

Na 型および Ca-Mg 型ベントナイトの不飽和時水分移動特性に及ぼす
水圧の影響評価

早稲田大学 学生会員 ○渡邊 康太郎
早稲田大学 正会員 伊藤 大知, 小峯 秀雄, 王 海龍
戸田建設 正会員 関口 高志

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分の人工バリアにおいて、緩衝材として低透水性と膨潤性に優れるベントナイトを用いることが有望視されている。地層処分では、廃棄体を地下 300 m 以深の岩盤に埋設処分することから、処分場に流入する地下水には高い水圧がかかっていることが考えられる。したがって、地下水圧がベントナイトの水分移動に及ぼす影響を評価することは重要な課題である。そこで本研究では、空気圧負荷により地下水圧負荷環境を模擬した吸水量測定装置を用い、ベントナイトの不飽和時の水分移動特性に水圧が及ぼす影響を評価した。

2. 使用した試料と供試体作製方法

本研究で使用した試料はクニミネ工業製の Na 型ベントナイトであるクニゲル V1（以下 K_V1）とホーゲン製の Ca-Mg 型ベントナイトである三川原鉱（以下 MG）の二種類である。表 1 に試料の基本的性質を示す。本研究で、測定した試料の初期含水比は K_V1 では 9.7%, MG では 6.7%であった。また、静的締固め機を用いて、目標乾燥密度を 1.6 Mg/m³ と設定し、高さ約 10 mm, 内径約 28 mm のステンレス製リングに供試体を作製した。算出した供試体の乾燥密度は K_V1 では 1.56 ~ 1.57 Mg/m³, MG では 1.55 ~ 1.56 Mg/m³であった。

表 1 使用した試料の基本的性質

試料	K_V1	MG
土粒子の密度 (Mg/m ³)	2.71	2.50
液性限界 (%)	535	98.6
塑性限界 (%)	49.7	35.0
塑性指数	485	63.6
モンモリロナイト含有率 (%)	57.1	48.6

3. 地下水圧負荷環境下を模擬した吸水量測定試験の概要

図 1 に本研究で用いた吸水量測定試験装置の概略図を示す。本試験では、二重管ビュレットに接続された空気圧レギュレーターにより設定した圧力を供給水に加えることができる。本研究では、設定圧力は 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa および 400 kPa とした。試験開始後は、供試体下部の吸水口から供試体へ給水を行った。所定の経過時間における供試体の吸水量 Q_0 (mL) は二重管ビュレット(最大容量 10 mL, 最小目盛り 0.1 mL)の目盛りを用いて、目視で計測した。

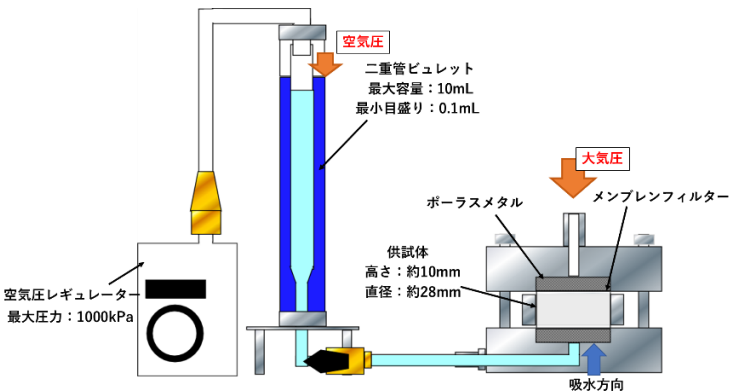


図 1 本研究で用いた吸水量測定装置の概略図

4. 実験結果の整理方法

本研究では、得られた実験結果を小峯ら¹⁾による研究で用いられた算出方法に則り、整理した。締固めたベントナイトの一次元の浸潤を拡散現象とみなす場合、本実験で測定できる二重管ビュレット管内から給水した供試体の吸水量 Q_0 は、吸水量は経過時間の平方根の一次関数として表すことができ、以下の式(1)で近似す

キーワード ベントナイト, 地層処分, 地下水圧, 水分拡散
連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 TEL 03-5286-2940

る。また、水分拡散係数 D は、式(2)によって算出される。

$$Q_0 = a\sqrt{t} + b \quad (1)$$

$$D = \pi \left(\frac{a}{2An'_e} \right)^2 \quad (2)$$

ここに、 a ：単位時間の平方根あたりの吸水量 ($\text{mL}/\sqrt{\text{min}}$)、 t ：試験開始からの経過時間 (min)、 A ：供試体の断面積 (m^2)、 n'_e ：供試体中の有効空隙体積率。ここで、 b (mL)はポーラスメタル、メンブレンフィルター等の空気残存部への流入量と考え、測定した供水量 Q_0 から b を引いた値を実際の供試体の吸水量 Q (mL)とした。

