

高湿度環境下におけるベントナイトの不飽和膨潤圧特性

茨城大学 学生会員 後藤宣彦
茨城大学 正会員 小峯秀雄, 安原一哉, 村上 哲

1. はじめに

わが国で検討されている高レベル放射性廃棄物の処分は、地下 300m 以深に埋設処分する方法(図-1 参照)である。処分施設において廃棄物収納容器と周辺岩盤との間を充填する緩衝材には、低透水性や膨潤による自己シール性等の特徴をもつベントナイトの利用が考えられている。緩衝材の設置直後から地下水が浸入し、緩衝材は不飽和状態から飽和状態に移行する。しかし、ベントナイトは透水性が低く、長期間不飽和状態で存在すると考えられる。この不飽和状態から飽和状態に移行していく過程での挙動を把握することが今後進められるべき研究課題であり、不飽和状態を調査できる実験手法、評価・解析手法の開発が強く求められている¹⁾。そこで本研究では、一定の相対湿度を保持した環境においてベントナイトの不飽和状態における膨潤圧実験方法を提案した²⁾。そして、取得した実験結果を整理し、高湿度環境下におけるベントナイトの膨潤圧の挙動に関して考察を行う。また、飽和状態でのベントナイトの膨潤圧と比較を行う。

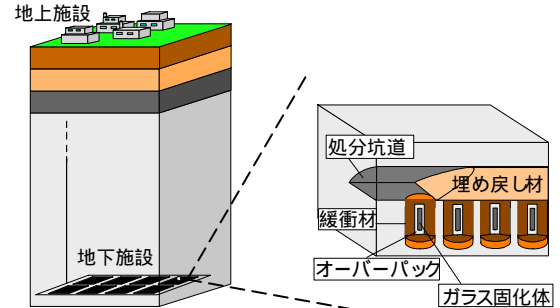


図-1 地層処分施設の概要



写真-1 膨潤特性実験装置

2. ベントナイトの不飽和膨潤圧実験

膨潤圧実験はベントナイトが膨潤し、体積変化を起こそうとする際、それを抑止するために必要な圧力を計測する実験である。本章では、不飽和状態でのベントナイトの膨潤圧特性を明らかにすることを目的として、不飽和状態でのベントナイトの膨潤特性実験を行った。

2.1 不飽和膨潤圧実験方法

不飽和状態における膨潤圧の計測を行うために、膨潤特性実験装置(写真-1 参照)を使用した。従来、茨城大学では図-2(a)に示すように供試体を上下端方向から浸水させることにより、飽和した状態での膨潤圧の計測を行ってきた(以下、この実験を浸水膨潤圧実験という)。本研究では、図-2(b)に示すように膨潤特性容器内を一定相対湿度に保持し、水蒸気により供試体を湿潤させ、膨潤圧の計測を行った。相対湿度の保持には蒸気圧法の原理を利用した³⁾。

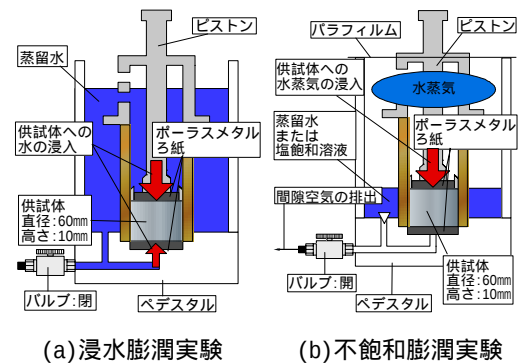


図-2 容器概略図

2.2 実験条件

本研究では、山形県月布産のベントナイト A(クニミネ工業製・クニゲル V1)を使用した。ベントナイト A は日本におけるベントナイトに関する各種研究・開発において、最も頻繁に使用されている⁴⁾。ベントナイト A の基本的性質は文献 4)を参照されたい。供試体は上下方向からの静的締固めにより供試体を作製した。供試体の目標寸法は直径 60mm、高さ 10mm である。また、本研究では、高い相対湿度を保持可能な蒸留水を用いて実験を行

キーワード ベントナイト 膨潤圧 不飽和 高湿度環境

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学 TEL0294-38-5163 E-mail:07nm806l@hcs.ibaraki.ac.jp

った．蒸留水を用いた際，相対湿度は 100%となる．

2.3 不飽和膨潤圧特性

ロードセルで計測した鉛直圧をベントナイトの膨潤圧とし，経過時間ごとに膨潤圧を整理し，膨潤圧の最大値を求める．ここで，膨潤圧の最大値を最大膨潤圧 P_{smax} と定義する．そして，不飽和膨潤圧実験での最大膨潤圧と浸水膨潤圧実験により得られた最大膨潤圧の比較を行った．図-3 に不飽和膨潤圧実験と浸水膨潤圧実験での最大膨潤圧と乾燥密度の関係を示す．また，表-1 には実験後の含水比と飽和度を示す．浸水膨潤圧実験と同様に不飽和膨潤圧実験でも乾燥密度が高くなるにつれ，最大膨潤圧は大きくなる傾向にあり，高湿度環境化において乾燥密度 1.61 Mg/m^3 以上の供試体で最大膨潤圧が 1MPa を超えることがわかった．また，表-1 から含水比は乾燥密度に依存せず，16% 前後で収束していることがわかった．

