

# 岩石不連続面の透水挙動における力学・化学連成作用

愛媛大学大学院 学生会員 ○橋本克樹 愛媛大学大学院 学生会員 柏木亮太  
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の地層処分事業において処分地周辺岩盤の透水性評価は必要不可欠である。透水性に関する既往の研究において、岩盤不連続面の透水性は時間の経過に伴い、低下することが確認されている。その原因として変形・破壊現象等の力学作用、及び溶解・沈殿現象等の化学作用が考えられるが、どちらの作用がどの程度透水性低下に影響を及ぼしているか評価されていない。そこで本研究では、温度・拘束圧・鉱物溶解現象を制御した透水試験を実施し、境界条件が透水性低下に及ぼす影響を評価した。

## 2. 透水試験

本研究で使用した連続透水試験装置の模式図を図1に示す。供試体として不連続面を有する円柱供試体（直径：30 mm，高さ：60 mm）に整形した稚内層幌延泥岩、及び瑞浪産土岐花崗岩を使用した。また本研究では、透過流体として、超純水に加え、鉱物溶解を抑制できるオイルを用いることで、力学作用（接触部の変形・破壊現象）、化学作用（接触部の溶解現象、自由表面の沈殿現象）が透水性低下に及ぼす影響について評価した。各実験の初期・境界条件について表1に示す。

本研究では、透水性を表す指標として透過率を用いた。透過率は三乗則が成り立つと仮定すると、水理学的開口幅から式(1)のように算出される。

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

ここで  $b$ ：水理学的開口幅 [m]， $\mu$ ：透過流体の粘性係数 [Pa・s]， $Q$ ：流量 [m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>]， $L$ ：供試体の高さ [m]， $W$ ：供試体直径 [m]， $\Delta P$ ：透水差圧 [Pa]， $K$ ：透過率 [m<sup>2</sup>]である。しかし、初期透過率が各実験で異なるため、境界条件が透水性低下に及ぼす影響について評価できない。そこで本研究では、時系列で変化する透過率を初期透過率で除した正規化透過率を用いて、評価した。

図2にオイルを用いた試験における正規化透過率の経時変化を示す。図2より、供試体、温度条件に関わらず、オイルを用いた試験における正規化透過率の低下が確認できる。よって、透水性低下に力学作用が影響していることが判明した。また、泥岩を対象とした試験（H-7，H-12）に着目すると、25℃条件であるH-7と比較し、90℃条件であるH-12の方が、より正規化透過率が低下していることが確認できる。よって、温度の上昇により透水性低下に影響を及ぼす力学作用が促進することが明らかとなった。

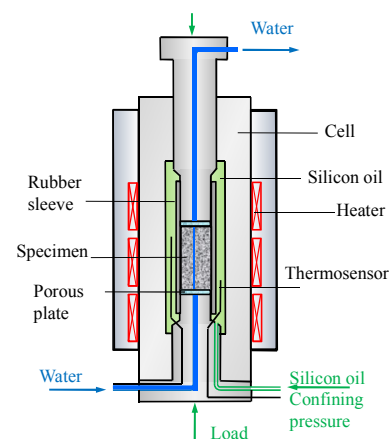


図1. 透水試験の模式図

表1. 初期・境界条件

| 岩種  | 供試体               | 温度<br>[°C] | 拘束圧<br>[MPa] | 透過流体 |
|-----|-------------------|------------|--------------|------|
| 泥岩  | H-7               | 25         | 3            | オイル  |
|     | H-9               | 25-90      | 3            | 超純水  |
|     | H-10              | 25-90      | 3            | 超純水  |
|     | H-11              | 90         | 3            | 超純水  |
|     | H-12              | 90         | 3            | オイル  |
| 花崗岩 | E-4 <sup>1)</sup> | 25-90      | 5            | 超純水  |
|     | E-5 <sup>1)</sup> | 25-90      | 10           | 超純水  |
|     | E-8               | 25-90      | 5            | オイル  |

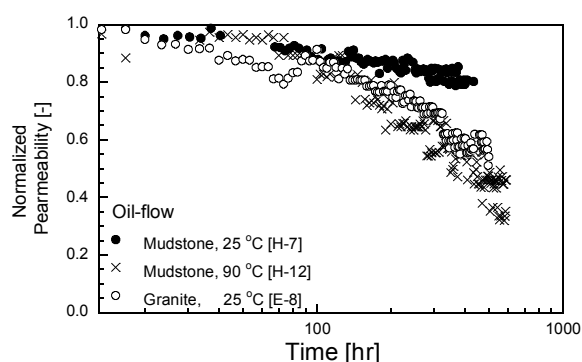


図2. 正規化透過率の経時変化  
(オイル)

### 3. 力学作用，化学作用の影響評価

本研究では，透水性低下を表現する予測式により力学作用，化学作用を詳細に評価した．ここで，正規化透過率の経時変化は式(2)のように表すことができる<sup>2)</sup>．

$$K_n(t) = \frac{K(t)}{K(t_i)} = \left[ \frac{1 - R_{c0} - (R_{\infty} - R_{c0})\{1 - \exp(-ct)\}}{1 - R_{c0} - (R_{\infty} - R_{c0})\{1 - \exp(-ct_i)\}} \right]^2 \quad (2)$$