5. 実験結果

図2、図3に K_V1 および MG それぞれのベントナイトの吸水量 Q と経過時間の平方根の関係を示す。図2、図3から認められるように、本研究におけるすべてのケースにおいて、試験開始から初期では、吸水量は経過時間の平方根と比例関係にあり、初期接線と合致することから供給水に 100 kPa ~ 400 kPa の水圧を加えた場合でも水分拡散現象により吸水がなされていることがわかった。その後、直線分布から外れ、一定値に収束していく傾向が認められることから、供試体が飽和に近づき、水分移動の挙動が濃度差による拡散から、水圧差による移流へと変化していることが考えられる。

また、算出された水分拡散係数 D は、K_V1 では $4.1 \times 10^{-10} \sim 5.7 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 、MG では $5.4 \times 10^{-10} \sim 7.6 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ であった。このことから、K_V1 および MG では水分拡散係数に水圧が及ぼす影響は小さいことがわかった。加えて、K_V1 では遠藤ら²⁾によって水圧 100 kPa ~ 500 kPa での水分拡散係数は $3.0 \times 10^{-10} \sim 4.1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ と求められている。この既往の研究との比較により、本試験は比較的良好な再現性を持つことが確認できた。

6. 結論

本研究では、地下水圧負荷環境を模擬した吸水量測定試験を行うことで、Na 型、Ca-Mg 型ベントナイトの水分移動特性に及ぼす水圧の影響を評価した。その結果、本研究の設定圧力 100 kPa ~ 400 kPa の範囲では、Na 型、Ca-Mg 型ベントナイトともに水圧負荷の影響は見られず、水分拡散挙動が支配的であることが認められた。今後の展開としては、他種のベントナイトを用い、より高压の条件下で評価を行っていく必要がある。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 21K04260 の成果の一部である。

参考文献：1) 小峯秀雄，小山田拓郎，尾崎匠，磯さち恵：締固

めたベントナイト各種の水分移動特性と膨潤挙動に関する考察，土木学会論文集 C（地圏工学），Vol 74, No.1, 63-75, 2018. 2)

遠藤さち恵，小峯秀雄，村上哲，関口高志，関根一郎：比較的高い浸透水圧環境下における不飽和ベントナイトの吸水特性および水分拡散特性，第 47 回地盤工学研究発表会論文集，2012.

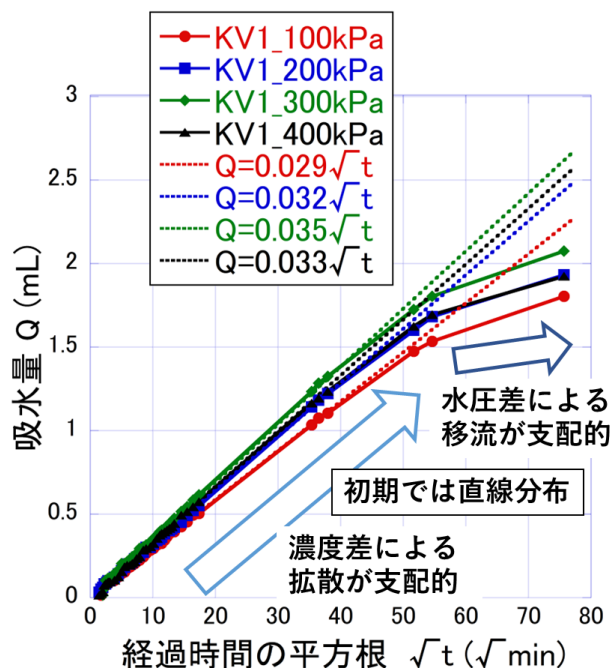


図2 K_V1 における吸水量と経過時間の平方根の関係

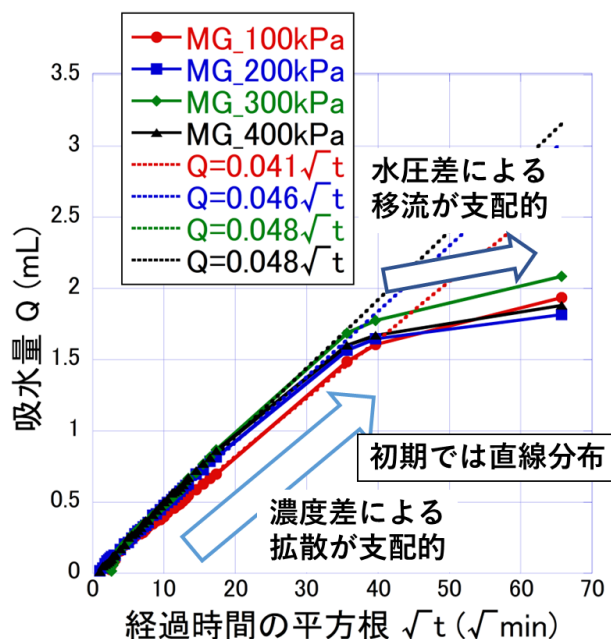


図3 MG における吸水量と経過時間の平方根の関係