

ベントナイト混合土の鉛直および水平方向への二方向膨潤変形特性の検討

大成建設 正会員 ○磯 さち恵, 正会員 八木 啓介, 正会員 白瀬 光泰
原子力環境整備促進・資金管理センター 非会員 川久保 政洋, 正会員 阿部 孝行, 非会員 菊池 広人

1. はじめに

地層処分では、埋め戻した坑道が卓越した地下水の流動経路にならないことが求められており、埋戻し材の候補として掘削土にベントナイトを混合した材料が挙げられている¹⁾。埋戻しの施工技術オプションの一つとなり得るブロック工法は、埋戻し材ブロックを地上の施設で製作できるため、他の工法に比べて一定の品質を確保することが容易であり、地下坑道での施工・品質管理を簡略化できると考えられる。一方で、埋戻し材ブロックと坑道壁面との隙間をベントナイトの膨潤で閉塞させることを想定して、著者らは埋戻し材ブロックに対する自己シール性の評価方法について検討を行っている²⁾。埋戻し材ブロックは、図 1 に示すように鉛直と水平方向の二方向に膨潤変形するため、この現象を実験的に把握する必要がある。本稿では、ベントナイト混合土が二方向に膨潤変形する場合の膨潤変形特性を把握することを目的として二方向膨潤変形試験を実施した。

2. 使用した材料および供試体作製方法

供試体には、Na 型ベントナイト（クニミネ工業製，クニゲル V1）および珪砂（三河珪砂 3 号および 5 号を乾燥質量比 1 : 1 で混合）を乾燥質量比で 15 : 85 に混合したベントナイト混合土を用いた．供試体は各辺 30 mm の立方体であり，目標有効粘土密度が 1.1 Mg/m^3 （乾燥密度 2.16 Mg/m^3 ）となるように静的荷重を加えて作製した．

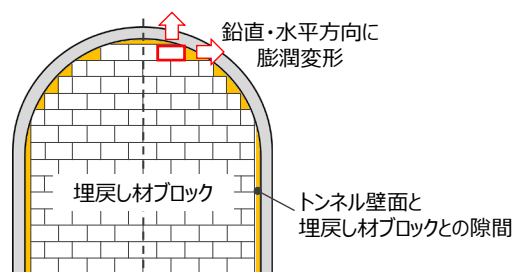


図 1 埋戻し材ブロック周りの隙間
および想定される膨潤変形方向

3. 二方向膨潤変形試験の概要

二方向膨潤変形試験装置の概略図を図 2 に示す。試験は、アクリル水槽内に試験セルを固定した後、鉛直方向（Z 方向）と水平方向（X 方向）から一定の載荷圧力として 9.8 kPa を供試体に作用させ、図 3 に示す給水箇所から蒸留水を供給する。Z および X 方向の 2 箇所に設置したピストンを介して蒸留水の浸潤に伴い膨潤変形する供試体の膨潤量を変位計（最大容量 25 mm、最小目盛 0.002 mm）で測定し、各変形方向に対する供試体各辺の初期の寸法で除して膨潤率を求めた。

