

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2） ～ 実体顕微鏡画像と画像解析による定量的評価 ～

前田建設工業株式会社

正会員

○野田 兼司

正会員

平田 昌史

フェロー会員

石黒 健

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、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や土粒子や水の挙動の可視化等について検討している¹⁾²⁾。本報告では、先に報告³⁾のあった締め固め～透水試験を実施した供試体に対して実体顕微鏡による観察を行うとともに、顕微鏡画像に対して解析を行い遮水性に関する定量的な評価を試みた事例について述べる。

2. 締め固め～透水試験の供試体顕微鏡画像

図-1 は、締め固め～透水試験に使用した母材（購入砂）とベントナイト（クニゲル V1）の粒度分布である。今回対象としたのは、母材である砂とベントナイトを 9:1 で混合した試料（ベントナイト混合土 10%）であり、図-2 にはこの混合土の締め固め試験結果と締め固め～透水試験（JGS0312）を実施した位置（図中の No1～No12 の赤プロット）を示している。これら 12 個の供試体に対して、透水試験終了後に上端表面を実体顕微鏡にて観察・撮影を行った。図-3 は、実体顕微鏡により撮影した各供試体画像の一例である。図中の同じ乾燥密度 1.680g/cm^3 である No4～No9 の供試体画像を比較すると、飽和度の低い No4 や No5 では比較的大きな空隙が見られるのに対して、飽和度の高い No8 や No9 では半透明ゲル状のベントナイトが空隙を埋めており大きな空隙も見られない。このように、乾燥密度（間隙比）が同じであるにもかかわらず間隙構造には違いがあり、この影響で透水係数にも違いが生じていると考えられる。

3. 画像解析による遮水性の定量的評価

顕微鏡画像で観察された間隙構造の違いは、間隙の大きさや形状、数やばらつきとして現れると考えられる。そこで、顕微鏡画像に対して ImageJ を用いた画像解析を実施し、間隙の大きさをヒストグラムで表すことで間隙構造の違いの定量的な評価を試みた。画像解析では、図-3 に示した元画像をグレースケールに変換した後、閾値 70 にて二値化処理を実施、黒い部分を間隙相当であると設定し面積分布のヒストグラムを作成した。図-4 に画像解析の手順を示す。図-5 は、

