

現地不攪乱堤体土の透水性の評価

室内透水試験 現場透水試験 河川堤防

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

中部土質試験協同組合

国際会員

久保裕一

土木研究所

国際会員

石原雅規

名城大学大学院

学生会員

○譙 熙晨 ・梅村逸遊

御手洗翔太・顧 峻滔

1. はじめに

出水時の河川堤防の変状被害を検討する上で、堤体ならびに基礎地盤の透水性の把握は必要不可欠である。特に浸透流解析に用いる飽和透水係数は、堤体は室内試験で求めることとされている¹⁾が、室内試験と現場透水試験の結果に1～3 オーダーの開きがある事例の報告^{2)~4)}や被災事例を浸透流解析で検証する際に室内透水係数の結果では現象を説明できない(透水係数が小さすぎる)という報告³⁾も聞かれる。本研究では、原位置における乱さない状態での透水試験であるJGS 1316-2003の「締め固めた地盤の透水試験方法」⁵⁾を実施するとともに、不攪乱試料のサンプリング⁶⁾を行い、室内透水試験も実施した。一般に現場透水試験で得られる飽和透水係数の方が大きな値が得られることが多い^{2)~4)}が、その理由が現場と室内の粒度や不均質性を含めたスケールの違いなのか、試験時の浸透メカニズムの違いなのか、あるいは、堤体盛土の透水性の異方性によるものであるのか、全く明確ではない。そのため、不攪乱試料の室内試験においては、供試体を実地盤内における水平方向および鉛直方向となるように成型することによって、透水性の異方性の計測を試みると共に、現場透水試験との比較も実施した。また、必要に応じて透水試験後に三軸圧縮試験を実施した。

2. 試験の概要

調査地点は、平成29年の台風により被災したS川堤内地の法尻部の変状箇所付近である。現場透水試験を写真1のようなマリ奥特サイフォン⁵⁾を用いて実施した。また、不攪乱試料を簡易サンプリング法⁶⁾で採取した。すなわち、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



写真1 現場透水試験の様子



写真2 現場の簡易サンプリング

容器として、丁寧に打ち込んで写真2のように採取する。採取した試料は一旦凍結させ、図1のように直径5cm、高さ9cmの円筒形供試体を成型した。この供試体を三軸試験装置に設置し、二重負圧法による飽和化後、一時間半の解凍を行い、背圧200kPa、有効拘束圧20kPaを載荷した状態で室内透水試験を行った。試験は変水位透水試験を行うが、供試体上下から背圧を作用させているため、通水後の水槽の水位も計測することにより正確な透水係数を算出⁷⁾した。透水試験後の供試体は所定の有効拘束圧を載荷して、載荷速度0.1%/minで単調載荷試験を行った。

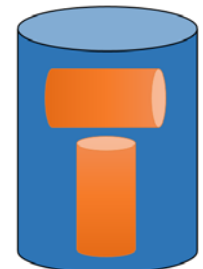


図1 供試体の作製のイメージ

3. 現場透水試験と室内透水試験比較の結果

表1に現場透水試験と室内透水試験の結果を示す。現場透水試験によって得られた透水係数と比較すると、不攪乱試料の室内試験で得られた透水係数は1オーダー以上小さい結果であった。

要因の一つは、現場透水試験では水の浸透方向が円柱状の貯水穴から放射状に広がるのに対して、室内透水試験では一次元流れに限定することに関連して、盛土地盤の透水性の異方性が考えられた。そのため、不攪乱試料の室内透水試験では、縦方向と横方向の透水係数の比較を行ったが、いずれの供試体においても有意な差は確認できなかった。少なくともこの不攪乱試料においては、局所的な透水性の異方性は認められない。一方、攪乱試料を再構成した供試体でも同様の透水試験と三軸試験を実施した。再構成時に参照した密度が不攪乱試料採取地点の密度よりやや高かったことから、不攪乱試料の透水係数からさらに1オーダー小さな透水係数となっている。堤体の透水係数は、再構成試料の室内透水試験で求めるか、粒度試験から推定することとされている¹⁾が、密度のわずかな評価の違いによって、現場透水係数とさらに大きな差が生じる可能性がある。ただし、本試験試料の粒度試験によるD20粒径は0.1～0.2mmであることから、Cregerの方法による推定式では 10^{-3} cm/sオーダーとなり、現場透水試験結果とほぼ等しい。

表1 現場透水試験と室内透水試験の結果

	室内透水係数 (cm/s)		現場透水係数 (cm/s)
	縦方向	横方向	
B3 上流 ⑤-1	9.6×10 ⁻⁴	8.7×10 ⁻⁴	2.9×10 ⁻³
B3 上流 ⑤-2	7.6×10 ⁻⁴	7.7×10 ⁻⁴	
B3 上流 ⑤-3	7.5×10 ⁻⁴	8.3×10 ⁻⁴	
B3 再構成試料	4.7×10 ⁻⁵		

