

トランジェントパルス法による難透水性岩石の透過率測定

愛媛大学 学生会員 ○東辰之介

正会員 安原英明

正会員 木下尚樹

1. はじめに

近年、様々な分野において地下空間の利用が盛んになっている。例として、石油地下備蓄、放射性廃棄物の地層処分、二酸化炭素回収・貯留技術が挙げられる。これらの施設の安全性評価には周辺岩盤の水利特性の把握が必要不可欠である。岩石の透水試験としてフロースルー試験はその容易さから一般的に行われているが、難透水性岩石にはトランジェントパルス法が適しているとされている。本研究では、難透水性岩石を対象としフロースルー試験とトランジェントパルス試験を実施し透過率を求め、それぞれの試験結果を比較することで両試験手法の有用性を評価した。

2. フロースルー試験

本研究では、来待砂岩及び稲田花崗岩供試体を用いて試験を実施した。ここで、試験条件を表1に、試験装置の模式図を図1に示す。試験によって得た流量 Q を式(1)に代入し、透過率を算出した。

$$k = \frac{\mu QL}{A\Delta P_i} \quad (1)$$

ここで、 k : 透過率 [m^2], μ : 流体の粘性係数 [Pa s], Q : 透水流量 [m^3/s], L : 供試体長さ [m], A : 供試体断面積 [m^2], ΔP_i : 透水差圧 [Pa]である。

試験によって得た各試験条件における透水差圧と透過率の関係を図2に示す。透水差圧の増加に伴い透過率が1オーダー以上減少していることから、透過率が正しく測定できていないと考えられる。

3. トランジェントパルス試験

トランジェントパルス試験の試験条件を表2に、試験装置の模式図を図3に示す。

透過率の算出には、Brace et al¹⁾が提案した解法を用いた。試験方法は、岩石の間隙に対して十分に大きい容積を有する貯留槽を供試体両端に設置し初期圧力を作用させる。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圧力伝播が生じる。この時の両貯留

表1 フロースルー試験条件

供試体	拘束圧 [MPa]	透水差圧 [MPa]
来待砂岩	5	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3
稲田花崗岩	5	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5
	15	0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10

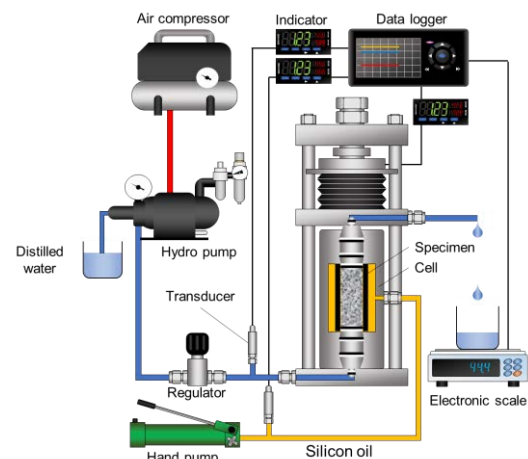


図1 フロースルー試験装置模式図

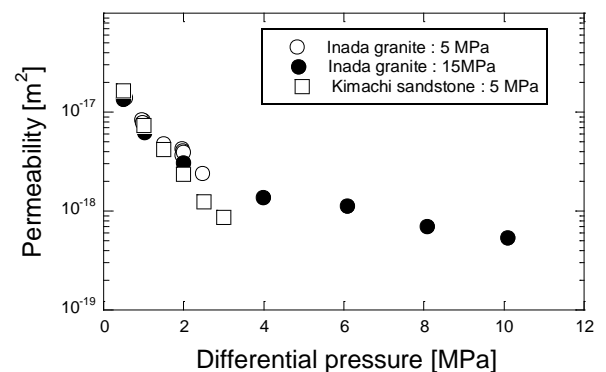


図2 透水差圧と透過率の関係

表2 トランジェントパルス試験条件

供試体	拘束圧 [MPa]	間隙水圧 [MPa]	パルス圧 [MPa]
来待砂岩	8	3	0.3
稲田花崗岩	2	1	0.1

槽の圧力差の減衰は指数関数になり、式(2)、(3)で表現される。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 を式(3)に代入することで透過率 k を算出する。

$$P_u - P_f = \Delta P \cdot \frac{V_d}{(V_u + V_d)} \cdot \exp(-\alpha t) \quad (2)$$

$$\alpha = k \cdot \frac{A}{\mu \beta L} \cdot \frac{(V_u + V_d)}{V_u V_d} \quad (3)$$

