

Ⅲ-A311

ひずみ速度に依存した花崗岩中のクラック発達過程

埼玉大学工学部 正会員 ○ 長田 昌彦
 埼玉大学工学部 正会員 吉中龍之進

1. はじめに

岩石の強度はひずみ速度が小さくなるにつれて低下する。岩石の長期挙動を予測する上では検討しておくべき現象であり、経験的によく知られた現象ではあるが、どのようなプロセスによって生じているかについては詳しく検討されていない。Kumar(1968)¹⁾はこのプロセスについて、ひずみ速度の増加はクラック数の増加またはクラック進展速度の増加を主因とするモデルを考えている。また、Wu and Pollard(1993)²⁾は岩石模擬試料を用いて純粋引張試験や曲げ試験を行い、割れ目系の成長や形態におけるひずみ速度の影響について、割れ目系の形態と進展速度がひずみ速度と全ひずみ量に大きく依存することを示している。ここでは載荷に伴うクラック分布の変化に着目して、ひずみ速度を変化させた一軸および三軸圧縮試験を実施し、載荷段階の異なる試料においてクラック分布を計測することにより、発達したクラック分布へのひずみ速度の影響について検討した。

2. クラック分布の計測方法

圧縮試験；試験に用いた岩石は稲田花崗岩である。円柱供試体を作成し、デシケータ内で1週間以上乾燥させた後試験に用いた。稲田花崗岩の初期クラックの方向分布は直交異方的であり³⁾、最も割れやすいとされる面（rift面）方向に特に卓越して配向している。載荷装置にはMTS社製モデル815を用い、軸方向および周方向の内部変位を計測した。載荷方向はすべてrift面に垂直な方向である。試験条件は表—1に示す通りである。

クラックの抽出；クラックの抽出には、鈴木・高橋(1994)⁴⁾によるレプリカ法を採用した。内部構造の異方性を考慮して、インタクトおよび試験後の円柱供試体を図1のように、G軸およびH軸に垂直な面で切断して観察面とした。観察面は研磨したあと、それぞれの面についてレプリカフィルムを作成した。作成したフィルムの一覧を表—1に示す。表中には、適用した拘束圧条件とひずみ速度、および載荷を停止した時点における軸ひずみ量とそのときの応力レベルも合わせて記入している。またサンプル名の末尾の文字g,hは観察面の方向を示す。

クラックの計測；個々のクラックの方向、長さ、位置は画像処理と画像解析⁵⁾を通して計測した。一枚のフィルムにおいて計測した面積は19.4cm²であり、供試体中央付近を載荷軸に沿って約3.5×6cmの領域を対象としている。なお、ここでは0.22mm以上の長さをもつクラックのみを対象とした。

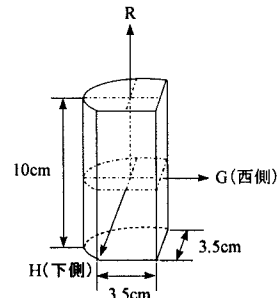


図1 観察面の設定

3. 計測結果

初期クラック分布；図2に初期クラック方向の頻度分布を示す。図には軸ひずみ速度 $2 \times 10^{-5}/s$ で応力レベル90%まで一軸圧縮載荷した試料（p-25g, p-25h）も合わせて示してある。図中、文字Rはrift面方向を示すが、この方向を向くクラック本数が多いことがわかる。また一軸圧縮試験後の試料（p-25g, p-25h）に注目すると、クラックの方向分布は、インタクトな供試体と同程度であり、この程度の比較的速いひずみ速度で載荷した場合には、載荷の影響はクラック量の変化としてはほとんど捉えられていない。これ以後、初期のクラック分布から発達したクラック分布のみを取り出すときには、便宜上p-25gの数値を基準として、計測値から差し引くことにする。

表—1 作成したレプリカフィルムの一覧

サンプル名	Confining Pressure (MPa)	Strain Rate (s ⁻¹)	軸ひずみ量 (%)	応力レベル (%)
intact-g				
intact-h				
P-15g	0	2.0E-07	0.30	98
P-15h	0	2.0E-07	0.30	98
P-02g	0	2.0E-06	0.30	93
P-02h	0	2.0E-06	0.30	93
P-25g	0	2.0E-05	0.30	90
P-25h	0	2.0E-05	0.30	90
G-16g	10	2.0E-05	0.55	90
H-12g	10	2.0E-07	0.55	98
H-14g	10	2.0E-05	0.61	98