4. 三軸圧縮実験の結果について検討

図 2～4 にそれぞれの試料における CUB 試験の結果を示す。不攪乱試料の縦方向と横方向の供試体の試験結果に着目すると、透水特性の異方性は確認できなかったが、せん断特性には明らかな異方性が認められる。縦方向供試体ではせん断終了まで塑性圧縮を伴う硬化を続けるが、横方向供試体ではせん断初期に急激に塑性圧縮を示すが、変相して塑性膨張を伴う硬化に転じている。横方向供試体の方が低位な骨格構造の土と考えられる⁸⁾が、サンプリング時の乱れが原因で両者に差が生じているのであれば、変相までは類似に挙動をすることが指摘されており⁹⁾、盛土構築時からの構造的な異方性が考えられる。

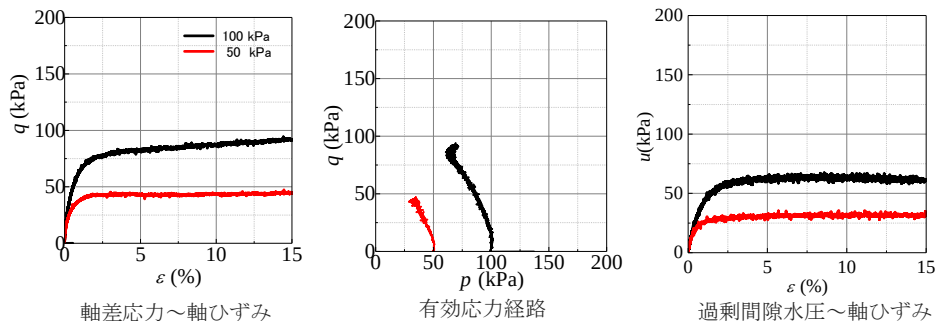


図 2 不攪乱縦方向試料の三軸試験結果

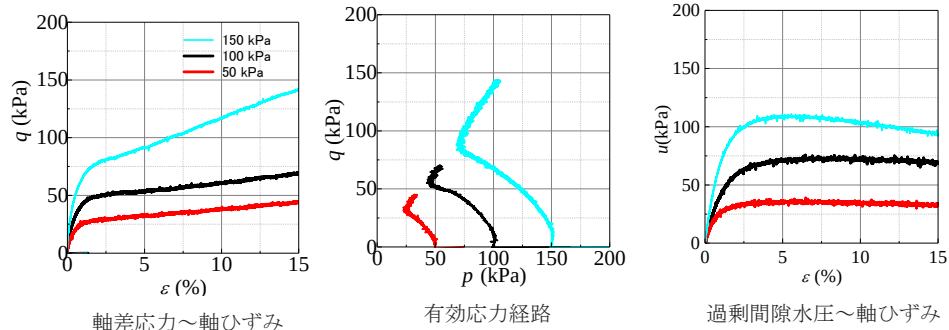


図 3 不攪乱横方向試料 三軸試験結果

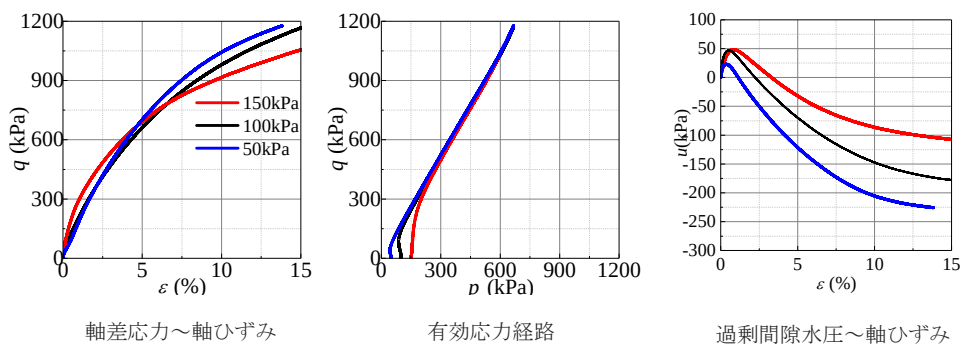


図 4 再構成試料 三軸試験結果

5. まとめ

不攪乱試料による室内透水試験を実施し、マリオットサイフォンによる現場透水試験と飽和透水係数を比較した結果、1 オーダーほど室内試験で得られた透水係数の方が小さくなった。また、室内試験で異方性の検討も行ったが、三軸試験によって力学特性には異方性が大きくあらわれたのに対して、透水性には有意な異方性が見られなかった。ただし、骨格構造と透水性の関連は少なからずあると思われる、他の採取場所での不攪乱試料で同様の試験を進める予定である。一方、現場透水試験と室内透水試験との違いは、局所的な異方性のみではなく、水みちなどへの選択的な浸透流路形成など、より広い範囲での異方性も検討する必要がある。

参考文献 1) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版），2012. 2) 李ら：河川堤防盛土の原位置透水特性に関する考察，第 5 回河川堤防技術シンポジウム，2017. 3) 石原：WG3 報告資料，第 4 回河川堤防技術シンポジウム，2016. 4) 李ら：河川堤防盛土を対象とした原位置透水試験に関する考察，第 52 回地盤工学研究発表会，2017. 5) 地盤工学会：締め固めた地盤の透水試験方法（JGS 1316-2003），2013. 6) 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 回河川堤防技術シンポジウム論文集，2015. 7) 地盤工学会：低透水性材料の透水試験方法（素案），2017. 8) 小高ら：河川堤防砂の構造の程度が力学特性の評価に及ぼす影響，河川技術論文集，18，2012.