2 つの実験の最大膨潤圧の比較を定量的に行うために，式(1)により定義した膨潤圧比 R_{sp} を算出し実験結果を整理した．

$$R_{sp} = \frac{P_{smaxu}}{P_{smaxs}} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここに， P_{smaxu} ：近似式より算出した不飽和膨潤圧実験での最大膨潤圧(kPa)， P_{smaxs} ：近似式より算出した浸水膨潤圧実験での最大膨潤圧(kPa)

図-4 は式(1)により算出した膨潤圧比と乾燥密度の関係を示したものである．乾燥密度 1.40 Mg/m^3 では，膨潤圧比は約 40% となり，乾燥密度 1.80 Mg/m^3 では膨潤圧比は約 80% となる．以上から乾燥密度が高くなると膨潤圧比が大きくなることがわかる．これは以下のように考えられる．表-1 からベントナイト供試体の乾燥密度が高くなると，飽和度が高くなることがわかる．その結果，高密度のベントナイトでは供試体中のモンモリロナイトが低密度の供試体より湿潤しやすい環境となり，膨潤圧が大きくなったと考えられる．そのため，膨潤圧比が高密度になるほど，大きくなったと考えられる．

3. 結論

ベントナイト A における不飽和膨潤圧実験の結果および考察から以下の知見を得た．

- (1) 乾燥密度 1.61 Mg/m^3 以上に締固めたベントナイト供試体では高湿度環境化において 1MPa 以上の膨潤圧を発生することがわかった．
- (2) 浸水膨潤圧実験同様，不飽和膨潤圧実験でも乾燥密度が高くなると最大膨潤圧は大きくなる傾向がある．
- (3) 蒸留水を用いた不飽和膨潤圧実験では含水比は約 16%で定常となることがわかった．
- (4) 乾燥密度が高くなるほど，飽和度が高くなるため膨潤圧比は大きくなる．

参考文献 1)地盤工学会：不飽和地盤の挙動と評価編集委員会:不飽和地盤の挙動と評価，地盤工学会, pp.184-186, 2004. 2)後藤宣彦，小峯秀雄，安原一哉，村上哲：ベントナイトの不飽和膨潤圧実験と膨潤挙動メカニズム，第 42 回地盤工学研究発表会講演集, CD-ROM. 2007 3)地盤工学会：「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会：土質試験の方法と解説(第一回改訂版)，地盤工学会, pp.128-129, 2000. 4)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, 2005.03.

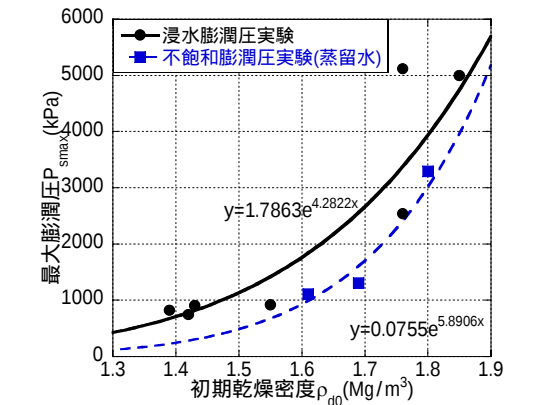


図-3 最大膨潤圧と乾燥密度

表-1 不飽和膨潤圧実験前後の含水比と飽和度

溶液	蒸留水		
乾燥密度(Mg/m^3)	1.61	1.69	1.80
実験前含水比(%)	6.87	6.87	6.87
実験後含水比(%)	16.17	15.90	15.67
実験後の飽和度(%)	61.99	68.22	80.05

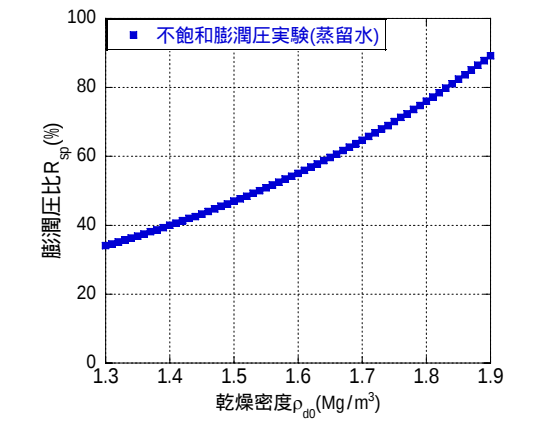


図-4 膨潤圧比と乾燥密度