

ベントナイト混合砂の堤体法面被覆材としての適用性の検討

河川堤防 ベントナイト 透水試験

名城大学
名城大学大学院
建設技術研究所
元名城大学学生

国際会員 小高 猛司・ 崔 瑛
学生会員 ○竹内 啓介
国際会員 李 圭太
古山 翔悟・水田 一貴

1. はじめに

河川堤防の浸透に対する安全性を向上させるためには、堤体への降雨や洪水の浸透を防ぐことにより堤体飽和度の上昇を抑える浸透対策が考えられる。そこで本報では、自然材料を用いた難透水層による浸透対策を目的として、法面被覆材にベントナイト混合砂を用いることを想定し、その適用性について検討した。具体的には、実堤防の砂に数%程度の低添加率でベントナイトを混合し、透水試験および三軸試験を行い、ベントナイトの混合率が透水性能や力学特性に与える影響を検討した。

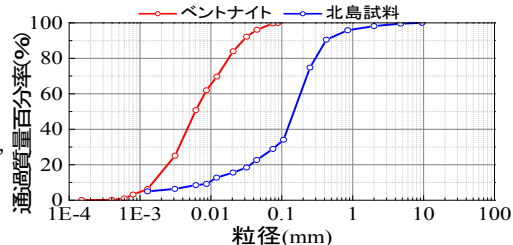


図1 北島試料とベントナイトの粒度分布

2. 試験方法

試験試料は、北海道の支笏湖を源として石狩低地帯を流れる一級河川である千歳川の北島地区から採取砂質堤防土（以下、北島試料）に、粉末ベントナイト（クニゲル V1，クニミネ工業製）を各種乾燥質量比で混合したものを使用した。図1に北島試料とベントナイトの粒度分布を示す。透水試験では、北島試料に所定の粉末ベントナイトを投入し、よく攪拌した後に含水比3%となるよう加水法による含水調整を行った後、直径10cm、高さ12.5cmの円柱供試体を締固め度が80%および75%となるように締め固めて作製し、変水位透水試験を行った。なお、本研究ではベントナイトの混合率と間隙比が透水性に及ぼす影響を調べるため、表1に示す透水試験を行った。

三軸試験の供試体作製は、透水試験の作製方法と同様の方法で含水調整を行った後、3層に分けて締固め度80%で締め固め、直径5.0cm、高さ10.0cmの円柱供試体を作製した。供試体を三軸試験装置に設置後、二重負圧法による完全飽和化を行った後、有効拘束圧50kPa、100kPaで圧密を行い、非排水せん断（载荷速度は0.1%/min）を実施した。なお、三軸試験では、ベントナイトの添加率による力学特性の変化を調べるため、混合率の異なる3種類の試料を用いた。

3. 透水試験結果

表-1に透水試験により求めた透水係数をまとめる。ベントナイト混合率0%であるCASE-1、-2に着目すると、締固め度が大きいほど透水係数が小さくなっている。また、CASE-1、-2ではいずれも透水試験開始直後に細粒分の流出がみられたが、試験中に透水係数の変化が見られなかったため、細粒分の流出は透水直後のみで停止したと考えられる。

締固め度が75%であるCASE-3、-5では、いずれにおいてもベントナイト成分の流出が見られた。これは、砂質試料にベントナイトが定着できず透水とともに流出したためであると考えられる。混合率3%であるCASE-3では、試験中に透水係数が徐々に低くなり、最終的には試験開始時より2オーダー減少している。これは、透水試験中に細粒分が移動し局所的な目詰まりを発生させたためであると考えている。混合率の高いCASE-5では、細粒分の流出は微量で、透水係数はやや増加して最終的に安定した。なお、CASE-3、-5では試験後、供試体に3mm-5mmの沈下が発生していた。

CASE-4、-6の締固め度80%の供試体に着目すると、いずれの供試体においても、供試体を飽和させるために真空ポンプを用いて脱気を行なう際、上下の有孔板から細粒分の流出が見られたが、透水試験時には細粒分の流出はなく、透水係数も安定していた。これは、締固め度が高い場合、ベントナイトが砂質試料にしっかり定着できているためであると考えている。なお、ベントナイトを混合させることで北島試料のみのケースより透水係数が大幅に低下している。

