

締固めた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

前田建設工業株式会社

フェロー会員

○ 石黒 健

正会員

岩田 将英

正会員

平田 昌史

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

前報¹⁾に引き続き、締固めたベントナイト混合土の透水係数が最適含水比のやや湿潤側で発現する現象とそのメカニズムを検討した。本検討では、飽和度管理の考え方に基づく遮水性評価の枠組み（龍岡²⁾）を新たに導入すると共に、長期透水試験完了後の供試体を用いた実体顕微鏡による構造観察を実施し、最小透水係数発現現象の定量的評価とメカニズムの考察を試みた。

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（母材である購入砂，Na型ベントナイト（クニゲルV1），混合比9:1及び7:3で作製したベントナイト混合土）の粒度特性を図-1に示す。2種類の混合土を室内で締固め（1Ec），透水係数を求めた結果を図-2に示す（低透水性材料を対象とするJGS0312法による）。図中に矢印で示したように、ベントナイト混合土においても最適含水比のやや湿潤側で最小透水係数が発現している。何故、乾燥密度が最大となる最適含水比で透水係数が最小とならないのか。龍岡²⁾が提唱する飽和度管理の考え方では、締固め土の透水係数を締固め時の乾燥密度と飽和度の関数として表現する。乾燥密度は最適含水比で最大となるが、やや湿潤側では乾燥密度の低下と同時に締固め時の飽和度が增大するため、締固め時の飽和度の増加による透水係数の減少が乾燥密度の低下による透水係数の増加を上回る結果、やや湿潤側で透水係数が最小となる。これが飽和度管理の考え方に基づく説明となる。ベントナイト混合土でもこれが成立するか否かを確認するために、図-3に示す一連の実験を実施した。締固め時の乾燥密度一定で飽和度を変えた供試体（4→6→9），及び飽和度を固定して乾燥密度を変えた一連の供試体（10→4→2）を作製し、長期透水試験（JGS0312）に供した。図-2及び図-3中に丸で囲った6つの供試体（①,③,⑤及び⑤,7,9）については、約4ヶ月の長期透水試験完了後の供試体を取り外し、実体顕微鏡（NIKON製実体顕微鏡SMZ18）による粒子表面構造の観察に供した。なお図-3の実験は、今回9:1混合土に対してのみ実施した（7:3混合土の①③⑤は乾燥密度の値が近いことから、混合比の違いの影響を検討するための参照データとして採用した）。

3. 実験結果及び考察

図-3中に示した各締固め供試体の透水係数 k を実測し、 $\log k$ の値を締固め時の乾燥密度と飽和度に対して整理した結果が図-4である。従来の知見と同じく、締固め時の乾燥密度が大きく、また締固め時の飽和度が大きいほど透水係数は小となる。図-4の全データを用いて、試みに $\log k$ を目的変数、締固め時乾燥密度 ρ_d と飽和度 S_r を説明変数とした重回帰分析を実施した。図-5には図-3中に示した9:1混合土の締固め曲線（1Ec,4.5Ec）を上半分に、下半分には図中の回帰式に上半分の締固め曲線上の各締固め密度と飽和

