低混合率ベントナイト混合砂の力学特性

名城大学大学院	学生会員	○盛　哲・中山雄人
名城大学	正会員	小高猛司
日本工営株式会社	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

近年，日本では台風や集中豪雨などによる洪水によって河川堤防の被災が多発している。浸透すべり破壊はもとより，越水時の裏法侵食に対しても，事前の降雨や河川水の堤体内浸透がその結果に大きな影響を及ぼす。特に，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]，浸透水の堤体への侵入を極力を抑制することが堤防被災を防止するために必要不可欠である。我々の研究グループでは，堤体飽和度の上昇を抑制させるために，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工法を提案している。すなわち，わずか 3～5%程度の混合率で，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%混合した供試体を作製して三軸試験を実施し，低混合率のベントナイト混合砂のせん断強度特性について検討する。

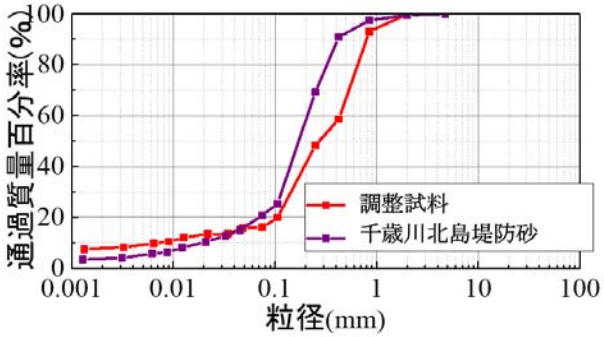
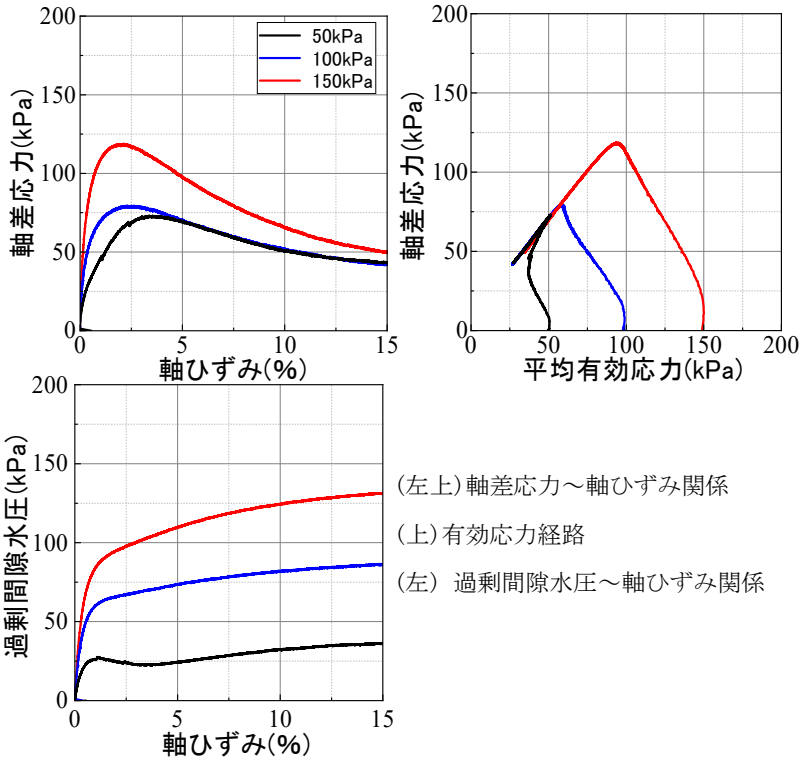


図 1　粒径加積曲線

2.　試験方法

本研究で使用する試験試料は，実際の堤防土（北海道千歳川北島堤防砂）を模疑した砂質土試料を用いた。具体的には，三河珪砂 4 号，珪砂 6 号，シルト分が卓越した野間精配砂を質量比 3：1：3 の割合に調整したものであり，図 1 に調整試料と千歳川北島堤防砂の粒径加積曲線を示す。また，その調整試料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使用した。供試体作製は蒸留水を用いて霧吹きで含水比を 10%まで調整を行った後に，5 層に分けて間隙比 0.7 で締固め，調整した直径 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ている。

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，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（$\overline{\text{CU}}$ 試験）でせん断を行った。