以上より、北島試料を用いた透水試験では、締固め度にかかわらず、ベントナイトを3%位混合することで2オーダー程度透水性を低下できることが確認でき、さらに混合率を増やせば、3オーダー以上透水係数を低下させることができる。少量のベントナイトが透水環境下において、混合した堤防土中に定着できるか否かは、土中の細粒分の存在はもちろんであるが、締め固め度やベントナイト自身の混合率にも影響する。

表1 ベントナイト・北島試料混合体の試験条件および透水係数

CASE	混合率[%]	締固め度 D_c [%]	透水係数[m/s]
CASE-1	0	75	9.90×10^{-5}
CASE-2	0	80	7.21×10^{-5}
CASE-3	3	75	$2.60 \times 10^{-5} \rightarrow 6.51 \times 10^{-7}$
CASE-4	3	80	3.00×10^{-7}
CASE-5	5	75	$1.64 \times 10^{-7} \rightarrow 3.27 \times 10^{-7}$
CASE-6	5	80	4.91×10^{-8}

4. 三軸試験結果

図2, 図3に圧密非排水三軸試験の試験結果を拘束圧ごとに示す。凡例はベントナイトの混合率を示している。

図2に有効拘束圧 50kPa の試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係において混合率 0, 3%では、軸差応力が軸ひずみ 7%位まで増加した後若干のひずみ軟化挙動を示している。混合率 5%では他の二ケースに比べ、軸差応力が若干低下した後、せん断後半で再び増加する傾向が見られる。有効応力経路では、混合率 0%の供試体はせん断後半で塑性膨が顕著にあらわれ、やや密詰め砂質土の傾向を示した。混合率 3%の供試体は完全弾性に近い挙動を示し、配合率 5%の供試体では塑性圧縮の後、せん断後半で巻き返しが見られるなど、粘性土のような挙動が示された。

図3に有効拘束圧 100kPa の試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係において、混合率 0%では軸ひずみ 2.5%で最大軸差応力に到達している。混合率 3, 5%ではせん断開始直後に軸差応力が急激に増加し、軸ひずみ 1.5%付近で最大軸差応力に到達し、ひずみ軟化挙動を示す。拘束圧 100kPa においても 50kPa と同様にベントナイトの混合率の上昇に伴いせん断強度が大きく低下する結果が得られた。有効応力経路を見ると、各供試体にそれぞれにおいて、総じて拘束圧 50kPa の試験と比べて正規圧密土的な傾向があらわれている。

図4に破壊時のモールの応力円と破壊規準線を示す。ベントナイトを混合することで混合率 3%, 5%の供試体では、北島試料のみのケースより大きい粘着力が発現されている。これはベントナイトが水を含むことで粘性を発揮する増粘性によるものだと考えられる。また、ベントナイトの混合率が増加するにつれて内部摩擦角小さくなっており、混合率の増加によってせん断強度が低下していくこともわかる。またいずれの添加率でも 25° 位の内部摩擦角を確保できており、堤体材料としてのせん断強度は確保できていると判断できる。

5. まとめ

河川堤防の浸透を抑制することを目的として、ベントナイト混合砂を用いて、透水試験および三軸試験を実施し、ベントナイトの混合率が透水性や力学特性に及ぼす影響を検討した。ベントナイト・北島試料混合体を用いた透水試験を行った結果、締固め度にかかわらず、ベントナイトを混合することで十分な透水性の低下を期待できるという結果が得られた。また、ベントナイト・北島試料混合体の力学特性を把握するために、圧密非排水三軸試験を行った結果、北島試料にベントナイトをわずかに混合することで力学特性が大きく変わり、ベントナイトの混合率が高くなるにつれてベントナイトの特性によって粘性が増加し粘着力が増加すること、せん断抵抗角が低下することがわかった。今後は、ベントナイト混合砂の力学挙動をより詳細に把握するために、細粒分含有率の異なる堤防砂試料での試験や、拘束圧、混合率、締固め度などの試験条件を変えた試験を行っていく。

