

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

前田建設工業株式会社

正会員

○ 平田 昌史

フェロー会員

石黒 健

正会員

岩田 将英

岩手大学大学院

正会員

大河原 正文

正会員

太田 征志

原子力環境整備促進・資金管理センター

正会員

広中 良和

1. はじめに

著者らは、土を締め固めることによる遮水性発揮の発生メカニズムに焦点をあてた研究^{1),2)}を進めており、その端緒として締固め時の含水比や飽和度の違いが締固め後の飽和透水係数に影響を及ぼす事象を調べている。既往の研究では、初期含水比の違いが締固め時の土粒子間メニスカスやこれによる粗粒土周辺への細粒土の凝集・分散といった間隙構造に影響を及ぼし、飽和通水後にもこれが残存するなどの説明がなされてきた。本研究では、締固め時、飽和時、水の浸透・通水時の各プロセスでの土粒子や水の挙動を連続的に説明することを目的として、その可視化を試みている。本報告では、中性子イメージング実験装置を用いた試みについて、主に実験装置と実験手法、代表的な可視化結果について述べる。

2. 中性子イメージング実験装置及び実験方法の概要

中性子イメージングは、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装置で、物質中の水を観察することに優れているとされており、医療分野では毛細血管の観察などにも用いられている。このような特性から、供試体内部の間隙中を流れる水を、中性子イメージング試験装置により可視化することが可能であると考えられる。図-1は、実験で使用した青森県量子科学センターのNRT装置（Neutron Radiography Testing）である。この装置から発射された中性子は、計測ラインを通して別室に設置した供試体へと照射され、中性子を透過しにくい土質供試体内部の間隙水分分布がコントラストとして現れる。土質供試体の寸法は、高さ5cm、幅5cm、奥行0.6cmであり、中性子を照射する際の透過性や被ばく量を考慮し、容器はアルミで製作している。この供試体を図-2に示すように4つ並べて試験を実施した。

3. 締固め土のメニスカス形成と土粒子間隙構造の撮影例

まず、中性子イメージングによる土粒子間隙構造を撮影した例を示す。試料としては、粒径の大きいガラス球（φ4mmとφ2mmの混合）と珪砂2号を用いている。図-3は軽水（蒸留水）で飽和させた状態の画像である。ガラス球及び珪砂の粒子形状・位置がコントラストとして明確に表れており、間隙に軽水が充填されている様子もわかる。図-4は軽水を排水して不飽和状態にした画像である。軽水が排水されたことにより、間隙部分のコントラストが変化している。また、排水後も粒子間のメニスカス水は残留しており、これが中性子イメージング画像でも確認できる。

4. 飽和供試体に対する重水浸透時の撮影例

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て、供試体を軽水（蒸留水）で飽和させたのちに重水を透水することにより、供試体内部の重水流れの可視化を試みた。ここでは、珪砂1号と珪砂3号を重量比9:1で混合した試料を用いた撮影例を示す。この珪砂混合試料の含水比を2, 5, 7.5, 10%に調整し、供試体箱に乾燥密度1.25g/cm³となるよう5層



図-1 使用した NRT 装置(青森県量子科学センター)

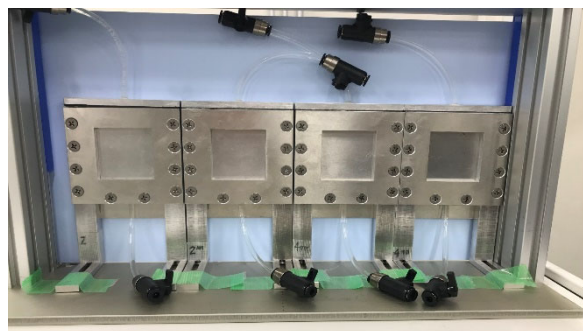
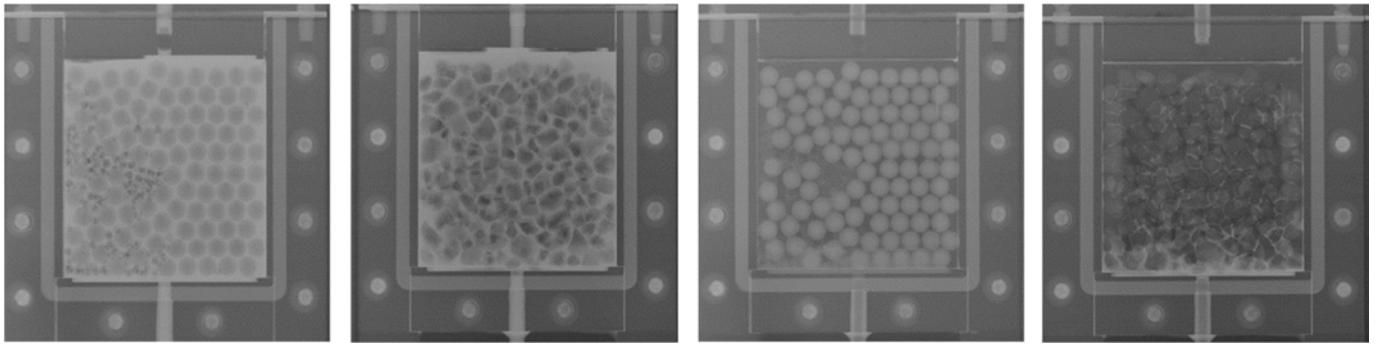


