

亀裂性岩盤の保水性および流体透過性評価のための室内試験

愛媛大学大学院 学生会員 ○ 大内健太郎

正会員 安原英明

正会員 木下尚樹

1. はじめに

近年、地下岩盤の利用はこれまでより複雑化・多様化している。例えば、放射性廃棄物地層処分、CO₂ 地中貯留、メタンハイドレードの資源開発などがある。これらは効率的な資源回収、施設の安定性維持が重要であり、そのために、亀裂性岩内の流体透過性を精査する必要がある。亀裂性岩盤内では水、空気及びガスが共存した状態であり、気体と液体による気液二相流の挙動を解明する必要がある。そこで本研究では、気液二相流実験装置を開発するとともに、透水試験、保水性試験、相対透過率測定を実施した。そして、相対透過率測定の結果を、van Genuchten model で回帰分析することにより、実験値の妥当性と気液二相流実験装置の有効性を評価した。

2. 保水性試験

開発した実験装置を図 1 に示す。本研究ではベレア砂岩を用いて保水性試験を実施した。境界条件を表 1 に示す。保水性試験とは対象とする材料の保水性を測定する試験方法であり、水分特性曲線を求めることができる。水分特性曲線は、毛細管圧と飽和度の関係を表した曲線である。次に保水性試験による岩の保水性の評価方法について述べる。まず、空気による透過圧で排水した水を電子ばかりで測定し、その時の透過圧と水の質量を記録する。この時の透過圧が水分特性曲線の毛細管圧となる。水飽和度はあらかじめ供試体の飽和質量を測定しておき、排水した水の質量から算出する。水飽和度を算出する式を下に示す。

$$S_l = \frac{V_{sat} - V}{V_{sat}} \quad (1)$$

ここで、 S_l : 水飽和度 [-], V_{sat} : 間隙水の最大体積[g], V : 排水した水の体積[g]である。得られた水飽和度とその時の毛細管圧をプロットし、水分特性曲線とする。結果を図 2 に示す。図 2 から両供試体とも 100 kPa ほどで排水が落ち着くことが確認できた。水飽和度に関しては 40 % まで下がったところで排水が止まった。

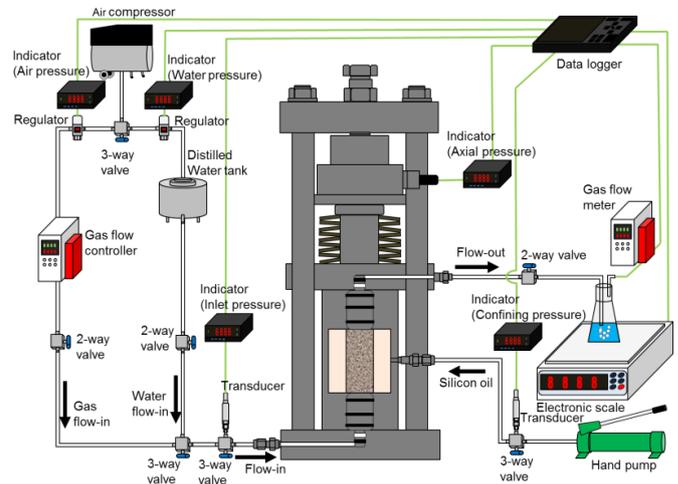


図 1 実験装置

表 1 保水性試験の条件

供試体	温度 [°C]	粘性係数 [Pa s]	拘束圧 [Pa]
B-1	20	1.0×10^{-3}	3.0×10^6
B-2	20	1.0×10^{-3}	3.0×10^6