(左上) 軸差応力～軸ひずみ関係

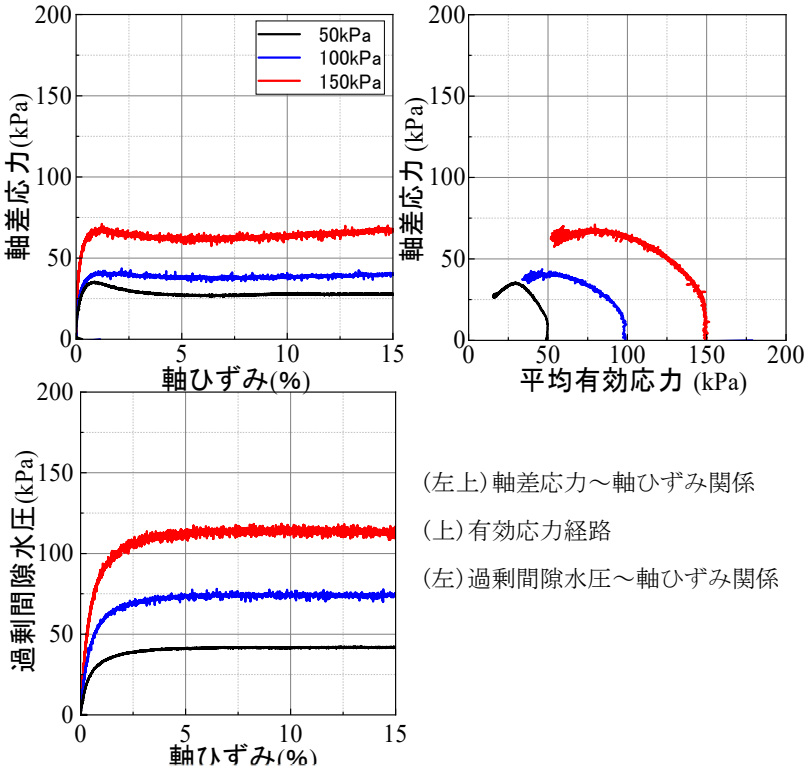
(上) 有効応力経路

(左)　過剰間隙水圧～軸ひずみ関係

図 2　ベントナイト無混合砂（混合率 0%）の試験結果

3. $\overline{CU}$ 試験結果

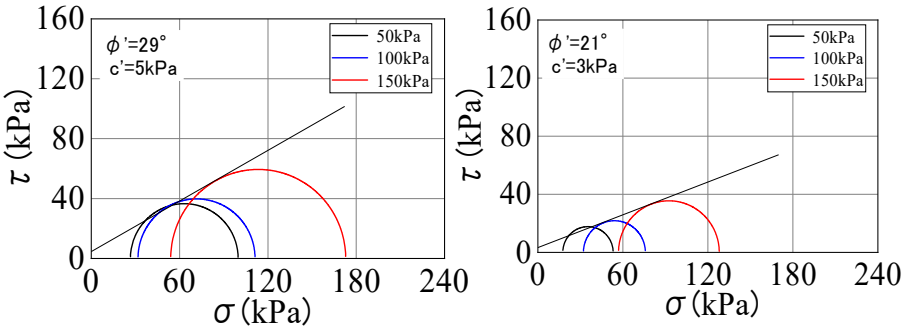
図 2 にベントナイト無混合砂（混合率 0%）の $\overline{CU}$ 試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係より，いずれの初期有効拘束圧においても，軸差応力は軸ひずみが 2~3%程度でピークに到達し，変相後は塑性圧縮を伴う軟化挙動を示す。その塑性圧縮を反映して，過剰間隙水圧は，軸ひずみが 1~2%程度まで急激に増加した後もせん断過程が進むにつれて緩やかに増加しつづける。なお，初期有効拘束圧 50kPa は，供試体の初期飽和度がやや低くかったが，その影響は本結果から明確ではない。



(左上) 軸差応力～軸ひずみ関係
(上) 有効応力経路
(左) 過剰間隙水圧～軸ひずみ関係

図 3　ベントナイト混合砂（混合率 3%）の試験結果

図 3 にベントナイト混合砂（混合率 3%）の $\overline{CU}$ 試験の結果を示す。いずれの初期有効拘束圧においても，ゆる詰め傾向を示して，せん断初期から塑性圧縮している。また，軸差応力に明確なピークは現れず，かつ，急激なひずみ軟化も生じない。今回使用した調整砂（ベントナイト無混合砂）は，初期含水比 10%で供試体を作製することによって比較的高位な骨格構造を作ることがわかっている [4] が，今回ベントナイトを混合することによって，この骨格構造の形成に影響を与えたと考えられる。そのため，三軸試験によって骨格構造の違いが最も現れる，明確なピーク強度の発現とその後のひずみ軟化を伴う脆性的な破壊が観察できなくなった。



ベントナイト無混合砂　(混合率 0%)　　ベントナイト混合砂　(混合率(3%)

図 4　破壊時のモールの応力円と破壊規準線(有効応力)

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により，内部摩擦角が低減している。これは，先述のように，無混合砂にのみ発現するピーク荷重が，ベントナイト混合によって消失した影響であるが，この見かけの内部摩擦角の低下が，河川堤防の構造物としてのせん断抵抗の低下に直接結びつくものであるのかについては，土の骨格構造の変化やせん断モードの影響 [5] などの観点を含めて慎重に検討する必要がある。併せて，ベントナイトは，一般に乾燥収縮による遮水性能の劣化を指摘されることが多いので，乾湿繰り返し履歴を含めた長期耐久性についての検討も必要である。

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 回土木学会年次学術講演会，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 回土木学会年次学術講演会，2017. 5)藤田ら：構造性砂質土を用いた三軸並びに単純せん断試験の力学特性の検討，令和元年度土木学会中部支部研究発表会，2020.