

模擬海水を用いた花崗岩不連続面透水試験の再現解析

愛媛大学大学院 学生会員 ○熊谷丈瑠
 正会員 安原英明
 正会員 木下尚樹
 大阪大学大学院 正会員 緒方奨

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分システムの安全性を評価するためには、周辺岩盤の透水挙動予測を行う必要がある。処分施設は沿岸部に設置されることが検討されており、海水由来の塩分が含まれた地下水が地下岩盤内の透水特性に与える影響を評価する必要がある。そこで、本研究では既往の熱・水・応力・化学連成解析モデル¹⁾を、任意のpH条件における鉱物反応を考慮可能な解析モデルに改良し、模擬海水および脱イオン水を用いた透水試験²⁾の再現解析を行うことで、改良した解析モデルの有用性を検討した。

2. 解析モデル

本解析モデルでは、飽和状態にある多孔質岩石を対象としており、ダルシー則、多孔質弾性体理論、熱伝導方程式、化学種輸送方程式といった支配方程式により複数の物理現象が相互作用する場を記述する。本研究では、pH依存性を考慮するべく、鉱物反応速度式中のパラメータである溶解速度定数についてLasagaの速度定数式を採用した³⁾。

$$k_+ = \begin{bmatrix} k_{acid}^{298.15K} \exp\left(-\frac{E_{acid}}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298.15K}\right)\right) a_{H^+}^n \\ + k_{neutral}^{298.15K} \exp\left(-\frac{E_{neutral}}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298.15K}\right)\right) \\ + k_{base}^{298.15K} \exp\left(-\frac{E_{base}}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298.15K}\right)\right) a_{H^+}^n \end{bmatrix}$$

ここで、 $k_{acid,neutral,base}^{298.15K}$ ：酸性、中性、アルカリ性の各領域の25°Cにおける速度定数 [$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]、 $E_{acid,neutral,base}$ ：酸性、中性、アルカリ性の各領域における活性化エネルギー [kJ mol^{-1}]、 R ：気体定数 [$\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$]、 T ：温度 [K]、 a_{H^+} ：水素イオンの活量 [-]、 n ：反応次数 [-]である。

3. 再現解析

解析対象とした、単一不連続面を有する供試体および、解析領域を図1に示す。透水試験には、高温高压三軸透水試験装置(図2)を使用した。透水試験の境界条件を表1に示す。

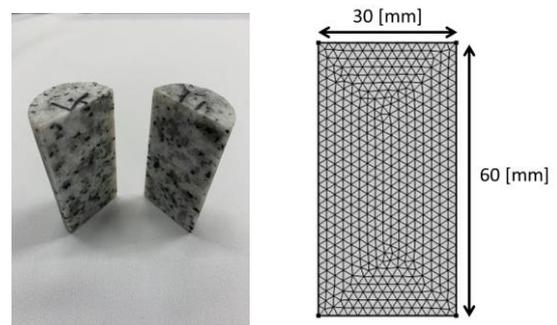


図1. 供試体および解析領域

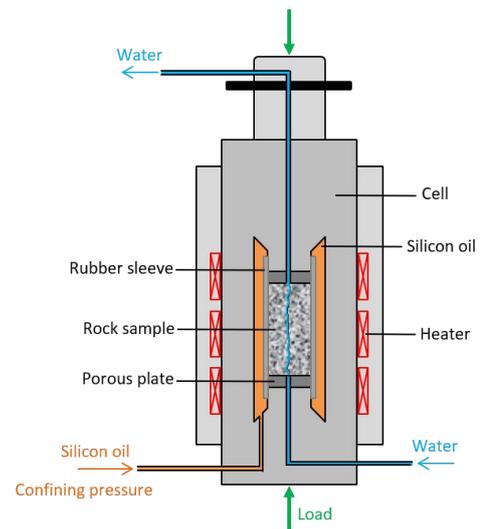


図2. 試験装置模式図

表1. 透水試験の境界条件

供試体	温度 [°C]	拘束圧 [MPa]	透過水	pH
E-14	25	5.0	脱イオン水	6.0
E-22	20	5.0	模擬海水	8.26

3. 1 透過率

透過率経時変化の実験結果と解析結果を図3に示す。供試体 E-14 において、透過率が経時的に減少する挙動をほぼ再現することができたが、供試体 E-22 では解析値が実験値を 1 オーダー程度過大評価した。E-22 の供試体において透過率が 2 オーダー近く減少した原因として、模擬海水由来の二次鉱物が不連続面上に沈殿したことが原因として考えられる。今後は、岩石自由表面における鉱物の沈殿現象を考慮する必要がある。

