

浸透によって破堤した河川堤防土の浸透時のせん断強度の検討

名城大学大学院	学生会員	○田中	貴之
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
土木研究所	正会員	石原	雅規
名城大学	学生会員	中山	雄人

1. はじめに

平成 27 年 9 月の関東・東北豪雨によって宮城県の渋井川左岸堤防が 3 箇所決壊した。破堤部では越流痕は確認されておらず、長時間高水位が継続したことによって堤体が浸透破壊したと考えられる。一方、平成 28 年 8 月の台風 10 号により青森県ニッ森川堤防左岸堤防が決壊した。こちらでも越流痕は確認されず、開削調査¹⁾より降雨による高水位の継続を起因とする浸透破壊したと推測されている。

本報では、それぞれ破堤箇所近傍で採取した試料について、三軸試験による圧密非排水試験(CUB 試験)と吸水軟化試験^{2~4)}を実施し、堤防土の浸透時の力学特性を検討し、それぞれ被災要因との関連を検討した。

2. 試験試料

渋井川とニッ森川の試料は、それぞれの破堤箇所近傍における現地調査時に、特製の二重管サンプラー⁵⁾を用いて採取した。それぞれのサンプリング試料は砂分を含んでおり自立しない可能性があったため、サンプリング後に凍結させ、直径 50mm 高さ 100mm の円柱供試体に成型した。

渋井川およびニッ森川の粒度分布をそれぞれ 図-1 および 2 に示す。渋井川試料は細粒分含有率 50~70%の砂質シルトである。一方、ニッ森川試料は、細粒分含有率が 30~50%の細粒分質砂である。



写真-1 渋井川での調査状況



写真-2 ニッ森川での調査状況

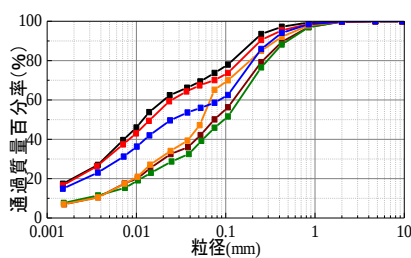


図-1 渋井川試料の粒度分布

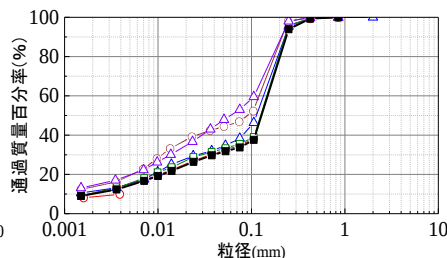


図-2 ニッ森川試料の粒度分布

3. 吸水軟化試験

吸水軟化試験とは、三軸試験と同様に等方圧密を行い、その後排水せん断で所定の軸差応力に到達した後、軸差応力を一定に保持しながら間隙水圧を上昇させることにより有効応力を減少させることで堤体への浸透を模擬する試験である。これまで数種類の現地河川堤防土で吸水軟化試験を行った結果、細粒分含有率 50~90%の中間土堤防においては、図-3 のように有効応力経路から得られる破壊応力比(q/p')より以下の 3 つのパターンに分けて評価することができた。なお、 $q/p'=3$ が最大であり、その時、有効拘束圧は 0 となる。

パターン 1 : CUB 試験で得られる限界応力比に近い q/p' 到達すると破壊して

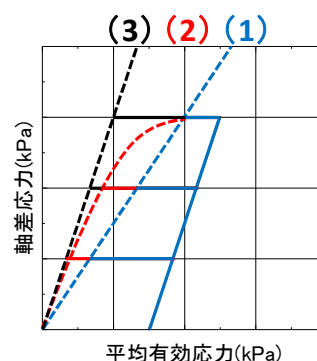


図 3 吸水軟化試験の有効応力経路

しまう。最も浸透耐性が低いと判断できる。パターン 2：軸差応力が小さい場合には $q/p'=3$ に到達するが、軸差応力の増加につれて 3 にまで到達せずに破壊してしまう。低い有効応力レベルでは、ある程度せん断力を保持すると考えられる。パターン 3：高い軸差応力でも応力比 $q/p'=3$ まで到達し、浸透してもせん断強さを保持する。なお、典型的な砂質土の場合には、密度によらずパターン 1 となることが確認されている⁶⁾。

4. CUB 試験結果

図-4と5にCUB試験の結果を示す。渋井川堤防土では、ゆる詰め砂質土または正規圧密土的な挙動を示しており、限界応力比は 1.45 だった。ニッ森川堤防土は、せん断初期もゆる詰め傾向を示すものの、せん断後半や低有効応力条件では、正のダイレイタンスを伴うやや過圧密的な挙動を示しており、限界応力比は 1.35 だった。

5. 吸水軟化試験による浸透時の評価

図-6と7に吸水軟化試験の結果を示す。参考のため CUB 試験の結果も示す。渋井川堤防土では破壊応力比(q/p')で評価すると、軸差応力 25kPa の条件では q/p' が 2.0 程度となり、CUB 試験の限界応力比よりやや大きな値で破壊した。ニッ森川堤防土では、 q/p' は限界応力比に近い値で浸透破壊が発生している。いずれも浸透耐性は低いと判断できるが、細粒分含有率の低いニッ森川堤防土の方が、典型的な砂質土と同様にパターン 1 を示す浸透に対して弱い堤防土であると判断できる。

