

## 高圧環境下における不飽和ベントナイトの 吸水に伴う一次元変形特性に及ぼす初期乾燥密度の影響

茨城大学 学生会員 ○小栗光

茨城大学 正会員 小峯秀雄 正会員 村上哲

### 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるベントナイト系緩衝材には、処分施設の再冠水に伴う地下水の浸入が想定されると共に、地圧および地下水の静水圧等の外力が作用すると考えられる<sup>1)</sup>。外力の作用に起因した緩衝材の体積変化が生じた場合、吸水および膨潤挙動に影響を及ぼす可能性があるため、高圧環境下において不飽和状態から飽和状態に至るまでのベントナイトの変形特性を調査する必要がある。既往の研究により、飽和状態における最大膨潤率は鉛直圧の増加に伴い減少することが報告されており<sup>2)</sup>、初期乾燥密度の増加に伴い単調に増加することも報告されている<sup>3)</sup>。そこで本研究では、飽和状態に至るまでのベントナイトの変形特性を明らかにするために、1.0~10.0MPaの一定の高鉛直圧下における吸水に伴う一次元変形特性を調査し、初期乾燥密度の影響を考察した。

### 2. 使用した試料および供試体作製方法

試料は、山形県月布産の粉状ベントナイト A(クニミネ工業製・クニゲル V1)を使用した。表-1 にベントナイト A の基本的性質を示す<sup>3)</sup>。供試体は直径 60mm、高さ 10mm の円柱形とし、静的荷重により上下二方向から締め固めて作製した<sup>3)</sup>。作製時の乾燥密度は、1.4、1.6 および 1.8Mg/m<sup>3</sup> を目標とした。試料は、室温 20±3°C で保管しており、試験開始直前に測定した供試体の初期含水比は、7.63~9.28% の範囲であった。

### 3. 高圧環境下における不飽和状態から飽和状態に移るベントナイトの吸水に伴う変形量測定試験の概要

図-1 に高鉛直圧下における吸水に伴う変形量測定試験装置の概略図を示す。高鉛直圧下における不飽和状態から飽和状態へ移行する過程の供試体の一次元変形量と単位時間当たりの吸水量を同時に測定する試験である<sup>4)</sup>。試験装置は、高圧圧密試験装置と二重管ビュレット(最大容量 25mL、最小目盛 0.1mL)から構成される。一次元変形量の測定には、変位計(最大容量 10mm、最小目盛 0.001mm)を使用した。鉛直圧を載荷した直後より、SUS316L 製圧密容器の下部吸水口に連結した二重管ビュレットから蒸留水を給水した。二重管ビュレットの管内の水分減少量を供試体の吸水量と定義し、測定は目視により行った。試験期間は、一次元変形量および吸水量がほぼ定常化する 7 日間とした。

### 4. 高圧環境下における不飽和状態から飽和状態に移るベントナイトの一次元変形特性

図-2 に軸ひずみと経過時間の関係を示す。軸ひずみは、圧縮を正、膨張を負と定義した。図-2(a)、(b)に示す、初期乾燥密度が約 1.4Mg/m<sup>3</sup> と約 1.6Mg/m<sup>3</sup> のケースにおいては、軸ひずみは時間経過に伴い、約 2000 分以降徐々に定常化していく。しかし、初期乾燥密度が約 1.8Mg/m<sup>3</sup> と高いケースである図-2(c)における比較的小さい鉛直圧である 1.0MPa の場合は、約 2000 分以降も緩やかに膨潤挙動が継続し、約 10000 分においても定常化していない。すべてのケースにおいて、2300~2600 分での飽和度は 91.77~109.16% となり、その後も飽和状態である。飽和状態において、時間経過に伴う供試体の変形挙動の定常化は、載荷した鉛直圧と吸水により発生した膨潤圧が均衡することに起因すると考えられている<sup>3)</sup>。図-2(c)の場合、時間経過に伴い増加する膨潤圧が、一定の鉛直圧 1.0MPa より