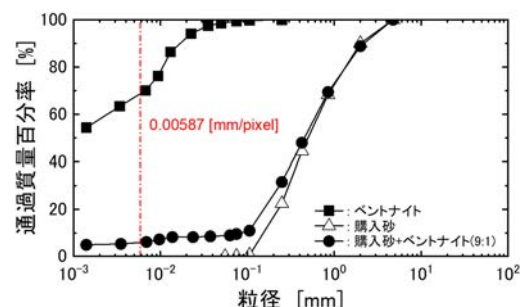


図-1 粒径加積曲線

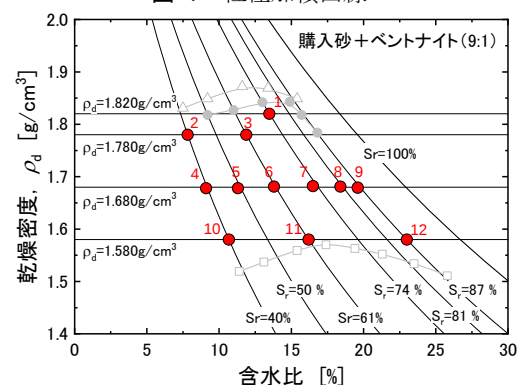


図-2 締め固め試験結果

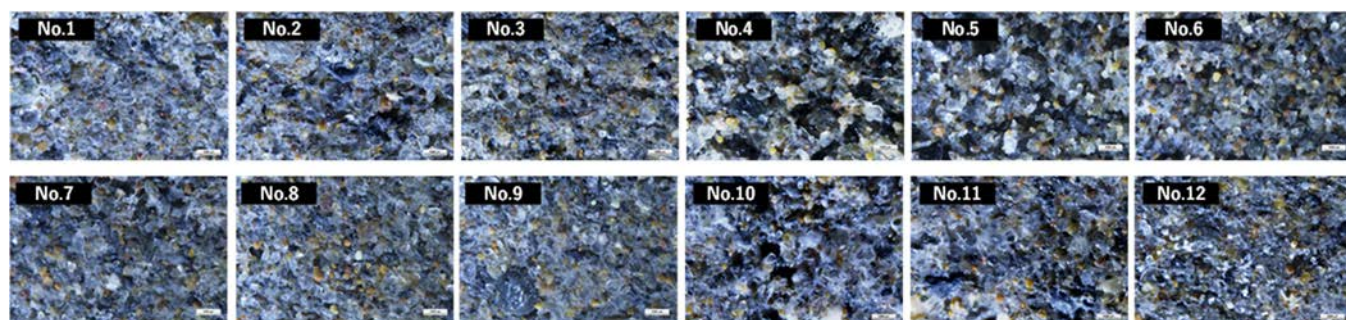


図-3 実体顕微鏡によるベントナイト混合土供試体画像

キーワード：ベントナイト混合土，実体顕微鏡，締め固め，透水係数，画像解析

〒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

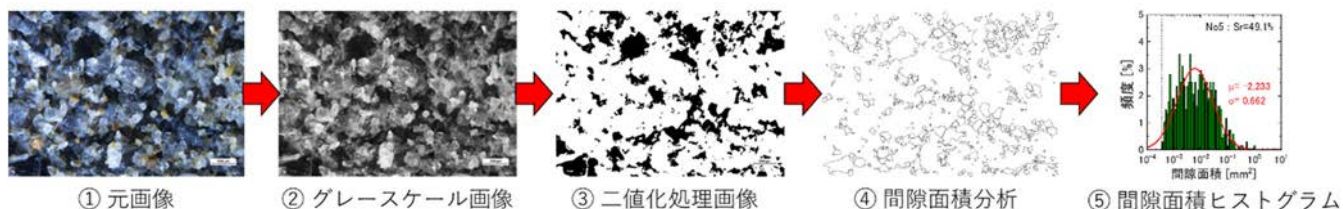


図-4 画像解析の手順（間隙面積ヒストグラムの作成手順）

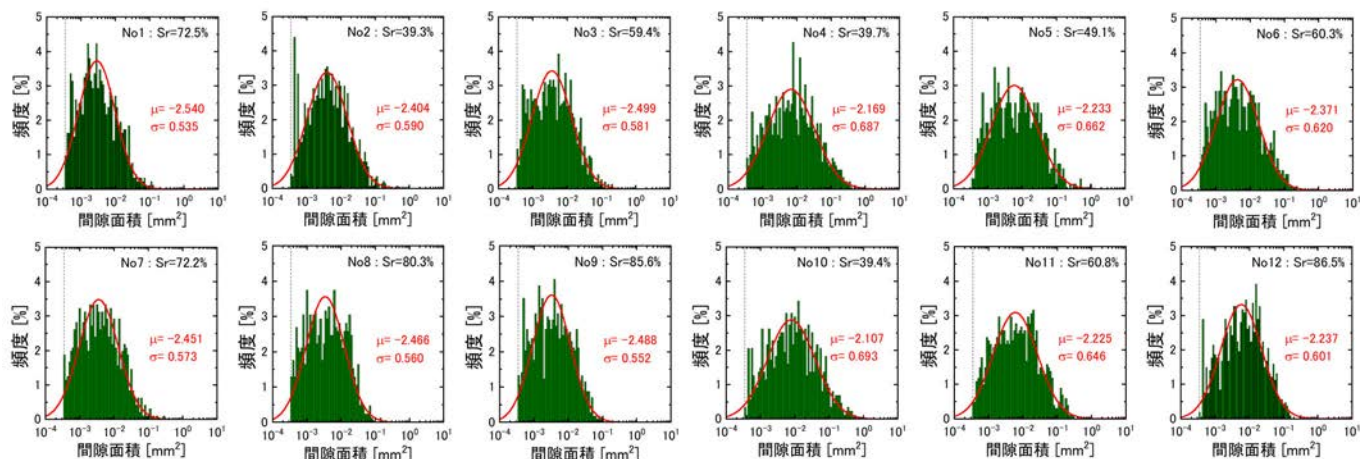


図-5 画像解析から求めた各顕微鏡画像の間隙面積のヒストグラム

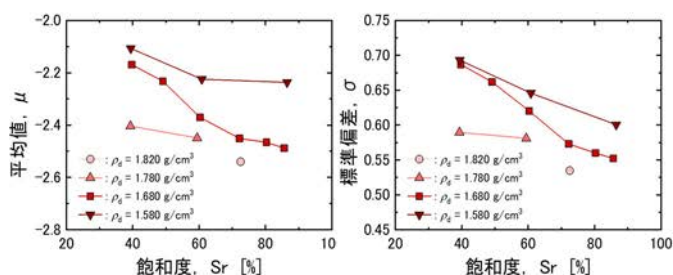


図-6 飽和度と平均値・標準偏差の関係

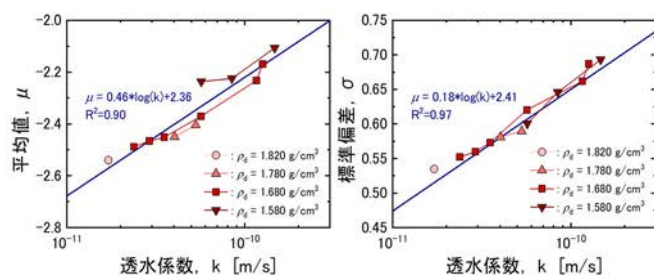


図-7 透水係数と平均値・標準偏差の関係

