

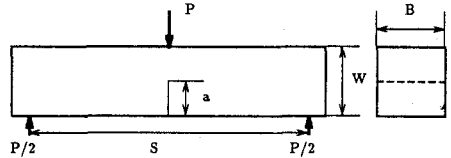
徳山高専 正会員 橋本堅一  
徳山高専 正会員 工藤洋三

1. 緒論

花崗岩には一軸圧縮強度、圧裂強度、弾性波速度などの異方性が存在し、これらが花崗岩内の微小亀裂によって支配されることが明らかになっている。破壊力学の考え方から論じると破壊靱性にも異方性が存在することが予想され、実際にも花崗岩の破壊靱性異方性を扱った報告はいくつかみられる。本研究ではこのような立場から特定の平面内での破壊靱性異方性の傾向、程度を明らかにした上、特に先在微小亀裂がどのような形でその傾向や程度に影響を及ぼしているかを考察する。

2. 花崗岩の破壊靱性異方性

ISRMでは岩石の破壊靱性試験のための指針を提案しているが、ここでは破壊靱性の傾向と程度を明らかにすることを目的としているため、手法として比較的簡易なASTMに示されている方法に準じた試験で行った。その概要を図-1に示す。着目した面は花崗岩採石場で切り出しの対象となる面のうち、最も割れやすい面(rift面)と最も割れにくい面(hardway面)を含む面である。対象破壊面はそれぞれの面を含む7平面でその刻み間隔は15°である。供試体は各々の面について各2本準備した。



W:供試体幅(4cm)  
B:供試体厚さ  
S:支点間距離(16cm)  
a:切り欠き長(2cm)  
P:載荷荷重

図-1 破壊靱性試験の概要

実験結果を表-1に示しているが、このなかで弾性波速度は破壊面に垂直な方向を伝播する縦波の速度である。破壊面とhardway面のなす角度に対して弾性波速度を図示したものが図-2である。ここで75°と90°、

表-1 破壊靱性試験に関する諸量

供試体記号	破壊面とhardway面のなす角	供試体幅 B (cm)	供試体厚 W (cm)	最大荷重 P (kgf)	破壊靱性値 (MPam <sup>3/2</sup> )	弾性波速度 V <sub>p</sub> (m/s)
H0R1	0°	4.095	3.920	99.4	1.27	4670
H0R2		4.050	4.095	95.1	1.17	
H15R1	15°	4.095	3.913	95.7	1.19	4574
H15R2		4.060	3.913	98.3	1.25	
H30R1	30°	4.138	3.918	92.0	1.11	4414
H30R2		4.125	3.955	102.5	1.23	
H45R1	45°	4.033	3.918	80.4	1.04	4232
H45R2		4.128	4.028	82.0	0.97	
H60R1	60°	4.060	4.015	73.1	0.91	4061
H60R2		4.078	4.125	79.8	0.95	
H75R1	75°	4.020	3.925	72.4	0.95	4013
H75R2		4.010	3.935	68.0	0.89	
H90R1	90°	4.060	3.935	68.0	0.86	4015
H90R2		4.160	3.935	80.7	0.95	

-15°と0°がほぼ一致した値を示すことから実際のrift面、hardway面はそれらの間に存在することが推察される。これは切り出し面が滑らかな面でないにもかかわらず、その面を基準として供試体を加工したため生じたものと考えられる。図-3に破壊靱性値の測定結果を示す。実験結果には多少のばらつきが認められるが同一実験条件の2個の供試体間のばらつきの範囲をはるかに越えて、明瞭な傾向が認められる。すなわち、0°を極大、90°を極小とする連続的な曲線で、その最大差は平均値に対して30%にも及ぶ。

