小型浸透模型堤体砂質材料の吸水軟化試験

名城大学　学生会員　○中山　雄人・田中　樹
名城大学　正 会 員　小高　猛司
建設技術研究所　正 会 員　李　圭太
中部土質試験協同組合　正 会 員　久保　裕一
名城大学大学院　学生会員　田中　貴之・森　智彦

1. はじめに

近年，河川堤防の浸透による被災事例が報告されている。堤体の浸透時のすべり破壊は，初期せん断を受けた状態から，浸透に伴う有効応力の低下によって発生する。本報では，浸透模型実験[1),2)]に使用した堤体材料について，三軸試験機を用いた通常の CUB 試験と低有効応力条件下でのせん断強度評価を行うための吸水軟化試験[3)]を実施した。浸透模型実験では，堤体が大きく変状したが破堤に至らなかった Case1，堤体が大きく変状し破堤した Case2，長時間水を浸透させたのにもかかわらず堤体が変状しなかった Case3 が確認された。写真-1~3 にそれぞれの結果を示す。

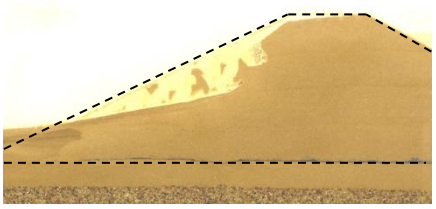


写真-1　Case1

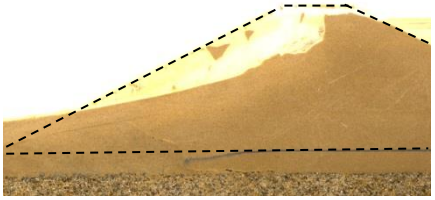


写真-2　Case2

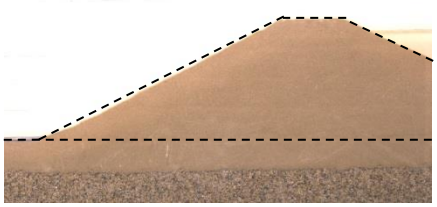


写真-3　Case3

2. 試験概要

本報で対象とする浸透模型実験[1),2)]の概要を図-1 及び表-1 に示す。浸透模型実験の堤体材料である三河珪砂 8 号（以下 8 号砂)，三河珪砂 6，7，8 号を混合した試料（以下 678 混合砂）ともに浸透模型実験と同条件である含水比 4%，間隙比 e=1.06 と定め，5 層に分けての締固めにより直径 50mm，高さ 100mm の供試体を作製し，CUB 試験，及び吸水軟化試験を行った。吸水軟化試験とは，実堤防土法面の異方応力状態を再現するため，三軸試験と同様に等方圧密過程終えた後，排水せん断を行い所定の軸差応力まで増加させて初期せん断を与える。その後，堤体内への浸透に伴う有効応力の低下を模擬して，軸差応力を一定に保ったまま間隙水圧を上昇させることにより有効応力を減少させて破壊に至らしめる試験である。

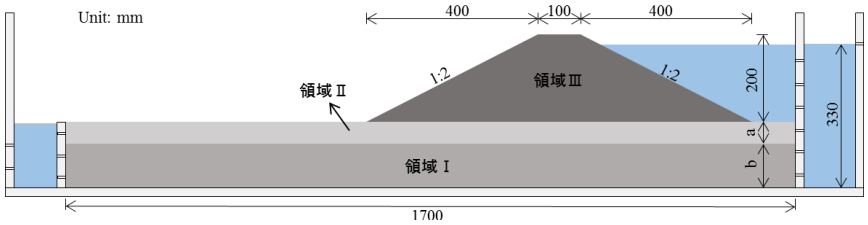


図-1　浸透模型実験の概要

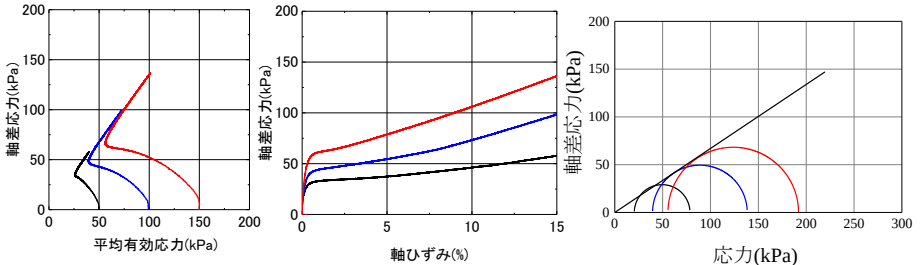
表-1　浸透模型実験の条件

	堤体材料 (三河珪砂)	基礎地盤の層厚 a	基礎地盤の層厚 b
Case1	8 号砂	120mm	30mm
Case2	678 混合砂	120mm	30mm
Case3	678 混合砂	150mm	50mm

3. 試験結果

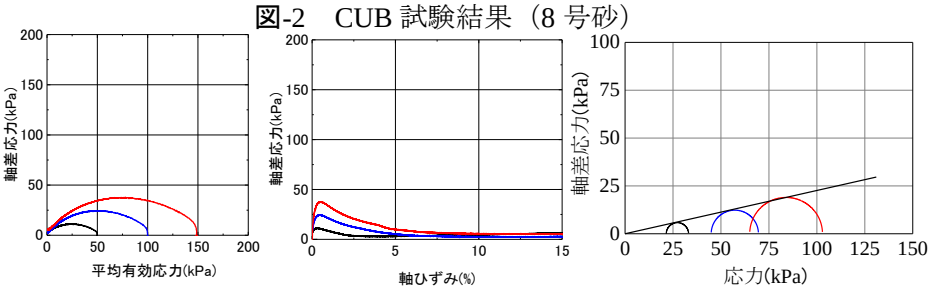
図-2，3 に CUB 試験の結果を示す。図-2 の 8 号砂はせん断後半に正のダイレイタンシーを伴うやや過圧密な挙動を示す。図-3 の 678 混合砂は，典型的なゆる詰め挙動を示し，最大軸差応力が小さく，かつ，そのひずみレベルも低く，有効応力状態が原点近くに到達する静的液状化の挙動を示す。次に図-4，5 に吸水軟化試験の結果を示す。参考のため，有効応力経路には CUB 試験の結果も示す。8 号砂と 678 混合砂の応力比 q/p’~ 軸ひずみ関係に着目すると，初期有効拘束圧 50kPa，一定軸差応力 25kPa の試験において，軸ひずみ

