# 締固めたベントナイトの膨潤変形に及ぼす吸水方向の相違の影響

早稲田大学 学生会員 〇山本 有雅, 伊藤 大知

早稲田大学 正会員 小峯 秀雄,フェロー会員 後藤 茂,正会員 王 海龍

戸田建設 正会員 関口 高志,北原 慎也

### 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分において,緩衝材にベントナイトの利用が検討されている<sup>D</sup>. これはベントナイトが,緩衝材に求められる技術要件<sup>D</sup>を満たすと考えられているためである. 技術要件の一つである自己シール性は,周辺環境の影響を受けるため定量的に評価することが難しく,膨潤圧および膨潤変形特性や透水特性と比較して研究事例が少ない. そこで著者らは,ベントナイト系緩衝材の設計に寄与することを目的として,自己シール性を定量的に評価するための実験方法に関する研究を進めている. 本論文では自己シール性による隙間充填時の膨潤変形に着目し,吸水方向の相違による膨潤変形への影響を調査するため,供試体下端面および上端面からの吸水による膨潤変形実験を行った.

### 2. 使用した試料および供試体

 試料は Na 型ベントナイトの KV1 (クニミネ工業製・クニゲル
V1)を使用した.表1に KV1 の基本的性質を示す.モンモリロナイト含有率はメチレンブルー吸着量試験(JIS Z2451:2019)により 測定した.供試体は静的締固め装置を用いて,内径 60 mm の実験 用リング内に高さが 10 mm となるように作製した.表2に作製した.表2 に作製し

#### 表1 KV1の基本的性質

主な交換性陽イオン	Na
土粒子密度(Mg/m <sup>3</sup> )	2.73
液性限界(%)	476.9
塑性限界(%)	29.2
塑性指数	447.7
モンモリロナイト含有率(%)	48

 1. 上端面吸水および上端面吸水による一次 元膨潤変形実験装置の概要と実験方法

図1に下端面吸水による一次元膨潤変形実 験装置の概要を,図2に上端面吸水による実 験装置の概要を示す.本実験は供試体の側面 と底面の変形を抑制した状態で蒸留水を吸水

し,供試体の上方向への変形 量を測定する実験である.本 論文では,供試体の下端面か ら吸水する実験を下端面吸水 による一次元膨潤変形実験 と,供試体の上端面から吸水 する実験を上端面吸水による 一次元膨潤変形実験とそれぞ れ呼称する.作製した供試体 を用いて各実験装置の膨潤特





性容器を組立て,鉛直圧 19.6 (kPa)を載荷した.下端面吸水の場合,蒸留水で満たした二重管ビュレットと 底板をシンフレックスチューブ用により接続し,供試体下端面から吸水した.上端面吸水の場合,底板にアク リル製円筒を設置し,その中を蒸留水で満たした.膨潤特性容器の側面上部の通気孔から容器内に蒸留水が浸

キーワード ベントナイト, 膨潤変形, 吸水方向, 摩擦, 放射性廃棄物処分 連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 早稲田大学 地盤工学研究室 TEL03-5286-2940 入し、その後、ピストンの通気孔からポーラスメタルを通り、供試体上端面から吸水した.すべての供試体に 対して14日間吸水し、変位計を用いて経過時間ごとの膨潤変形量を測定した.さらに下記に示す式(1)~(3)を 用いて、膨潤変形率の経時変化を双曲線近似し、その極限値として最大膨潤変形率を定めた<sup>3)</sup>.

 $\varepsilon_s = \frac{\Delta S}{H_0} \times 100 \quad (1) \qquad \varepsilon_s(t) = \frac{t}{a+bt} \quad (2) \qquad \varepsilon_{smax} = \lim_{t \to \infty} \varepsilon_s(t) = \lim_{t \to \infty} \frac{t}{a+bt} = \lim_{t \to \infty} \frac{1}{\frac{a}{t}+b} = \frac{1}{b} \quad (3)$ 

ここに、 $\varepsilon_s$ : 膨潤変形率(%)、 $\Delta S$ : 膨潤変形量(mm)、 $H_0$ : 供試体初期高さ(mm)、t: 時間(min)、 $\varepsilon_t(t)$ : 時間tにおける膨潤変形率(%)、a、b: 双曲線近似により求められる定数、 $\varepsilon_{smax}$ : 最大膨潤変形率(%)である.