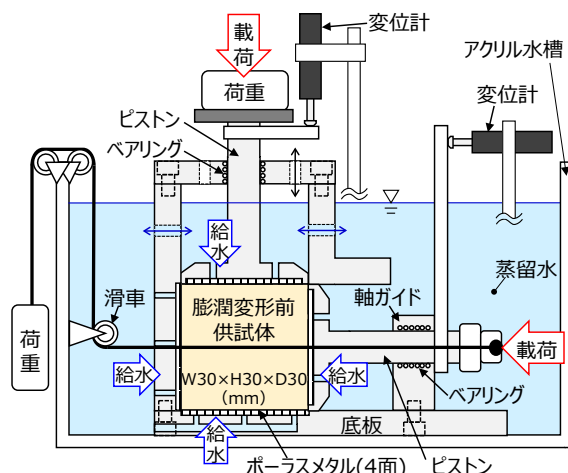


図 2 二方向膨潤変形試験装置の概略図

4. 二方向膨潤変形試験の結果

二方向膨潤変形試験による鉛直および水平方向への膨潤率の経時変化を図 4 に示す。膨潤率と経過時間の関係から双曲線近似により求めた極限值を最大膨潤率³⁾とし、鉛直方向および水平方向への最大膨潤率をそれぞれ ε_{Zmax_2D} および ε_{Xmax_2D} と示す。 ε_{Zmax_2D} は 39.3%、 ε_{Xmax_2D} は 22.7%であり、 $\varepsilon_{Xmax_2D} / \varepsilon_{Zmax_2D} = 0.58$ となった。最大膨潤率と初期有効粘土密度の関係を図 5 に示す。なお、図には膨潤特性理論評価式^{4), 5)}による推定値および同じ混合条件で作製した供試体の一次元膨潤変形

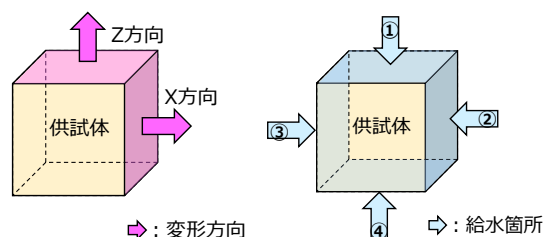


図 3 供試体の変形方向および給水箇所

キーワード 放射性廃棄物, ベントナイト混合土, 埋戻し材ブロック, 膨潤変形

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 原子力本部 T E L 03-5381-5315

試験により得られた最大膨潤率 (ε_{Zmax_1D})⁶⁾も併せて記載した. 一次元膨潤変形試験および二方向膨潤変形試験で同様の载荷圧力を設定した場合, 二方向膨潤変形試験の供試体は等方的に変形し ($\varepsilon_{Zmax_2D} = \varepsilon_{Xmax_2D}$), これの合計が一次元膨潤変形試験の最大膨潤率と等しくなる ($\varepsilon_{Zmax_1D} = \varepsilon_{Zmax_2D} + \varepsilon_{Xmax_2D}$) ことを想定していた²⁾. しかし, 試験結果は図 6 に示すように $\varepsilon_{Zmax_2D} / \varepsilon_{Zmax_1D} = 0.94$, ($\varepsilon_{Zmax_2D} + \varepsilon_{Xmax_2D}$) / $\varepsilon_{Zmax_1D} = 1.48$ となった. この原因について現時点では明確になっていないが, 既往の研究⁷⁾では一次元膨潤変形試験において鉛直方向の変位が一定になった状態でも水平方向の圧力が生じていることが確認されていることから, 図 7 に示すような現象が生じていると推測される. 以上のことや本試験結果を鑑みると, 一次元膨潤変形試験より求めた最大膨潤率を用いて二方向への膨潤量を推定する場合, 過小に計算される可能性があることが分かった.

5. まとめ

ベントナイト混合土の鉛直・水平方向への最大膨潤率を室内試験により取得し, その膨潤挙動について考察した. その結果, 二方向に膨潤変形したベントナイト混合土の最大膨潤率の合計は一次元膨潤変形試験による値よりも大きいことが確認された. ブロック工法においては, 二方向の膨潤率を考慮することで, より合理的な設計ができる可能性がある. 今後は, 二方向膨潤変形試験の更なるデータの取得を行い, 二方向の膨潤変形特性についての検討を進める予定である. 本報告は, 経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業「令和 4 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発事業【JPJ007597】(地層処分施設閉鎖技術確証試験)」の成果の一部である. また本試験を実施するうえで, 早稲田大学の小峯秀雄教授, 王海龍准教授, 伊藤大知講師にご助言をいただいた. ここに記して感謝の意を表す.

参考文献: 1) 原子力発電環境整備機構, 包括的技術報告書: わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—, NUMO-TR-20-03, 2021. 130, No. 8, pp.818-829. 2004. 2) 磯さち恵, 白瀬光泰, 川久保政洋, 八木啓介: 埋め戻し材ブロックにおける自己シール性評価方法の検討, 土木学会第 78 回年次学術講演会, 2022. 3) 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. 2022. 4) Komine, H., and Ogata, N.: New equations for swelling characteristics of bentonite-based buffer materials. Canadian Geotechnical Journal, 40, No. 2, pp.460-475. 2003. 5) Komine, H. and Ogata, N.: Predicting swelling characteristics of bentonites. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE). 6) 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター: 令和 3 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分にに関する技術開発事業 地層処分施設閉鎖技術確証事業 報告書, 2022. 7) 市川雄太, 小峯秀雄, 後藤茂, 関口高志, 北原慎也: 締固めた粒状ベントナイトの吸水量と膨潤変形量および側圧に関する考察, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, 2020.

