

花崗岩不連続面の透水特性と溶解機構の検討

愛媛大学大学院 学生会員 ○廣恵なつ美 正会員 安原英明
正会員 木下尚樹

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物は地下 300m 以深への地層処分が義務付けられ、計画が進められている。処分施設周辺では、廃棄体の発熱により高温・高圧環境となり、セメント系材料の溶出により地下水の高アルカリ化が考えられる。そのため、周辺岩盤の水理学特性変化が想定されることから、岩盤不連続面の透水特性評価が必要不可欠となる。そこで本研究では、高温・高圧環境を再現した透水試験に加えて、原位置の地下水環境を再現した循環透水試験を行い、水理学特性変化に与える影響を評価した。さらに、水理学的開口幅変化の概念モデルを構築し、開口幅変化率予測を行うことで、岩盤不連続面における溶解機構についての検討を行った。

2. 透水試験

本研究では、瑞浪産土岐花崗岩を用いて高温・高圧環境を再現した透水試験を行った。各実験の境界条件を表 1 に示す。循環透水試験では、模式図（図 1）に示すように、採取した透過水を連続的に使用している。また、地下水環境を再現するために透過水として鉱物飽和水を用いている。鉱物飽和水は、花崗岩の主要構成鉱物が石英（ SiO_2 ）であることから、ビーカーに脱イオン水と粒子状にした花崗岩を入れ、 SiO_2 の濃度が 90°C で過飽和状態となるまで攪拌し続けて作製した。

透水試験によって得られた結果から、式(1)を用いて水理学的開口幅 b を算出し、式(2)を用いて透過率 k を算出した。

$$b = \left\{ \frac{12\mu Ql}{w(P_0 - \rho_w gl)} \right\}^{1/3} \quad (1)$$

$$k = \frac{b^2}{12} \quad (2)$$

ここで、 b ：水理学的開口幅 [m]、 μ ：粘性係数 [Pa s]、 Q ：流量 [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]、 l ：供試体高さ [m]、 w ：供試体直径 [m]、 P_0 ：透水差圧 [Pa]、 ρ_w ：流体密度 [kg m^{-3}]、 g ：重力加速度 [m s^{-2}]、 k ：透過率 [m^2] である。しかし、初期透過率が各実験によって異なるため、時系列で変化する透過率を初期透過率で除した正規化透過率を算出し、境界条件が透水特性変化に及ぼす影響を評価した。

同様の境界条件を用いた E-14、E-15 の結果を図 2 に示す。どちらも時間経過に伴って透過率の減少が見られ、E-14 と比較すると E-15 の方が早く減少しているが、約 600 時間後にはほぼ同じ減少率となっていることが確認できる。よって、既往研究との再現性は概ね得られたと考えられる。また、透過水の違いによる比較を図 3 に示す。同様に透過率の減少が見

表 1. 初期・境界条件

供試体	不連続面 形状	温度 [$^\circ\text{C}$]	拘束圧 [MPa]	透過水
E-4 ¹⁾	平滑	25-90	5.0	脱イオン水
E-14 ²⁾	圧裂	25	5.0	脱イオン水
E-15	圧裂	25-90	5.0	脱イオン水
E-16	平滑	20	5.0	鉱物飽和水

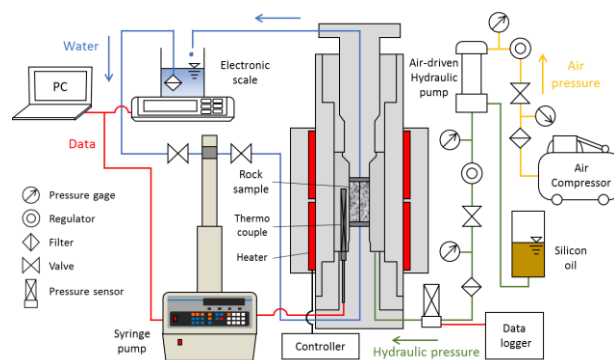


図 1. 循環透水試験模式図

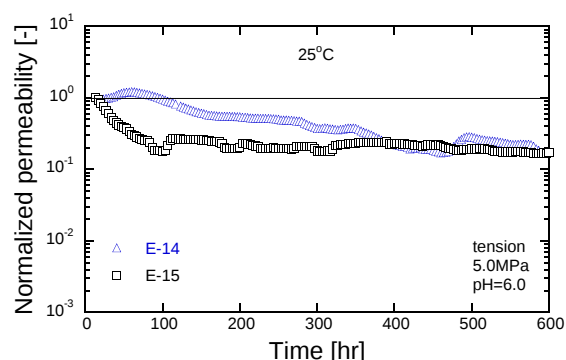


図 2. 正規化透過率の経時変化の比較
(同様条件)

