

低混合率ベントナイト混合砂の構造が力学特性に及ぼす影響

名城大学大学院	学生会員	○盛 哲
名城大学	正会員	小高猛司
日本工営	正会員	李 圭太
中部土質試験協同組合	正会員	久保裕一

1. はじめに

河川堤防は、降雨や河川水などの堤体内浸透によって弱化する危険性があるため、堤体内浸潤を極力抑える必要がある。さらに、実際の河川堤防では室内透水試験での評価よりも大きな透水性を有していることが指摘されており¹⁾、堤体への浸透抑制は非常に重要である。本研究グループでは、堤体飽和度の上昇を抑える浸透対策効果の強化させるために、遮水性能が高い自然材料であるベントナイトを用いた法面被覆や断面拡大を提案している。具体的には、実堤防土にベントナイトを乾燥質量比 3～5%程度混合するだけで、その透水性を 1～2 オーダー小さくすることができることを示してきた²⁾³⁾。本報では、実堤防土を模擬した砂質土試料に透水性の低いベントナイトを 3%混合した試料の力学特性を示すが、特に、供試体作製時の初期含水比を変えることによって、低混合率のベントナイト混合砂の構造が力学特性に及ぼす影響について考察する。

2. 試験の概要

試験試料は、三河珪砂 4 号、珪砂 6 号とシルト分に富む野間精配砂を質量比 3 : 1 : 3 の割合に調整した、実際の堤防土（北海道千歳川北島堤防砂）を模擬した砂質土試料とした。また、その試料（本報ではベントナイト無混合砂と呼ぶ）に、粉末ベントナイト（クニゲル V1、クニミネ工業製）を乾燥質量比 3%で混合したベントナイト混合砂を準備した。供試体の作製においては、霧吹きを用いて蒸留水で含水比を 10%と 5%に調整した後、5 層に分けて間隙比 0.7 となるように締め固めることによって、直径 50mm、高さ 100mm の円柱供試体を作製した。なお、ベントナイトの混合にあたっては、混合した質量分だけ調整試料を減じ、同じ乾燥質量としている。表 1 に各試験ケースを示す。

表 1 試験ケース

	CASE	混合率 (%)	含水比 (%)	拘束圧 (kPa)
ベントナイト 無混合砂	CASE-1	0	10	50, 100, 150.
	CASE-2	0	5	
ベントナイト 混合砂	CASE-3	3	10	
	CASE-4	3	5	

供試体の作製においては、霧吹きを用いて蒸留水で含水比を 10%と 5%に調整した後、5 層に分けて間隙比 0.7 となるように締め固めることによって、直径 50mm、高さ 100mm の円柱供試体を作製した。なお、ベントナイトの混合にあたっては、混合した質量分だけ調整試料を減じ、同じ乾燥質量としている。表 1 に各試験ケースを示す。

供試体を三軸試験装置に設置し、二重負圧法による完全飽和化を行った後、初期有効拘束圧 50kPa、100kPa および 150kPa で圧密を行い、載荷速度 0.1%/min で軸ひずみが 15%に達するまで非排水せん断条件（ $\overline{CU}$ 試験）でせん断を行った。

3. 試験結果

各試験ケースの軸差応力～軸ひずみ関係を図 2 に示す。ベントナイト無混合砂の試験結果（CASE-1 と 2）より、いずれの試験でも軸ひずみ 2～3%程度で軸差応力のピークに到達した後、明確なひずみ軟化挙動が認められた。その傾向は供試体作製時の含水比が高い CASE-1 の方が顕著であり、それは骨格構造が卓越しているからと考えている⁴⁾。一方、ベントナイト混合砂の試験結果（CASE-3 と 4）より、いずれの試験でも無混合砂で見られた急激なひずみ軟化は発現しなくなり、供試体作製時の含水比が低い CASE-4 においては、軸ひずみの増加とともに軸差応力が増加するひずみ硬化挙動が見られる。

図 3 に各試験ケースの有効応力経路を示す。ベントナイト無混合砂の試験結果（CASE-1 と 2）より、いずれの試験でも塑性圧縮を伴う顕著な軟化挙動を示している。先述のように骨格構造が卓越している CASE-1 においては、せん断初期には平均有効応力の減少（すなわち塑性圧縮）が小さい弾性的な挙動を示しているが、

キーワード 1.ベントナイト 2.構造 3.三軸試験 4.堤防

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部 TEL: 052-838-2347

軸差応力のピーク後は、一転して脆性的な破壊を呈している。一方、骨格構造が低位な CASE-2 は、せん断初期から塑性圧縮が顕著であるが、その後のひずみ軟化の程度は小さいことがわかる。一方、ベントナイト混合砂の試験結果の内、まず CASE-3 を見ると、ベントナイトをわずか3% 混合しただけで、CASE-1 で見られる典型的なひずみ軟化挙動が消失することがわかる。ただし、残留状態（有効応力経路上の最終状態）は、CASE-1 と 3 は近い有効応力状態にある。無混合砂で元々骨格構造が低位であった CASE-2 にベントナイトを混合した CASE-4 においては、無混合砂で見られたひずみ軟化が消失する上に、逆に変相後のひずみ硬化挙動を示している。いずれの場合もベントナイトを混合することによって、無混合時のひずみ軟化や脆性破壊が見られなくなり、延性的に粘りのあるせん断挙動に転じていることが示された。

図 4 に有効応力で整理した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より、CASE-3 と 4 とともに、粘着力が発現している。無混合で骨格構造が卓越していた含水比が高い試験ケースでは、ベントナイト混合により内部摩擦角は大幅に低減しているが、逆に含水比が低い場合には、内部摩擦角は増大している。