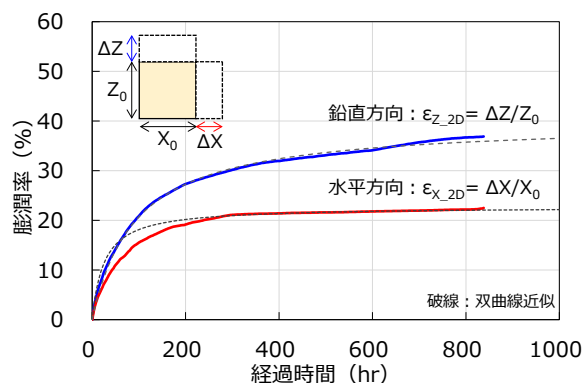


図 4 鉛直および水平方向の膨潤率と経過時間の関係

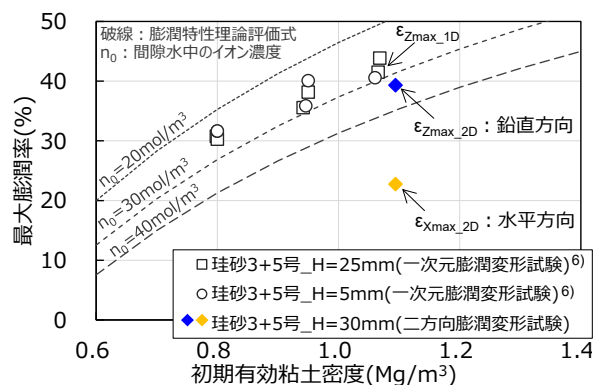


図 5 最大膨潤率と初期有効粘土密度の関係

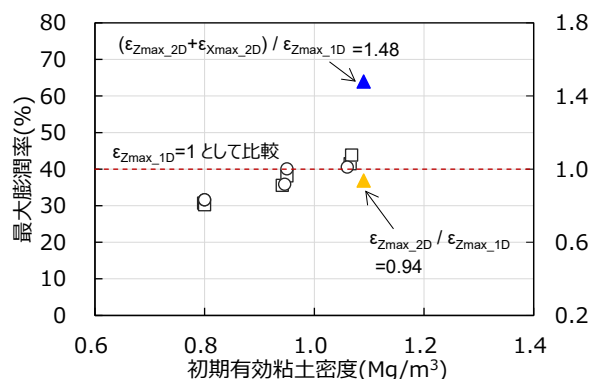


図 6 一次元膨潤変形試験の最大膨潤率に対する二方向膨潤変形試験結果の比較

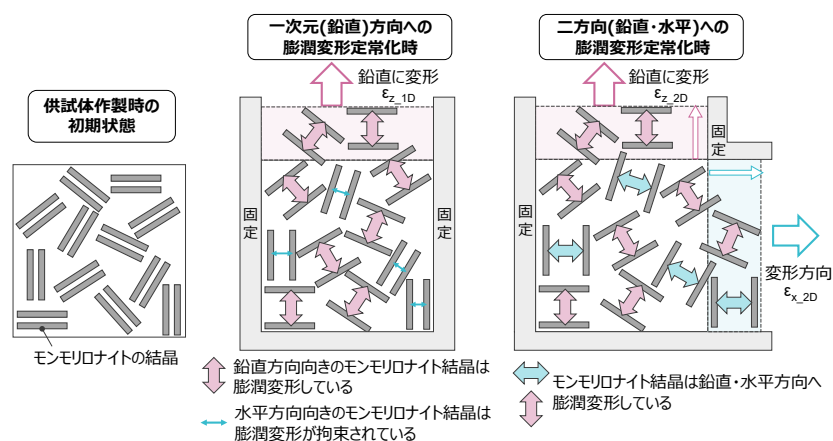


図 7 二方向膨潤変形における膨潤挙動のイメージ図