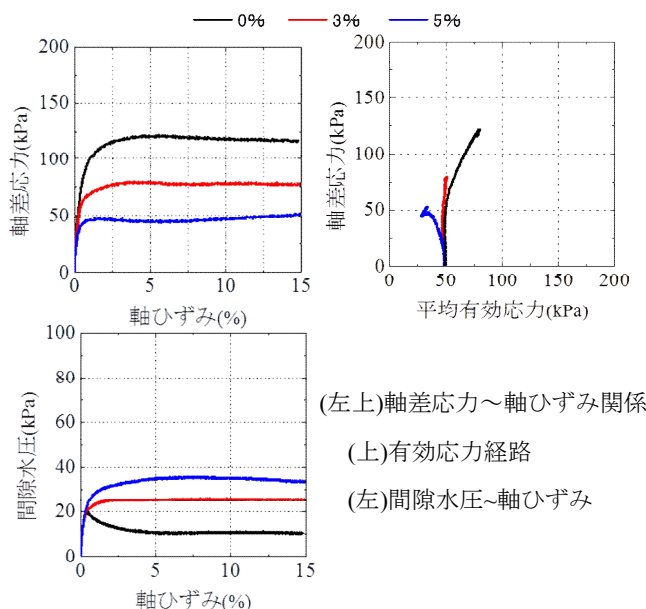


図2 有効拘束圧 50kPa の試験結果

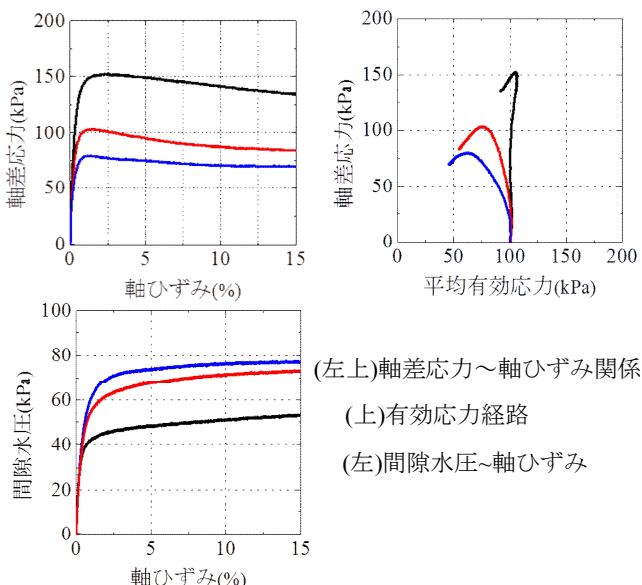


図3 有効拘束圧 100kPa の試験結果

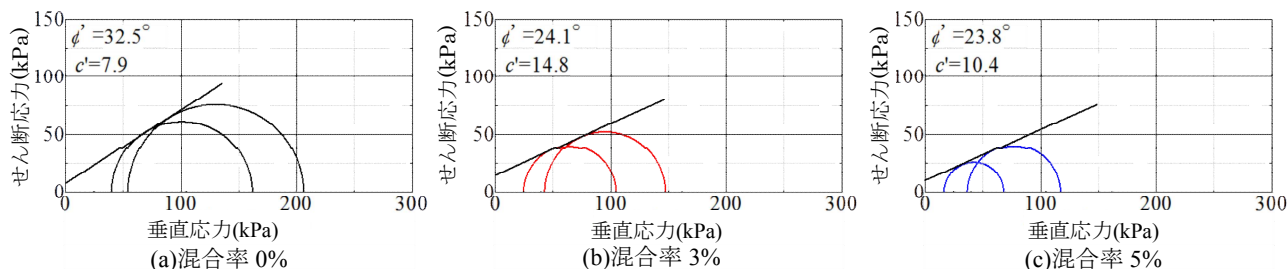


図4 破壊時のモールの応力円と破壊規準線（有効応力で整理）