供試体番号

吸水方法

初期乾燥密度(Mg/m<sup>3</sup>)

最大膨潤変形率(%)

## 4. 供試体下端面および上端面からの吸水による最大膨潤変形率の比較

表3に各供試体の初期乾燥密度と最大膨潤変形率 を示す.吸水方法が同じ場合,初期乾燥密度が高い供 試体の方が低い供試体と比較して,最大膨潤変形率 が高くなった.また図4に,本実験で測定した最大 膨潤変形率と小峯ら<sup>4/5)</sup>が測定した最大膨潤変形率を

示す.小峯らは、本実験の下端面吸水と同様の吸水経路で 実験を行っている.本研究の下端面吸水で実験を行った供 試体に関して、最大膨潤変形率は小峯らと同程度の値にな った.上端面吸水の場合、下端面吸水と比較すると同程度 の初期乾燥密度に対して、最大膨潤変形率は1.1倍程度の 値となった.

これは,吸水方法によって供試体内の膨潤変形が開始す る位置が異なることが原因であると考えられる.下端面吸 水の場合,供試体の下端面から膨潤変形し始めるため,供 試体上部のまだ膨潤変形していない乾燥密度が高い部分 が押し上げられることで膨潤変形した.一方,上端面吸水 の場合,供試体の上端面から膨潤変形が始まり,供試体内 の乾燥密度が低下した箇所が押し上げられることで膨潤 変形した.そのため,上端面吸水の方が下端面吸水と比較



表3 各供試体の初期乾燥密度と最大膨潤変形率

1

1.63

200.0

2

1.75

212.8

下端面吸水

3

1.65

227.3

4

1.75

232.6

上端面吸水

して,供試体の側面と実験用リング間に発生する摩擦が小さくなると考えられる. 膨潤変形時,供試体には載 荷鉛直圧以外に摩擦による力も作用しており,その力の総和によって膨潤変形が決まっていると考えられる. 以上により,摩擦の大小が最大膨潤変形率に影響を及ぼしたと推察される.

### まとめ

本研究では、下端面吸水および上端面吸水による一次元膨潤変形実験を行い、最大膨潤変形率を算出した. その結果、吸水方法が同じ場合、初期乾燥密度が高い供試体ほど最大膨潤変形率も高くなった.また上端面吸 水の方が下端面吸水と比較して、最大膨潤変形率が高くなった.この要因として、吸水方向の違いにより膨潤 変形の開始位置が異なり、上端面吸水の方が供試体と実験用リング間の摩擦が小さくなることが挙げられる. 参考文献 1) 核燃料サイクル開発機構:わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性一地層処分研究開 発第 2 次取りまとめ一総論レポート、JNC TN 1410 99-020、pp. II-1-II-5、1999.2)原子力発電環境整備機構:処分場の安全 機能と技術要件(2010 年度)、NUMO-TR-10-11、pp.22-25、2011.3)小峯秀雄、緒方信秀:砂・ベントナイト混合材料およ び各種ベントナイトの膨潤特性、土木学会論文集 No.701、373-385、2002.4)小峯秀雄、緒方信英、西好一:高レベル放射 性廃棄物地層処分のための緩衝材の力学特性(その1)一締固めたベントナイトの吸水膨潤メカニズムの実験的検討一、 電力中央研究所研究報告 U92039、1992.5)Komine, H and Ogata, N: Experimental study on swelling characteristics of compacted bentonite, Canadian Geotechnical Journal, Vol31, No.4, pp.478-490, 1994.