画像解析によって取得した各顕微鏡画像の間隙面積ヒストグラムであり、このヒストグラムから平均値 μ と標準偏差 σ を求め締固め時の飽和度と比較したのが図-6である。締固め時の飽和度が高くなると、平均値及び標準偏差は減少しており、締固め～透水試験から得られた飽和度と透水係数の関係³⁾と酷似した傾向を示している。図-7は、透水係数と平均値・標準偏差のグラフであるが、透水係数と平均値、標準偏差の間には高い相関性が見られる。なお、図-8はベントナイト（クニゲル V1）の DTA 試験結果である。不飽和の場合、TDA は締固め含水比に伴い変化が大きくなっているが、その後飽和させた場合の TDA は同程度となり化学的な差はない。このため、透水係数の差はベントナイトの化学的な特性の影響ではなく、顕微鏡で確認したような間隙構造の違いによる物理的な特性が支配的であると考えられる。

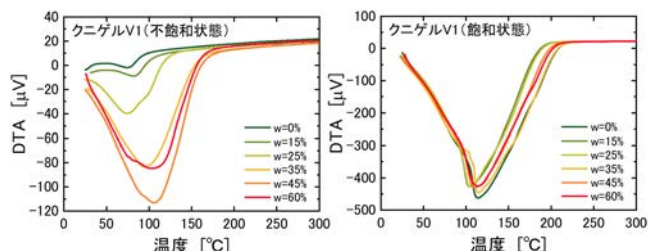


図-8 クニゲル V1 の DTA 試験結果（不飽和・飽和）

4. おわりに

本報告では、締固め～透水試験を実施した供試体に対して実体顕微鏡による観察を行った。締固め時の含水比による間隙構造の差が透水係数に影響を与えていると考えられ、この間隙構造の差を画像解析により定量的に評価することができた。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) 石黒ら: 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 1）, 土木学会第 78 回年次学術講演会, 2023.（投稿中）