ここで， $K_n(t)$ ：時間  $t$  における正規化透過率， $K(t)$ ：時間  $t$  における透過率， $K(t_i)$ ：初期透過率， $R_{c0}$ ：初期接触面積割合， $R_{\infty}$ ：時間  $t = \infty$  における接触面積割合， $c$ ：定数である．

図3に花崗岩を対象とした試験における実験値，及び式(2)より実験値を回帰した値（以下予測値と称す）を示す．図3より，予測値は実験値を再現できていることを確認できる．また式(2)は一定期間正規化透過率が低下し，その後収束する式となっている．そこで，式(2)を用いて，正規化透過率の収束値（以下収束値と称す），及び収束値の99.9%漸近する時間（収束時間と称す）を算出し，境界条件が透水性低下に及ぼす影響を精査した．

25℃条件における収束値について図4に，収束時間について図5に示す．図4より，オイルを用いた試験より，超純水を用いた試験の方が，収束値が低く，化学作用の影響で，透水性がより低下することが明らかとなった．また泥岩を対象とした試験に着目すると，オイルを用いた試験における正規化透過率の低下は2割程度であるが，超純水を用いた試験では1オーダー以上低下していることが確認できる．よって，力学作用より化学作用の方が透水性低下に影響を及ぼすことが明らかとなった．また花崗岩を対象とした試験から，拘束圧の増加に伴い，より透水性が低下することが確認できた．

図5より，泥岩，花崗岩ともに，オイルを用いた試験より，超純水を用いた試験の方が，収束時間が短縮していることが確認できる．また花崗岩を対象とした試験から，拘束圧増加に伴う収束時間の大幅な低下を確認できる．以上より，化学作用の影響，及び拘束圧の増加の影響により，透水性低下の量だけでなく，速度についても増加することが明らかとなった．

### 4. 結論

温度・拘束圧・鉱物溶解現象を制御した透水試験を実施し，境界条件が透水性低下に及ぼす影響について精査した．その結果，力学作用，化学作用ともに透水性低下に影響を及ぼすこと，力学作用より化学作用の方が透水性低下に影響を及ぼすこと，また温度，拘束圧の上昇に伴い，より透水性が低下することが明らかとなった．

#### 【参考文献】

- 1) 木下尚樹，安原英明：熱・拘束圧環境下における不連続面を有する花崗岩の透水性評価，Journal of MMIJ，Vol.128，No.2，pp.72-78，2012．
- 2) 木下尚樹，安原英明，橋本克樹：熱環境下における岩石不連続面の透水特性に及ぼす化学・力学連成作用，Journal of MMIJ，Vol.129，2013（登載決定）．

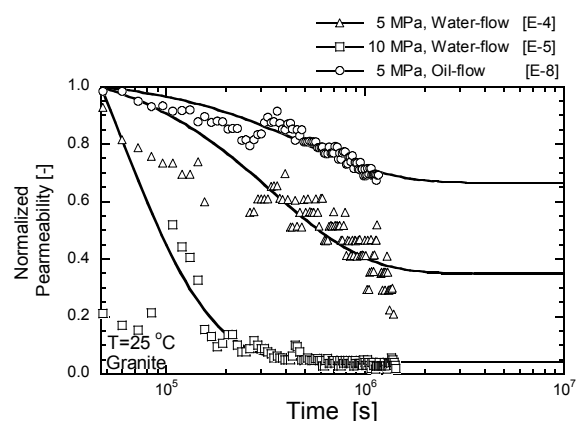


図3. 実験値及び予測値

花崗岩，25℃条件

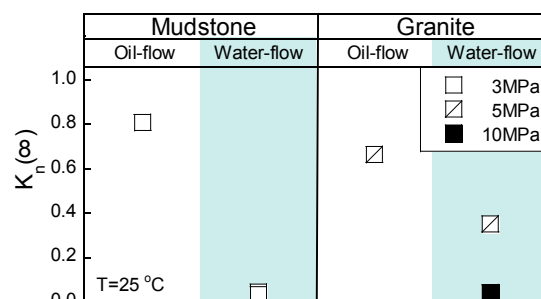


図4. 収束値による評価

25℃条件

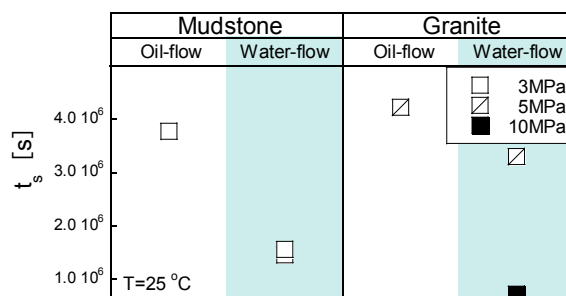


図5. 収束時間による評価

25℃条件