

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） ～ 締固め時の乾燥密度と飽和度が飽和透水係数に及ぼす影響 ～

前田建設工業株式会社

フェロー会員

○石黒 健

正会員

平田 昌史

正会員

岩田 将英

正会員

大塚 悠大

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

既報¹⁾²⁾に引き続き、土を締固めた時の乾燥密度 ρ_d と飽和度 S_r が締固め後の飽和透水係数 k に及ぼす影響を調べた結果を報告する。今回は供試土をベントナイト混合土に限定せず、材料特性を様々に変えた土を対象として飽和度管理の考え方（龍岡³⁾）の適用性を検証すると共に、材料粒度や細粒分の塑性、膨潤性等の材料特性の違いや細粒分の混合率が飽和透水係数の発現の仕方にどのような影響を及ぼすかについて考察を加えた。

2. 種々の細粒分混合土を用いた締固め～透水試験結果

実験に用いた7種類の供試土（母材である単粒購入砂，Na型ベントナイト（クニゲルV1）を混合比9:1及び7:3で母材に混合したベントナイト混合土，珪砂粉・木節粘土・微粉カオリンの9:1混合土，粒度調整母材）の粒度特性を図-1に，室内1Ec締固め～透水試験結果（ベントナイト混合土はJGS0312，他はJISA1218による）を図-2に示す。クニゲルV1は膨潤性細粒土であり，非膨潤性の細粒土は珪砂粉（非塑性）⇒木節粘土⇒微粉カオリンの順に高塑性となる。1Ec締固め曲線を見ると，母材に対して細粒土を添加する程，間詰め効果により締固め密度が大となっているが，膨潤性のクニゲルを添加した混合土の締固め密度は相対的に低く，混合率が増えるとその傾向がより顕著となる。吸水膨張したベントナイトが締固め外力に対して抵抗し密度増加を阻害している傾向が伺える。一方，透水係数については混合する細粒土の塑性指数に対応した遮水性の向上が確認され，膨潤性のクニゲルを混合した土は前述の乾燥密度の傾向に逆行するオーダー違いの高い遮水性を発現しており，混合する細粒土の膨潤性の有無の影響は極めて大きい。既報²⁾に倣い，飽和透水係数（対数値）と締固め時の乾燥密度 ρ_d 及び飽和度 S_r との関係を，全材料を併記して図-3に示す。締固め時乾燥密度の依存性（ ρ_d - $\log k$ の傾き λ ）は，単粒母材に非塑性細粒土を混合し粒度が変化した時点でやや増加し，その後は一定傾向を示す。締固め時飽和度 S_r の依存性（ S_r - $\log k$ の傾き ε ）はやや異なり，非塑性珪砂粉混合では大きな変化はないが，木節粘土⇒微粉カオリンの順に塑性指数の大きな細粒材を混合するほど傾きが大きくなる。一方，膨潤性のベントナイトを混合した場合， λ ， ε 共にその傾きは再び減少し，混合率が大きいほどさらに勾配は小さくなる。小峯⁴⁾は，ベントナイト混合土の混合量が增加すると，その遮水性は専らベントナイト量に依存し混合土の締固め密度や含水比の影響が低下する事を指摘しているが，本結果はこれと整合的である。

3. 重回帰分析による飽和透水係数の定量化

材料特性が λ や ε に及ぼす影響を定量化する目的で，飽和透水係数の対数値 $\log k$ を目的変数，締固め時の乾燥密度 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。その結果を表-1に

