

低垂直圧領域の強度特性に基づくベントナイト遮水シート腹付け斜面の安定性評価

山口大学大学院 学生会員○伊藤 潤
 山口大学大学院 正会員 鈴木素之
 山口大学大学院 学生会員 神山 惇
 ケイズラブ 正会員 河内義文
 ボルクレイ・ジャパン 浦部朋子

1.はじめに 農林水産省¹⁾によると、県内にはため池が11,785箇所あり、そのうちの約3,000箇所のため池はかならずしも十分に維持管理がなされていない。このようなため池の中には漏水やはらみだし等の変状が生じているものがある。この対策の一つとして堤体内に遮水シートを設置して遮水性を回復させる方法がある²⁾。そのうち、遮水シートの一種であるベントナイト遮水シートは施工が簡単であり、優れた遮水性能を有すことから、近年、ため池の遮水工として使用されている³⁾。ベントナイト遮水シートは不織布や織布でベントナイトを挟み込んだものであり、ベントナイトが水を吸収し体積が増大することによって、シートが遮水性を発揮し、堤体の漏水を防ぐことが可能になる。しかし、堤体の遮水材としてベントナイト遮水シートを用いた堤体の設計や設置箇所の安定性の評価は確立されておらず、シート自体のせん断強さや堤体土との境界面の強度は明らかにされていない。したがって、本研究ではシート内部およびシートと堤体土間のせん断強度特性の解明を目的として、堤体土とシートとの境界面および遮水シート内部のせん断強さをそれぞれ一面せん断試験機を用いて調べた。また、堤体土試料単体での一面せん断試験も実施した。更に、得られたせん断強さをを用いて、ベントナイト遮水シートを腹付けした堤体のすべりに対する安定性を検討した。

2. 試験方法 本研究では、盛土材に使用した①まさ土供試体、②まさ土と織布・あるいは不織布シートの貼り合せ供試体、③水浸状態のベントナイト供試体、④水浸状態のベントナイトと織布あるいは不織布シートの貼り合せ供試体に対して、それぞれ圧密定圧一面せん断試験を行った。まさ土は山口市内のため池堤体に使用されたもので、最適含水比 w_{opt} は13.0%、最大乾燥密度 ρ_{dmax} は 1.800g/cm^3 である。ベントナイトは遮水シートに使用したのと同じ、粒状のものである。表-1にこれらの試料の物理特性を示す。なお、ベントナイトの粒度試験は、乾式ふるい分けによって粒度ごとに分級した。試料の調整は、まさ土の場合、 0.85mm ふるい通過分を突固めによる土の締固め試験(JIS A 1210)のA-b法を用いて最適含水比で締固め、締固め試料から直径6cm、高さ2cmの供試体を作製した。まさ土とシートを貼り合わせ

表-1 土試料の物理特性

試料名	ベントナイト	まさ土
自然含水比 (%)	13.4	1.2
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	2.746	2.642
液性限界 w_L (%)	511.0	39.7
塑性限界 w_p (%)	44.2	NP
粒径2mm以上 (%)	5.0	30.6
粒径0.075mm以上2mm以下 (%)	80.0	64.5
粒径0.075mm以下 (%)	15.0	5.0
シート中の含水比 (%)	15.0	
シート中の乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	1.248	

