

(89) 稲田花こう岩の組織構造と物性の
異方性との関係について

公害資源研究所	○松永 烈
公害資源研究所	山口 勉
公害資源研究所 正会員	厨川道雄
公害資源研究所	及川寧己

Relation between microtexture and physical anisotropy of Inada Granite

Isao MATSUNAGA, Nat'l Res. Inst. for Pollut. and Resour.
Tutomu YAMAGUCHI, NRIPR
Michio KURIYAGAWA, NRIPR
Yasuki OIKAWA, NRIPR

Abstract

Microscopic fabric analysis of Inada granite is conducted for characterizing textural anisotropy. Direction of microcracks and also fluid inclusion planes in quartz grains is identified from photomicrographs taken by using a binoculars.

Preferred orientation of microcracks is recognized toward the conjunctional directions between rift and grain planes. Anisotropy of P-wave velocity and permeability in Inada granite relates to the microfabric texture. Hydraulically created fracture also tends to be controlled by fabric anisotropy.

1. はじめに

現在、新エネルギー新技術総合開発機構によって、山形県肘折地区において高温岩体開発のための現場実験が進められている¹⁾。筆者らも、高温岩体開発のため水圧破砕法を用いた人工貯留層造成法の開発を目指し一連の研究を行っており、肘折での現場実験に参加するとともに、室内で20cm立方体岩石試料を用いた水圧破砕実験を実施中である。高温岩体を開発するためには、現在次のような一連のステップが考えられている。①一本の坑井を掘削刷る。②その坑井から水圧破砕を行う。③水圧破砕の際のき裂の進展する方向を推定する。④推定した水圧破砕き裂に向けてもう一本の坑井を掘削し、導通させる。③として、水圧破砕に伴う微小地震を観測し、震源分布からき裂の方向を推定する方法²⁾が一般に適用されている。しかし、この方法だけで④のステップに進には、確実性の点からまだ問題点が残されている。このため、微小地震マッピング以外の新しい水圧破砕き裂の進展方向推定法の開発が望まれている。

高温岩体開発の対象としては、温度が高温でしかも比較的広い範囲にわたり分布する必要があることから、花こう岩や花こう閃緑岩などの深成岩基盤が考えられている。花こう岩質岩石には、直交する節理系が存在することが古くから知られており、地質学的分野では花こう岩体中の節理面や流理面等の面構造の π ダイアグラムを用い、貫入構造の解析なども行われている³⁾。また、花こう岩の岩目

を特徴づけるものが、微小き裂や流体包有物配向面などの選択的配向性であることが明らかにされている⁴⁾。最近では、これら岩石中の欠陥構造の方向と地圧との関係も研究されている⁵⁾。高温岩体開発の分野でも、Tenzer⁶⁾がFalkenberg花こう岩体に掘削した孔井の深度250m付近から得たコアの微小き裂組織を調べ、その方向が水圧破砕き裂の方向とほぼ一致することを報告している。

もしこのように、岩石中の微小き裂構造が地圧や水圧破砕き裂の方向と直接関係しているならば、微小き裂のデータは高温岩体開発に対し有用な情報となる。このため、筆者らは肘折で深度2,204mまで掘削したHDR-1坑井から得たコアや、実験場南方の露頭の岩石試料について微小き裂の研究を進めている。また一方で、室内実験に使用している稲田花こう岩試料についても、微小き裂の方向を求め、弾性波伝播速度や透水性の異方性、水圧破砕き裂の進展との関係等について検討を行っている。今回、稲田花こう岩についてある程度の結果を得たので報告する。

2. 実験方法

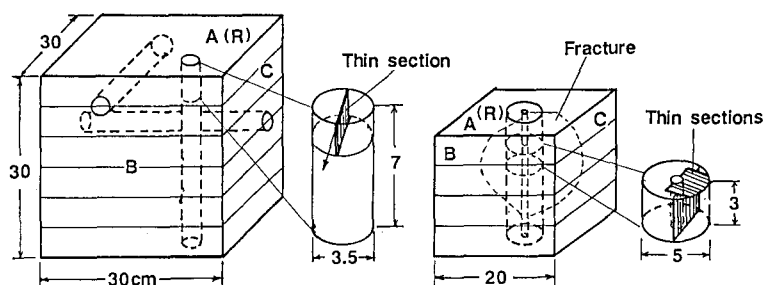
2.1. 岩石試料

2種類の稲田花こう岩試料について微小き裂の観察を行った。1つはの岩盤シンボジウムで結果を報告⁷⁾した水熱処理を行ったコアについてであり、他は水圧破砕実験を行った20cm立方体から切り出したコアについてである。両者ともrift planeに相当する岩目の方向を明示したものを石材店から購入した。便宜上rift planeをA面、残る2面をB、C面とした。岩石を購入時点でgrainとhardwayの両面は区別されていない。

