

拘束圧下における花崗岩不連続面の透水実験

愛媛大学大学院 学○重永三郎 正 木下尚樹 正 安原英明

1. はじめに

熱水貯蔵システムや高レベル放射性廃棄物地層処分においては、地下岩盤空洞の長期的安定性評価が重要な課題となる。これらの施設では空洞を熱源として周辺岩盤に非定常の温度分布が生じ、それに伴う熱応力も発生するため、熱・水・応力・化学の相互作用を考慮した長期的安定性評価が必要である。これらの連成問題については種々研究がなされているが¹⁾、確立された評価手法がない現状にあり、熱・水・応力・化学の相互作用による岩石の透水・力学特性の経時的定量評価やそれに基づいた構成モデルの構築、解析手法の開発が望まれている。

そこで本研究では、花崗岩供試体を用いて拘束圧下において温度条件を変えた透水実験を行い、不連続面の透水性の経時変化と透過水中に溶出した元素の定量評価を行った。

2. 実験方法

実験に使用した岩石は岐阜県瑞浪市産の花崗岩である。力学・物理特性を表 1 に示す。φ85mm の円柱ブロックの半径方向で最も P 波伝ば速度が速い方向に割裂して人工的に不連続面を形成し、その不連続面が直径に近くなるようにコアリングした。端面整形後の供試体寸法はφ29.5mm×41.2mm である。供試体の外観を図 1 に示す。

透水実験は図 2 に示す高温高压三軸透水試験装置を用いた。拘束圧をシリコンオイルで最高 40MPa まで、セル内温度をヒーターで 120℃ まで制御できる。本実験では拘束圧を 10MPa、透水压を 0.5MPa とした。セル内温度は 20℃ で実験を開始し、途中拘束圧、透水压を保ったまま 90℃ に加熱した。透水性は不連続面の透水性を示す水理学的開口幅を用いた透過率で評価した。水理学的開口幅： b [m] は次式で表される²⁾。

表 1 試料の力学・物理定数

種 類	花崗岩
産 地	岐阜県瑞浪市
密度 [g/cm ³]	2.58
一軸圧縮強さ [MPa]	171
弾性係数 E_{150} [GPa]	50.7
ポアソン比	0.280
空隙率 [%]	1.0

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

ここで、 μ : 粘性係数 [Pa·s], ρ : 密度 [kg/m³], g : 重力加速度 [m/s²], Q : 流量 [m³/s], w : 不連続面の幅 [m], P_0 : 透水压差 [Pa], l : 供試体長さ [m] である。

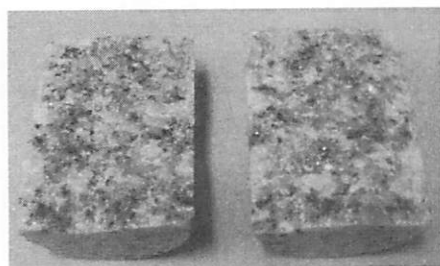
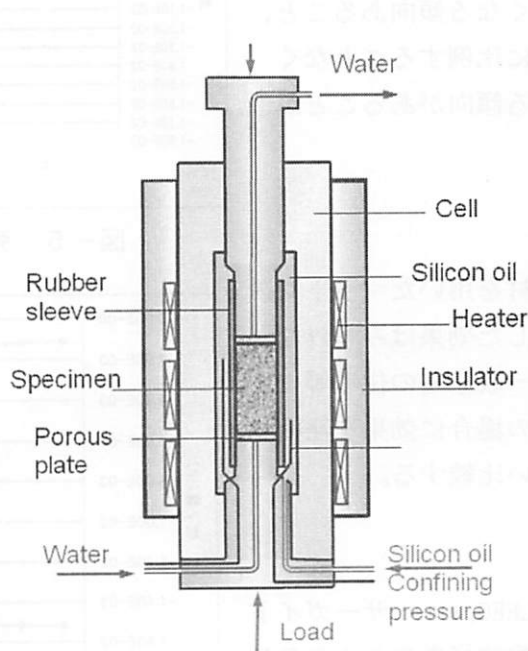


図 1 供試体の外観



(a) 概念図



(b) 外 観

図 2 高温高压三軸透水試験機 (セル部分)

また, 透過率 $K[m^2]$ は次式で定義される.

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

透水実験中, 1 日に 1 回の頻度で定期的に透過水を採取し, ICP 発光分析により透過水中に岩石供試体から溶出した元素の定量評価を行った.

3. 実験結果および考察

透水実験より得られた水理学的開口幅および透過率の経時変化を図 3 および図 4 に示す. 図中のプロットは得られた値の 1% を抽出して記したもので, 実線は 24 時間に得られた値の移動平均を 6 時間ごとに結線したものである. 実測値には変動があるが, これは実験装置の軸圧, 側圧, 透水圧などの条件が気温の影響を受けているためと考えられ, 今後は室温の制御も考慮して実験を行う必要がある. 水理学的開口幅および透過率は初期の時間には低下するが, 次第に安定状態になり, 雰囲気温度を 90°C に加熱すると再び低下している.

