# 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

前田建設工業 7ェロー会員 〇石黒 健 正会員 平田昌史 久慈雅栄 岩田将英 岩手大学大学院 正会員 大河原正文 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

締固め土の透水係数が最適含水比のやや湿潤側で最小値を示す 事は、実験事実として良く知られている.Tatsuoka<sup>1)</sup>,Watabe et.al<sup>2)</sup>,Alonso et.al<sup>3)</sup>らは,その理由の一つに締固め時の含水比 や飽和度の違いによる締固め後の土の粒子間隙構造の違いを挙げ, その定量化や可視化を試みている.著者らは、ベントナイト混合 土を対象として同様の検討を進めており,Sakita et.al<sup>4)</sup>による 示唆等も参照しながら,その締固め後粒子間隙構造の可視化を試 行している.本文は,その最初の足掛かりとして実施した実体顕微 鏡及び SEM/EDS による粒子間隙構造の観察と元素分析結果を報告する.

#### 2.実験に用いた供試体及び実験方法

実験に用いた供試体の粒度特性を図1に示す.図中には母材で ある購入砂,Na型ベントナイト(クニゲルV1),これらを用いて 混合比9:1で作製したベントナイト混合土の粒度曲線を示した. この混合土を室内で締固めた(1Ec)後,透水試験に供した.透水 試験は低透水性材料を対象とするJGS0312法を用いた.図2に室 内締固め-透水試験結果を示す.図より,ベントナイト混合土にお いても最適含水比の湿潤側で最小透水係数の発現が見られており, 乾燥側では湿潤側に比べて1オーダー程度大きな透水係数が得ら れている事が分かる.この透水係数の違いと締固め後の粒子間隙 構造の関係を調べるために,図中にD(乾燥側)、0(最適)、W(湿 潤側)と記した3種類の供試体を準備した(粒子間隙構造の違い





図2 室内締固め一透水試験結果

の影響を抽出するために乾燥密度はいづれも 1.80g/cm<sup>3</sup>に統一).一面せん断箱の中で所定の乾燥密度になるように 静的に圧縮して作製した直径 60 mm×高さ 20 mm供試体の上面を実体顕微鏡 (NIKON 製実体顕微鏡 SMZ18) により撮像 し複数の写真を取得した.また、ベントナイトの母材への付着状況を可視化,確認する手法を模索する目的で,別途 SEM/EDS (日本電子製 JSM-6010PLUS/LA) による観察と元素分析を実施した.

## 3.実験結果および考察

実体顕微鏡を用いたベントナイト混合土の締固め後粒子間隙構造の撮像例を図 3 に示す. 図中には元図およびグレースケール化の結果を併記した. 乾燥側で締固められた D ではベントナイト粒子が部分的に吸水膨張(粉体状も混在)した状態で母材の周辺や粒子接点に付着して母材同士が凝集する構造が見られ, 比較的大きな間隙(マクロポア) も観察される. 最適含水比付近の 0 ではベントナイトがさらに吸水膨張してゲル状となり母材と間隙を覆い始める. 湿潤側の W ではこれがさらに顕著となり, 吸水膨張したベントナイトが相互に膜状に連続し母材の間隙を被覆していく様が見て取れる. このような粒子間隙構造の変化が図2に示す透水係数の違いをもたらしている可能性がある. キーワード:ベントナイト混合土 最小透水係数 粒子間隙構造 実体顕微鏡 SEM/EDS 連絡先: 〒302-0021 茨城県取手市寺田 5270 前田建設工業 ICI 総合セッチー TEL0297-85-6171



図3 実体顕微鏡による3供試体の粒子間隙構造の観察例

小峯ら<sup>5</sup>は,温度と水蒸気圧を制御できる特殊な走査型 電子顕微鏡によりベントナイト混合土の吸水膨張に伴う 粒子間隙構造の変化を連続的に観察しているが,実体顕 微鏡のようなより簡易な手法を用い,透水試験時と同一 サイズレベルの供試体で粒子間隙構造を多数撮像し,遮 水性との関係を定量的に調べていく事が可能ではないか と考える.図3に写り込んでいるゲル状の物質が吸水膨



図4 付着ベントナイトの同定例(CaCl2吸着処理)

張したベントナイトであるかどうかを可視化,同定する目的で,別途 EDS 分析を実施した.図4は,イオン吸着処理を 行ったベントナイト混合土の SEM 画像と EDS 元素マッピングの結果(同定が最も上手くいった CaCl₂吸着のケース) を示しており,母材とクニゲル V1の間で最も濃度差が出る吸着元素として塩素が有効である事を確認した.

## 4. おわりに

ベントナイト混合土の土粒子間隙構造の可視化のための基礎的な検討結果を報告した.今後,以下の①~④に示 す検討を試みる予定である.①締固め後の画像ではなく,透水試験と同じ通水飽和後(再膨潤後)での撮像.②①の供 試体に対してベントナイトの付着,被膜状態を直接確認(図4).③②の結果から吸水膨張したベントナイトの色度 や明度を同定し①に対する画像解析を実施.④これにより透水試験時(ベントナイト再膨潤後)に通水可能なマクロ ポアの大きさやその分布(有効間隙径分布),ベントナイトの被覆状況等を定量的に評価. 最適含水比の湿潤側に おける最小透水係数の発現現象は広く一般の締固め土で確認されている.本研究はベントナイト混合土を最終的な 研究対象とするが,メカニズムを汎用的に解明するために砂や礫単体→非塑性細粒の混合→高塑性細粒土の混合→ 膨潤性ベントナイトの混合のように,材料特性が次第に変化する際の挙動の変化を順を追って追跡したいと考えて いる.本文で報告した手法は,比較的簡易な装置で土粒子間隙構造を可視化,定量化する手法として、この一連の検討 の中で共通的に用いていく予定である.

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2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(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) F. Tatsuoka: Compaction Characteristics and Physical Properties of Compacted Soils Controlled by the Degree of Saturation, Deformation Characteristics of Geomaterials, IOS Press, 2015. 2) Watabe et. al: Influence of compaction conditions on the pore-size distribution and saturated hydraulic conductivity of a gracial till, Canadian Geotech J37:1184-1194(2000) 3) Alonso et. al: Compactied Soil Behaviour: initial state, structure and constitutive equation, Geotechniqe, 63, No. 6, 4630478, 2013. 4) Sakita te. al: Influence of bentonite type and producing method on hydraulic conductivity of sand-bentonite mixuture, CEGT2020. 5) 小峯秀雄・緒方信英:高レベ ル放射性廃棄物処分のための緩衝材・埋戻し材の透水特性,電力中央研究所報告 U00041、平成13 年 3 月.