2.2. 岩石試料の観察と微小き裂の方向の決定

オートクレープ処理を行ったコア及び水圧破砕を行った試料から、第1図に示す方向に薄片を作成した。通常顕微鏡観察に用いる30 μ mの薄片では、実体顕微鏡を用いた写真撮影によるき裂解析が困難なので、片側を研磨

した肉厚(約100 μ m)の薄片を作成した。肘折のような地熱地帯から採取した岩石中には、しばしば10 μ mを越える流体包有物が観察されるので、通常の薄片ではこのような流体包有物の面構造を見逃し易いが、肉厚の薄片ではこの点でも有利である。



第1図 コア試料の採取方向と薄片の作成方向

る。今回は手持ちの装置が無く行えなかったが、ユニバーサルステージによる微小き裂の3次元的方向測定も容易になる。

肉厚薄片中の微小き裂や流体包有物面の観察は、偏光顕微鏡と実体顕微鏡の両方で行った。実体顕微鏡は、き裂の方向を定量化するための低倍率での写真撮影のために用いた。実体顕微鏡では長石中の微小き裂の判定が困難なため、それらき裂や双晶、累帯構造あるいは流体包有物の観察には偏光顕微鏡を用いた。

実体顕微鏡により薄片の写真(ほぼ10倍)を撮り、それら写真から目視によりき裂を抽出、トレースを行った(第2図)。更に、このトレース図から各々のき裂の方向を求めた。上述したように、実体顕微鏡では長石や雲母中のき裂は確認が難しいので、抽出されたき裂のほとんどは石英中のもので、流体包有物の面構造も含まれている。

2. 3. 物性試験及び水圧破碎試験

物性試験としては弾性波（P波）速度の測定と透水試験を行った。P波速度の測定はパルス透過法により行った。透水試験は、rift面と直交及び平行する2つの方向のコアについて、200℃と300℃で水熱処理を行った後、定水位法により行った。封圧は40kg/cm²とした。

水圧破碎試験はメカニカルタイプのパッカーを用い、無側圧と50及び100kg/cm²の側圧を加えた場合の2条件について行った。

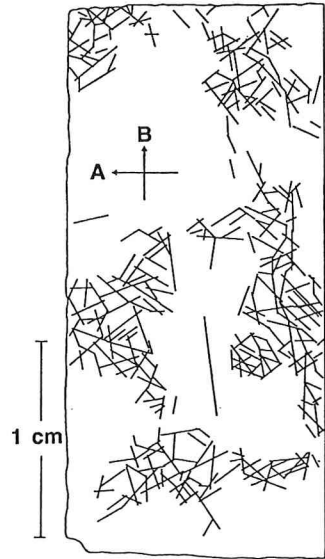
3. 微小き裂の解析結果

薄片中で観察される微小き裂には、開口き裂と流体包有物面の2種類があり、特に石英粒子中に顕著である。石英中の開口き裂と流体包有物面は同一方向を示すことが多く、開口き裂先端部が流体包有物面に変わっている場合もある。また、石英粒子間には粒界を越え発達するき裂も多く認められる。斜長石中にも双晶や累帯構造に伴う微小き裂や流体包有物面がしばしば認められる他、若干の開口き裂も認められる。黒雲母周辺にき裂が集中する場合があるが、そのような場合でも黒雲母中にはへき開方向のき裂しか認められない。

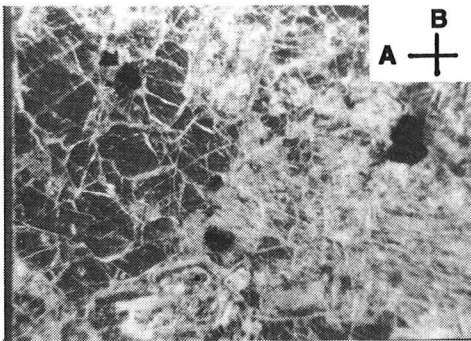
第3～5図に、同一温度、時間で加熱したコアから互いに直交する3方向に作成した薄片の顕微鏡写真を示す。各薄片中でき裂の卓越する方向のあることが分かる。これら薄片中で観察されるき裂の方向をローズダイヤグラム上に表したものが第6図である。薄片A5中ではA面に対し約30度の方向に、B3

とC5中ではC面の方向にき裂が卓越している。また、B3ではB面方に弱い卓越も認められる。これらの結果を基に、稲田花こう岩中のき裂の方向を図示すると第7図のようになる。