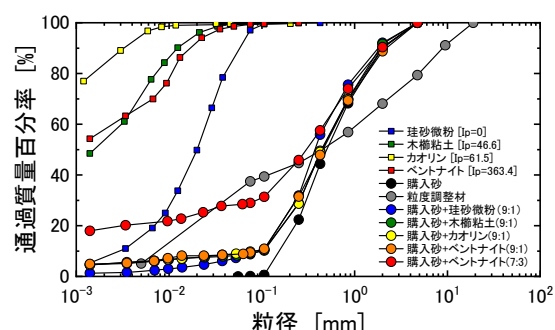


図-1 各試料の粒径加積曲線

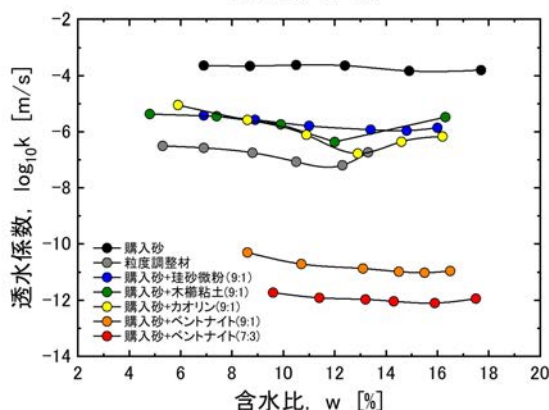
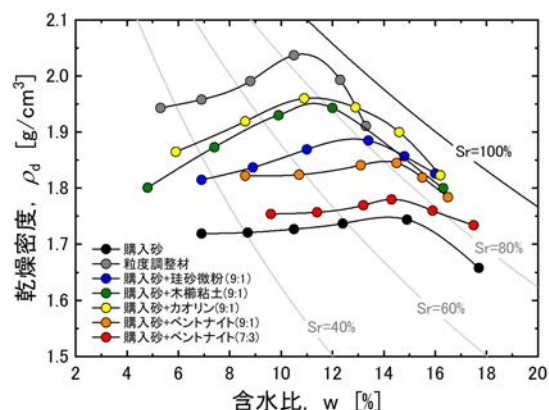