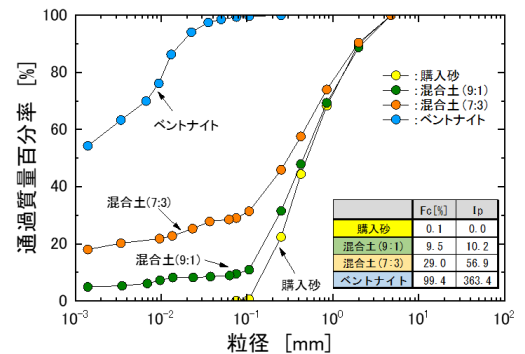


図-1 実験に用いた供試体の粒度特性

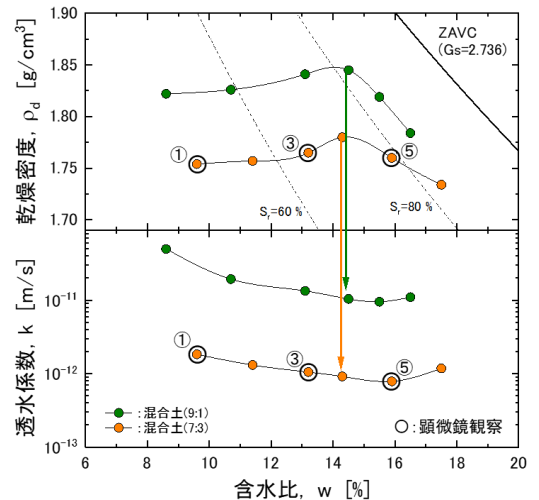


図-2 室内締固め～透水試験結果（1Ec 締固め）

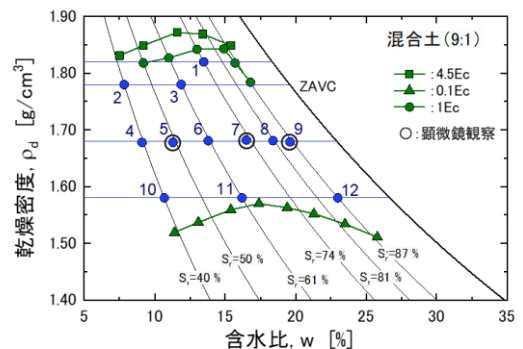


図-3 締固め時の乾燥密度一定・飽和度一定試験

キーワード：ベントナイト混合土，締固め，最小透水係数，飽和度管理，粒子間隙構造，実体顕微鏡

〒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

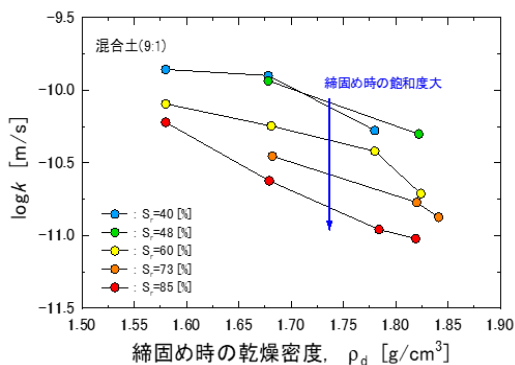


図-4(a) 締固め時の乾燥密度と透水係数 (片対数) の関係

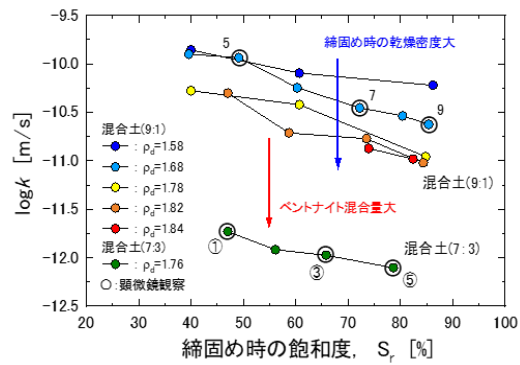


図-4(b) 締固め時の飽和度と透水係数 (片対数) の関係

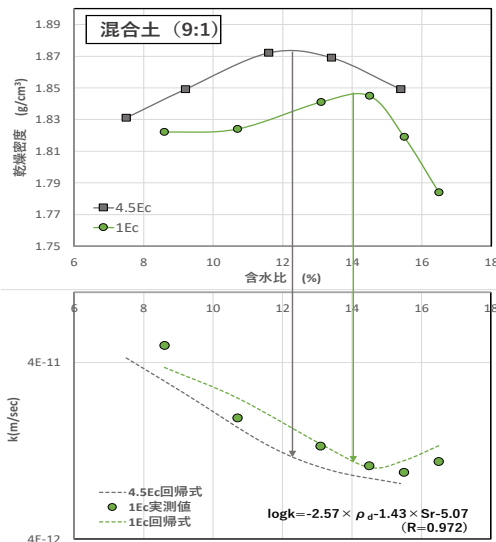


図-5 回帰式を用いた締固め土の透水係数の推定

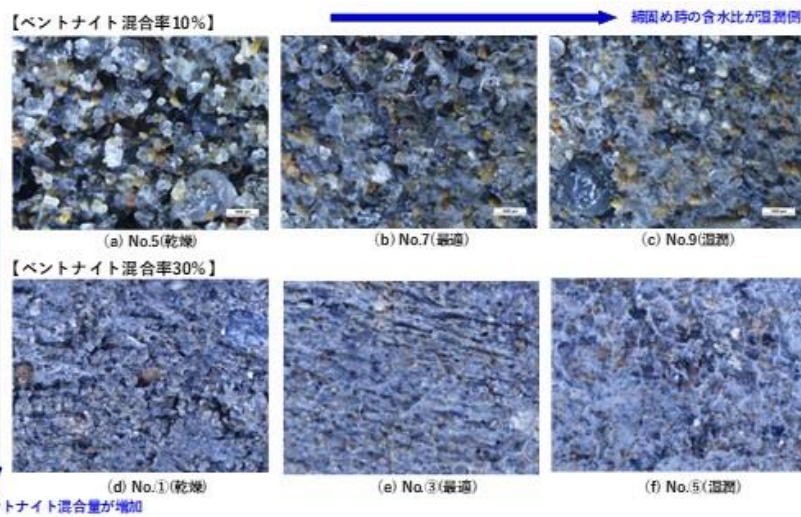


写真-1 ベントナイト混合土 (9:1 及び 7:3) の長期透水試験完了後の顕微鏡写真

度を代入し求めた透水係数の予測値を実測値と共に記した。1Ec 締固め条件では、破線の予測値もまた最適含水比のやや湿潤側で最小値を取っており、飽和度管理の枠組みを援用した説明が可能と言える。図中の 4.5Ec は予測値のみ示したが、この場合、最適含水比の湿潤側に向かうほど透水係数は一方向に低下し、工藤ら³⁾や吉崎ら⁴⁾による既往実験結果と整合する。土の透水係数は通水可能な間隙量に依存するため、図-4(a)の結果は自明である。一方、図-4(b)の締固め時の飽和度の要因については理由が判然とせず、そのメカニズムの解明が必要と考える。