

トランジェントパルス法による高温下の稲田花崗岩の浸透特性評価

愛媛大学大学院 学生会員 ○東辰之介
正会員 木下尚樹
正会員 安原英明

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分における天然バリアや二酸化炭素地中貯留など、地下空間を利用する上で岩盤の浸透特性を評価することは重要である。岩石の透水試験は一般的に定水位法が適用されているが、花崗岩などの難透水性岩石の透水試験にはトランジェントパルス法¹⁾を用いた試験が多く実施されており、定水位法に比べて短時間かつ高精度な浸透率測定が可能である。本研究では、稲田花崗岩を供試体としてトランジェントパルス法による透水試験を実施し、拘束圧と温度が浸透特性に与える影響を調べた。

2. 試験概要

本研究では、Brace et al¹⁾が提案した方法を用いて試験を実施した。試験装置の模式図を図1に示す。試験装置は主に、エアコンプレッサー、ハイドロポンプ、貯留槽、供試体を設置する圧力セル、圧力計測器、データロガーにより構成されている。三軸セルはシリコンオイルに浸漬し、恒温機によって試験中の温度を管理した。また、温度変化による貯留槽内圧力の変動を抑えるため、恒温機を取り付けた水槽内に貯留槽を浸漬し、さらに断熱材で周囲を囲うことで温度変化による影響を最小限に抑えた。

以下、試験方法と浸透率の算出方法について述べる。まず、試験装置全体に初期圧力を作用させる。そして片側の貯留槽に瞬時に圧力パルスを与えると供試体内で流体移動が生じ、次第に両貯留槽内の圧力は一定値に収束する。この時の両貯留槽内の圧力差の変化は式(1)、(2)で表され、時間 t に対する $P_u - P_f$ の値を片対数グラフにプロットし、得られた直線の傾き α から浸透率 k を算出することができる。

$$P_u - P_f = \Delta P \cdot \frac{V_d}{V_u + V_d} \cdot \exp(-\alpha t) \quad (1)$$

$$\alpha = k \cdot \frac{A}{\mu \beta L} \cdot \frac{V_u + V_d}{V_u V_d} \quad (2)$$

ここで、 P_u ：高压側貯留槽の圧力 [Pa]、 P_f ：圧力の収束値 [Pa]、 ΔP ：パルス圧 [Pa]、 V_u ：高压側貯留槽の容積 [m³]、 V_d ：低压側貯留槽の容積 [m³]、 t ：時間 [s]、 k ：浸透率 [m²]、 A ：供試体断面積 [m²]、 L ：供試体長さ [m]、 μ ：流体の粘性係数 [Pa s]、 β ：流体の圧縮率 [Pa⁻¹]である。

用いた供試体は直径 30 mm、高さ 60 mm の稲田花崗岩 (IG-T-5, IG-T-6) である。IG-T-6 については、有効拘束圧と浸透率の関係を調べるために異なる有効拘束圧条件下で試験を実施した。有効拘束圧は拘束圧と間隙水圧の差によって決まるため、本研究では間隙水圧一定で拘束圧を変える条件と、拘束圧一定で間隙水圧を変える条件の2パターンで試験を実施した。IG-T-5 については、温度と浸透率の関係を調べるために異なる温度条件下で試験を実施した。

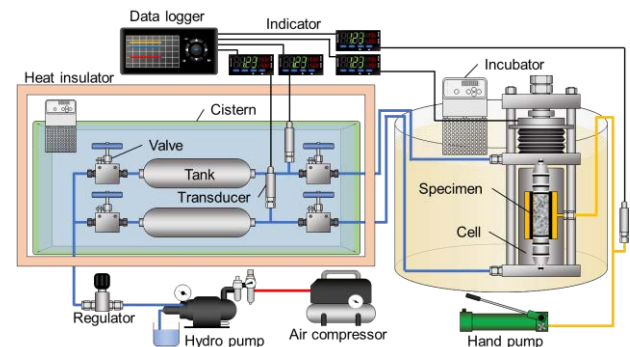


図1 試験装置模式図

表1 試験条件

供試体	温度 [°C]	拘束圧 [MPa]	間隙水圧 [MPa]	パルス圧 [MPa]
IG-T-6	20	3~6	2	0.1
		5	1~4	
IG-T-5	25	2	1	0.1
	90			
	150			

3. 試験結果

異なる有効拘束圧条件下の試験結果について、浸透率と有効拘束圧の関係を図2に示す。間隙水圧一定条件、拘束圧一定条件共に、有効拘束圧の増加に伴い浸透率は減少し、また有効拘束圧減少時に浸透率は増加している。これは、有効拘束圧の変化によって透過水の流路となる空隙が縮小・拡大したためであると考えられる。

