

地盤工学会論文賞（英文部門）を受賞して

Effects of specimen thickness on apparent swelling pressure evolution of compacted bentonite

（締め固めたベントナイトの膨潤圧の進行に及ぼす供試体厚さの影響）



王 海龍 (ワン ハイロン)

東京大学 大学院工学系研究科特任 准教授 (元：早稲田大学)
e-mail : h.wang@civil.t.u-tokyo.ac.jp

阮 坤林 (ルアン クンリン)

早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 助教

原崎 智 (はらさき さとる)

パシフィックコンサルタンツ(株) (元：早稲田大学)

小峯 秀雄 (こみね ひでお)

早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 教授

キーワード：高レベル放射性廃棄物，地層処分，ベントナイト，室内試験，膨潤圧，水分拡散

1. はじめに

この度は、Soils and Foundations Vol.62, No.1 (2022)に掲載された論文“Effects of specimen thickness on apparent swelling pressure evolution of compacted bentonite”に対して、名誉ある令和5年度地盤工学会論文賞(英文部門)を授与いただき、誠にありがとうございます。本論文の審査に関わられた方々、高く評価していただいた方々に厚く御礼申し上げます。

2. 受賞論文の紹介

ベントナイトは、膨潤性や低透水性に優れた粘土系材料であることから、高レベル放射性廃棄物の最終処分(地層処分)において、バリア材として廃棄物を数万年以上に隔離することが期待されています。ベントナイト系バリア(緩衝材)の合理化設計にあたっては、膨潤圧(膨潤変形が拘束されたときに発生する吸水膨潤圧力)は重要なパラメーターです。従来の研究では、膨潤圧を計測するための供試体厚さは10~20mmが主流であるため、超低透水性(透水係数 10^{-12} m/s 前後)の締め固めたベントナイト供試体を用いる実験は、数

週間~数か月以上の長期間を要していました。また、過去の実験ではデータのばらつきが顕著な例^{1,2)}もあり、データベースの構築や体系的な評価が困難でした。そのため、実験期間を短縮し、かつデータの再現性を向上する実験方法を本研究で実施しました。

研究では、まず図-1に示す簡易・安価な実験装置を開発し、複数台の同時稼働によりデータ取得の期間を短縮しました。そして、供試体の厚さをわずか2mmにし、図-2に示すように膨潤圧の収束時間を1日程度まで短縮しました。さらに、同じ装置で供試体の厚さが3, 4, 5および10mmのケースを実施し、収束した