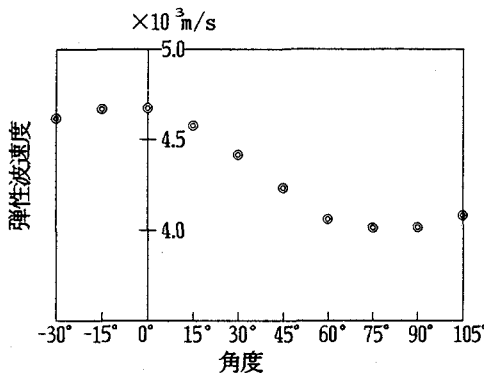


図-2 花崗岩における弾性波速度の方向依存性

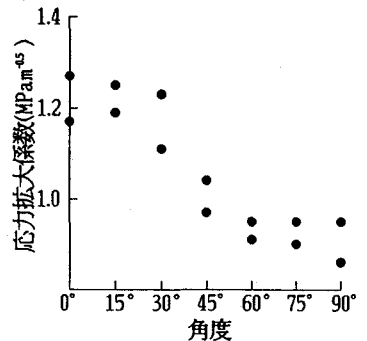


図-3 花崗岩における破壊靱性値の方向依存性

3. 主亀裂進展に及ぼす先在亀裂の影響

前記の実験結果が先在微小亀裂に支配されることは明らかであるので、ここでは先在微小亀裂がどの様に主亀裂からの破壊亀裂の発生に関与しているのかについて考察する。まず先在微小亀裂が結果的に変形の異方性をもたらすものとして面内等方性(弾性係数比 $E_x/E_y$ ; 1.66)として解析したものが図-4である。この $0^\circ$ は主亀裂面が弾性係数が大きい方向に垂直に存在している場合である。傾向は似ているが差は5~6%にしかならず、弾性係数比を極端な値をとらない限り実験結果を説明することは不可能である。図-5は主亀裂周りに単一の亀裂が存在する場合の実験条件と同じ供試体の3点曲げ試験の計算結果である<sup>1)</sup>。ここでも亀裂間距離が1mmと小さいにもかかわらず、5%程度の差しか見い出せない。図-6は一様引張を受ける亀裂の先端に分岐亀裂を持つ場合の解析結果である<sup>2)</sup>。この場合は開口モード(モードI)のみならずせん断モード(モードII)の影響もかなりでてくるのでエネルギー解放率で考えた。したがって応力拡大係数による破壊靱性に対しては実際にはこれらの値の平方根で関係してくるが、80%以上の差が出ており実験結果を説明するにはこのモデルでは逆に大きすぎる。傾向としては前の亀裂の干渉の解析と同様に単一の亀裂しか考えていないので極小値が存在していないが主亀裂先端に対して対称な亀裂を考えることで説明できるものと考えられる。この他に微小亀裂が一様分布する場合の解析も報告されているが、破壊荷重にして数%の差しか出ていない<sup>3)</sup>。

以上のように先在亀裂が主亀裂の進展に与える影響について、数々のモデルを考えて考察してきた。その結果、方向により弾性係数が違うような変形の異方性を考えるだけでは花崗岩の破壊靱性異方性の傾向は説明できるが程度まで説明することは困難であることが明らかになった。また亀裂モデルでは簡単なモデルしか扱っていないために実験結果を説明するまでには至っていないが、ランダムに分布する粒界などの弱面のかかわり合いや主亀裂に交わる亀裂面内応力を考慮した先在亀裂を考えることにより、破壊靱性異方性の程度まで説明できる可能性を残している。さらに3次的に考えるならば、先在亀裂が所々で主亀裂に交わるようなモデルを考えることによりある程度の説明ができるものと考えられる。

4. 結論

本研究では花崗岩の破壊靱性異方性について一平面内での変化を調べたのち、先在微小亀裂が破壊靱性異方性にどのようにかかわっているのかについて検討してきた。その結果、先在亀裂だけでなく粒界などの弱面などのかかわり合いを考えたとき、主亀裂に交わる先在亀裂を考えただけでさらに先在亀裂面を伝達する応力なども考慮する必要があることが明らかになった。

参考文献 1) L.R.F. Rose, Microcrack interaction with a main crack, Int. J. Fract., 31, 1986, pp233-242 2) 北川, 結城, 二次元応力状態における分岐き裂の応力拡大係数, 機論, 41-346pp1641-1649 3) V.P. Tamuzs and N.B. Romalis, Interaction of a Macrocrack with Microdamages. Proc. 6th Conference on Fracture, pp833-840, 1984

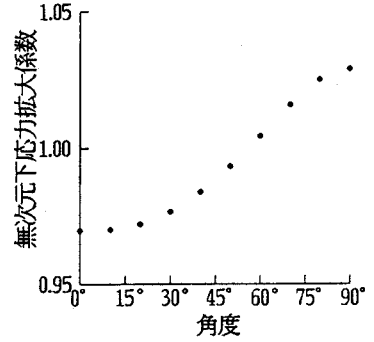


図-4 面内等方性体の応力拡大係数

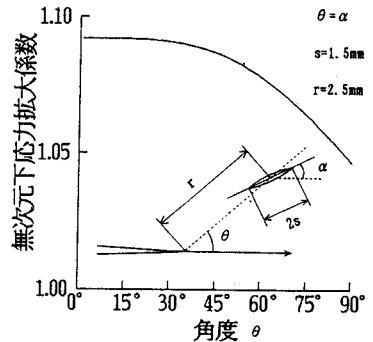


図-5 単一の干渉亀裂を有する場合の応力拡大係数

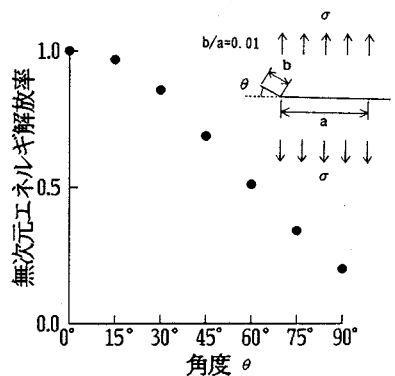


図-6 分岐亀裂を有する場合のエネルギー解放率