また、異なる温度条件下の試験結果について、浸透率の温度の関係を図3に示す。ここで、斎藤ら²⁾（以下、既往研究と呼ぶ）が稲田花崗岩を供試体として行った高温下の透水試験結果も併せて示す。本試験において、浸透率は温度の上昇に伴い増加し、温度の下降に伴い減少している。この浸透率の変化は既往研究の結果と同様の挙動を示しており、本研究で実施した高温下透水試験の結果は妥当であるといえる。また、既往研究では有効応力が低い（2.9 MPa）場合、300 °C の熱履歴を受けた後で透過率が1 オーダー程度増加しており、この原因をマイクロクラックの発生によるものとしているが、本試験では150 °C の熱履歴を与える前後で浸透率が変化していないことから、熱履歴に伴うマイクロクラックの発生はないと考える。

4. おわりに

本研究では、稲田花崗岩を供試体として異なる拘束圧・温度条件下でトランジェントパルス試験を行い、それらの稲田花崗岩の浸透特性への影響を評価した。浸透率は有効拘束圧と温度に対して依存性が見られ、有効拘束圧の増加に伴い減少し、また温度の上昇に伴い増加した。今後はより様々な条件で試験を実施し、データを蓄積する必要がある。

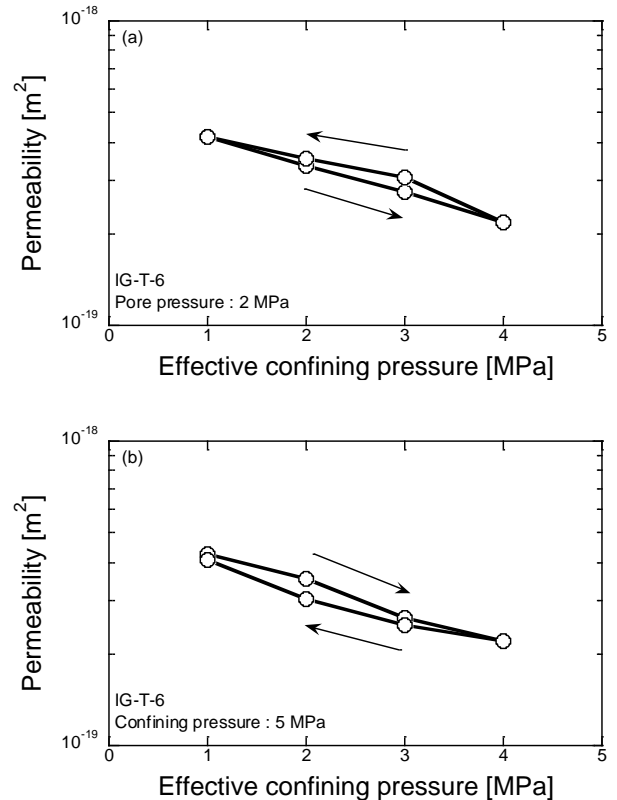


図2 各有効拘束圧における浸透率の変化
(a) 間隙水圧一定条件 (b) 拘束圧一定条件

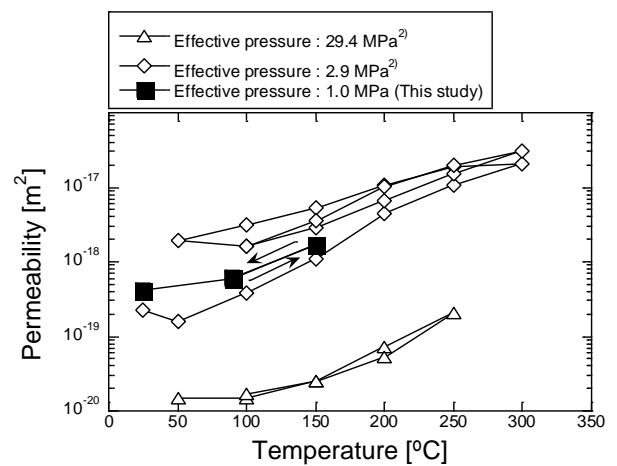


図3 各温度条件における浸透率の変化

参考文献

- 1) W.F.Brace, J.B.Walsh, W.T.Frangos : Permeability of Granite under High Pressure, Journal of Geophysical Research, Vol.73, pp.2225-2236, 1968.
- 2) 斎藤章, 奥野哲夫: トランジェント・パルス法による高温下透水試験, 第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.196-200, 1987.