

破堤した実堤防土の吸水軟化試験による低応力下の浸透耐性評価

浸透破壊 中間土 河川堤防

名城大学
建設技術研究所
中部土質試験協同組合
土木研究所
名城大学大学院

国際会員 小高猛司
国際会員 李 圭太
国際会員 久保裕一
国際会員 石原雅規
学生会員 ○中山雄人 田中貴之

1. はじめに

集中豪雨などによって中小河川の堤防が越流せずに破堤する事例が近年報告されている。2015 年の関東・東北豪雨によって宮城県の渋井川堤防が 3 箇所破堤し、2016 年の台風 10 号によって青森県の高瀬川水系の二ツ森川が破堤した。渋井川は堤体のパイピング破壊¹⁾、二ツ森川は堤体下層の透水性の高い砂層が浸透安全性を低下させ、堤体破壊に大きな影響をもたらした²⁾と考えられている。どちらの破堤事例も天端には越流痕が確認されておらず、越水なしで浸透破壊したことは疑いない。本研究では、渋井川と二ツ森川の破堤箇所の現地堤体土を用いて三軸試験を実施した。また低拘束圧、低ひずみレベルでせん断強度を評価できる吸水軟化試験³⁾を実施し、力学特性や浸透耐性を評価し考察した。我々の既往の研究において、複数の現地中間土堤体試料を用いた吸水軟化試験によって、堤体土の浸透耐性評価⁴⁾のパターン分類に成功しており、本研究でもその成果を参考にしている。

2. 試料概要

渋井川と二ツ森川は破堤箇所ですamplingを行った。samplingは長管細径の塩ビ管を内径とする特製の二重管サンプラー⁵⁾を打ち込む方法で試料を採取した。砂分を多く含み、供試体が自立しない可能性があるため、sampling後に凍結させ、直径 50mm 高さ 100mm の供試体を作製した。図 1 に渋井川堤体土、図 2 に二ツ森川堤体土の粒度加積曲線を示す。渋井川の現地堤体土試料は、細粒分含有率が 50~70% の砂質シルトである。ただし、他の箇所では、細粒部含有率 50% 以下の砂試料も採取されている。一方、二ツ森川の現地堤体土試料は、細粒分含有率は 30~50% 細粒分質砂である。

3. 試験結果

渋井川堤防土の CUB 試験結果を図 3~5 に示す。有効応力経路において、図 3 に示す渋井川堤防土は、ゆる詰め傾向にあり、正規圧密土的な挙動を示す。限界応力比 q/p' は 1.5 程度である。図 4 と 5 に二ツ森川堤体土の CUB 試験結果を示す。渋井川堤防土と同様に二ツ森川堤防土のいずれにおいても、ゆる詰め傾向でやや正規圧密的な挙動を示した。初期有効拘束圧 50kPa の条件においては、軸差応力がピークに到達した後、やや軟化している。二ツ森川堤体土 B2-2、B3-2 の限界応力比 q/p' はそれぞれ 1.3、1.5 程度である。モールの応力円においては、二ツ森川堤防土は有効拘束圧が 2 つでしか試験を実施していないこともあり、値にばらつきがあるが、有効応力経路は類似していることから、強度定数の大きさの違いほど、せん断特性に大きな差はない。

