

不連続面における応力・温度が与える透水性への影響

京都大学 学生会員 ○長谷川 大貴

京都大学 正会員 岸田 潔, 中島 伸一郎, 矢野 隆夫, 細田 尚

愛媛大学 正会員 安原 英明

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、放射能が地下水に流れ出した場合にそなえて、対象となる岩盤の地質学・力学・水理学特性を詳細に把握することは必要不可欠である。地下水は、主に岩盤に存在する不連続面を流れ、この不連続面は地殻変動などによる応力状態の変化、地盤内の温度の変化の影響を受けて開口状況を変化させる。したがって、岩盤不連続面の長期的な力学および水理学的挙動の予測・評価には、応力、熱などによる影響を考慮する必要がある。

本研究では、加温三軸透水試験を行い、不連続面を有する岩盤の温度を考慮した力学特性、水理学特性を考察する。

2. 実験の概要

本実験で用いた花崗岩試料は、飛騨地方の深度 180 m～200mの花崗岩コアである。圧裂により縦亀裂を有する直径 50 mm×高さ 100mm の円柱供試体を作製した。写真 1 に供試体を示す。三軸圧縮透水試験を行う前には、拘束圧を 1 MPa から 10MPa の間で载荷と除荷を 3 サイクル繰り返した。この試験の目的は、拘束力を作用させることで不連続面の噛み合わせを良くするためである。

上記試験を行った後、所定の拘束圧下で水頭差約 1m とする定水位透水試験を行った。

この透水試験によって透水量を測定し、三乗則¹⁾を用いて平均的な水理学的開口幅を求め、各拘束圧間での挙動の違いと、各温度での違いを考察した。今回は透水量よりレイノルズ数を求めたがいずれも図 1 に示すように 1 以下となっており、流れは三乗則の適用範囲である。なお岩盤不連続内の流れは三乗則が必ずしも成立しないことが知られているが²⁾、開口幅を評価するより適切な方法が現在実施されてはいないため今回は三乗則を用いた。

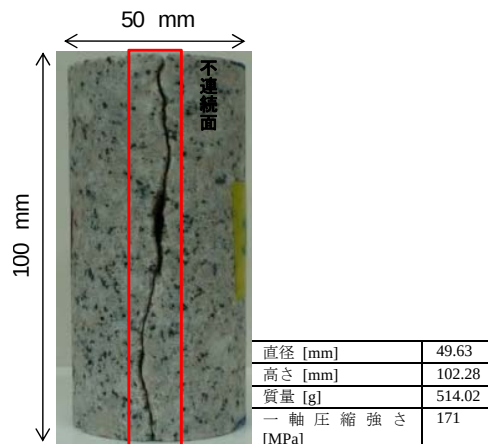


写真 1 不連続面を含む花崗岩供試体

透水試験終了後に、透水試験により流出した水を採取し ICP 分析を実施した。上の手順で実験、拘束圧を 5, 7, 10, 7, 5MPa で行った。以上の実験サイクルを 1 本の供試体につき、常温 (20℃) 状態で 1 回、加温 (60℃) 状態で 1 回それぞれ行った。

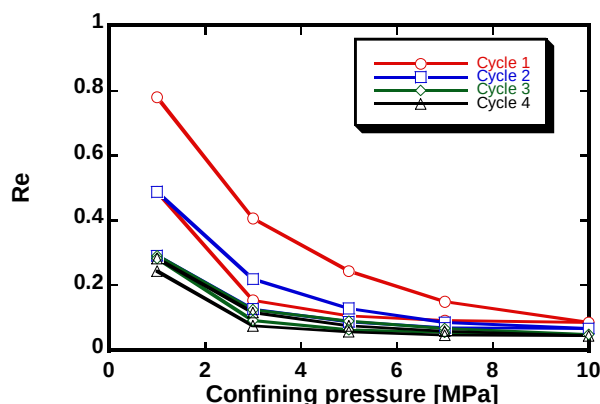


図 1 常温での拘束圧とレイノルズ数の関係

3. 実験結果と考察

実験で得られた常温時 (20℃) および加温時 (60℃) の拘束圧・透水量係数関係をそれぞれ図 2, 図 3 に示す。なお、加温時の実験では、予備载荷 (Cycle 1～Cycle 3) の段階で透水量データを取得しなかったため、図 3 では Cycle 4 の結果のみ示している。また、常温時および加温時の Cycle 4 における拘束圧と開口幅の関係を図 4 で示す。

キーワード：岩盤不連続面，透水，開口幅，拘束圧，温度

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスタ 1 Block 3 FAX：075-383-3271

