

ベントナイト混合土の遮水性に及ぼす締固め時含水比の影響

株式会社フジタ 建設本部 7人-会員 ○福島伸二
株式会社フジタ 技術センター 正会員 北島 明

§1. まえがき

既設のため池等の堤体の漏水対策では、一般に堤体上流側を掘削除去し付近で入手した遮水材により傾斜コアゾーンが腹付けられるが、遮水材を入手できない場合には堤体掘削土にベントナイトを加えたベントナイト混合土が使用される¹⁾。また、建設工事で遭遇する自然由来重金属により汚染された発生土の現場内封込め工の遮水ライナーにも現地発生土や購入土にベントナイトを加えたベントナイト混合土が利用されている¹⁾。一般に、コアゾーン用土は、既設堤体からの掘削土の0.075mm以下の細粒分含有量の不足を補うための粒度調整を基本としているので混合量も少ない。一方、遮水ライナー用土は原料土に含まれる細粒分量が少ないことや、層厚が50cm程度と薄く高い遮水性が要求されるなどベントナイト混合量が多いが、これは原料土へのベントナイト混合がベントナイトの膨潤による土粒子間空隙の充填効果を期待しているためである。著者らは、これまでにコアゾーンや遮水ライナーに使用されるベントナイト混合土の遮水性に及ぼす土被り圧レベルや細粒分含有率の影響について調べてきた¹⁾²⁾。本稿はこれらに続くもので、ベントナイト混合土の締固め時の含水比が遮水性に及ぼす影響について室内透水試験により調べた結果を報告するものである。

§2. ベントナイト混合土試料と三軸透水試験法

試験には図1に粒度曲線を示す原料土SとベントナイトBを使用した。原料土は漏水対策が計画されたため池の堤体土(現地発生土)で、自然含水比 $w_s=9.0\%$ 、最大粒径 $D_{\max}=19.0\text{mm}$ 、0.075mm以下の細粒分含有率 $F_c=4.9\%$ 、均等係数 $U_c=8.2$ にあった。ベントナイトは国内産(略称:Hm200)で $F_c\geq 90\%$ 、自然含水比 $w_B=8.4\%$ にあった。原料土へのベントナイト混合量は現場施工において便利な原料土 1m^3 当りの質量 $\Delta M_B(\text{kg}/\text{m}^3)$ により表示する。図中のベントナイト混合土は $\Delta M_B=90, 180, 270, 360\text{kg}/\text{m}^3$ で準備したものである。本稿での試験は堤体コアゾーンの室内試験による遮水性基準値: $k_{\text{lab}}\leq 1.0\times 10^{-6}\text{cm}/\text{s}$ を満足できることを確認できた $\Delta M_B=270\text{kg}/\text{m}^3$ のベントナイト混合土についてのみ実施した。

ベントナイト混合土の遮水性は、堤体内あるいは盛土内の土要素が受ける応力状態を供試体に等方応力 σ_c を加えることで再現できる三軸透水試験³⁾により調べた。供試体は原料土に所定の含水比になるように水を加えて含水比調整し、直径 $D=100\text{mm}$ ×高さ $H=100\text{mm}$ の二つ割りモールド内で3層に分けて2.5kgランマーにより締固め度 $D_c\geq 95\%$ になるように突き固めて準備した。

§3. ベントナイト混合土の遮水性と締固め特性の関係

原料土とベントナイトの含水比がそれぞれ $w_s=9.0\%$ と $w_B=8.4\%$ と近い状態にあるので、ベントナイト混合土の含水比は $w_n=8.8\%$ で $w_n < w_{\text{opt}}$ の領域にある。図2は原料土単体と $\Delta M_B=270\text{kg}/\text{m}^3$ のベントナイト混合土(○印)について実施した締固め試験(JIS A1210 A-b・c法)から得られた締固め曲線を示す。図中には原料土単体(●印)の結果($\rho_s=2.671\text{g}/\text{cm}^3$)と、 w_n と w_{opt} の付近をそれぞれ通る空気間隙率 v_a の一定線 $v_a=18\%$ と $v_a=5\%$ を示してある。図から、ベントナイト混合土は原料土と粒度状態が近いとほとんど同じの締固め曲線となっており、最大乾燥密度 $\rho_{\text{dmax}}=1.843\text{g}/\text{cm}^3$ 、最適含水比 $w_{\text{opt}}=14.1\%$ にあることがわかる。