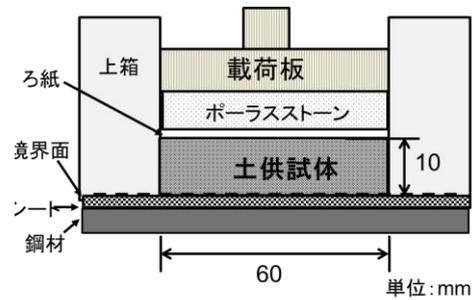


図-1 シートと土供試体を貼り合せた供試体の断面図

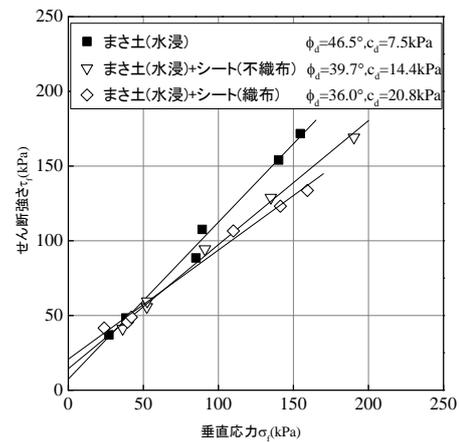


図-2 まさ土単体およびまさ土とシートを貼り合せた供試体の破壊線

これらの試料の物理特性を示す。なお、ベントナイトの粒度試験は、乾式ふるい分けによって粒度ごとに分級した。試料の調整は、まさ土の場合、 0.85mm ふるい通過分を突固めによる土の締固め試験(JIS A 1210)のA-b法を用いて最適含水比で締固め、締固め試料から直径6cm、高さ2cmの供試体を作製した。まさ土とシートを貼り合わせ

た供試体は、締固め度が 90%になるよう、せん断箱内で突き固めた。ベントナイトは自然含水比の粒状のものに加水し、遮水シート中のベントナイトの自然含水比と同じになるように調整した。また、遮水シート中のベントナイトの乾燥密度を測定し、それをもとにせん断箱に投入する質量を求め、突固めにより同じ乾燥密度を有す供試体を作製した。なお、まさ土とシートおよびベントナイトとシートとを貼り合せた供試体に対するせん断試験を行う際は、図-1 に示すように、せん断箱下部にシートを貼り付けた鋼材を使用した。この場合、土供試体は直径 6cm、高さ 1cm とした。まさ土では、水浸条件で圧密応力 $\sigma_c=10\sim 100\text{kPa}$ で圧密終了後、せん断速度 0.2 mm/min で排水せん断した。一方、ベントナイトは非水浸状態で $\sigma_{c0}=10\text{kPa}$ で圧密し、7 日水浸させた後、 $\sigma_c=20\sim 100\text{kPa}$ で 24 時間再圧密させた後、直ちに 0.02mm/min のせん断速度で排水せん断した。

3. 試験結果と考察 図-2 にまさ土単体およびまさ土とシートを貼り合せた供試体のそれぞれの破壊線を示す。まさ土単体と比較して、まさ土とシートの境界面ではどちらのシートにおいても内部摩擦角 ϕ_d は低く、見かけの粘着力 c_d は高かった。特に、 c_d に関しては、まさ土とシート(織布)の方が、まさ土単体のそれよりも大きく変化している。織布と不織布で強度定数が違うのは、材質による差であり、不織布の方が、織布よりも繊維の隙間が大きく、まさ土粒子がその隙間に入りこみやすい構造であったことが影響したものと考えられる。

図-3 には 7 日水浸におけるベントナイト単体とベントナイトとシートを貼り合せた供試体の結果を示す。これらの強度定数の差は、まさ土と異なり、小さいことがわかる。この原因として、7 日水浸によっていずれの供試体においてもベントナイト粒子が吸水によって均一に膨潤、軟質化し、せん断抵抗角が低下した。その結果として供試体のせん断面が滑らかになったためと考えられる。また、ベントナイトとシートとの境界面でせん断されることで、ベントナイト単体の供試体の方がシートを貼り合せた供試体よりも、 ϕ_d は小さくなり、 c_d は大きくなった。

次に、一面せん断試験により得られた強度定数を用いて、遮水シートを腹付けした堤体の平面すべりに対する安全率を計算した。盛土の覆土厚は $H=1.0\text{m}$ 、傾斜角は $\beta=34^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ の 3 通りとし、まさ土の水中単位体積重量は $\gamma'=11\text{kN/m}^3$ とした。また、ため池堤体内部に発生する間隙水圧およびシート内部のベントナイトの厚さとその重量は考慮せず、安全率 F_s の算出は以下の式を用いた。

