

細粒分が卓越した堤防土の浸透耐性評価に及ぼすサンプリング法と凍結履歴の影響

河川堤防 三軸圧縮 強度

名城大学 国際会員 小高 猛司
建設技術研究所 国際会員 李 圭太
土木研究所 国際会員 石原 雅規
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
横浜国立大学 国際会員 崔 瑛

1 はじめに

河川堤防の強度定数や透水係数を室内試験で適切に評価するためには、現地での高品質な試料採取が不可欠である。河川堤防で試料採取ができる機会は、開削工事や災害復旧工事のごく限られた期間に限定される場合がほとんどであるため、サンプリングは短時間に数多く、さらに安価で出来る事が望ましい。そのため筆者らは簡易なサンプリング方法を考案し、各地の堤防開削現場で実験を重ねている。今回、細粒分が卓越している堤防を対象に 2 種類の簡易サンプリングを実施し、採取方法の違いが強度定数に及ぼす影響について三軸試験を用いて検討した。また、実務では運搬時の振動乱れや、抜き出し時の圧縮乱れを防止するため、やむを得ず凍結されることが多い。この乱れ防止の凍結が中間土の力学特性に影響するのかについても検討を行った。

2 調査方法

調査は、平成 25 年の豪雨により法面すべりを起こした石川県小松市の梯川堤防よりやや下流の本川左岸 5.8k 付近である。河川整備のため旧堤防が撤去される直前の工事現場において開削調査を実施した。本報では 3 段目の旧堤後付近で採取した試料を対象とする。その上部には衣土と呼ばれる遮水のためと考えられる層が薄く存在していた。土質は、細粒分が卓越している中間土である。採取地点とサンプリング方法を図 1 に示す。方法は A と B の 2 種類で、黄色は凍結させた試料である。

今回用いた 2 種類の簡易サンプリング方法（方法 A、B）を説明する。
方法 A：市販の塩ビ管(VP100)を直径 10cm、高さ 19cm に切出し、片側周囲をグラインダーにより刃先を付けて採取容器とした。採取手順は、刃先を地面に当て、逆面に添木を当てながらハンマーで徐々に地面に打ち込む。そして、周りの土を取り除き丁寧に取り出す。この方法は動的に貫入させるが、手掘りで取り出すためブロックサンプリングに近い。直径 5cm、高さ 10cm の 1 供試体の作製を基本とする。

方法 B：ステンレス製円筒に内蔵する長さ 50cm、内径 71mm の塩ビ管(VU65)を採取容器とする。刃先もステンレス製で鋭利になっており、内部に脱落帽子金具も取り付けることが出来る。採取手順は方法 A 同様に、尖った刃先を地面に当て、逆方向をハンマーで打ち込み最後に丁寧に引き抜く。このサンプリングでは、長さを 50cm としているため、直径 5cm、高さ 10cm の供試体であれば最大 4 供試体を作製可能である。

3 実験方法

サンプリング方法による違いを検討するため方法 A と B、それぞれの試料を未凍結のままトリミングした供試体を用意した。次に凍結履歴の影響を検討するため方法 B の片方を方法 A 同様に未凍結でトリミング、もう片方は凍結させたままトリミングを行った供試体を用意した。試験方法は三軸圧縮試験 CUB 試験とした。飽和は二重負圧法を採用し、凍結試料については飽和後 15 時間程解凍時間をするなど、十分融解に配慮した。その後 200kPa の背圧を加え、拘束圧 50, 100, 150kPa、せん断速度 0.1%/min で試験を実施した。また、凍結の影響について、さらに詳細に検討を加えるため吸水軟化試験も実施した。この試験については 1 供試体のみとした。