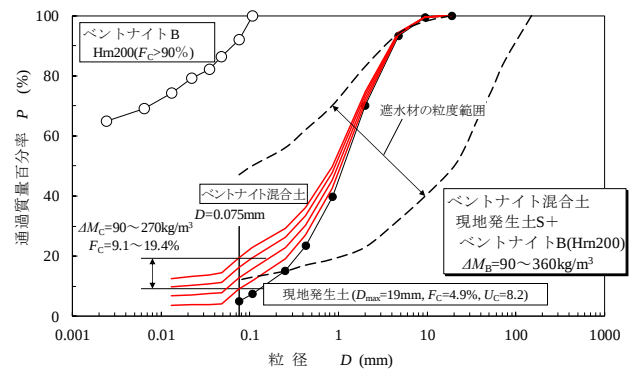


図1 ベントナイト混合土の粒度曲線

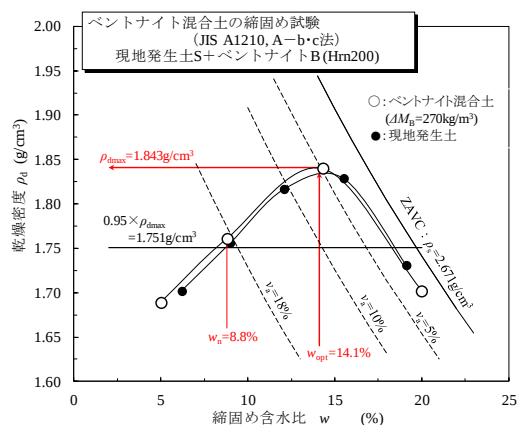
図2 現地発生土と混合土($\Delta M_B=270\text{kg}/\text{m}^3$)の締固め曲線

図3は $\Delta M_B=270\text{kg}/\text{m}^3$ のベントナイト混合土の締固め時の含水比 w を $D_c\geq 95\%$ を達成できる含水比 $w=8.0\sim 18.5\%$ の範囲で変えて準備した供試体の三軸透水試験から得られた $k_{\text{TC}}\sim w\sim \sigma_c$ 関係を示す。図中には遮水性基準値: $k_{\text{lab}}\leq 1.0\times 10^{-6}\text{cm}/\text{s}$ も示してあ

