

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

名城大学大学院 学生会員 ○竹内啓介
名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛
建設技術研究所 正会員 李 圭太

1. はじめに

近年の集中豪雨によって洪水による河川堤防の被災が頻発している。堤防の浸透対策として、遮水シートによる川表の法面被覆や高水敷の遮水対策などが取られることも多くなってきている。法面被覆工は、洪水時の河川水の流入のみならず、降雨浸透も防ぐ効果も期待されている。また、今後の我が国の治水対策としては堤防の断面拡大が必要不可欠であると考えられる。堤体を拡幅する材料は十分なせん断強度を有する安定した土質材料であることはもちろんであるが、用地買収の観点から川表への断面拡幅が現実的であることを勘案すると少しでも透水性が低い盛土材料を用いることが、長期的な浸透対策としても非常に有効である。

本研究グループにおいては、自然材料を用いた堤防法面の被覆材あるいは堤体断面拡幅の盛土材として、ベントナイト混合砂の適用性を検討してきた。そこでは、実堤防で採取した砂質土にベントナイトをわずか数%添加することにより、透水係数が2~3オーダー低下することを示すとともに、三軸試験によってせん断強度の変化についても検討を行い、法面被覆材としての適用性の高さを示した^{1),2)}。しかし、ベントナイトを堤体材料に用いる場合の最も大きな障壁は、長期安定性に対する不安感である。すなわち、ベントナイトのみならず粘性土を堤体に用いる場合には、乾燥時にひび割れなどが発生するためにそもそも耐浸透構造物である河川堤防には不適切であるとの意見を現場で耳にする機会が多い。果たして本当にそうなのであるか？

本報では、砂質土にベントナイトを添加した材料の透水性を調べるとともに、乾湿繰り返しを行い長期的な透水性の変化について検討した結果を示す。

2. 自然堤防砂による試験結果^{1),2)}

北海道千歳川の北島地区で開削工事中の堤体内から採取した砂質堤防土（北島砂）を用いた。北島砂に粉末ベントナイト（クニゲル V1，クニミネ工業製）を質量比で 0，3，5%混合し、それぞれについて所定の締固め度（80 および 75%）で供試体を作製した後に、変水位透水試験を実施して透水性の変化を調査した。

表 1 に透水試験結果を示す。ベントナイトの混合によって透水係数にばらつきが発生するものの、総じてベントナイトの混合率が増加することによって透水係数が顕著に低下していることがわかる。結果として、北島砂を用いた透水試験では、ベントナイトを 3%程度混合することで透水係数が2オーダー程度低下することが確認できた。透水係数の2オーダーの低下は、堤防の法面被覆や断面拡幅における遮水機能として十分な機能と我々は考えており、3%の混合率をひとつの目安と考えることとした。

表 1 北島砂にベントナイトを混合した場合の透水試験結果

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}

3. 長期安定性を検討するための試験

本試験では、三河珪砂 8 号（以下、8 号砂）に粉末ベントナイト（クニゲル V1）を混合した混合砂を用いて試験を行った。霧吹きを用いて加水し、含水比 4%となるように含水調整を行った後、直径 10cm、高さ 12.5cm の円柱供試体を作製して、変水位透水試験を行った。上述の北島砂による先行試験の結果から、ベントナイト混合率 3%の供試体を主体として、長期的な透水性の変化について検討する。ただし、参考のため混合率 0%ならびに 5%の透水試験も実施した。表 2 にその結果を示す。ベントナイトの混合率 3%は2回実施している

キーワード 河川堤防 浸透対策 ベントナイト

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

が、混合無しと比べて、1～2 オーダーの透水係数の低下となっており、2 つのばらつきが大きい。また、混合率 5%では 2 オーダーの透水係数が低下にとどまっている。これは、8 号砂が単一粒径砂であり細粒分が少なかったために、ベントナイトの定着が若干悪く、ばらつきが生じたことなどが考えられる。

続いて乾湿繰返しの手順について説明する。通常の透水試験を行った後、温度 110℃の乾燥炉にモールドごとに入れて、完全乾燥を行う。乾燥後、再度飽和化を実施し、変水位透水試験を実施する。表 3 に試験結果を示す。乾燥回数は、炉乾燥した回数を表し、0 回は表 2 に示した通常の透水試験に該当する。なお、本報では表 2 に示した混合率 3%の 1 ケースについて、乾湿繰返しを行った結果について述べる。

供試体の乾湿を繰り返すと乾燥 4 回目までの間に透水係数は徐々に増大しているが、この繰返し回数に限ると 1 オーダーの増加にとどまっている。写真 1 は乾燥 4 回目の乾燥時の供試体表面の様子であり、写真 2 はその後実施した透水試験後の供試体表面の様子である。収縮による沈下が認められるが、目に見えてのひび割れなどは確認できない。そもそもこの程度の混合率においては、ベントナイトは砂粒子間において存在しているだけであるため、水みちになり得るような大きな亀裂を発生させるほどの効果はないと考えられる。また、仮に乾燥時の収縮があったとしても、写真 2 に示すように湿潤時には初期の状態にほぼ戻ることが確認できた。写真 3 は、初回の透水試験後の供試体表面の様子である。写真 2 と比べると乾湿繰返し透水試験によって、徐々に供試体高さが短くなっていることがわかる。写真 4 に示すように、透水試験を繰り返すうちに水槽内にはベントナイトによって白濁することから、実験過程においてモールド内からベントナイト粒子が流失していると考えられる。表 4 は乾湿繰返し透水試験後にモールドを解体し、供試体を上中下に 3 分割し、それぞれの箇所における細粒分の含有率を計測した結果である。細粒分含有率は下部になるほど高くなり、乾湿繰返し透水試験の過程で 8 号砂やベントナイト粒子が下部に移動したと考えられる。繰返し回数に伴って透水係数が増加した原因にもなっている可能性がある。今後は細粒分の定着なども検討に入れて試験と行う必要がある。

表 2 各種混合率における透水係数

CASE	混合率[%]	透水係数[m/s]
CASE-1	0	2.06×10^{-6}
CASE-2	3	1.17×10^{-7} , 2.95×10^{-8}
CASE-3	5	1.55×10^{-8}

表 3 乾湿繰返し毎の透水係数

乾燥回数	混合率[%]	透水係数[m/s]
0	3	2.95×10^{-8}
1	3	8.10×10^{-8}
2	3	1.26×10^{-7}
3	3	1.15×10^{-7}
4	3	3.48×10^{-7}



写真 1 乾燥 4 回目 乾燥状態



写真 2 乾燥 4 回目 試験後



写真 3 乾燥 0 回目 試験後



写真 4 試験後の水槽の様子

表 4 透水試験後の供試体部位ごとの細粒分含有率

供試体部位	細粒分含有率[%]
上部	22.0
中部	30.7
下部	35.3

4. まとめ

ベントナイトを少量添加するだけで透水性の低下が得られ、乾湿繰返しによっても心配されているひび割れなども確認できず一定量の遮水性は維持できることが示された。今後は、自然砂に近い粒度の砂を用いることと、乾燥時の温度などについても十分に検討を行いながら試験を進める予定である。

参考文献: 1)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. 2)竹内ら：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（その 2），第 70 回土木学会年次学術講演会，2015.