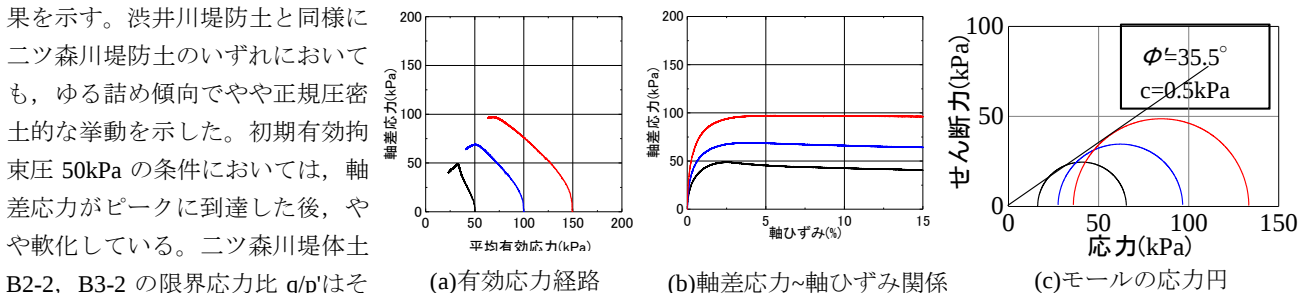


図 3 渋井川 No.5 試料の CUB 試験結果

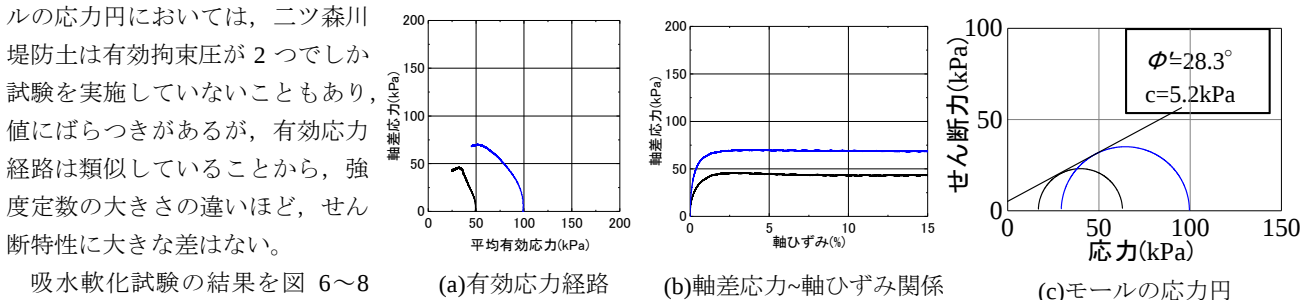


図 4 二ツ森川 B2-2 試料の CUB 試験結果

吸水軟化試験の結果を図 6~8 に示す。参考のため有効応力経路

に CUB 試験結果も示す。

吸水軟化試験は三軸試験装置を用いた試験であるが、所定の異方応力状態から、軸差応力を一定に保ちつつ間隙水圧を徐々に上昇させることによって土を破壊に至らしめる試験である。有効応力経路を精密に制御することにより、対象土の骨格構造が急激に変化しはじめる有効応力条件を探索することを目的とする。実際に、供試体は破壊に至る直前まで軸ひずみ、体積ひずみともにほとんど発生しない。

図 6 の破壊応力比 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 の条件において、破壊応力比 q/p' は 2.0 程度となった。軸差応力を高い条件にするにつれて、 q/p' が低くなっていく傾向が見られた。図 7, 8 に二ツ森堤体土の吸水軟化試験結果を示す。破壊応力比 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 の条件において、二ツ森川堤体土 B2-2、B3-2 の破壊応力比 q/p' はそれぞれ 1.3、1.6 程度となった。一定軸差応力を高い条件にしても破壊応力比 q/p' はほとんど変化がない。

既往の研究による吸水軟化試験の破壊応力比のパターン分類から考察すると、一定軸差応力が小さい内は破壊応力比が大きいものの、大きくなるほど三軸試験における破壊応力比に近づ

く渋井川堤体土が、この 3 つの中では比較的浸透耐性は高い。二ツ森川堤体土は軸差応力によらず破壊応力比が同じであることから浸透耐性が低いと判断できるが、中でも B2-2 試料の破壊応力比は小さく、最も浸透耐性が低い。

4. まとめ

被災した渋井川、二ツ森川の堤体土を用いて CUB 試験と吸水軟化試験を行った。CUB 試験では類似の挙動を示すものの、吸水軟化試験によって低有効応力下での破壊応力比を詳細に検討したところ、いずれの堤防土も浸透耐性は低いことが示された。既往の研究を参照して、吸水軟化試験で得られる破壊応力比のパターンを検討することにより、二ツ森川堤体土の浸透耐性は特に低いことが明確となった。今後は、透水特性についても検討を行い、より詳細に破壊原因を検討する予定である。

参考文献：1)佐々木：土木学会全国研究討論会・河川堤防の安全性を如何に守るか～今後数百年を見据えて～発表資料，土木学会地盤工学委員会堤防小委員会 HP，2016.2)東ら：2016 年台風 10 号による二ツ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. 3)小高：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. 4)小高ら：吸水軟化試験による河川堤体土の低拘束圧下のせん断強度の評価，第 5 回河川堤防技術シンポジウム，2017. 5)小高ら：砂質堤体土の簡易サンプリングとその強度特性の評価，第 3 回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム。