そこで、前述の 6 点の供試体 (JGS0312 試験により約 4 ヶ月間の飽和～長期通水過程を経たもの) の実体顕微鏡写真を撮影した (倍率 17 倍)。写真-1 にこれらを比較して示すが、締固め時の含水比 (飽和度) とベントナイト混合量の違いの影響が明瞭に確認できる。9:1 混合土では低含水比の場合、吸水したベントナイトが団粒化した状態で母材間に離散的に付着する形で存在し、それ以外の領域には母材間隙が残存する。最適含水比から湿潤側に移行するにつれ、吸水ベントナイトは膜状かつジェル状となって母材及び間隙を被覆し始める。7:3 混合土ではベントナイト混合量が多いため低含水比状態からこの「被膜的存在形態」が見られるが、やはり締固め時含水比が高くなると被覆状態が均一化 (安定化) している。ベントナイト混合土では締固め含水比の違いが吸水した単体ベントナイトの性状 (残留強度、粘性や延性など) の違いをもたらし、その結果、材料調整・混合・締固め等の過程で母材と吸水ベントナイトとの面的・空間的な接触形態が変化し、飽和～長期通水後もこれが残存する事で、透水係数の違いがもたらされるのではないかと推察される。今後、顕微鏡写真の画像解析によりベントナイトの付着形態を定量化し、図-4(b)の横軸を新しい指標に置き換えることで、ベントナイト混合土の遮水性発現メカニズムの解明を試みて行きたい。

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, 第 76 回土木学会年次学術講演会, 2021.
- 2)龍岡文夫: 土の締固めにおける飽和度管理の重要性, ダム技術, No.354, pp.3-16, 2016.
- 3)工藤ら: 低レベル放射性廃棄物処分施設における難透水性覆土の透水性評価の一考察, 第 69 回土木学会年次学術講演会, 2014.
- 4)吉崎ら: ベントナイト混合土による土質遮水層に関する施工実証試験, 第 56 回土木学会年次学術講演会, 2001.