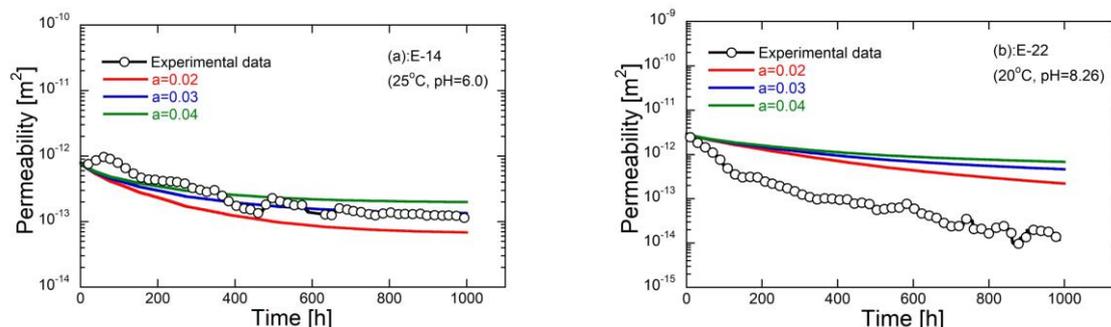


図3. 透過率比較

(a) E-14 : 脱イオン水, (b) E-22 : 模擬海水

3. 2 溶出物質濃度

本研究で評価対象とした 6 種の溶出物質濃度変化について、各条件における実験値と解析値を比較した結果を図4に示す。供試体 E-14, 供試体 E-22 とともに物質によっては実験値との差異が 1 オーダー以内のものもあるが、再現度は十分とは言えない。今後は溶解速度定数のみならず、反応表面積についても、より詳細な考慮が必要であると考えられる。

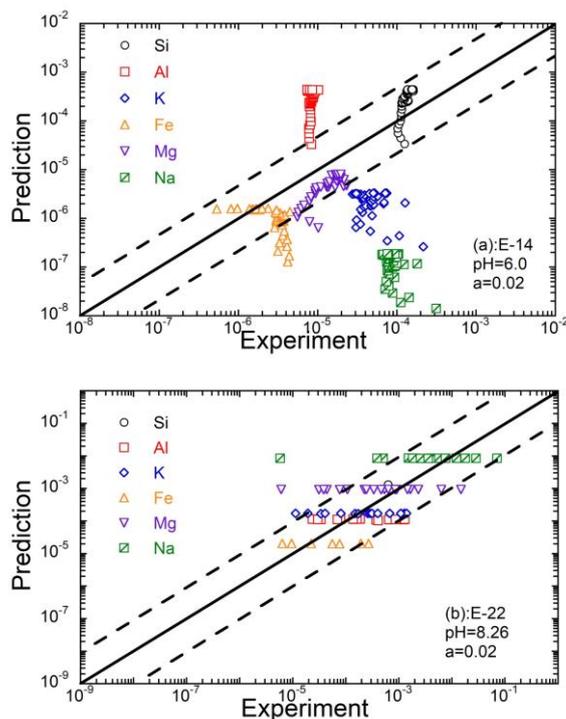


図4. 溶出物質濃度比較

(a) E-14 : 脱イオン水, (b) E-22 : 模擬海水

4. おわりに

本研究では、THMC 連成解析モデルを用いて模擬海水を用いた透水試験の再現解析を行い、解析モデルの有用性を検討した。今後は、岩石自由表面における鉱物の沈殿現象を考慮することで、精度の高い評価が可能であると期待される。

5. 参考文献

- 1) Ogata, S., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Dae-Sung, C., and Kishida, K. : Modeling of coupled thermal-hydraulic-mechanical-chemical processes for predicting the evolution in permeability and reactive transport behavior within single rock fractures, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.107, pp.271-281, 2018.
- 2) 大西史記 : 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, 24pp., 2020.
- 3) Lasaga A.C. : Chemical Kinetics of Water-Rock Interactions, *Journal of geophysical Research*, Vol.89, No.B6, pp.4009-4025, 1984.