乾燥密度の異なる粒子が混在する粒状ベントナイトの飽和・膨潤特性

茨城大学(大林組) 学生会員 ○森 拓雄 株式会社大林組 正会員 山本 修一 佐藤 伸 茨城大学 正会員 小峯 秀雄

1. はじめに

余裕深度処分における低透水層の材料として、難透水性、膨潤による自己修復機能、核種吸着機能を有するベントナイトは有力な候補である。低透水層の構築手法としてベントナイト原鉱石を破砕、粒度調整(粒径10mm以下)した材料を締め固める方法が検討されている¹⁾.しかし、山形産 Na 型ベントナイトの原鉱石の乾燥密度は約1.70Mg/m³²⁾で、細粒分を含む破砕材料を目標密度1.60Mg/m³に締め固める場合、図-1に示すように礫分は1.70Mg/m³のままで、細粒分は1.60Mg/m³未満で存在することが予想される。そこで、礫1個の周りに相対的に低い密度で締め固まった細粒分が存在する状態を模擬し、飽和・膨潤過程(再冠水)を実験的に再現して、乾燥密度が異なる粒子の混在する不均質状態が水理・力学特性に与える影響を調査した。

2. 模擬試験概要

模擬状況は二次元軸対称とし、内側の高乾燥密度部は直径 42mm, 高さ 20mm で、研究データが豊富な乾燥密度 ρ_d =1.60 Mg/m³, 飽和度 S_r =85.0%(含水比 ω =21.3%)になるようにNa型ベントナイト(クニゲル V1)を圧縮成型 ³⁾し、その外側に低乾燥密度部を外径 100mm、 ρ_d =1.20 Mg/m³, 高乾燥密度部とサクションが釣り合う S_r =56.5% (ω =25.9%)に

なるよう 4 層に分け突き固めた. 容器内平均乾燥密度は ρ_d =1.271 Mg/m^3 となる. 作製した供試体を図-2 に示す容器にセットし加圧・注水した. 試験容器は内側の高乾燥密度部と外側の低乾燥密度部に独立して給排水が可能である. 注水圧は図-3 に示すように自然水頭から約1週間かけて200kPa まで段階的に上昇させ, その後一定圧を保持した. 注水中は内側高密度部・外側低密度部の上下に設置した土圧計で供試体の膨潤圧を測定した. 注水終了後に容器を解体し, 供試体の含水比から乾燥密度分布を調査した.

3. 模擬試験結果

注水量および土圧計の変化がほぼ認められなくなるまで注水を継続し、44 日後に供試体を解体した.

3.1 飽和·膨潤過程

(1) **膨潤圧**: 図-3に膨潤圧の経時変化を示す. 内側高乾燥密度部は0.54MPaに,外側低乾燥密 度部は0.30MPaに収束する傾向が認められた. 44日後の内側高乾燥密度部の膨潤圧と直径 44.8mm(注水終了後の平均,後述)の円の面積の

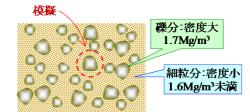


図-1 ベントナイト原鉱石破砕材を 締め固めたイメージ図(平均 1.6Mg/m³)

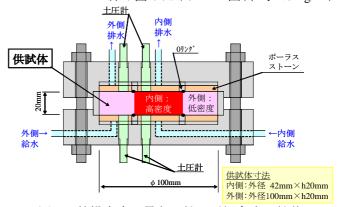
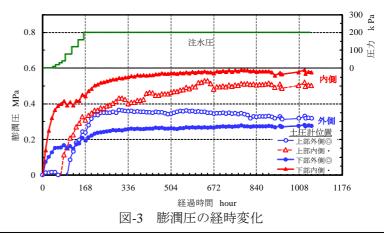


図-2 乾燥密度の異なる粒子が混在する粒状ベントナイトの飽和・膨潤試験断面図



キーワード ベントナイト, 膨潤, 不飽和, 透水係数, サクション 連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 TEL042-495-1052 積,外側低乾燥密度部の膨潤圧と外形100mm, 内径44.8mmのドーナツ型の面積の積の和を, 直径100mmの円の面積で除した平均膨潤圧は 0.35MPaとなり,核燃料サイクル開発機構 (JNC)の近似式(1)⁴⁾ に今回の初期平均乾燥密 度を入力して得られる膨潤圧σ=0.36MPaとほ ぼ一致する.

