

ベントナイト混合土の遮水性発現メカニズムに関する検討（その4） ～ 中性子イメージングによるベントナイト通水特性の可視化 ～

岩手大学大学院
前田建設工業株式会社

原子力環境整備促進・資金管理センター

正会員	○太田 征志	正会員	大河原 正文
正会員	平田 昌史	正会員	岩田 将英
フェロー会員	石黒 健	正会員	大塚 悠大
正会員	広中 良和		

1. はじめに

著者らは、これまでベントナイト混合土を締め固めることによって発揮される遮水性の発生メカニズムに焦点をあてた研究を進めており、締め固め時の含水比や飽和度の違いが締め固め後の飽和透水係数に及ぼす影響^{1),2)}や、中性子イメージングを用いた土粒子や水の挙動の可視化³⁾についての検討を実施している。本報告では、ベントナイト混合土に対して中性子イメージングを実施することで、ベントナイト特有の通水特性の可視化を検討した。

2. 中性子イメージング試験の概要

中性子イメージングとは、中性子が水素を多く含む水を透過しにくい性質を利用した可視化手法であり、ここでは青森県量子科学センターの NRT 装置（Neutron Radiography Testing）を用いて試験を行った。供試体の寸法は高さ 50mm、幅 50mm、奥行 6mm、中性子を照射する際の透過性や被ばく量を考慮して容器はアルミで製作しており、この供試体を図-1 に示すように4つ並べて試験を行った。NRT 装置から発射された中性子が供試体へと照射され、中性子を透過しにくい供試体内部の間隙水分布が、図-2 に示すような画像として得られる。ここでは、内部の間隙構造を見るため粒径の大きい珪砂 2 号を母材とし、ベントナイト（クニゲル V1）を混合した試料に対して中性子イメージングを実施した。なお、通水性についてはこれまでの検討結果³⁾を踏まえ、供試体を軽水（蒸留水）で飽和させた後に重水を通水することにより、供試体内部の重水浸透を可視化している。

3. ベントナイト混合量による通水性の違い

図-3 は、ベントナイト混合量（重量比で 0, 1, 2, 3, 5, 10%）を変えた供試体の中性子イメージング結果の比較である。比較のため、すべての供試体を初期含水比 10%、乾燥密度 1.25g/cm^3 で作製しており、材料特性を見るために Ca 型ベントナイト（クニボンド）とカオリンを 10% 混合した結果も併記した。図中の①不飽和状態の画像を見ると、ベントナイト 0%（珪砂 2 号単体）では間隙水が供試体下部に溜まっているのに対し、僅かでもベントナイトを混合した供試体では間隙水が供試体全体に均等に行き渡っており、ベントナイトの高い吸水性・保水性が確認できる。この供試体を軽水で飽和させ、重水を通水した。重水の通水量を判断するため、②軽水飽和画像と③重水通水画像の輝度差分を計算した画像が④差分画像であり、その輝度差分の分布をグラフ化したのが⑤ヒストグラムである。ちなみに、これらの画像分析には ImageJ を用いている。④差分画像を見ると、ベントナイト混合量の増加に伴い重水通水量が減少していることがわかる。また、⑤差分ヒストグラムからヒストグラム形状が変化していることや、図-4 に示す輝度差分平均値が混合量の増加に伴い減少していることも伺える。これは、重水を通水しても軽水飽和時にベントナイトが吸水した水は移動しない（膨潤したベントナイトが間隙を埋めて重水を通さない）ためだと考えられる。図中⑥は、試験終了後に撮影した供試体の写真であるが、ベントナイトが膨潤し間隙を埋める様子が伺え、このような考察が十分妥当であることを裏付けている。一方、図中に併記したクニボンドとカオリン 10% 混合供試体の結果を見ると、カオリンはベントナイト混合量 0%（珪砂 2 号単体）と同程度、クニボンドは混合量 2% と同時くらいの輝



