

トランジェントパルス試験による低透水性岩石の透過率測定

愛媛大学大学院 学生会員 ○住本幸哉

正会員 木下尚樹

正会員 安原英明

1. はじめに

近年、二酸化炭素地中貯留や LNG の地下備蓄、高レベル放射性廃棄物の地層処分等、地下空間の利用が進んでいる。地下岩盤を開発する上で、施設の安全性や機能性を評価するために透水試験を実施し、施設周辺岩盤の水理学特性を把握する必要がある。岩石の透水試験には様々な手法が確立されており、透過率 10^{-18} m^2 以下の低透水性岩石を測定対象とした場合には、一般的にトランジェントパルス試験が用いられる。この試験は、短時間かつ高精度に測定できる特徴を有する。そこで、本研究ではトランジェントパルス試験装置の開発を行い、フロールー透水試験の測定値と比較することで装置の有用性を評価した。また、低透水性岩石である来待砂岩を用いて透過率の評価を行った。

2. 実験概要

本研究では、まずトランジェントパルス装置の開発を行い、試験を実施した。得られたデータをフロールー透水の試験結果と比較し装置の有用性を評価し、低透水性岩石の透過率測定を行った。実験には不連続面を有する花崗岩、ベレア砂岩及び来待砂岩を用いた。各供試体における実験条件を表 1 に示す。

3. トランジェントパルス試験

本研究で開発した試験装置の模式図を図 1 に示す。開発した試験装置は主に、高拘束圧を作用できる圧力セル、圧力セルの上・下流側に設置した貯留槽・圧力計、バルブ及びデータロガーで構成されている。

透過率の算出方法は Brace et al¹⁾ が提案した解法を用いた。試験方法は、圧力セルの両端に、岩石の空隙体積に対して十分に大きい貯留槽を設置し、装置全体を水で満たす。全体に初期圧力を作用させた後、一方の貯留槽にパルス圧を作用させると、高压側から低压側へと圧力伝播が発生し、一定時間後に圧力が平衡状態に達する。このとき得られる圧力変化は指数関数になり、式(1)、(2)で表現される。経過時間における圧力変化を対数グラフに取り、得られた直線の傾き α を式(2)に代入することにより透過率 k を算出する。

$$P_1 - P_f = \Delta P \cdot \frac{V_2}{V_1 + V_2} \cdot \exp(-\alpha t) \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{kA}{\mu\beta L} \cdot \frac{V_1 + V_2}{V_1 V_2} \quad (2)$$

表 1 実験条件

供試体	拘束圧 [MPa]	初期圧力 [MPa]	パルス圧 [MPa]	透水圧 [MPa]
Granite		0.3	0.3	0.3
Berea sandstone	3	1, 3,	0.1, 0.3	0.1, 0.3
Kimachi sandstone	7	5	0.5	—

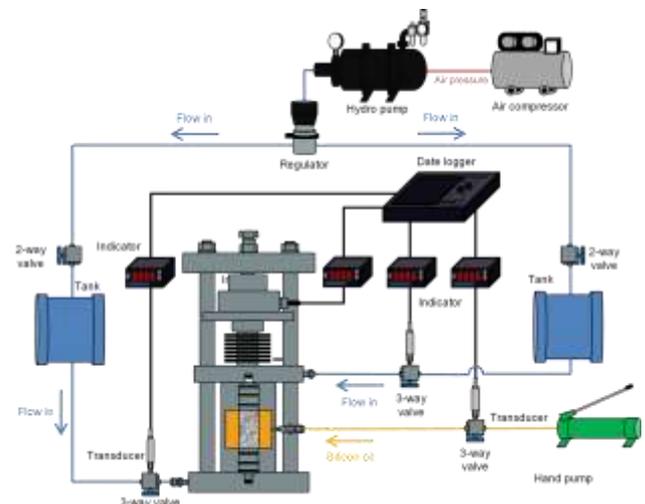


図 1 トランジェントパルス試験装置模式図

ここで、 P_1 ：高压側貯留槽の圧力 [Pa]、 V_1 ：高压側貯留槽の容積 [m³]、 V_2 ：低压側貯留槽の容積 [m³]、 P_f ：圧力の収束値 [Pa]、 ΔP ：パルス圧 [Pa]、 α ： P_1-P_f の時間 t に対する傾き、 A ：供試体の断面積 [m²]、 L ：供試体の長さ [m]、 μ ：流体の粘性係数 [Pa s]、 k ：透過率 [m²]、 β ：流体の圧縮率 [Pa⁻¹]である。

