 (P_{max}) と初期切り欠き長さにより得られた応力拡大係数 $K_I(a_0, P_{max})$ も示している。この表から $K_I(a_0, P_0)$ 、 $K_{II}(a_0, P_{max})$ とともに、hardway面を破断する場合の破壊靱性はrift面を破断する場合のものの約1.3倍を示すことがわかった。

4. おわりに

本研究では花崗岩の代表的な3つの面のうち、最も割れやすい面 (rift面) と割れにくい面 (hardway面) に限って破壊靱性を求めた。その結果、実験における計測量のほとんどに微小クラックの影響が現れることがわかった。またrift面とhardway面を亀裂が進展するときその破壊靱性の異方性の割合については約30%の違いが確認された。

参考文献

- 1) P.Halleck and A.J.Kumnick, Proc.21st U.S.Rock Mechanics Symposium PP.235-242
- 2) 佐野修, 材料, 第37巻, 第413号, PP.152-158, 1988

Table.1 fracture toughness in this study(MPa $\sqrt{m}$)

	rift plane	hardway plane
$K_I(a_0, P_0)$	0.757 0.759	1.00 1.00
$K_{II}(a_0, P_{max})$	1.04 1.15	1.40 1.46

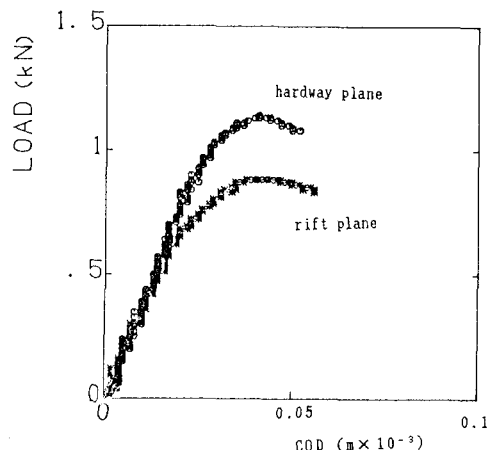
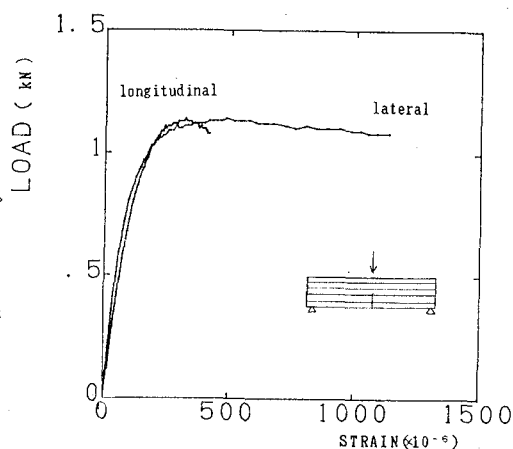
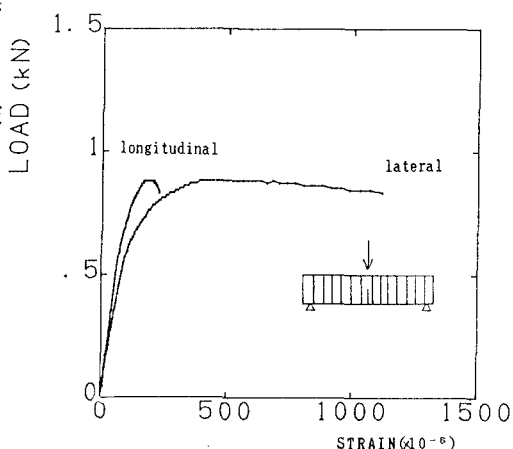


Fig.2 Summary of load - C.O.D (crack opening displacement) relation



(a) splitting of hardway plane



(b) splitting of rift plane.

Fig.3 Summary of load-strain relation