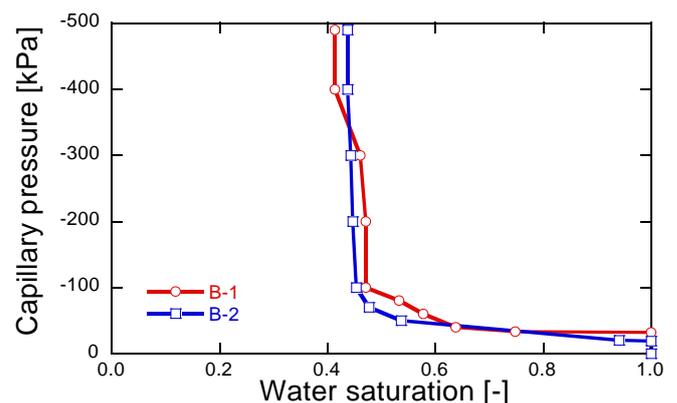


図 2 水分特性曲線

3. 相対透過率測定試験

相対透過率測定試験とは対象とする材料の相対透過率を測定する試験である。透水試験や透気試験では流体が1種類であり、その流体の移動特性を透過率と呼んでいるが、2種類以上の流体が混合した状態に対しては各流体に対する透過率を有効透過率と言い、岩石との絶対透過率との比率を示した相対透過率が用いられる。次に相対透過率測定試験による岩の相対透過率の評価方法について述べる。水をレギュレータによる圧力制御で流入させ、空気をマスフローコントローラによる流量制御で流入させることで、気液二相流を再現した。排水量は電子ばかりで測定し、空気流量はマスフローメータによって測定する。排水流量は電子ばかりで、排気流量はマスフローメータにより測定し、それぞれの流量から相対透過率を算出できる。この装置を用いて実施した試験の境界条件を表2に示す。計測された水と空気の流量は、多相流ダルシー則より、下式で計算される。

$$Q_{\beta} = k_{r\beta} \frac{A \Delta P_{\beta} k}{\mu_{\beta} L} \quad (2)$$

ここで、 β : 液相(l)および気相(g), Q_{β} : β 相の流量 [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$], $k_{r\beta}$: β 相の相対透過率 [-], ΔP_{β} : β 相の差圧 [Pa], μ_{β} : β 相の粘性係数 [Pa s]である。絶対透過率 k は、透水試験より既知であるので、透水・透気流量を時系列で計測することで、相対透過率を評価できる。飽和度については、計測された水と空気の流量比から下式で評価される。

$$S_l = \frac{Q_l}{Q_l + Q_g} \quad (3)$$

式(2)および式(3)から、相対透過率曲線を求めることができる。結果を図3に示す。また、ベレア砂岩を使用した研究結果と比較した。本研究では、水と空気を使用した。既往研究では塩水と N_2 を使用して実験が実施されている。既往研究の結果を図4に示す¹⁾。図3と図4比較すると、気体の相対透過率曲線は同様の挙動を示しているが、液体は上に凸となっており異なる挙動を示していることが確認できる。

4. おわりに

本研究で気液二相流を再現可能な実験装置を開発し、実際に実験を実施し、既往研究と比較した。その結果、液体の相対透過率曲線が既往研究の曲線と異なる挙動を示した。今後は、本実験を含む多様な条件下でのデータの蓄積が必要であり、実験装置の改良が必要である。

表2 相対透過率測定条件

供試体	温度 [°C]	粘性係数 [Pa s]	透水圧 [Pa]	拘束圧 [Pa]
B-1	20	1.0×10^{-3}	5.0×10^4	0

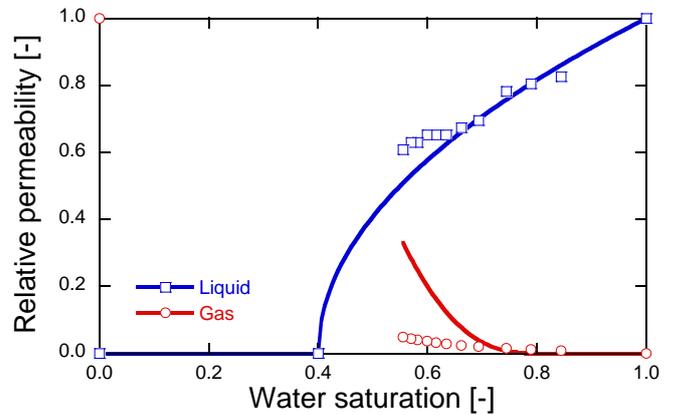


図3 相対透過率曲線 (B-1)

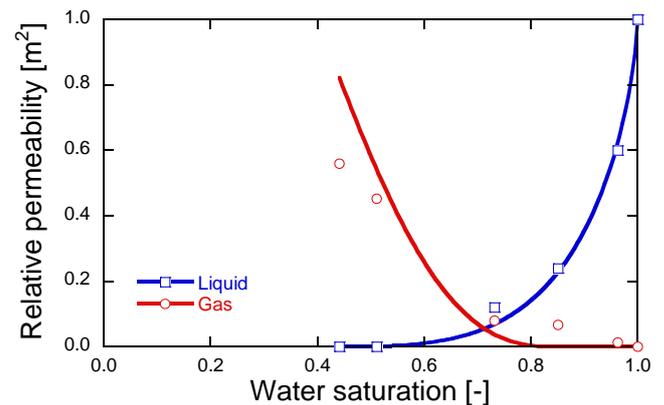


図4 相対透過率曲線 (既往研究 : Paul, 2016)

参考文献

- 1) Maria Gudjonsdottir, Halldor Palssonb, Jonas Eliassonb, Gudrun Saevarsdottir : Calculation of relative permeabilities from field data and comparison to laboratory measurements, Geothermics, Vol.54, 9pp., 2015