られ、脱イオン水を用いた E-4 の結果よりも鉱物飽和水を用いた循環透水試験 E-16 の方が透過率が減少していることがわかる。これは、鉱物飽和水を用いたことにより透過率減少に起因する不連続面における自由表面の溶解が抑制されたことが要因であると考えられる。

3. 水理学的開口幅変化率予測

既往研究より、透水特性の変化は不連続面における鉱物溶解に起因することがわかっている。本研究では、鉱物溶解が水理学特性変化に与える影響について評価するため、水理学的開口幅変化の概念モデルを用いて予測式を算出し、実験値との比較を行う。鉱物溶解には、不連続面におけるアスペリティ接触部の溶解（圧力溶解）と空隙内の自由表面の溶解（自由表面溶解）の2種類がある。供試体の構成鉱物が石英、成長石、曹長石、灰長石、黒雲母のみで構成され、沈殿現象を無視できると仮定すると、圧力溶解と自由表面溶解を考慮した水理学的開口幅変化率の予測式は次式ようになる。

$$\dot{b} = \frac{1-R_c}{\rho_{rock} A_f} \left(-\frac{\dot{M}_c}{R_c} + \frac{\dot{M}_f}{1-R_c} \right) \quad (3)$$

ここで、 $\dot{b}$: 開口幅変化率 [m s^{-1}], R_c : 不連続面内の接触率 [-], ρ_{rock} : 岩石のかさ密度 [kg m^{-3}], A_f : 不連続面のみかけの表面積 [m^2], $\dot{M}_c$: 圧力溶解に起因する質量変化率 [kg s^{-1}], $\dot{M}_f$: 自由表面溶解に起因する質量変化率 [kg s^{-1}] である。

式(3)を用いて接触率、全溶解質量に寄与する圧力溶解および自由表面溶解割合の3つをパラメータとして変動させ、実験結果との比較を行った。得られた解析結果と実験結果との比較を図4に示す。図中の「C」および「F」は全溶解質量に寄与する圧力溶解および自由表面溶解割合であり、実験値はE-15の結果を用いている。解析結果より、接触率、自由表面溶解割合の増加に伴い、開口幅変化率が減少することが想定される。実験値と比較すると、接触率が約0.1以下であることがわかるが、解析値が密接しており、自由表面溶解割合に関する評価は難しい。本研究では圧力溶解、自由表面溶解のみを考慮していることから、沈殿現象を考慮した予測式を算出し、評価を行うことにより、より精度の高い評価が可能であると期待される。

4. おわりに

本研究で行った透水試験を実施し、境界条件が透水特性変化に与える影響について評価した。その結果、原位置の地下水環境を模擬した実験においては自由表面溶解が抑制され、より透水性が低下することが確認された。また、水理学的開口幅変化率の予測を行い、鉱物溶解が水理学特性に与える影響を評価した。今後は、予測式を改良し、より精度の高い評価を行うことが課題である。

5. 参考文献

- 1) 重永三郎, 安原英明, 木下尚樹: 花崗岩不連続面の透水特性と鉱物溶解メカニズム, 愛媛大学大学院理工学研究科学学位論文, 27pp., 2010.
- 2) 前田健太, 安原英明, 木下尚樹: 天然バリア周辺の模擬環境における花崗岩不連続面の透水特性評価, 愛媛大学大学院理工学研究科学学位論文, 26pp., 2016.

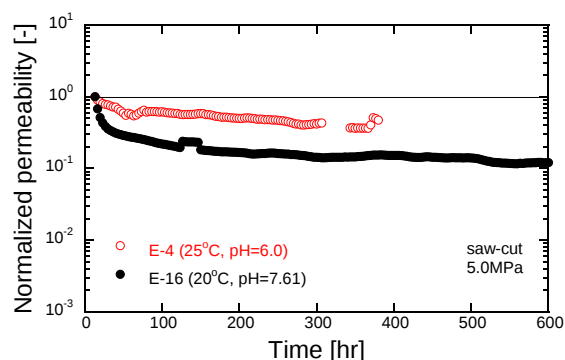


図3. 正規化透過率の経時変化の比較
(透過水の違い)

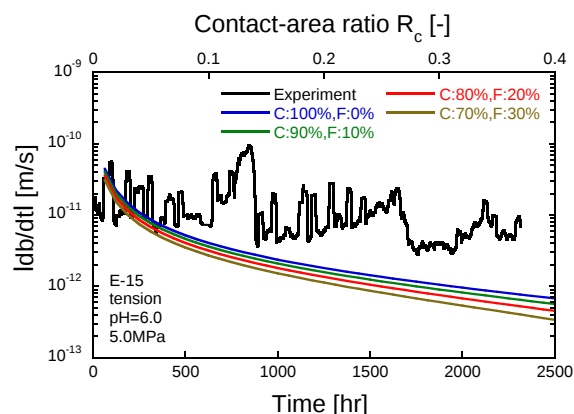


図4. 解析結果と実験結果の比較