

花崗岩体中の断層岩の透水係数 と間隙構造

Permeability and pore structures of fault rocks in a granite body

清水 以知子[1], 大西 セリア 智恵美[2], 上原 真一[3], 溝口 一生[4], 嶋本 利彦[3]
Ichiko Shimizu[1], Celia Tiemi Onishi[2], Shin-ichi Uehara[3], Kazuo Mizoguchi[3], Toshihiko Shimamoto[4]

[1] 東大・理・地質, [2] 東濃地科学センター(JNC), [3] 京大・院・理・地鉱, [4] 京大・理・地球惑星
[1] Geological Inst., Univ. Tokyo, [2] TGC-JNC, [3] Earth and Planetary Sci., Kyoto Univ, [4] Dept. of Geol. & Mineral., Graduate School of Science, Kyoto Univ.

間隙構造と透水係数 permeability の関係を定量的に調べるために、岐阜県土岐市に分布する土岐花崗岩のボーリングコア試料を解析した。コアは約 1000m の深度で逆断層（月吉断層）を貫いている。解析した試料は母岩の新鮮な黒雲母花崗岩から、断層中軸部の foliated cataclasite まで、様々な程度に破碎と、一部変質を受けている。鏡下の観察によると、断層近傍では多くの石英や長石に破断が生じており、方解石の脈に切られている。断層内部では破碎による細粒化・フラグメンテーションと顕著であり、面構造が発達するが、塑性変形の証拠はみられない。断層中軸部のウルトラカタクレーサイトは多くの変質脈に貫かれている。XRD 分析により、この脈を埋めているのは緑泥石や粘土鉱物が主体であることがわかった。

岩石の透水係数は、割れ目の連結性などの間隙トポロジーに強く支配されると考えられる。脆性領域の断層帯においては、割れ目の空間分布や連結性が重要である。ヘリウムピクノメーターで測定したバルク試料の間隙率は、新鮮な部分で 0.5-2% 程度、断層近傍で 3%程度、断層内部では 5.42% におよぶ。さらに、水銀圧入法によって調べた間隙径分布についても報告する予定である。これらの試料に市販の低粘性の蛍光樹脂を真空ポンプで浸透させたのち、走査型レーザー顕微鏡(LSM)によって間隙を可視化した。間隙を示す蛍光は主に開口した結晶粒界にみられ、よく連結している。斜長石や黒雲母の結晶内部の破断面にも蛍光がみられる。断層中央部にむかって、鏡下の間隙密度が増加する。走査電顕(SEM) による観察でも結晶粒界の微少クラックが確認された。

透水係数は京都大学の高温高压ガス圧試験機によって測定した。実験には、ボーリングコアをさらに直径 20-25 mm, 長さ 10-40mm の円柱状に成形して用いた。測定は室温下で行ない、間隙流体には水のかわりに窒素ガスを用い、透水係数（ガス透過係数）に対する有効圧の影響を調べた。封圧 P_c が小さい(~10MPa) 領域の透水係数は、流量法によって行なった。これより有効圧が高い領域の計測には、間隙圧振動法 (Kranz et al., 1990; Fisher & Paterson, 1992) を用いて、間隙圧を 20MPa 付近で振動させるとともに、封圧を 25MPa から 200 MPa の範囲で上昇させ、そののち降下させた。

すべての実験において、透水係数は有効圧の上昇とともに急激に低下し、最高圧力付近では定常値に近づいた。そののち減圧すると、透水係数は回復するが、完全には増圧時のパスまで戻らず、ヒステリシスがみられた。断層破碎帯より上位のみかけ上ほとんど破碎を受けていない新鮮な花崗岩では、浸透係数が低圧($P_c=10\text{MPa}$)での $10^{(-15)}\text{m}^2$ から最高封圧($P_c=200\text{MPa}$)でも $10^{(-18)}\text{m}^2$ 程度へと変化した。一方、やや破碎した花崗岩や、破碎脈を含む部分の透水係数は、ひとつの実験データをのぞき、新鮮な花崗岩よりも、1桁程度まで小さくなった。この原因としては、破碎による細粒化および熱水活動による割れ目のシーリングの影響が考えられる。すなわち、割れ目の数密度は破碎帯で大きくなるが、一つひとつの割れ目の巾がクラックヒーリングで減少したため透水係数が下がったと解釈される。断層帯に対して平行に窒素ガスを浸透させた場合と垂直に通した場合の比較では、後者の方がより透水係数が高くなった。これは、断層に平行な方が割れ目が長く、アスペクト比が大きいため、封圧をあげたときに弾性的に閉じる割合が大きかったからかもしれない。