キーワード: ベントナイト混合土, 透水係数, 締固め時含水比

連絡先 〒151-8570 渋谷区千駄ヶ谷4-25-2 株式会社フジタ 建設本部 土木エンジニアリングセンター ☎ 03-3796-2299

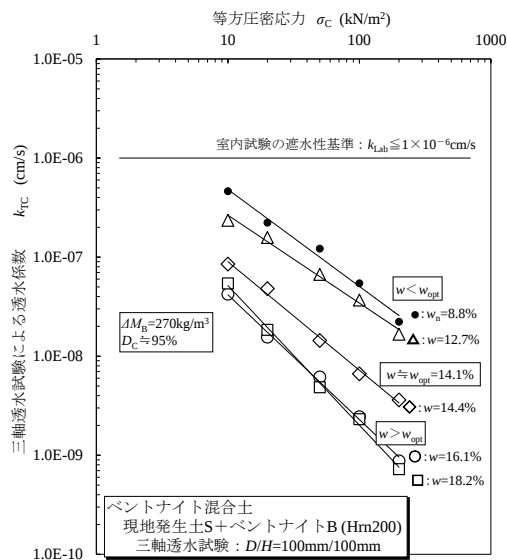


図3 ベントナイト混合土の透水性と締固め含水比の関係

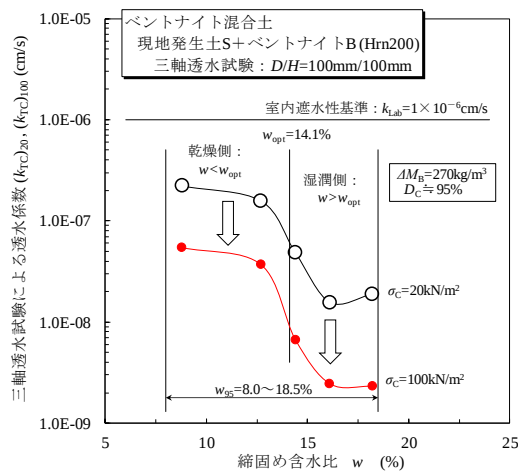


図4 ベントナイト混合土の透水性と締固め含水比の関係

る。ベントナイト混合土の k_{TC} は w により大きく変化し、 w が w_{opt} を超えると急減することがわかる。そこで、図4には図3から $\sigma_c = 20 \rightarrow 100 \text{ kN/m}^2$ での値 $(k_{TC})_{20}$, $(k_{TC})_{100}$ を読み取り w との関係を示す。図中には $D_C \geq 95\%$ となる含水比 w_{95} の範囲も示してある。図から、 $(k_{TC})_{20}$ あるいは $(k_{TC})_{100}$ は w_{opt} より乾燥側の $w < w_{opt}$ における値から、 w_{opt} よりやや湿潤側の $w > w_{opt}$ における値ではワンオーダー以上の減少を示すことがわかる。また、 k_{TC} の σ_c 依存性は w による影響が少なく、 $(k_{TC})_{20}$ と $(k_{TC})_{100}$ の差は w によらずほぼ一定であることがわかる。一般に、締固め土の透水係数は w_{opt} よりやや湿潤側で最低値を示すことが知られている。ベントナイト混合土においてもこのことが当てはまることわかる。これは、 $w > w_{opt}$ の領域では土粒子の堆積構造が空隙の少ない状態となるので、例えば図-2において $w = w_n = 8.8\%$ で $D_C \approx 95\%$ まで締め固めても $v_a = 18\%$ の状態にあったものが、加水して $w > w_{opt}$ とすれば $v_a < 5\%$ の水分割合の高い状態になり、ベントナイト膨潤による土粒子間空隙の充填効果がより確実になるためと考えられる。このことから、ベントナイト混合土は原料土の自然含水比 w_n が低く、締固め時の w が w_{opt} より乾燥側の $w < w_{opt}$ に相当する場合には、効率的

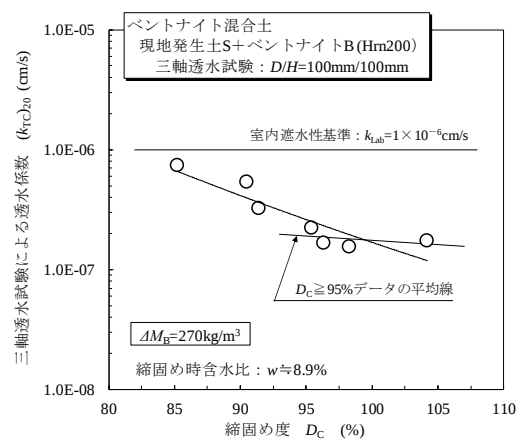


図5 ベントナイト混合土の透水性と締固め度の関係

に遮水性を確保するには加水して w_{opt} より湿潤側の $w > w_{opt}$ の含水比で締固める必要があることがわかる。原料土がもともと細粒分を多く含み、高含水比状態の $w > w_{opt}$ である場合には、少ないベントナイト添加量で遮水性を確保できるものの、盛土造成時にトラフィカビリティーが得られないことも想定され、この場合には礫分を混合するなどの対応が必要となろう。

図5はベントナイト混合土の遮水性と造成時の締固め度の関係として $\Delta M_B = 270 \text{ kg/m}^3$ のベントナイト混合土の D_C を $85 \sim 100\%$ の範囲で変えて突き固めた供試体の三軸透水試験から得られた $(k_{TC})_{20}$ と D_C の関係を示す。図中の斜線は全データの平均線を、水平線は $D_C \geq 95\%$ の4点の平均線をそれぞれ示す。図から、 D_C が低い場合には D_C の増加とともに $(k_{TC})_{20}$ が低下する傾向を示すが、ある程度高い $D_C \geq 90 \sim 95\%$ では $(k_{TC})_{20}$ の低下はわずかか、ほとんど期待できないことがわかる。したがって、ベントナイト混合土造成時の締固め度の目標値は $D_C \geq 90 \sim 95\%$ が目安となろう。

§ 4. あとがき

本稿は、堤体コアゾーンや遮水ライナーに使用されるベントナイト混合土の遮水性に及ぼす締固め時含水比の影響を調べたもので、以下の結論を得た。ベントナイト混合土の k_{TC} は締固め時の w により大きく変化し、 w が w_{opt} を超えると急低下し、 w_{opt} より湿潤側の $w > w_{opt}$ における k_{TC} は w_{opt} より乾燥側の $w < w_{opt}$ におけるものよりワンオーダー以上も小さい値を示す。このことから、ベントナイト混合土は原料土の自然含水比 w_n が低く、締固め時の w が w_{opt} より乾燥側の $w < w_{opt}$ にある場合には、遮水性を効率的に確保できるよう加水して w_{opt} より湿潤側の $w > w_{opt}$ で締固める必要がある。今後の課題として、原料土とベントナイトの含水比に差がある場合、現地発生土の含水比が変動する場合、原料土とベントナイトの粒度に大きな相違がある場合を想定したベントナイト混合土の遮水特性を研究してゆくことを考えている。

【参考文献】1) 福島伸二, 北島 明: ベントナイト混合土の遮水性に及ぼす土被り圧の影響, 第52回地盤工学研究発表会, 2017. (投稿中) 2) 北島 明, 福島伸二: ベントナイト混合土の遮水性に及ぼす細粒分含有率の影響, 第52回地盤工学研究発表会, 2017. (投稿中) 3) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修: 土地改良事業設計指針「ため池整備」, (公社) 農業農村工学会, 2015.