ここで、 P_u : 高圧側貯留槽の圧力 [Pa], P_f : 圧力の収束値 [Pa], ΔP : パルス圧 [Pa], V_u : 高圧側貯留槽の容積 [m³], V_d : 低圧側貯留槽の容積 [m³], t : 経過時間 [s], k : 透過率 [m²], β : 流体の圧縮率 [Pa⁻¹]である。

試験によって得た各供試体の透過率を図4に示す。来待砂岩は 10^{-18} m², 土岐花崗岩は 10^{-19} m² 程度の透過率を得た。

4. 透過率の比較

住本ら²⁾の研究と本試験で得た透水試験結果を用いて、フロースルー試験で得た透過率とトランジェントパルス試験で得た透過率を比較した(図5)。ベレア砂岩、不連続面を有する土岐花崗岩については透過率の差異が1オーダー以内に収まっているが、稲田花崗岩の透過率の差異は1オーダー以上あることから、難透水性岩石を対象とした場合、得られる透過率に大きな差異が生じることが確認された。

5. おわりに

本研究では、難透水性岩石を対象としてフロースルー試験とトランジェントパルス試験を行い、それぞれの試験手法の有用性を評価した。フロースルー試験は透過率が正しく測定できておらず、トランジェントパルス試験で得た透過率と比較した際、1オーダー以上の差異がみられた。今後は、フロースルー試験が正しく実施できない原因の解明と、地下環境を想定した高温・高圧条件下での透過率測定を実施する予定である。

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) 住本幸哉: 熱環境における岩石の透水特性評価を目的とした実験装置の開発と検証, 愛媛大学大学院理工学生産環境工学専攻修士論文, 21pp., 2021.

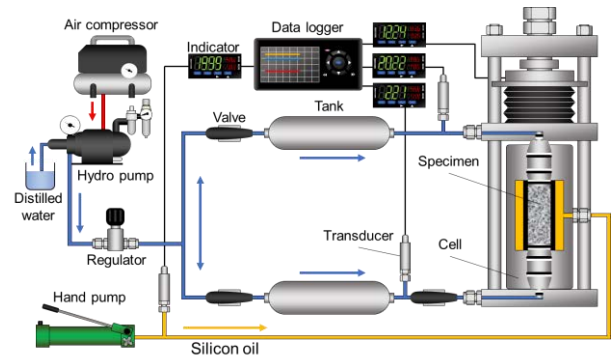


図3 トランジェントパルス試験装置模式図

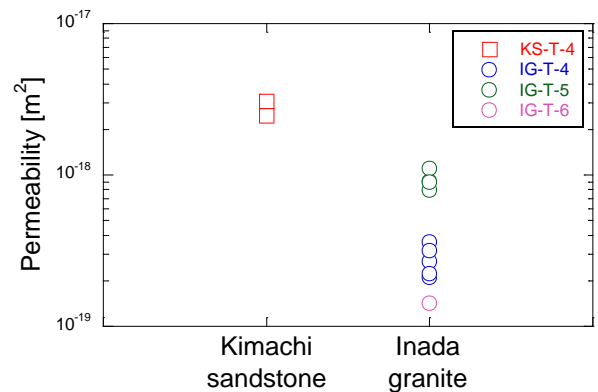


図4 トランジェントパルス試験で得た透過率

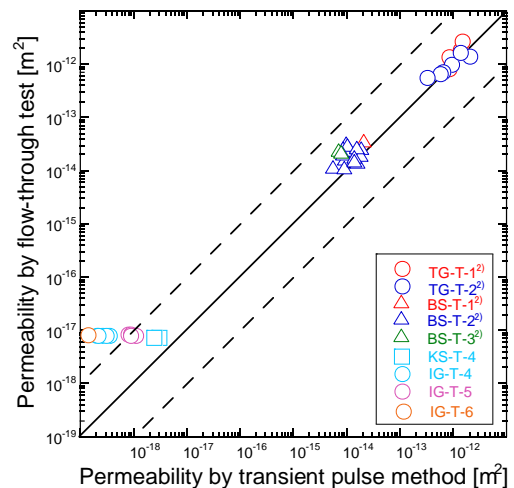


図5 透過率の比較