

地盤工学会論文賞（英文部門）を受賞して

Water and soil particle movements in unsaturated bentonite with constrained and free swelling boundaries

（拘束と自由膨潤境界におけるベントナイトの水と土粒子の移動）



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

山本 有雅（やまもと ゆうか）

応用地質（株）（元：早稲田大学）

京川 裕之（きょうかわ ひろゆき）

名古屋工業大学 大学院工学研究科 准教授

伊藤 大知（いとう だいち）

早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 講師

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，数値解析，物質の移動

1. はじめに

この度は、Soils and Foundations Vol.63, No.4 (2023)に掲載された論文“Water and soil particle movements in unsaturated bentonite with constrained and free swelling boundaries”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

高レベル放射性廃棄物の地層処分において、バリア材の一つであるベントナイト系緩衝材は、廃棄物を数万年以上の間、地上から隔離することが期待されています。しかしながら、この緩衝材を処分ピットに設置する際、他バリアとの間に隙間が発生してしまい（図-1）、それを充填するか否かが検討課題となります。隙間を充填する場合は、緩衝材の変形が拘束されているため、地下水吸水時における緩衝材の設計が相対的に容易になる可能性はあるが、充填材料の選定（砂系ま



図-1 地層処分の概念図

たはベントナイト系)や施工の品質保証などについて、検討する必要があります。充填しない場合は、まず緩衝材自体が吸水膨潤より隙間を埋めるため、複雑な施工・品質管理が避けられる一方、境界部の膨潤変形により緩衝材の不均質性が発生するという懸念もあります。また、充填しない（自由膨潤する）場合には、吸水に伴う緩衝材内部への水分の移動と土粒子の隙間へ

の移動が同時に進行し、これらの移動挙動に関する研究は非常に少ないです。そのため、本研究では膨潤変形拘束と自由膨潤におけるベントナイト中の水分と土粒子の移動を検討しました。

膨潤変形拘束の条件では、水分のみ移動するため、不飽和土のダルシー則を用いて、水分移動の挙動を表す水分拡散係数の算定方法の提案および水分拡散係数に及ぼす供試体乾燥密度の影響評価を行いました。

自由膨潤の条件では、図-2に示す装置を用いて、所定の時間、供試体を吸水膨潤させ、供試体のスライス片より、供試体内の含水比と乾燥密度分布、その時間変化を調べました(図-3)。前者は水分の移動、後者は土粒子の移動を示しますが、これらの移動を表す厳密な微分方程式はありませんでした。そこで Nakano et al. (1986) が提案する微分方程式を用いて、数値解析により水分と土粒子の移動を表現しました(図-4)。

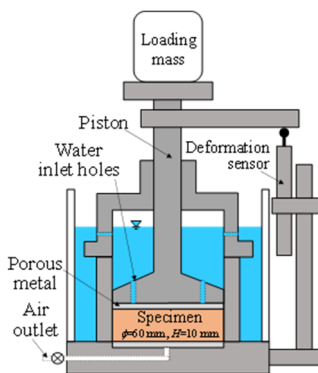


図-2 自由膨潤吸水試験装置

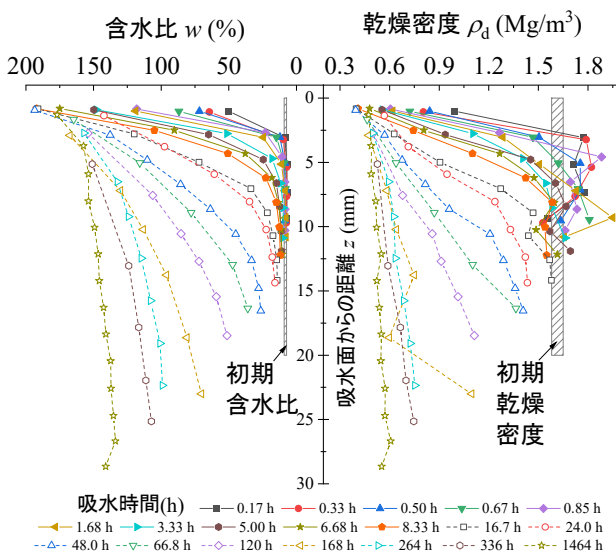


図-3 吸水に伴う含水比と乾燥密度分布の変化

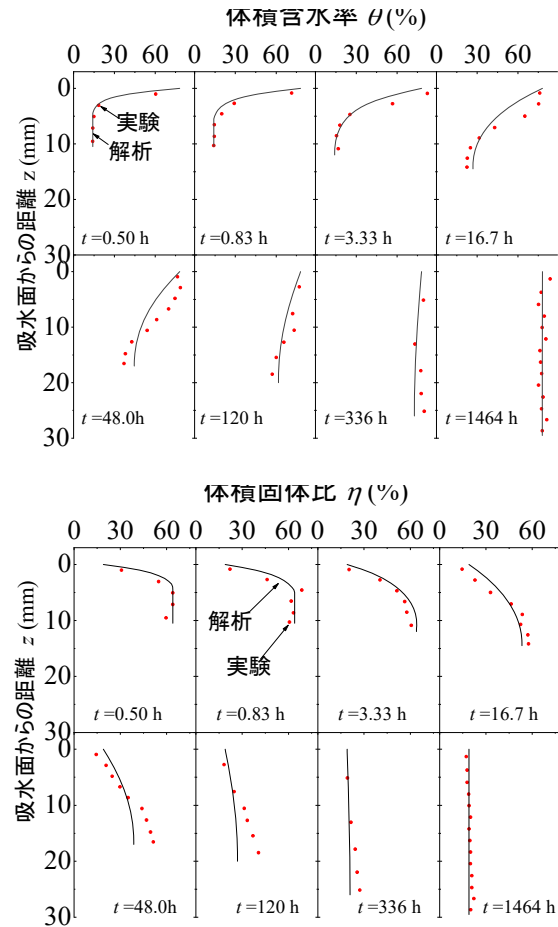


図-4 水分と土粒子の移動を表す体積含水率と体積固体比の実験と数値解析の結果比較

3. 研究の裏話

本研究の実験装置の試作において、早稲田大学工作実験室の方々(特に縄本龍彦様、千布安春様、田中悠輔様)から多くのご協力をいただきました。この場を借りて改めて協力者の方々に厚くお礼を申し上げます。自由膨潤条件の実験では、共著者の山本有雅氏が在学中に実施したものであり、薄いスライスの乾燥密度の計測は最も苦勞しました。同氏は、緩衝材の実際境界条件(隙間を埋めてから膨潤変形が拘束される)も実験しましたが、理論的な解析が非常に難しいため、最終的にこの内容を公表できませんでした。また、自由膨潤条件の解析では、水分と土粒子の連成移動解析ができず、関連研究をさらに行う余地があります。実験データの理論解釈や数値解析の内容について、共著者の京川先生とかなり議論しました。また、若手研究者を中心とするベントナイト勉強会のメンバーとの交流議論でも本研究の成果につながると思い、この場を

借りして、勉強会で活動しているメンバーや学生たちに厚く御礼申し上げます。研究内容公開の目的で、本研究の数値解析Matlabコードを補足資料として公開しています (<https://sites.google.com/view/bentonite-group/>)。

参考文献

- 1) Nakano, M., Amemiya, Y. and Fujii, K. : Saturated and unsaturated hydraulic conductivity of swelling clays. Soil Science, Vol. 141, No. 1, 1-6, 1986.

(原稿受理 2024.6.9)