表-1 ベントナイト A の基本的性質<sup>3)</sup>

種類	A
タイプ	Na 型
土粒子の密度(Mg/m <sup>3</sup> )	2.79
液性限界(%)	458.1
塑性限界(%)	23.7
塑性指数	434.4
モンモリロナイト含有率(%)	57
陽イオン交換容量(meq./g)	1.166
交換性 Na イオン量(meq./g)	0.631
交換性 Ca イオン量(meq./g)	0.464
交換性 K イオン量(meq./g)	0.030
交換性 Mg イオン量(meq./g)	0.041

モンモリロナイト含有率は、純モンモリロナイトのメチレンブルー吸着量 140(mmol/100g)を基準に算出した。

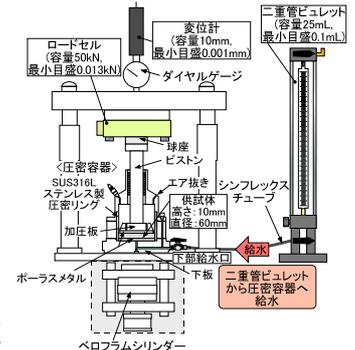


図-1 高鉛直圧下における吸水に伴う変形量測定試験装置の概略図

キーワード：高レベル放射性廃棄物処分、ベントナイト、不飽和、高鉛直圧、一次元変形、乾燥密度

連絡先：〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 / TEL:0294-38-5163

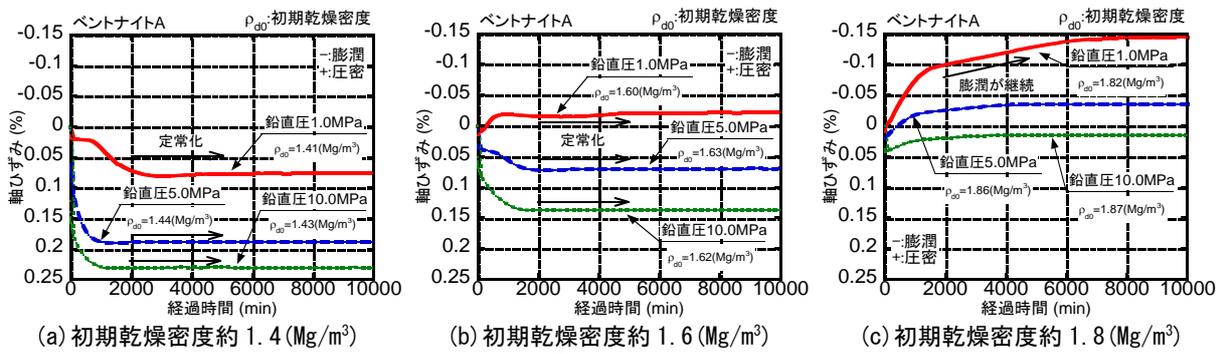


図-2 軸ひずみと経過時間の関係

も大きいため、継続した膨潤挙動を示すと推察できる。また、今回試験を実施した鉛直圧の範囲において、初期乾燥密度が同程度であれば、供試体の一次元変形を抑制する鉛直圧が増加するに伴い軸ひずみが増加することがわかった。これは、既往の研究<sup>2)</sup>と整合する。図-3に、不飽和状態から飽和状態に遷移するベントナイトの一次元変形特性の模式図を示す。既往の研究により、初期乾燥密度が比較的大きい場合は、初期乾燥密度が小さい場合と比較して、飽和状態における最大膨潤圧が大きいため、変形に実際に寄与する鉛直圧が低下することが報告されている<sup>5)</sup>。不飽和状態においても、初期乾燥密度が比較的大きい場合、時間経過に伴い発生する膨潤圧と比較して鉛直圧が相対的に小さくなり、変形を抑制することができないために膨潤挙動を示すと考えられる。