つぎに, 透過水に溶出した元素を ICP 発光分析により測定した結果を図 5 に示す. Si, Ca, Na は相対的に濃度が高く, 石英, 灰長石, 曹長石が他の鉱物と比較してより溶解したものと考えられる. また, 20°C から 90°C に加熱することにより濃度が上昇しており, 溶解が促進されたことがうかがえる.

これらの結果から, 20°C 雰囲気では不連続面の接触面で力学作用が卓越し透水性を低下させた後, 安定状態に近づき, 高温状態となることで化学作用により構成鉱物が不連続面の自由表面および接触面で溶解するが, 透水性が時間の経過に伴い低下傾向にあることから, 接触面での溶解が卓越していたものと考えられる.

4. まとめ

本研究では, 力学および温度条件を与えて花崗岩不連続面の透水実験を行い, 透水性の経時変化と透過水中に溶出した元素の定量評価を行った. 今後は種々の境界条件において実験を実施し, データの蓄積を行う予定にしている.

参考文献

- 1) 例えば, 安原英明, 木下尚樹, 繰上広志, 中島伸一郎, 岸田潔: 温度・応力に依存する化学溶解・沈殿現象を考慮した珪質砂岩の透水性経時評価, 土木学会論文集 C, No.4, pp.1091-1100, 2007.
- 2) Witherspoon, P. A., J. S. Y. Wang, K. Iwai and J. E. Gale; Validity of cubic law for fluid flow in a deformable rock fracture, Water Resources Research, Vol. 16, No. 6, pp. 1016-1024, 1980.

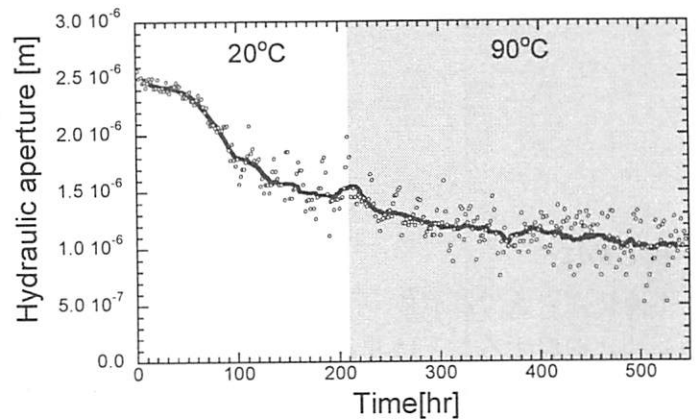


図 3 水理学的開口幅の経時変化

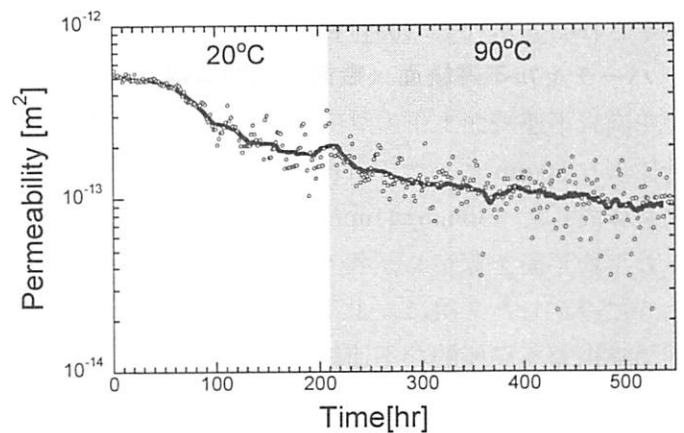


図 4 透過率の経時変化

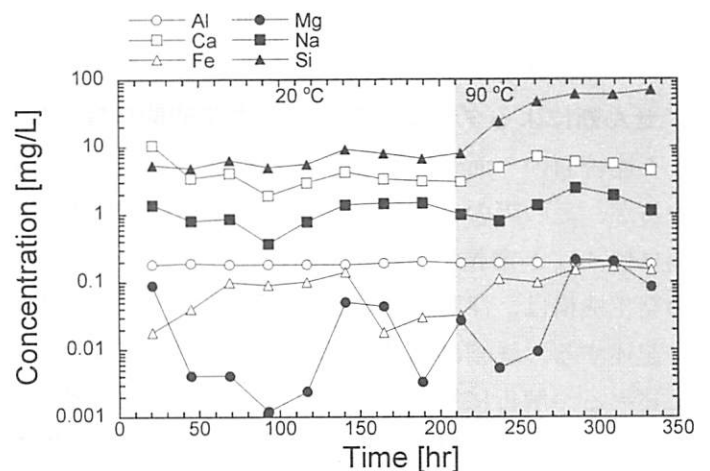


図 5 溶出元素濃度の経時変化