6. まとめ

実際に浸透破壊が発生した渋井川堤防とニッ森川堤防で試料をサンプリングし、三軸試験機を用いて CUB 試験と吸水軟化試験を実施した。その結果、吸水軟化試験ではどちらの堤防土も浸透破壊に対して弱いと評価され、実際に浸透破壊によって破堤した状況を裏付ける結果となった。ただし、ニッ森川堤防土の試験はまだ一部でしか実施していないため、今後、堤体全域のデータを蓄積して、あらためて評価を行う予定である。

参考文献: 1) 東ら: 2016 年台風 10 号によるニッ森川の破堤箇所における開削調査, 第 5 回河川堤防技術シンポジウム, 2017. 2) 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. 3) 小高ら: 「粘性土」堤体土の浸透時の力学特性の評価, 第 4 回河川堤防技術シンポジウム, 2016. 4) 小高ら: 吸水軟化試験による細粒分が卓越した堤防土の浸透耐性の評価, 第 52 回地盤工学研究発表会. 5) 小高ら: 簡易サンプリングで採取した砂質堤防土の力学特性の評価, 第 51 回地盤工学研究発表会, 2016. 6) 久保ら: 吸水軟化試験による砂質土の浸透耐性の評価, 第 72 回土木学会年次学術講演会, 2017.

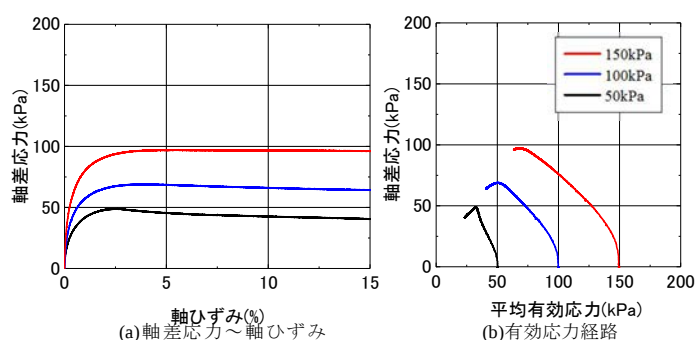


図-4 渋井川 CUB 試験結果

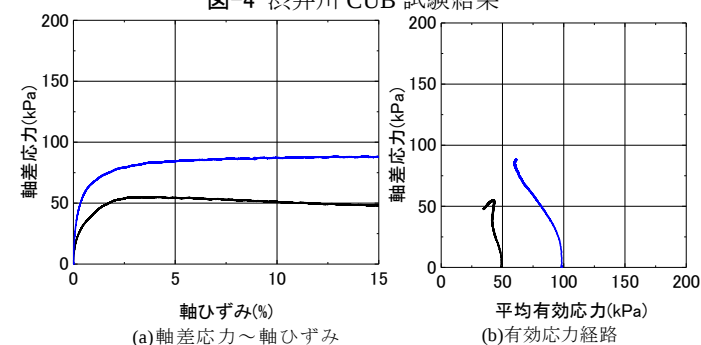


図-5 ニッ森川 CUB 試験結果

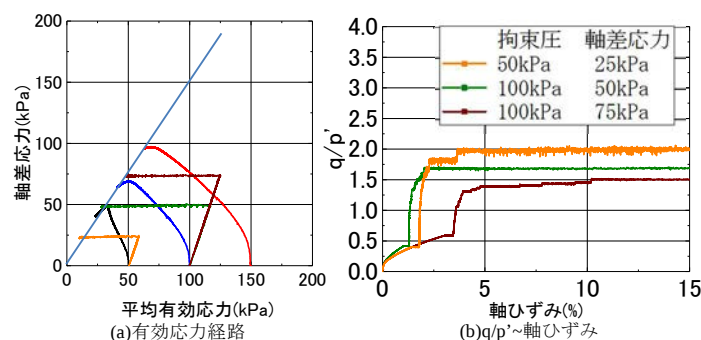


図-6 渋井川吸水軟化試験結果

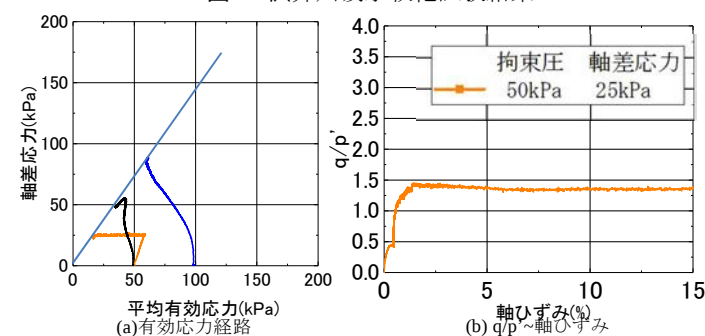


図-7 ニッ森川吸水軟化試験結果