IGA-5 200 C/100h



第2図 薄片中の微小き裂のトレース例

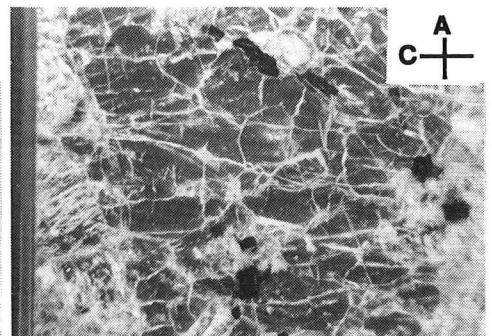
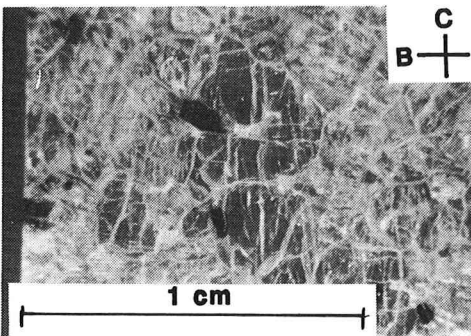


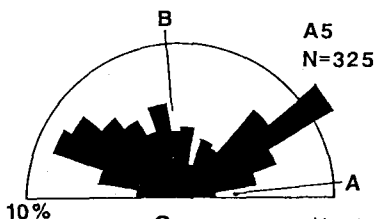
第3図 薄片中の微小き裂（IGA5）

第4図 薄片中の微小き裂（IGB5）

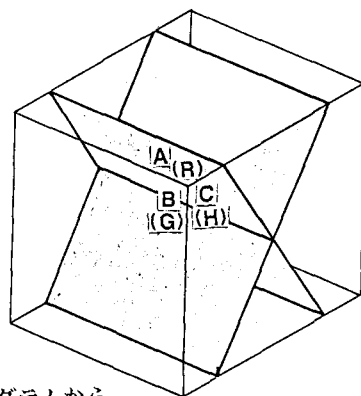
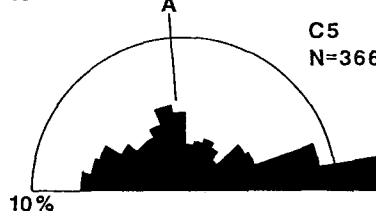
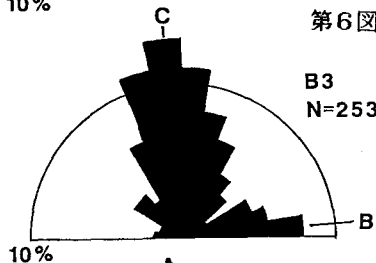
第5図 薄片中の微小き裂（IGC5）

第3図
第4図 | 第5図





第6図 トレース図から
求めたき裂のロー
ズダイヤグラム

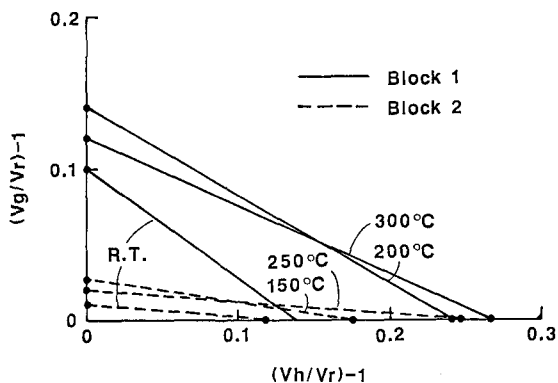


第7図 ローズダイヤグラムから
想定される稲田花こう岩中のき裂の卓越方向

従来の多くの研究では⁸⁾、花こう岩の微小き裂の卓越方向は直交異方性を有し、しかもその内の1つはrift面と一致するとの結果が報告されているが、今回はそれらと異なる結果を得た。

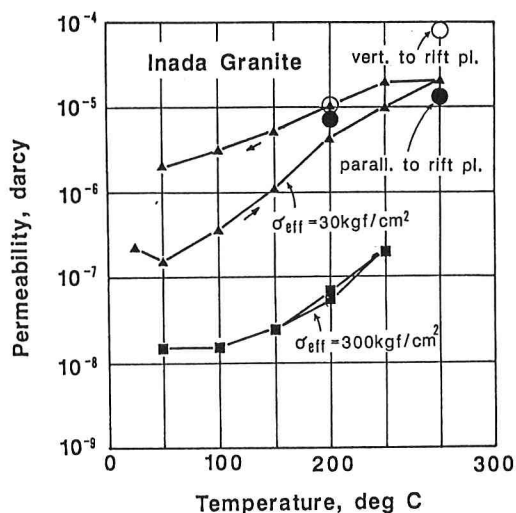
4. 物性値の異方性との関係

今回薄片を作成し、組織を調べたコアについてのP波速度の異方性の程度を第8図に示す。rift面方向に比べhardway の方向では、加熱処理を行う前でも10%以上速度が早くなっており、異方性が顕著である。これに対し、grain面方向の速度異方性は、200°及び300℃の場合と150°及び250℃加熱の場合でその程度に大きな違いが認められる。第7図に示す結果からは、各面に直交する弾性波速度は $V_h > V_g \geq V_r$ となると考えられる。150°及び250℃の結果はそれと矛盾しないが、200°及び300℃の結果はそれと一致しない。上述の2つの場合で、試験に用いた岩石試料の採取場所が異なっていることも一因と考えられるが、今後き裂に方向だけでなく、例えばクラックテンソルの様な質的な評価、検討が必要と考えられる。また、今後物性試験を行う場合、岩石試料の入手についても配慮が必要である。