15%地点で 8 号砂の破壊時の応力比 q/p’ は 1.7 程度であり，678 混合砂は 1.5 程度となった。モール円による強度定数を比較すると，8 号砂は c=2.2，φ=33.8，678 混合砂は *c*=2.6，φ=21.2 となる。CUB 試験ではφに大きな差がみられるが，吸水軟化試験ではそれほど大きな差はみられない。8 号砂は CUB 試験では過圧密な挙動を示し，吸水軟化試験でもそれなりのせん断強度を示す。一方，678 混合砂では，CUB 試験では極めて脆弱な材料と評価できるが，吸水軟化試験で低有効応力条件下のせん断抵抗を評価すると，有意なせん断強度が確認できる。



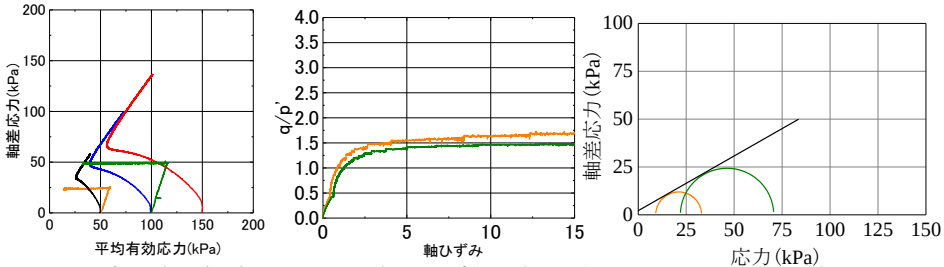
(a)有効応力経路　(b)軸差応力~軸ひずみ関係　(c)モールの応力円

図-2　CUB 試験結果（8 号砂）



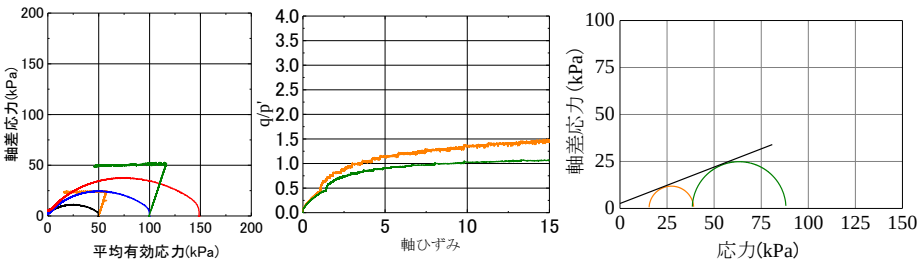
(a)有効応力経路　(b)軸差応力~軸ひずみ関係　(c)モールの応力円

図-3　CUB 試験結果（678 混合砂）



(a)有効応力経路　(b)応力比~軸ひずみ関係　(c)モールの応力円

図-4　吸水軟化試験（8 号砂）



(a)有効応力経路　(b)応力比~軸ひずみ関係　(c)モールの応力円

図-5　吸水軟化試験（678 混合砂）

写真-1 と 2 の浸透模型実験では，堤体材料である 8 号砂と 678 混合砂のせん断強度の差が，実験結果に影響を及ぼした可能性もある。ただし，これらのケースでは堤体よりも基礎地盤の影響が支配的である。一方，堤体浸透だけが問題となる写真-3 の実験ケースにおいては，浸透が十分に進行しても堤体変状が全く発生しなかった。すなわち，CUB 試験の結果からは，明らかに 678 混合砂はせん断強度不足と判断できるが，それに対して吸水軟化試験の結果は，低有効応力下において 678 混合砂であっても，ある程度のせん断強度を有することを示しており，写真-3 の模型実験で示されるように，通常の堤体浸透だけでは堤体変状が発生しないことも説明できる。

4.　まとめ

通常の三軸試験では 678 混合砂は非常に脆弱な砂質材料と判断されるが，吸水軟化試験によって，低有効応力下において有意なせん断強度を有していることを明らかにした。写真-3 の浸透模型実験では変状が見られないことから，通常の三軸試験の結果を用いる現行の照査法では，678 混合砂のような堤体に対しては，安全性を過小評価すると考えられる。もう一点重要なポイントとして，模型試験と実堤防の寸法とそれに伴う有効応力レベルの相違により，小型模型の浸透破壊実験の堤体材料には，極低有効応力下でのみせん断抵抗を発揮する 678 混合砂のような材料こそが適していると考えている。

参考文献：1) 森ら：浸透に伴う基礎地盤の弱化に起因する堤防法すべり崩壊に関する考察，第 5 回河川堤防技術シンポジウム，2017. 2) 森ら：複層構造基礎地盤を有する河川堤防の堤体の密度が浸透破壊に及ぼす影響，平成 29 年度中部支部研究発表会 2018. 3) 小高ら：弾塑性論と吸水軟化試験による砂質土の強度定数に関する考察，第 70 回土木学会年次学術講演会，2015.