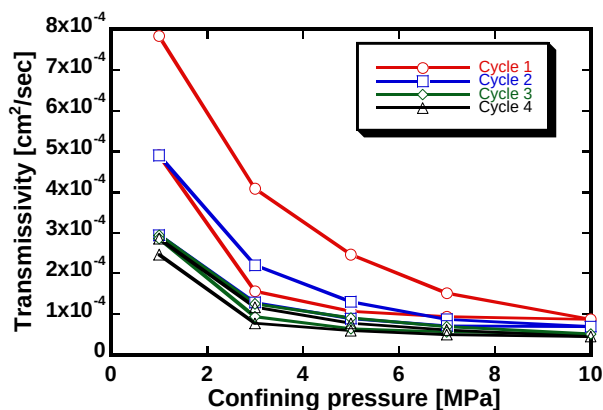


図2 常温での拘束圧と透水量係数の関係

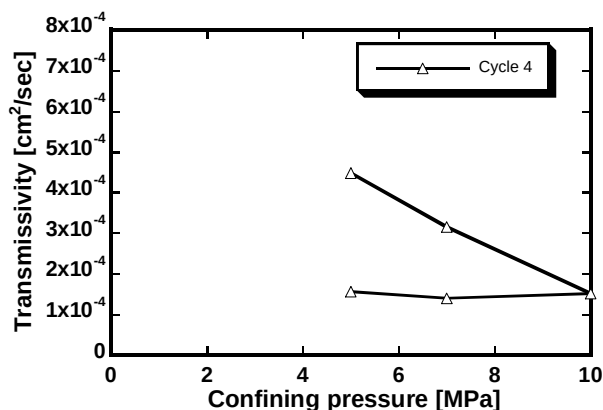


図3 加温での拘束圧と透水量係数の関係

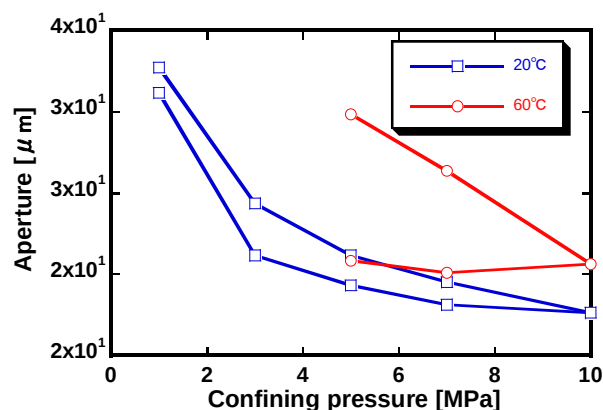


図4 拘束圧と開口幅の関係

図2より常温下では、Cycle 1では載荷と除荷を行った後透水量係数は大きく変化している。すなわち、不連続面の開口幅が昇圧によって塑性的に閉合しているといえる。しかし Cycle 3では載荷と除荷を行った後の透水量係数に変化はなく、不連続面は弾性的な挙動を示した。この傾向は、既往の研究とも合致するものである³⁾。

一方、図3より加温下では、Cycle 4でもなお透水量係数は変化している。これは、常温下の不連続面は、3回程度の載荷・除荷によってかみ合わせが安定し弾性的挙動を示すようになるが、加温下では、3回程度の載荷・除荷では、かみ合わせが安定しない、

またはアスペリティの塑性変形が安定しないと考えられる。これは図4を見ても同様のことが言える。

さらに透水試験中に採水した水の ICP 分析による結果を示す。分析は、Al, Ca, Mg, Na の元素に対しても実施したが、ここでは一例として岩石の主成分であるケイ素の析出量を図5に示す。

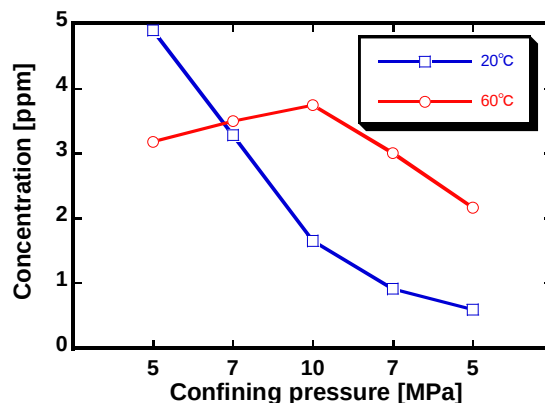


図5 ケイ素の析出量

常温において初期に高い濃度を示しているのは、実験前にチューブ残存していたものであると考えられる。図5より常温ではケイ素の析出は見られず、実験を進め、透水していくにしたがい濃度が下がっていると考えられる。

一方で加温状態においては、高压になるとケイ素の濃度は高くなっており、高温高压化では花崗岩が溶解し、ケイ素が析出していることが確認できる。

この結果、不連続面の表面が溶解しアスペリティが改善され、開口幅の変化が起きていると言える。

4. まとめ

本研究では花崗岩不連続面での透水性は温度の影響を無視することはできない結果となり、加温下での条件で拘束圧をかける方がより不連続面を変化させることがわかった。さらに化学分析結果より加温下では花崗岩の溶解が起きていることが確認できた。

今後は、長期的な視点での考察と化学的な視点での検討が必要となってくる。

参考文献

- Witherspoon, P.A., Wang, J.S.Y., Iwai, K. and Gale, J.E. : Validity of cubic law for fluid flow in a deformable rock fracture, *Water Resources Research*, Vol.16, No.6, pp.1016-1024, 1980.
- 岸田潔, 中島伸一郎, 安原英明, 細田尚: 岩盤不連続面のせん断透水試験と三乗則の適用性について, 第38回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 土木学会, pp. 260 - 265, 2009.
- Iwano, M. and Einstein, H.H.: Stochastic analysis of surface roughness, aperture and flow in a single fracture, *EUROCK '93*, pp. 135-141, 1993.