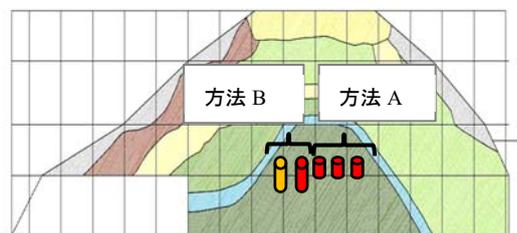


図 1 堤体断面と採取位置

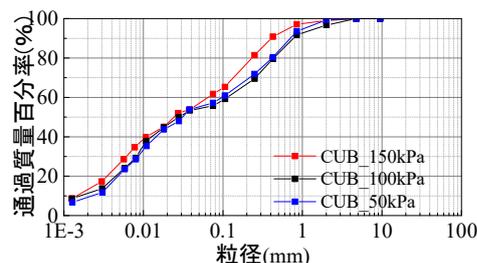


図 2 方法 A の粒度試験結果

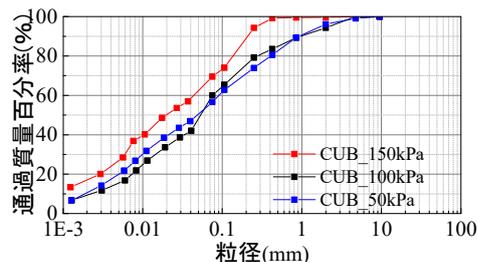


図 3 方法 B の粒度試験結果

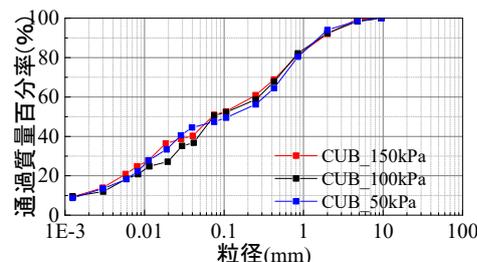


図 4 方法 B 凍結の粒度試験結果

Effects of sampling method and freezing history on seepage resistance of a levee soil with rich fine-grained fraction:

T.Kodaka (Meijo Univ.), K.-T. LEE (CTi Engg), M. Ishihara, (PWRI), Y. Kubo, (Geolabo Chubu), T. Tanaka, (Meijo Univ.) and Y. Cui, (Yokohama national Univ.)

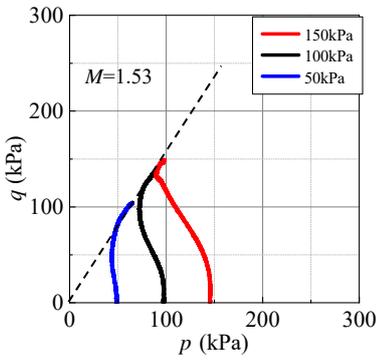


図5 方法Aの有効応力経路

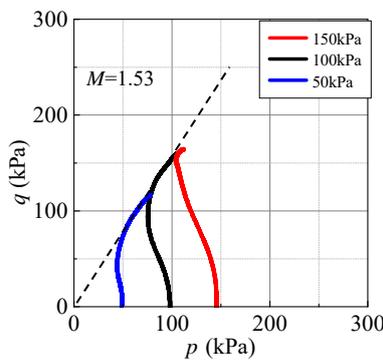


図6 方法Bの有効応力経路

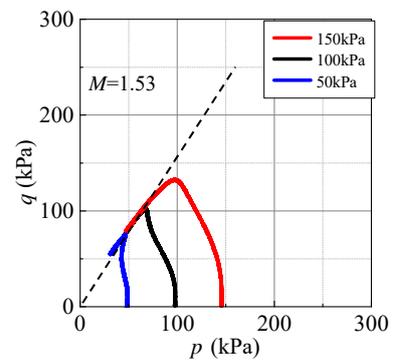


図7 方法Bで凍結した有効応力経路

4 実験結果

図2~4に三軸試験後の各供試体で実施した粒度試験の結果を示す。いずれの供試体も細粒分が50%に近い中間土であり、大きな差異はみられない。はじめに、サンプリング方法の違いについて考察する。図5~7に三軸試験で得られた有効応力経路を示す。図5および6はそれぞれ、方法AおよびBによる採取試料の試験結果であるが、いずれもせん断後半から塑性膨張し、全体的に過圧密的な挙動を示している。せん断後半にわずかな差異が見られるものの、限界応力比Mの値を含めて、全体的にはほぼ同じ挙動である。したがって、細粒分が50%程度の中間土でかつ過圧密挙動を示す程度密詰めの堤防土においては、サンプリング方法の影響は少ないことが見て取れる。ただし、砂質土において同様の検討をした場合には両者に差異が見られた事例¹⁾もあり、今後、現地堤防土の細粒分含有率や締固めの程度などを含めて、サンプリング方法の影響の大小についての検討を続けてゆく。