以上より、ベントナイトを混合することによって、延性的な力学特性を示すことがわかり、場合によってはせん断強度の増加も見込める可能性があることもわかった。

4. おわりに

砂粒子中に混合されたわずかなベントナイト粒子が、供試体作製中あるいは完全飽和化中に膨潤することによって、砂質土供試体中にどのような骨格構造を形成するのか、あるいはどのような骨格構造を形成することが堤体強化材料として有利なのかについて検討を進める予定である。

参考文献: 1) 李ら：河川堤防盛土の原位置透水特性に関する考察，第 5 回河川堤防技術シンポジウム論文集，2017. 2) 小高ら：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，第 50 回地盤工学研究発表会，2015. 3) 竹内ら：ベントナイト混合砂の堤防浸透対策材料としての適用性に関する検討，第 71 回土木学会年講，2016. 4) 御手洗ら：砂質土の供試体作製時における初期含水比の違いが力学挙動に及ぼす影響，第 72 回土木学会年講，2017.

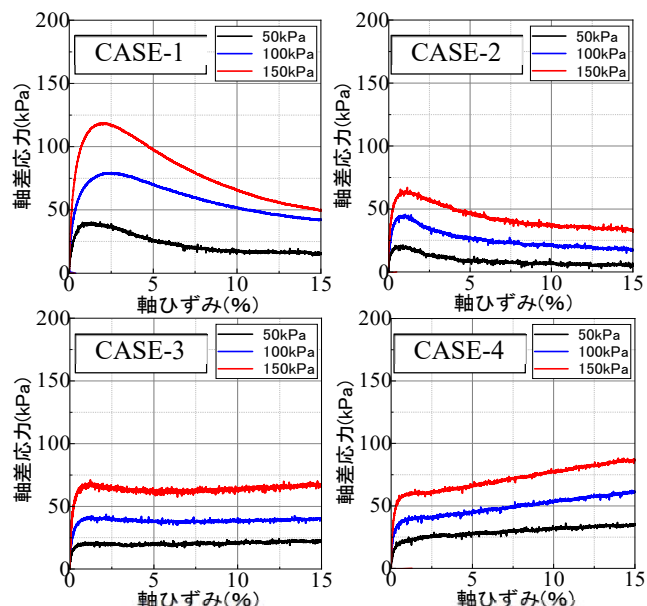


図 2 軸差応力～軸ひずみ関係

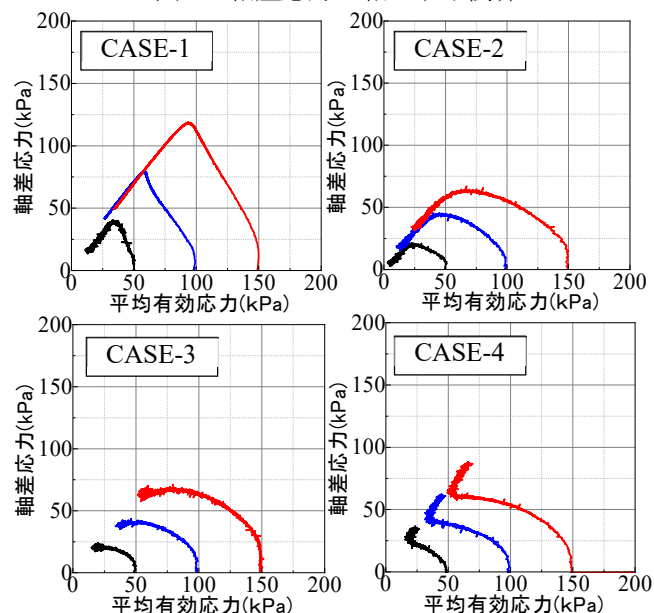


図 3 有効応力経路

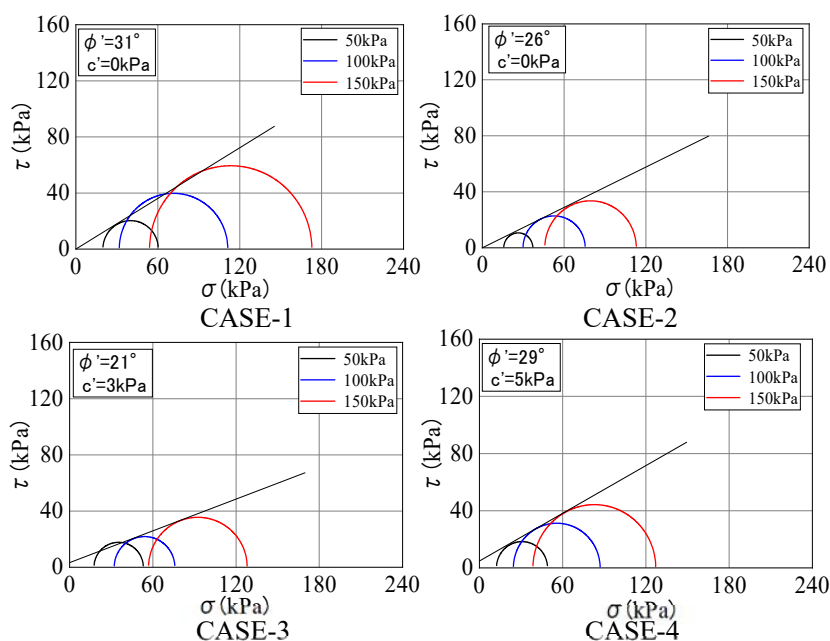


図 4 有効応力のモールの応力円と破壊規準