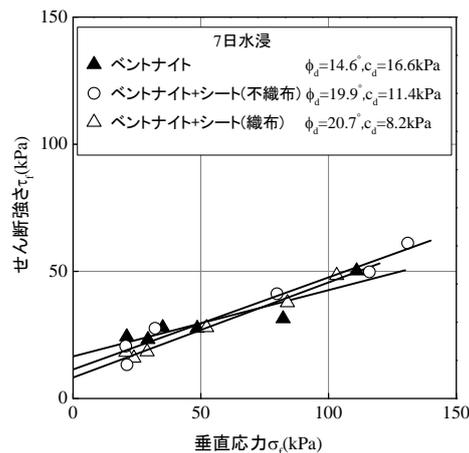


図-3 7 日水浸におけるベントナイト単体およびベントナイトとシートを貼り合せた供試体の破壊線

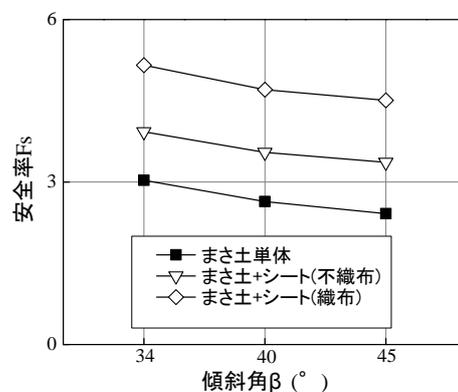


図-4 まさ土内部、まさ土とシートの境界面における平面すべりに対する安全率

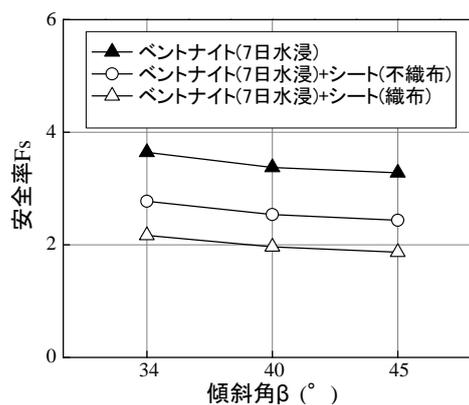


図-5 ベントナイト内部、ベントナイトとシートの境界面における平面すべりに対する安全率

$$F_s = \frac{c_d + \gamma' H \cos^2 \beta \tan \phi_d}{\gamma' H \cos \beta \sin \beta}$$

図-4, 図-5 にそれぞれにまさ土およびベントナイト7日水浸の平面すべりに対する安全率をそれぞれ示す. いずれのケースにおいても β が増大すると, F_s は低下している. また, いずれのケースにおいても F_s の値は1以上であり, 特にまさ土とシート(織布)との境界面のケースでは c_d が最も高いため, F_s の値は最大となった. なお, F_s の値が最も低いケースは, 7日水浸させたベントナイトとシート(織布)との境界面で $\beta=45^\circ$ における平面すべりであり, そのときの F_s の値は1.9であった.

4. まとめ

- 1) まさ土と織布および不織布シート間の境界面でのせん断強さはまさ土単体よりも低下する. また, シートの違いによってせん断強さに差がみられる.
- 2) 7日水浸させたベントナイトと織布および不織布シートの間の境界面のせん断強さはともに低く, かつ, ベントナイト単体の強度も同様に低くなる. なお, 三者の強度特性を比較した場合, ベントナイト単体の内部摩擦角が最も低く, 見かけの粘着力は最も小さい.
- 3) 安全率が最も高いのはまさ土とシート(織布)との境界面であり, 安全率が最も低いのは7日水浸させたベントナイトとシート(織布)との境界面のケースであった.

謝辞 本研究は農林水産省官民連携新技術開発事業として実施した. 関係各位に謝意を表す.

参考文献 1) 農林水産省 http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/ 2) 鬼形正伸: ベントナイトの特性とその応用, 粘土科学, Vol.46, No.2, pp.131-138, 2007. 3) 原孝明, 迫田克己, 藤田美鈴, 河内義文: ベントナイトシート遮水工法を用いたため池の水理特性, 農業農村工学会誌, Vol.77, No.2, pp.124-125, 2009.