高 pH 水を用いた花崗岩不連続面の透水実験

愛媛大学大学院　学生会員　○前田健太　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 300 m 以深の地層に廃棄処分されることが法律で設定されている．地下深部では温度・圧力レベルが共に高く，そのような環境下では鉱物の溶解・沈殿等の化学作用が卓越し，岩盤の透水特性に大きな影響を及ぼすと想定される．また，処分施設人工バリアとして使用されるセメント系材料の溶出により地下水は高アルカリ化を引き起こすことが想定されるため，高アルカリ環境下での透水性評価は必要不可欠である．そこで本研究では，セメント系材料の地下水への溶解を考慮し，透過水に高 pH 水を用い，処分施設近傍の温度・圧力環境を再現した透水試験を実施し，強アルカリ溶液が透水性変化に及ぼす影響について評価を行った．

2. 実験概要

本研究では，処分施設近傍の地下水の流れを実験的に再現するために，図 1 に示すように圧力セルに設置した亀裂を有する花崗岩供試体に温度・拘束圧を作用させ，供試体下部から高 pH 水を通水した．透水試験に使用した花崗岩供試体は不連続面形状を平滑にした E-9，E-10，E-11，E-12 と圧裂にした E-13 の 2 種類の供試体を作製した．高 pH 水は，処分施設人工バリアとして使用されるセメント系材料の溶出に起因する地下水の高アルカリ化を想定した溶液である(NaOH：0.1 mol/L, KOH：0.1 mol/L, $Ca(OH)_2$：0.002 mol/L, pH=13.2)[1]．また，温度条件は廃棄体からの発熱を想定した 90°条件(E-9, E-12, E-13)と比較して行った 25°C 条件(E-10, E-11，E-13)とし，設定温度の違いによる透水性経時変化についても精査した．さらに，透水試験前後の岩石の鉱物組成変化を SEM-EDX 分析により評価し，透過水中に溶存する物質濃度の経時変化を ICP 発光分光分析によって評価した．

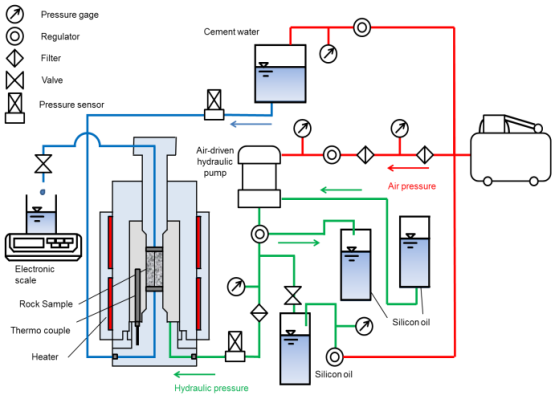

図 1　透水試験装置模式図

3. 透水試験

本研究では，透水性変化を評価するために式(1)に示す不連続面開口幅 b を算出し，式(2)に式(1)を代入し，透過率 K を算出した．

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

$$K=\frac{b^2}{12} \tag{2}$$

ここで，b：開口幅 [m]，μ：粘性係数 [Pa･s]，Q：流量 [m^3/s]，

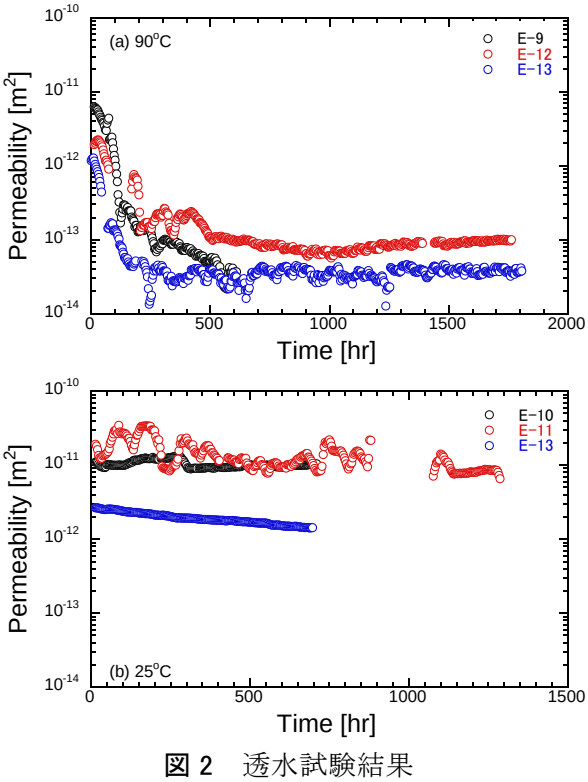

図 2　透水試験結果

l: 移行経路長 [m], w: 不連続面幅 [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.