 $\sigma=\exp(3.9688 \rho_e^2-7.7171 \rho_e+2.3807)$ (1) ここに, ρ_e :有効粘土密度[$1.36 \le \rho_e \le 2.00$] (2)透水係数:注水量から求めた透水係数は内

(2) **透水係数**: 注水量から求めた透水係数は内側高乾燥密度部と外側低乾燥密度部で有意な 差は見られず 1.0×10⁻¹²m/s に収束した. 図-4

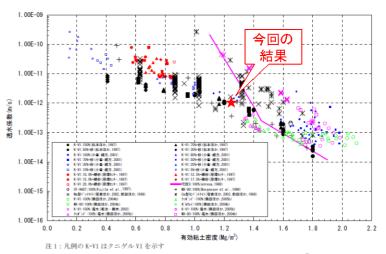


図-4 透水係数と有効粘土密度の関係 5)

の JNC らの研究 5)と今回の結果を比較すると両者は一致した.

3.2 飽和後供試体の状態量

注水終了後,供試体を容器から取り出し,上段・中段・下段に 5mm ずつにスライスした. なお供試体上端と下端 2.5mm は取り出し時の吸水を考慮し測定から除外した. 各段とも内側高乾燥密度部と外側低乾燥密度

部の境界が明確に観察でき、内側高乾燥密度部の外径は上段 44mm、中段 45mm、下段 45.5mm であり、注水開始時から約 3mm 側方に膨潤変形した。観察後、図-5 に示すように各段から幅 15mm、長さ 100mm の帯状に取り出し、その帯を 5mm ずつカットして各切片の含水比を測定した。試料が飽和していると仮定し乾燥密度を求めた結果を図-6 に示す。乾燥密度の平均値 ρ_{d-avg} を(2)式で求めた。

$$\rho_{d \cdot avg} = \frac{\sum ri \cdot \rho_{d \cdot ri}}{\sum ri}$$
 (2)

ri:中心からの距離, ρ_{d·ri}:距離にriおける乾燥密度.

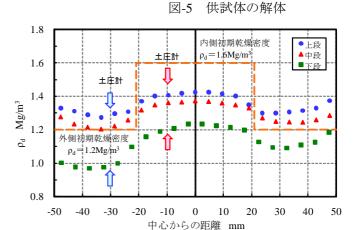


図-6 飽和後の乾燥密度分布

 $\rho_{d\text{-}avg}$ は 1.25 Mg/m³ で注水開始前(1.27 Mg/m³)とほぼ同等であったことから、供試体が飽和しているという仮定の妥当性が示された。乾燥密度分布を平面的に見ると高乾燥密度の内側部で膨潤変形により密度の低下が生じ、低乾燥密度の外側部で乾燥密度の増加が認められる。また鉛直方向では上段に行くほど乾燥密度が大きくなる傾向が認められる。これは注水開始直後から下段が膨潤し、上段が圧縮されたと考えられる。

4. まとめ

今回, 乾燥密度が異なる粒子の混在する粒状ベントナイトを飽和・膨潤させても密度は均一化しないものの, 膨潤圧や透水係数の平均的な値は既往のほぼ均一な供試体により得られた実験結果と一致することが明らか になった. 今後は, 初期乾燥密度や飽和度を変化させた試験などを実施し現象の再現性を検証する予定である.

参考文献

1)大沼,石橋,松村,寺田:地下空洞型処分施設性能確証試験における底部緩衝材施工確認試験の概要について,土木学会第63回年次学術講演会,CS05-01,2008

- 2)原子力環境整備促進・資金管理センター: 平成 16 年度遠隔操作技術高度化調査(その 2.4)報告書, 2005
- 3)小峯, 安原, 村上:人工海水環境下におけるベントナイトの一次元自己シール性, 土木学会論文集 C Vol.65No.2,389-400, 2009.5
- 4) 核燃料サイクル開発機構:TRU 廃棄物処分技術検討書・第2次TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ-, JNC-TY1400 2005-002,第3章, 2005

5)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の技術的信頼性—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.