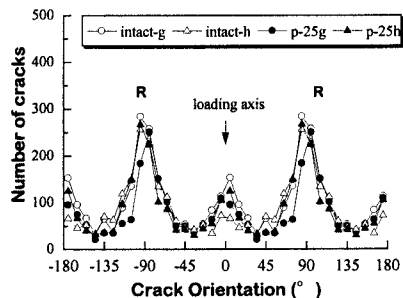
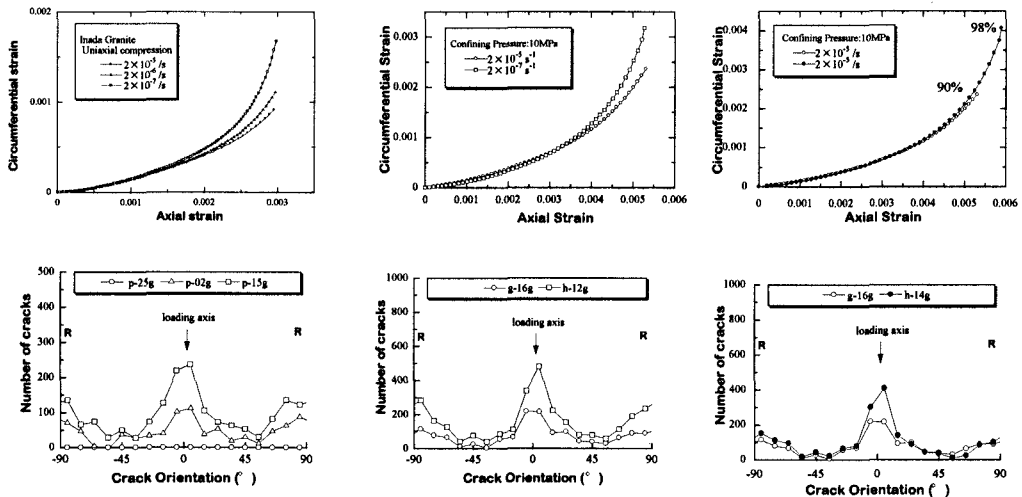


図2 初期クラック分布

キーワード：花崗岩，クラック，ひずみ速度，レプリカ法

〒338-8570 浦和市中大久保 255 TEL: 048-858-3547, FAX: 048-858-7374



(a) 一軸圧縮試験，一定ひずみ量。 (b) 三軸圧縮試験，一定ひずみ量。 (c) 三軸圧縮試験，同ひずみ速度

図3 荷重により発達したクラック分布。（上段：軸ひずみ一周方向ひずみ関係，下段：頻度分布）

荷重により発達したクラック；花崗岩の変形挙動におけるひずみ速度の効果は，軸ひずみ一周方向ひずみ関係上に現れる。例えば，図3(a：上段)を見ると，ダイレイタンス発生後はひずみ速度が小さくなるにつれて，ある軸ひずみ量に対する周方向ひずみ量が大きくなっていることがわかる。拘束圧を負荷した条件下においてもこの傾向は変わらない。このように異なるひずみ状態を通過することは，ひずみ速度を変化させることにより，花崗岩内部に発達する構造が異なっていることを示している。

そこで，各ひずみ速度によって一定軸ひずみ量まで荷重したあと除荷した試料について，クラック量を比較することとした。図3(a)は一軸圧縮試験において，軸ひずみ量 0.3%まで荷重した試料のクラック方向の頻度分布である。同一の軸ひずみ量に対して，ひずみ速度が小さいほど荷重軸方向に向くクラック本数が多いことがわかる。この傾向は図3(b)に示した拘束圧 10MPa の試験において軸ひずみ量を 0.55% としたときにも同様である。また荷重軸方向以外の方角についても，全般にクラック量が増加していることが伺える。

一方，同一のひずみ速度によって異なる応力レベルまで荷重した場合には，図3(c)に示したように，応力レベル 90%まで荷重した場合のクラックの方向分布（●印）に対して，98%まで荷重した場合のクラックの方向分布（○印）は荷重軸方向のクラックが顕著に発達しており，その他の方向についてはほとんどクラック量が増加していないことがわかる。このことは，最終的に形成されるクラックパターンが異なる可能性を示唆していると考えられるが，用いた試料がひずみ速度依存性が小さいこと，また適用したひずみ速度の範囲が狭いこともあって，その差はわずかであり，まだ十分な検討ができていない。

以上の結果より，比較的拘束圧が小さい場合には，ひずみ速度が小さくなるに従い，特に荷重軸方向や初期の構造面方向に向くクラックの増加量が多いが，全体にあらゆる方向に向くクラックが増加する。これはひずみ速度が小さい場合には，供試体がクラックが発達するために必要な応力状態におかれている時間が長いため，個々のクラックの成長が促進されるためと推定される。このことが岩石の破壊強度がひずみ速度の減少とともに小さくなる要因の一つと考えられる。

4. まとめ

ひずみ速度を変化させた一軸および三軸圧縮試験を実施し，荷重に伴うクラック分布の変化をレプリカ法を用いて計測した。その結果，軸ひずみ量を一定とした場合，ひずみ速度が小さいほど発達するクラック数が多いことが明らかとなり，このことが岩石の破壊強度がひずみ速度の減少とともに小さくなる一つの要因であると推定された。今後，発達したクラックの位置情報等も含めた検討を行っていく予定である。

参考文献：

- 1) Kumar, A.: The effect of stress rate and temperature on the strength of basalt and granite. *Geophysics*, Vol.33, 501-510, 1968.
- 2) Wu, H. and Pollard, D. D.: Effect of strain rate on a set of fractures. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol.30, No.7, 869-872, 1993.
- 3) 長田昌彦・山辺正・吉中龍之進・稲田花崗岩の初期マイクロクラック分布. 応用地質, Vol.39, No.6, 500-510, 1999.
- 4) 鈴木清史・高橋学: レプリカフィルムを用いた空隙，亀裂の可視化法. 応用地質, Vol.35, No.2, 77-78, 1994.
- 5) 長田昌彦・榎野誠・山辺正・吉中龍之進: レプリカフィルムからのクラック抽出方法とその画像解析方法の検討. 応用地質, Vol.40, No.1, 56-66, 1999.