図-2 供試体の設置状況

キーワード：中性子イメージング、透水性、締固め、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



(a) ガラス球

(b) 珪砂 2号

図-3 軽水飽和状態の中性子イメージング画像

(a) ガラス球

(b) 珪砂 2号

図-4 不飽和状態の中性子イメージング画像

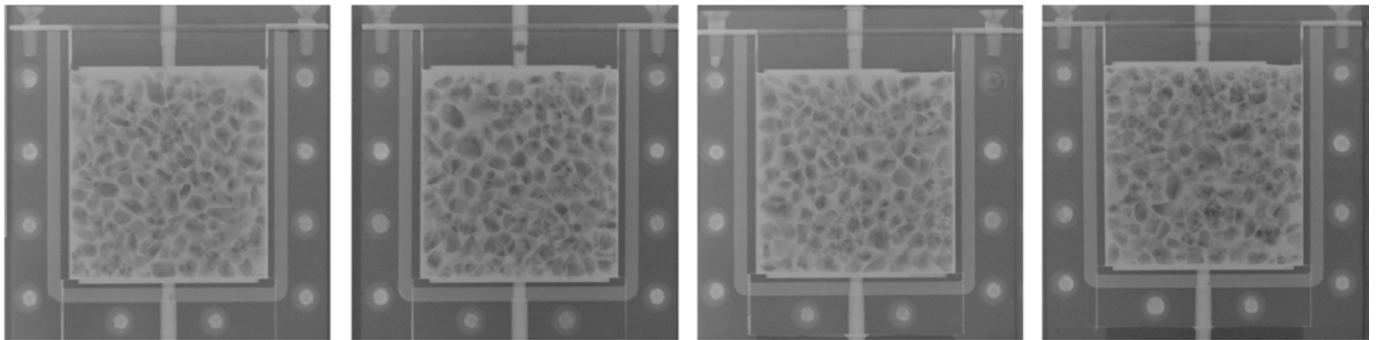
(a) $w=2.0\%$ (b) $w=5.0\%$ (c) $w=7.5\%$ (d) $w=10.0\%$

図-5 軽水飽和状態の中性子イメージング画像 (珪砂 1号+珪砂 3号, 混合比 9:1)

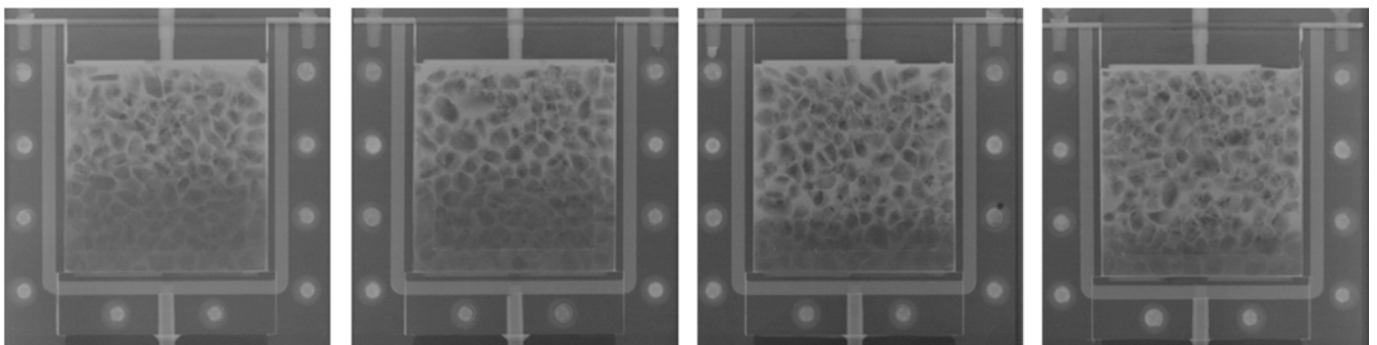
(a) $w=2.0\%$ (b) $w=5.0\%$ (c) $w=7.5\%$ (d) $w=10.0\%$

図-6 重水通水後の中性子イメージング画像 (珪砂 1号+珪砂 3号, 混合比 9:1)

に分けて詰め込んだ。これらの供試体に対して軽水（蒸留水）で飽和させた後、簡易透水装置を用いて重水を 25 秒間通水した。図-5 は軽水飽和状態の中性子イメージング画像，図-6 は重水を供試体下から 25 秒通水した中性子イメージング画像である。これらの図を比較すると、重水の通水状況が画像のコントラストとして明確に表れていることが確認できる。また、供試体作成時の含水比が高くなると重水の水位が低くなっており、透水性が低くなっていることがわかる。

5. おわりに

本報告では、締固め土における水の挙動を連続的に説明することを目的として、中性子イメージング実験装置を用いた可視化の試みについて紹介した。中性子イメージングは、粒径の大きなものであれば土粒子間隙構造を捉えられることが確認できた。今後は、ベントナイト混合土への適用を進める予定である。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 3 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) 石黒健, 平田昌史, 久慈雅栄, 岩田将英, 太田征志, 大河原正文, 広中良和: 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) 石黒健, 平田昌史, 岩田将英, 太田征志, 大河原正文, 広中良和: 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. (投稿中)