第8図 薄片を作成したコアのP波速度異方性

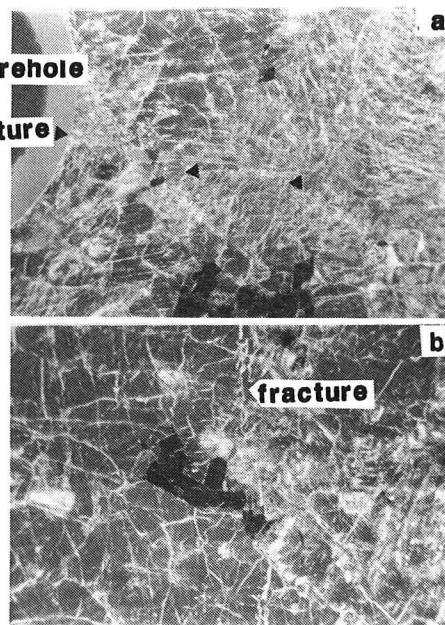
透水試験の結果を、斎藤と奥野⁹⁾の高温下における透水試験結果に重ね第9図に示す。rift面と平行のコアはhardway面方向のものである。200℃の水熱処理を行ったコアでは透水にあまり異方性は認められないが、300℃の処理を行った場合透水の異方性が顕著で、hardway面に直交する方向の透水係数はrift面方向に直交する方向のそれに比べほぼ6倍になる。この結果はhardway面と平行する方向に微小き裂が発達しているという今回の観察結果(第7図)と一致する。また、水熱処理後室温下で行った透水試験と高温下での試験とがほぼ同じ値を示すのもおもしろい結果である。



第9図 水熱処理を行った稲田花こう岩の透水係数

5. 水圧破砕き裂との関係

室内における水圧破砕実験では、岩目の影響を防ぐため岩目と直交する方向に孔井を削孔し、水圧破砕を行う。水圧破砕き裂は孔井と直交する面内で、最大主応力（圧縮を正とし）の方向に発生する。しかし、側圧を加えない場合、第10a、10b図に示すように石英中のき裂の方向と同じhardway面方向に割れる。ただし、き裂の進展は直線的ではなく、き裂や結晶粒界の影響を受けジグザグに進展しているのが確認できる。



第10図 稲田花こう岩中の水圧破砕き裂（aは孔井に直交する平面内、bは孔井軸と平行方向、縮尺は第4図と同じ）

6. おわりに

稲田花こう岩について、直交する3方向の肉厚薄片を作成し微小き裂の方向を求めたところ、rift面と斜交する方向に共役な1組のき裂系が存在することが明かとなった。この結果はrift面と一致するき裂面が存在するとした従来の研究結果とは異なっている。また、今回の結果からはrift面と直交方向とgrain面と直交方向のP波速度の違いを説明するのは難しい。このため、原位置での定方位サンプリングを行い、より詳細な弾性波速度測定やユニバーサルステージを用いたき裂の定方位測定の準備中である。

最後に、透水試験にご苦労いただいた大成建設㈱技術研究所の下茂道人氏に感謝致します。

【参考文献】

- 1) Tomita, T., T. Shirahige, M. Kuriyagawa, and K. Suzuki, GRC Bull., 17, 6, 3-10, 1988.
- 2) Fehler, M., L. House, and H. Kaieda, J. Geophys. Res., 92, B9, 9407-9414, 1987.
- 3) 例えば土屋篁、地質学雑誌、73、10、453-463、1967.
- 4) 例えばDouglass, P. M. and B. Voight, Geotechnique, 19, 3, 376-398, 1969.
- 5) 例えばPlumb, R., T. Engelder, and D. Yale, J. Geophys. Res., 89, B11, 9350-9364, 1984.
- 6) Tenzer, H., Geol. Jb., E39, 167-176, 1987.
- 7) 松永烈、山口勉、宮崎章、厨川道雄、第20回岩盤力学に関するシンポジウム、56-60、1987.
- 8) 例えば工藤洋三、橋本堅一、佐野修、中川浩二、土木学会論文集、382/III-7、45-53、1987.
- 9) 斎藤章、奥野哲夫、土木学会第42回年次学術講演会、436-437、1987.