各条件における透水試験結果を**図 2** に示す. 図より, 25°C 条件では透過率はほとんど変化していないのに対し, 90°C 条件では 200 時間で 2 オーダー程度の透過率の減少を確認した.

4. 鉱物分析

E-9(90°C)で使用した岩石供試体に対して実施した SEM-EDX 分析結果を**図 3** に示す. 廃棄体からの発熱を想定した E-9 では, C-S-H(カルシウムシリケート水和物)を確認した. この結果から石英などの花崗岩中の Si 成分と高 pH 水中の Ca 成分が反応することによって C-S-H が生成したことが考えられる.

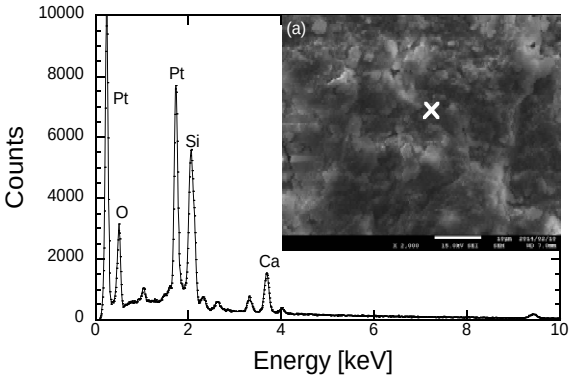

図 3 SEM-EDX 分析結果(E-9)

5. 物質濃度評価

透過水中に溶存する物質濃度は透過水の滞留時間に依存するため, 測定した物質濃度を滞留時間で除した正規化物質濃度を用いる.

$$c_{ri} = \frac{c_i}{t_r} \tag{3}$$

ここで, C_{ri} : 正規化溶出濃度 [mol/L/s], C_i : 溶出濃度 [mol/L], t_r : 滞留時間 [s]である. また, 供試体である花崗岩の主要鉱物である Si に着目する. Si 濃度の評価結果を**図 4** に示す. 図より, 25°C 条件では Si 濃度はほぼ一定で, 時間的な変化は確認できないが, 90°C 条件では時間の経過とともに Si 濃度が上昇していることが確認された. この溶出濃度の上昇が C-S-H の形成に寄与していると予想される.

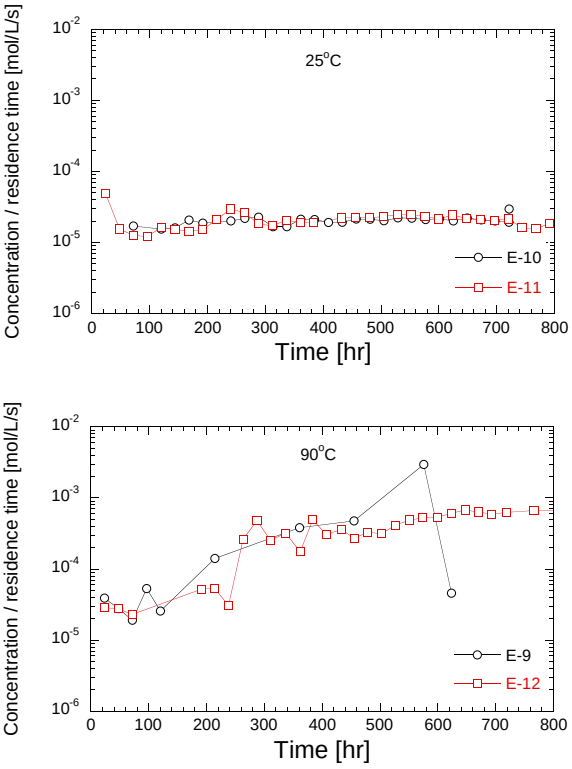

図 4 滞留時間を考慮した Si の溶出濃度

6. 終わりに

本研究で実施した透水試験より, 高拘束圧・高温・高 pH 条件では, 花崗岩不連続面の透水性は時間の経過とともに減少することが判明した. つまり, 高レベル放射性廃棄物の地層処分坑道近傍における放射性核種の移行を考慮した場合, 移行速度を遅らせる要因となることが想定される. 今後は, 岩種, 不連続面形状などの実験条件を変化させた透水試験を実施し, さらなるデータの蓄積を図るとともに, 不連続面の表面形状を解析することで, 不連続面の幾何学的な特性が透水特性や物質移行特性に与える影響の評価を行う必要がある.

参考文献

1) 加藤大生, 佐藤光吉, 大和田仁, 三原守弘, 大井貴夫 : セメント系材料の浸出液の地質媒体への影響評価－大型カラム試験設備を用いた高 pH プルームの岩盤への影響試験－, JNC TN8430 2000-008, 47pp., 2000.