図-1 供試体設置状況



図-2 中性子イメージング結果の一例

キーワード：中性子イメージング、透水性、締め固め、可視化

〒302-0021 茨城県取手市寺田 5270 前田建設工業(株) ICI 総合センター TEL 0297-85-6171 FAX 0297-85-6173

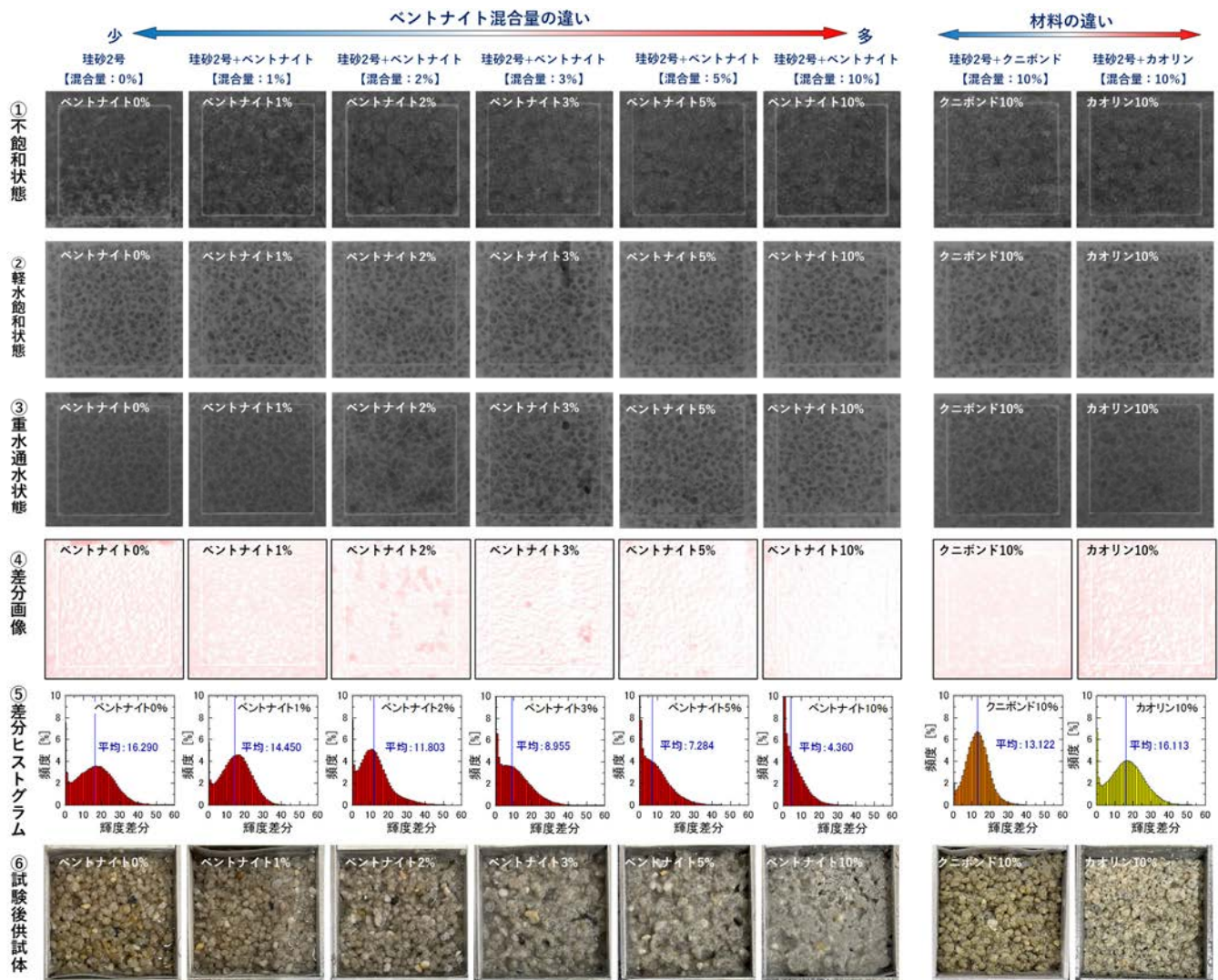


図-3 中性子イメージングによる結果の比較

度差分量（通水量）を示している。また、試験後供試体画像を見ても Na 型ベントナイト（クニゲル V1）のような吸水膨張は見られないことから、混合土の通水性には材料の膨潤性が大きく影響していると考えられる。図-5 は、各混合材料の ζ 電位の比較結果であるが、高い膨潤性を有する Na 型ベントナイト（クニゲル V1）がマイナス側となっており、他の材料との違いが明確となっている。但し、Ca 型ベントナイト（クニボンド）の値がプラス側に生じていることから、今後も検討が必要であると考えている。

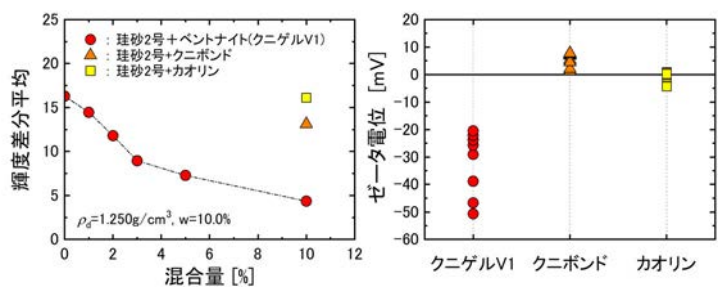


図-4 混合量～輝度差分平均関係

図-5 各試料の ζ 電位比較

4. おわりに

本報告では、ベントナイト特有の通水特性について中性子イメージングを用いて可視化を試みた。ベントナイト混合土の通水性は、ベントナイトの膨潤性に大きく影響を受けていると考えられ、これらの違いを中性子イメージングで可視化することが可能であることを確認できた。なお、本報告は経済産業省資源エネルギー庁からの委託による「令和 4 年度低レベル放射性廃棄物の処分に関する技術開発事業（JPJ010897）（地下空洞型処分調査技術高度化開発）」の成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 石黒ら：ベントナイト混合土の締固め後粒子間隙構造の可視化に関する検討，土木学会第 76 回年次学術講演会，2021。
- 2) 石黒ら：締固めたベントナイト混合の遮水性発現メカニズムに関する検討，土木学会第 77 回年次学術講演会，2022。
- 3) 平田ら：中性子イメージング実験装置による土の締固め～飽和浸透時挙動の可視化の試み，土木学会第 77 回年次学術講演会，2022。