

塩水を用いた高温・高圧環境における花崗岩不連続面の透水実験

愛媛大学大学院 学生会員 ○佐古大地 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を地下 300m 以深に地層処分する際の懸念すべき点として、処分施設周辺岩盤の長期的な変化が挙げられる。周辺岩盤は廃棄体からの発熱により高温状態になる。また、廃棄物の海上輸送の観点から処分場は沿岸部が好ましいとされていることから、周辺岩盤の地下水には海水由来の塩類が含まれている可能性があり、これらの要因が岩盤の透水特性に影響を及ぼすと考えられている。そこで本研究では、高温・高圧環境を再現し、透過水に模擬海水を用いた透水試験を行い、水理学特性を評価した。また、透水試験後の不連続面を対象に SEM-EDX を用いた微視構造観察を行い、透水特性を変化させる要因を考察した。

2. 透水試験

本研究では、高温・高圧環境下で透過水に模擬海水を用いた花崗岩不連続面における透水試験を行った。ここで、通水前の模擬海水の Na, Mg の元素濃度を表 1、透水試験の境界条件を表 2 に示す。また、連続透水試験の模式図を図 1 に示す。

透水試験結果から、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。

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

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

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。また、本研究では、初期透過率が供試体によって異なるため、各点における透過率を初期透過率で除した正規化透過率を用いることで、境界条件が透水特性に及ぼす影響を評価した。

温度条件の異なる E-22, E-23 の比較を図 2(a) に示す。両者とも時間の経過に伴って透過率が減少しているが、E-22 の方が減少率が大きい。このことから、高温条件下では室温条件下と比べ、透過率を減少させる要因である沈殿現象が抑制されていると考えられる。同様に温度条件の異なる E-16, E-18 の比較を図 2(b) に示す。透過水には鉱物飽和水を用いている。模擬海水を用いた条件と同様に、高温条件下では室温条件下

と比べ、透過率の減少率が小さいことが確認された。

表 1 通水前の模擬海水の元素濃度 (E-23)

	Na	Mg
Concentration [mol L ⁻¹]	4.58×10^{-1}	5.99×10^{-2}

表 2 境界条件

供試体	透過水	温度 [°C]	拘束圧 [MPa]	不連続面 形状
E-16 ¹⁾	鉱物飽和水	20	5.0	平滑
E-18 ¹⁾	鉱物飽和水	90	5.0	平滑
E-22 ²⁾	模擬海水	20	5.0	平滑
E-23	模擬海水	90	5.0	平滑

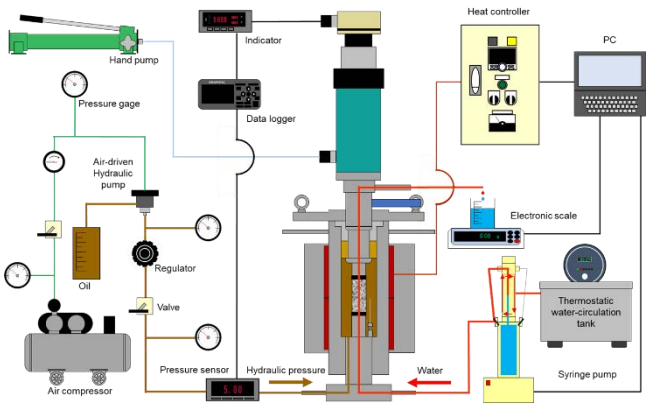


図 1 連続透水試験装置の模式図

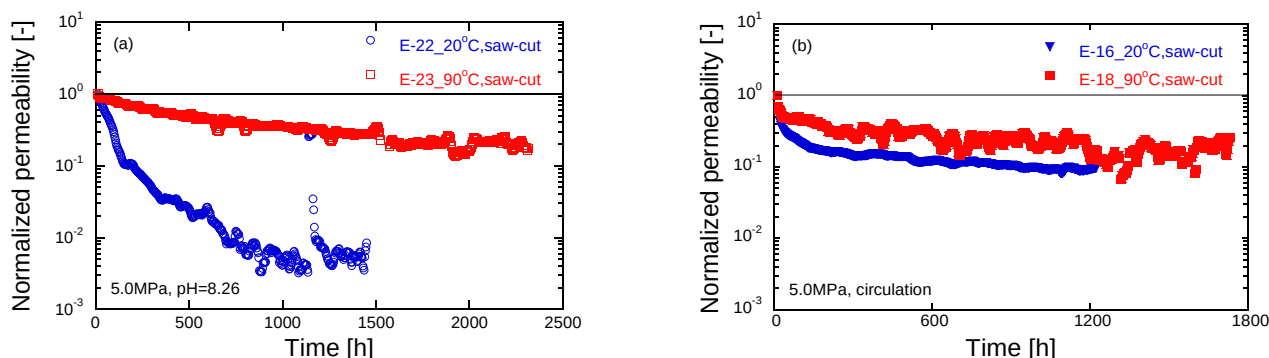


図2 正規化透過率の比較 (温度条件の違い)

