

# 拘束圧・温度制御下における堆積岩透水特性の長期観察

愛媛大学 学生会員 ○菊池紗帆 愛媛大学大学院 正会員 安原英明  
愛媛大学大学院 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 以深の深地下層に廃棄処分されることが国際的に採択されている。地下深部では、圧力・温度レベルが共に高く、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、その結果、岩盤の透水特性にも大きな影響を及ぼすと想定される。本研究では、ベレア砂岩と幌延泥岩を対象として、地下深部の圧力・温度環境を再現した条件で透水試験を実施し、岩石透水特性の経過時変化を長期間観察した。

## 2. 等方圧保持・透水試験

長期的に拘束圧および温度を制御するために実験用圧力セルを開発した(図 1)。実験に用いた岩石は、堆積岩であるベレア砂岩・幌延泥岩である。供試体サイズは、直径 30mm、高さ 60mm である。供試体を実験用圧力セルにセットしたのち、所定の拘束圧および温度に制御する。実験に採用した境界条件を表 1 に示す。拘束圧および温度を制御した状態で、定期的に透水試験を実施した。透水試験は、5 秒間隔で流量を計測し、定常状態に落ち着くまで約 15 分間実施した。岩石の透水特性は、透過率  $K$  を用いて評価した。亀裂を含まないベレア砂岩の岩石実部の透過率  $K$  は、ダルシー則が成り立つと仮定して、以下の式で表すことができる。

$$K = \frac{\mu QL}{A\Delta P} \quad (1)$$

ここで、 $\mu$ : 透過流体の粘性係数 [Pa sec],  $Q$ : 流量 [ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ],  $L$ : 供試体の高さ [m],  $A$ : 供試体断面積 [ $\text{m}^2$ ],  $\Delta P$ : 透水差圧 [Pa],  $b$ : 亀裂幅 [m],  $W$ : 供試体直径 [m] である。

一方、亀裂を有する幌延泥岩の透過率  $K$  は、亀裂のみに流体が流れると仮定して下式で表現できる。

$$b = \left( \frac{12\mu QL}{W\Delta P} \right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow K = \frac{b^2}{12} \quad (2)$$

ここで、 $b$ : 亀裂幅 [m],  $W$ : 供試体直径 [m] である。

表 1 実験で採用した境界条件

供試体	岩種	亀裂	温度 [°C]	拘束圧 [MPa]	透水差圧 [kPa]
B-42	ベレア砂岩	無	20	7.5	200
B-43		無	20	15.0	200
B-44		無	90	15.0	200
B-45		無	90	7.5	200
B-46		無	90	7.5	200
H-1	幌延泥岩	有	20	3.0	200

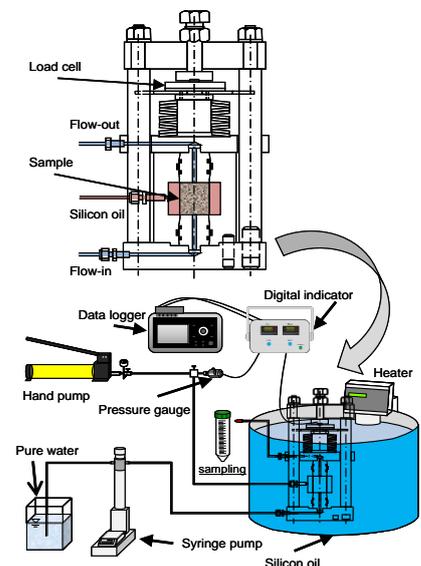


図 1 等方圧保持試験の模式図

### 3. 透水試験結果

まずベレア砂岩の結果に着目すると、20°C 条件 (図 2a) では、拘束圧が 7.5MPa よりも 15MPa の方が透過率が低い結果が得られた。これは、高い拘束圧の影響で空隙がより圧縮されているためと想定される。拘束圧が 7.5MPa, 15MPa の場合、透過率は 300 日程度までは、概ね  $10^{-14} \text{ m}^2$ ,  $3 \times 10^{-15} \text{ m}^2$  程度で変化が見られないが、その後上昇に転じている。15MPa の上昇率は、7.5MPa 条件よりも大きく、約 60 日で 4 倍程度透水性が高くなっている。

次に、ベレア砂岩の 90°C 条件における透過率 (図 2b) は、拘束圧の違いによる差異はそれほど大きくない。200 数十日まで、 $5 \sim 8 \times 10^{-15} \text{ m}^2$  で定常状態を保ったのち、上昇に転じており、その時期は、20°C 条件よりも早い。これは鉱物の溶解速度は、温度が高いほど速くなるため増加に転じる時期が早くなったと想定される。