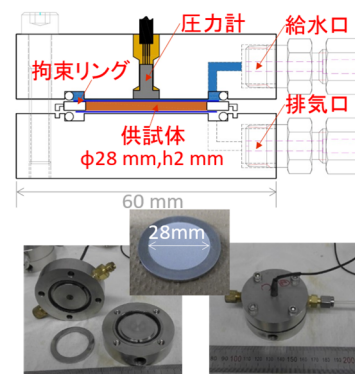


図-1 開発した膨潤圧実験装置

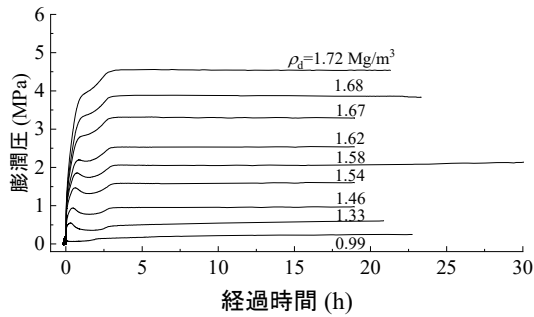


図-2 厚さ 2 mm の供試体の膨潤圧経時変化の例

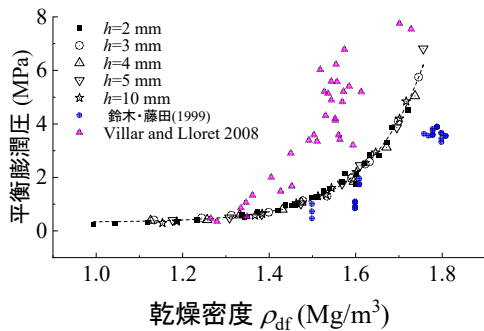


図-3 膨潤圧と乾燥密の関係および過去データの比較

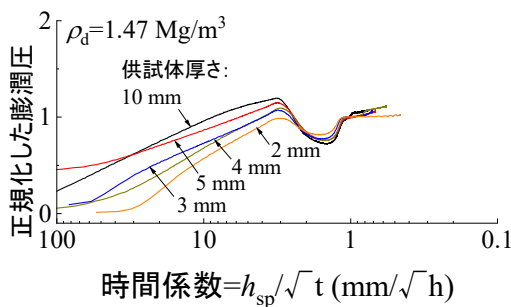


図-4 正規化した膨潤圧経時変化の例

平衡膨潤圧とベントナイト供試体の乾燥密度を図-3に整理しました。その結果、供試体の厚さによらずデータの再現性を得ることができました。また、供試体厚さによらず膨潤圧の経時挙動が類似することが認められ、不飽和土の水分拡散式を参考に、時間を正規化するパラメーターである時間係数を提案しました。図-4に示すように、供試体の厚さによらない膨潤圧の正規化経時変化を整理しました。

3. 研究開発の裏話

当初、供試体が薄くなることで膨潤変形の制御が困難になり、膨潤圧を過小に評価する可能性が高いと考え、このような開発を思いつきませんでした。偶然にも他の研究³⁾で実施した実験データから、2 mm の供試

体で膨潤圧を計測できる可能性を発見し、その後様々な試行錯誤を経て、今回の成果が得られました。

開発にあたり最も苦勞した点は、供試体への給水方法です。供試体の変形をできる限り抑えるため、0.1 mm 単位で装置部品の設計を調整し、0.1 μm 単位で部品表面を研磨、数種類の特殊な透水フィルターを選定しました。さらに、分解能の 0.1 mg の天秤と 1 μm マイクロメーターを使用し、供試体の密度管理や含水比計測についても工夫しました(実験方法の映像)。

供試体が薄いため、現状では粉体状ベントナイトのみを使用しており、土粒子の大きさの影響は検討段階です。また、元同僚の伊藤大知講師(早稲田大学)は透水試験に応用し、実験期間の飛躍的短縮と実験データの再現性を確認しています⁴⁾。さらに、別の研究⁵⁾では 10 台の装置を同時稼働することで、従来数年間を要する実験を 1 か月程度に短縮しており、データベースの構築や体系的な評価などに大きく貢献できるものと思います。

本研究は、著者の全員が早稲田大学に在職中または在学中に実施した研究成果です。本研究の実験装置の開発・試作には、早稲田大学工作実験室の方々(特に吉田隆様、井坂智明様、田中悠輔様)から多くのご協力をいただきました。そして、名古屋工業大学京川裕之先生(当時:東京大学)と東南大学(中国) Danxi Sun 様(当時:早稲田大学)からも多くの査読意見をいただきました。この場をお借りして改めて協力者の方々に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 鈴木英明・藤田朝雄: 緩衝材の膨潤特性, 核燃料リサイクル開発機構研究報告書, JNC TN8400 99-38, 1999.
- 2) Villar, M. V. and Lloret, A.: Influence of dry density and water content on the swelling of a compacted bentonite. Applied Clay Science 39, No. 1-2, 38-49, 2008.
- 3) Wang, H., Komine, H. and Gotoh, T.: A swelling pressure cell for X-ray diffraction test. Geotechnique, Vol. 72, No. 8, 675-686, 2022.
- 4) Ito, D., Wang, H. and Komine, H.: Hydraulic conductivity test system for compacted, 2-mm-thick bentonite specimens, Soils and Foundations, Vol. 62, No. 5, 101210, 2022.
- 5) Wang, H., Ito, D., Shirakawabe, T., Ruan, K. and Komine, H.: On swelling behaviors of a bentonite under different water contents. Geotechnique, Vol. 74, No. 1, 164-180, 2023.

(原稿受理 2024.6.10)