次に凍結履歴の影響を考察する。図7の凍結履歴を受けた供試体の有効応力経路を見ると、限界応力比は変わらないものの、せん断後半に塑性収縮を伴うひずみ軟化を示し、図6の未凍結供試体の結果と大きく異なっている。しかしながら、興味深いのは、全ての拘束圧において軟化する直前までは、図6とほぼ同じ有効応力経路を辿っていることである。これは凍結履歴によって骨格構造に劣化が生じたことが理由と考えられる。以上より、凍結やサンプリング方法による違いが現れるのはせん断の後半であり、粒度構成や堆積環境が同じであれば、せん断前半部分はその土固有の挙動を示すと考えられる。著者らは、砂質堤体土の強度定数を評価するには、変相時、すなわち小ひずみレベルのせん断前半部で整理する方法²⁾を提案しているが、中間土においてもせん断前半部での評価が重要であることが示唆される。

さらに詳細な検討をするため、堤防の浸透を模擬した吸水軟化試験³⁾も実施した。この吸水軟化試験は三軸試験機により所定の拘束圧で圧密を終了させる。そして、排水状態で所定の応力まで軸差応力を上昇させた後、軸圧一定条件下で背圧を上昇させ軟化破壊させていく試験である。今回の実験では50cmの採取長から最大4個の供試体という都合上、1供試体のみ、拘束圧50kPaで軸圧一定の軸差応力を25kPaとした。実験結果を図8と図9に示す。凍結と未凍結ともに応力比 q/p' が3を示す結果となり、凍結履歴の影響はみられなかった。この吸水軟化試験は、特にひずみの小さい領域について供試体が持っている有効応力を評価するのに適していると筆者らは考えている。この実験からも、細粒分が卓越した中間土では、土粒子の結びつきは強固であり、ひずみの小さい領域では凍結による影響はない。しかしながら、せん断後半からのひずみの大きい領域については、凍結による影響が骨格構造に何らかの影響を与えると考えられる。この実験からもひずみの小さい領域での結果整理の有効性が示されていると考えている。

5 まとめ

細粒分が卓越した中間土について三軸試験と吸水軟化試験を行い、サンプリング方法と凍結履歴の影響について考察した。その結果、2種類のサンプリング方法について差異は少なく、どちらの方法を採用しても同じような結果が得られた。今後は他の粒度や締固め度の堤体土を対象に簡易的なサンプリング方法の有効性を検証していきたい。凍結履歴については、せん断後半に大きく異なる挙動を示すが、せん断前半では同じ挙動を示すことが明らかになった。今後は吸水軟化試験の検体数を増やし、細粒分が卓越した堤体土の強度評価法の提案を行う予定である。

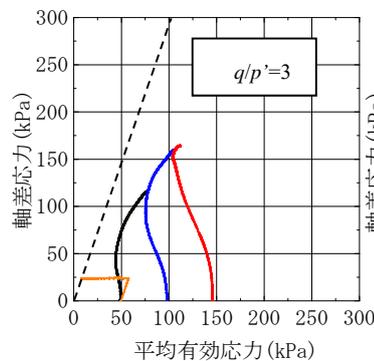


図8 方法Bの吸水軟化試験結果

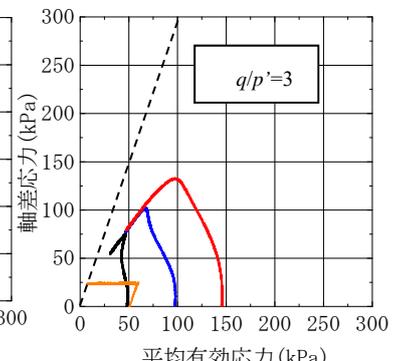


図9 方法Bの凍結した吸水軟化試験結果

参考文献：1)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，2015。
2)小高ら：河川堤防の安全性照査に用いる適切な強度定数の検討，第59回地盤工学シンポジウム，2014。3)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，2017。