最後に、幌延泥岩の結果 (図 2c) に着目すると、透過率は初期値  $5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$  から時間の経過とともに減少する傾向が確認できる。その後、30 日程度で概ね定常状態に達し、100 日経過頃より上昇に転じた後は単調に減少する傾向が得られている。実験初期段階の低下傾向は、岩石実質部の力学的クリープに起因している可能性と、亀裂内部の接触部の破壊・溶解現象に起因している可能性が考えられる。今後、更なる実験を実施することにより、このメカニズムを解明する必要がある。

本研究ではベレア砂岩および幌延泥岩の透水特性の経時変化を長期観察したが、どの条件においてもある時間の経過後、透水特性は増加に転じるという傾向が得られた。これは、砂岩空隙内部および泥岩亀裂内部の接触部の溶解、自由表面溶解現象によるものと想定される。また、幌延泥岩の透過率はベレア砂岩の透過率上昇時期に比べ速いという結果が得られた。これはベレア砂岩を構成している石英や長石よりも溶解性が高いシリカ鉱物 (オパール CT) で構成されていると想定される。

### 4. まとめ

本研究では、拘束圧および温度を制御した状態で定期的に透水試験を行い、対象となる堆積岩の透水特性変化を長期的に観察した。その結果、透水特性は定常状態を経た後、上昇に転じる傾向が得られた。この透水特性の上昇傾向は、岩石空隙部の鉱物溶解に起因していると考えられる。今後は実験終了後の供試体を用いて、SEM や X 線 CT 等を利用し、透過率が変化する原因の特定を行う必要がある。

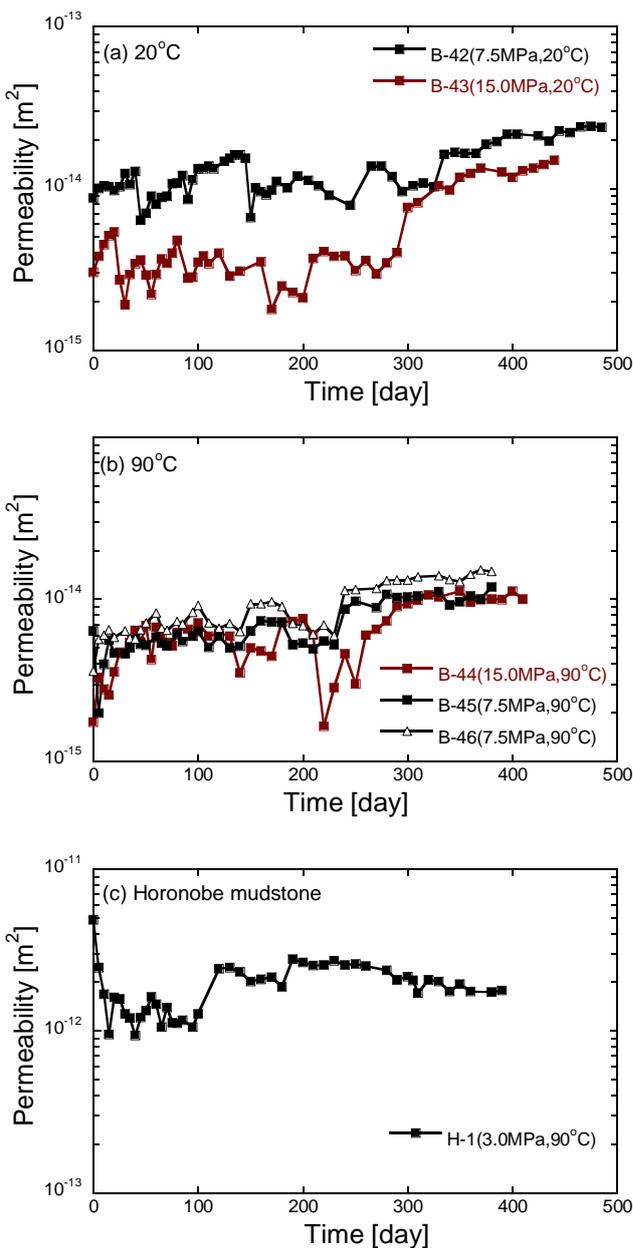


図 2 透過率の経時変化

((a)砂岩 20°C 条件, (b)砂岩 90°C 条件, (c)泥岩)