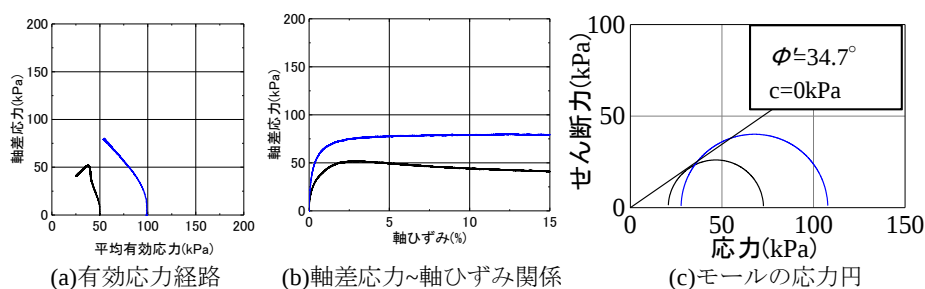


図 5 二ツ森川 B3-2 試料の CUB 試験結果

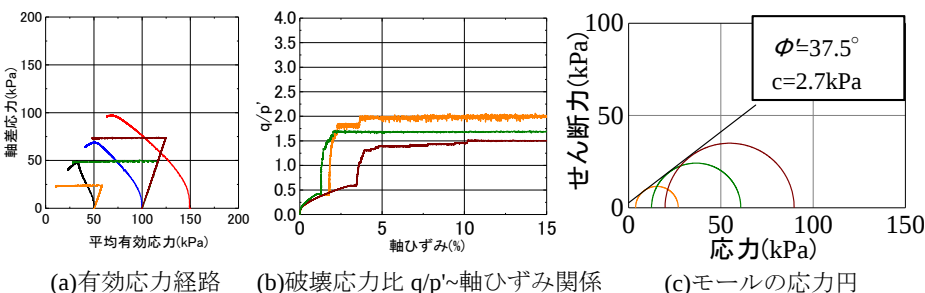


図 6 渋井川 No.5 試料の吸水軟化試験結果

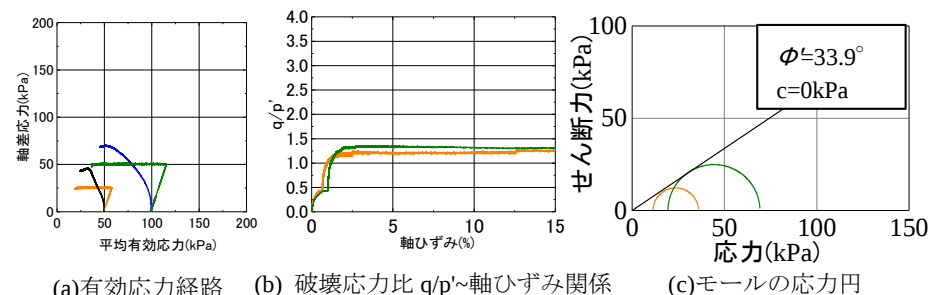


図 7 二ツ森川 B2-2 試料の吸水軟化試験結果

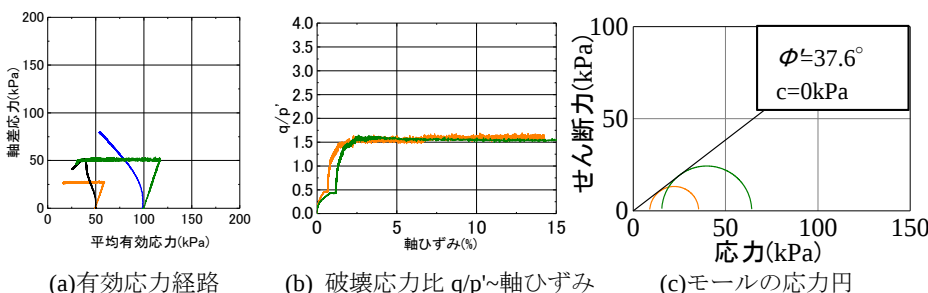


図 8 二ツ森川 B3-2 試料の吸水軟化試験結果