(a) 模擬海水 (b) 鉱物飽和水

3. 微視構造観察

本研究では、透水試験後の不連続面を対象に SEM-EDX を用いた微視構造観察を行った。E-22、E-23 の SEM-EDX 結果を図3に示す。E-22 (図3(a)) では、塩結晶と考えられる沈殿物が確認された。E-23 (図3(b)) では、模擬海水由来の Cl は確認できたが、塩結晶沈殿物は確認できなかった。図4に示すマッピング分析結果からも、塩結晶沈殿物の有無は明らかである。このことから、高温条件下では、沈殿現象 (塩結晶) が抑制されていると考えられる。

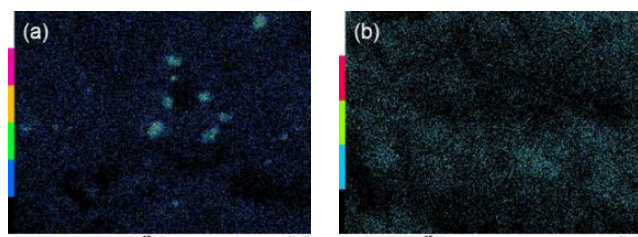


図4 マッピング分析結果 (Na)

(a) E-22_20°C (b) E-23_90°C

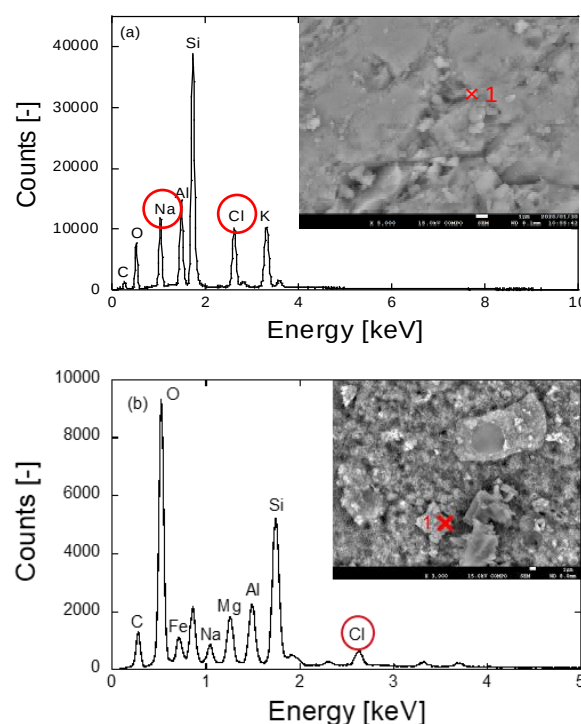


図3 SEM-EDX 結果

(a) E-22_20°C (b) E-23_90°C

4. おわりに

本研究では、透過水に模擬海水を用いて高温・高圧環境下で透水試験を行い、温度条件の違いが透水特性に与える影響を評価した。その結果、鉱物飽和水を用いた条件と同様に、高温条件下では室温条件下と比べ、透過率の減少率が小さいことが確認された。また、SEM-EDX を用いた微視構造観察を行うことで、高温条件下では室温条件下と比べ、沈殿現象 (塩結晶) が抑制されることが確認された。今後は、塩水条件の再現性の確認と、境界条件を変更することでさらなるデータの蓄積が必要である。

5. 参考文献

- 1) 廣恵なつ美, 安原英明, 木下尚樹: 地下環境を再現した花崗岩不連続面の透水特性評価と鉱物溶解・沈殿機構の検討, 愛媛大学大学院理工学研究科学学位論文, 53pp., 2019.
- 2) 大西史記, 安原英明, 木下尚樹: 模擬海水を用いた花崗岩不連続面の透水試験, 愛媛大学工学部環境建設工学科卒業論文, 25pp., 2020.