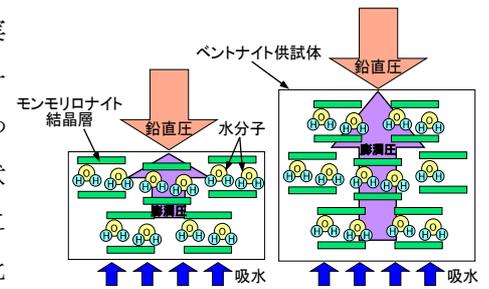


図-3 不飽和状態から飽和状態に遷移するベントナイトの一次元変形特性の模式図

5. 高圧環境下におけるベントナイトの一次元変形に伴う乾燥密度の遷移

図-4にベントナイトの一次元変形に伴う乾燥密度の遷移を示す。試験開始時と試験終了時とは、それぞれ各鉛直圧下における試験開始約0分後の乾燥密度と、試験開始約10000分後の乾燥密度である。初期乾燥密度が約1.4Mg/m<sup>3</sup>と比較的小さい図-4(a)の場合、すべての鉛直圧下において供試体の乾燥密度が増加しており、体積圧縮を生じていることがわかる。図-4(b)の場合、2.0~10.0MPa以上の鉛直圧下において増加、図-4(c)の場合は、1.0~7.0MPaの鉛直圧下において減少という、供試体の乾燥密度の遷移が確認できる。また、図-4(a)~(c)において、試験開始後約10000分における供試体の乾燥密度は、初期乾燥密度に依存せず、鉛直圧に依存し鉛直圧の増加に伴い曲線的に増加する傾向がある。

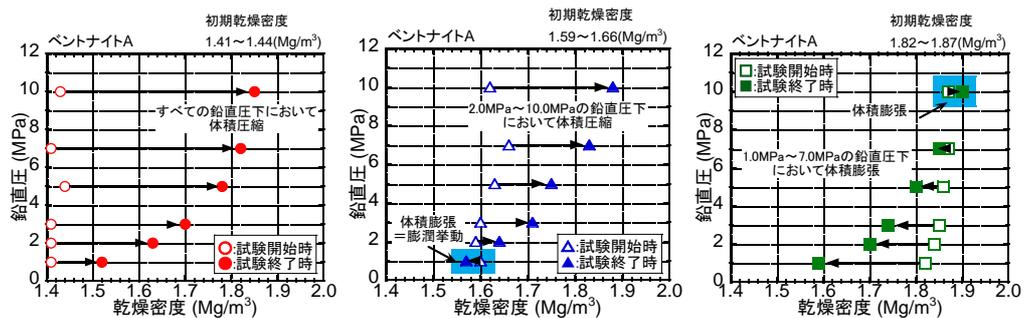


図-4 ベントナイトの一次元変形に伴う乾燥密度の遷移

6. まとめ

高鉛直圧下におけるベントナイトの吸水に伴う変形量測定試験より、以下の結論を得た。

- 1) 軸ひずみは、時間経過に伴い定常化する。しかし、初期乾燥密度が約1.8Mg/m<sup>3</sup>と比較的大きいケースにおいて、比較的小さい鉛直圧を载荷した場合、定常化せずに膨潤挙動が継続するため、鉛直圧より大きい膨潤圧が発生していると考えられる。
- 2) 試験開始後約10000分における供試体の乾燥密度は、初期乾燥密度に依存せず、鉛直圧に依存して収束する。また、鉛直圧の増加に伴い曲線的に増加する傾向がある。

参考・引用文献 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技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ - 分冊2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022, 1999. 2) 小峯秀雄, 緒方信英: 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/III-58, pp.373-385, 2002. 3) 直井優, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 百瀬和夫, 坂上武晴: 各種ベントナイト系緩衝材の膨潤特性に及ぼす人工海水の影響, 土木学会論文集 No.785/III-70, pp.39-49, 2005. 4) 小栗光, 小峯秀雄, 村上哲, 遠藤さち恵, 小山田拓郎: 高鉛直圧下におけるベントナイトの一次元変形に伴う吸水特性, 第47回地盤工学研究発表会発表論文集, 2012.(投稿中) 5) 石橋直樹, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲: ベントナイトの圧密特性に及ぼすモンモリロナイト含有率の影響, 第46回地盤工学研究発表会発表論文集, pp.773-774, 2011.