図-2 1Ec 締固め～透水試験結果

キーワード：ベントナイト混合土，締固め試験，透水試験

〒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

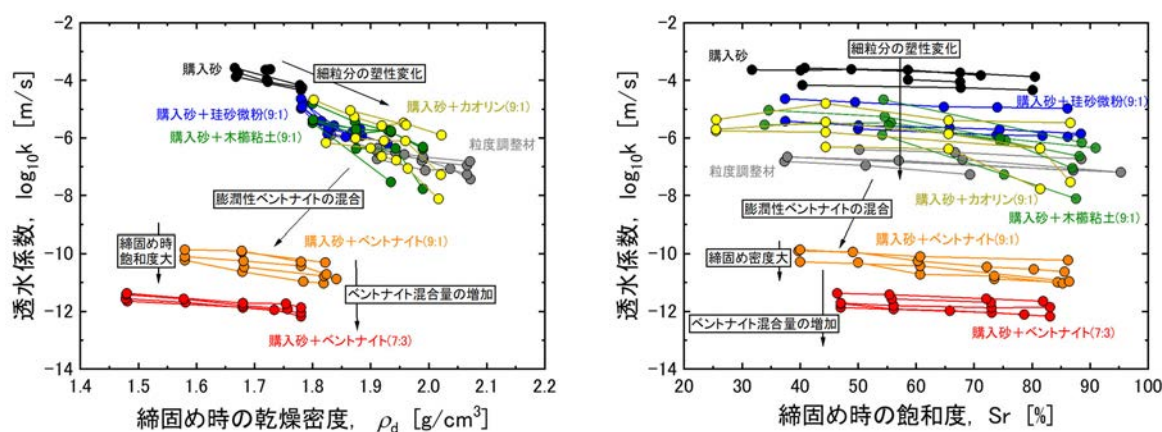


図-3 飽和透水係数（対数値）と締固め時の乾燥密度・飽和度の関係

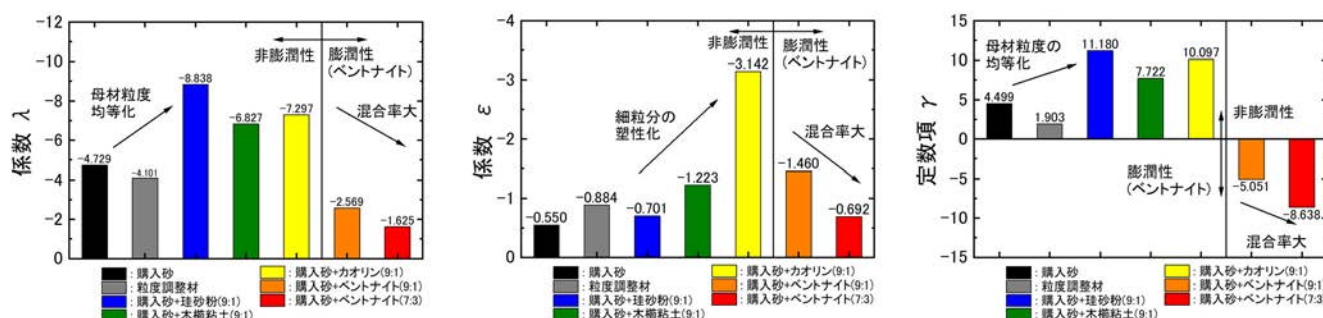


図-4 重回帰分析により得られた各係数の比較

示す。重回帰係数Rの多くは0.95付近と回帰式の精度は高い。

図-4にλ, εおよび定数項γと各材料特性の関係を示すが、前述のようにλは非塑性珪砂粉の混合による母材の粒度変化に伴い増加し、その後の細粒分の塑性の影響は少ない。εは細粒分の塑性指数の増加に伴い増加傾向を示す。ベントナイト混合土のλとεは非膨潤性土混合の場合よりも小さく、混合量が多いとさらに小さな値となる。定数項γはλとεの影響を受けた調整項となるが、膨潤性のクニゲルを混合した場合、その値はマイナス値となり、混合量が多いほどさらにマイナス側に変化する。図-5は、重回帰式による推定結果と実測値を全供試土と比較した結果を示す。図の縦方向の変化（透水係数のオーダー変化）は定数項γ、すなわち細粒土の膨潤性を含む材料特性や混合率の変化に対応し、横軸の含水比に対する変化傾向がεに対応する（λは締固め曲線との対応性に相当）。図に示すように、締固め土の飽和透水係数は材料特性と締固め特性（締固め時の乾燥密度と飽和度）の重ね合わせの結果として発現するものといえる。今後、図中に示した粒度調整材に各種の細粒分を混合するなど、広範囲な材料に対する実験を継続する予定であり、λ, ε, γを材料特性の関数として表現する事ができれば、締固め土の飽和透水係数に対する汎用的な評価式を提案する事も可能になるのではないかと考える。

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，第76回土木学会年次学術講演会，2021. 2)石黒ら：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，第77回土木学会年次学術講演会，2022. 3)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. 4)小峯ら：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

表-1 重回帰分析結果の一覧

材料	係数λ	係数ε	切片	重相関R
購入砂	-4.729	-0.550	4.499	0.989
粒度調整材	-4.101	-0.884	1.903	0.972
購入砂+珪砂粉(9:1)	-8.838	-0.701	11.180	0.930
購入砂+木繊維土(9:1)	-6.827	-1.223	7.722	0.849
購入砂+カオリン(9:1)	-7.297	-3.142	10.097	0.926
購入砂+ベントナイト(9:1)	-2.569	-1.460	-5.051	0.974
購入砂+ベントナイト(7:3)	-1.625	-0.692	-8.638	0.979

$$\log k = \lambda \times \rho_d + \varepsilon \times S_r + \gamma \text{ (材料特性)}$$

k: 透水係数, ρ_d : 締固め時の乾燥密度(間隙比), S_r : 締固め時の飽和度

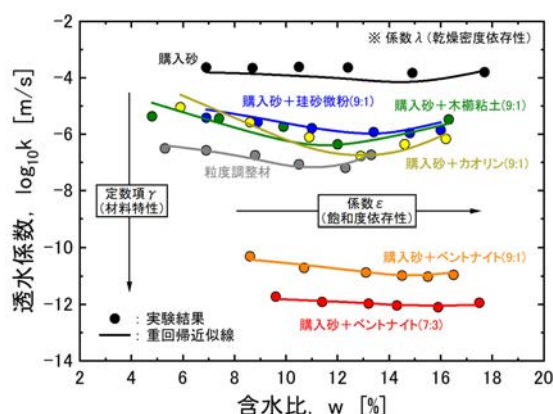


図-5 実験結果と重回帰分析結果の比較