試験により得られた各供試体の透過率をフロースルー透水試験の結果と比較した (図 2)。フロースルー透水試験の値を基準にして、透過率の差異が不連続面を有する花崗岩では $\pm 40\%$ 、ベレア砂岩では $\pm 20\%$ であり、概ね一致していることから本トランジェントパルス試験は有用であると評価した。

4. 低透水性岩石を用いた透過率測定

本研究では、低透水性岩石として島根県産の来待砂岩を用いてトランジェントパルス試験を行った。拘束圧 7 MPa、初期圧力 5 MPa 及びパルス圧 0.5 MPa の条件で試験を行った。測定時間は約 8 時間であり、圧力が平衡状態に達する前に試験を終了した。これは、ある程度測定時間が経過すれば前項で説明した直線の傾き α を正確に算出することができるためである。

試験によって得られた透過率の正確性を評価するため、図 3 のように、来待砂岩を用いて試験を行った論文の値と比較した²⁾。実験値と文献値は概ね一致しており、試験によって妥当な値が得られと示唆される。

5. おわりに

本研究では、トランジェントパルス試験装置を開発し、試験によって得られた透過率をフロースルー透水試験の結果と比較することで試験装置の有用性を評価した。また、低透水性岩石である来待砂岩を用いてトランジェントパルス試験を行い、得られた結果を文献値と比較し、透過率が妥当な値であることを確認した。今後は、低透水性岩石を用いて様々な実験条件でトランジェントパルス試験を行い、条件の違いによる透過率への影響を評価する予定である。

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) 高橋学, 加藤昌治, 高橋直樹, 藤井幸泰, 朴赫, 竹村貴人 : 来待砂岩の 3 次元空隙分布と透水係数および比貯留率の拘束圧・軸圧による変化について, vol.53, No.1, pp.31-42, 2012.

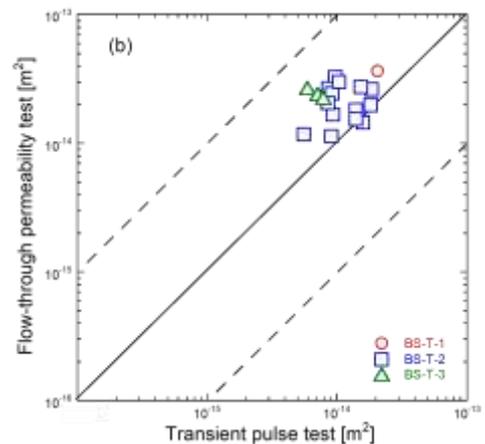
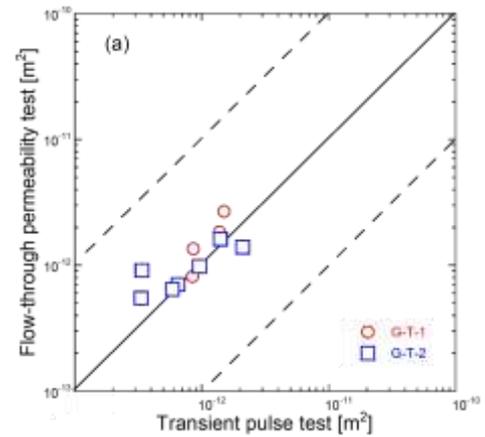


図 2 透過率の比較

(a) 不連続面を有する花崗岩, (b) ベレア砂岩

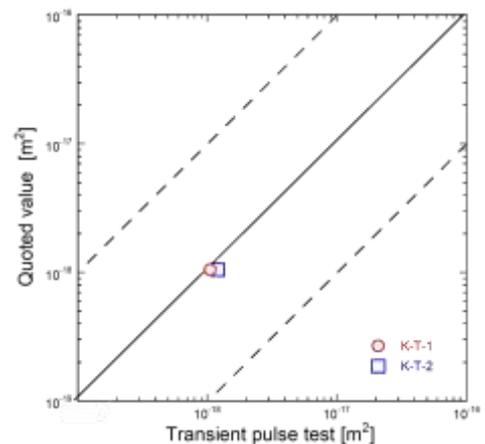


図 3 来待砂岩における文献値²⁾との透過率比較