河川堤防の現場透水試験と不撹乱試料による室内透水試験

透水試験　堤防　三軸試験

名城大学大学院　特別会員　○顧　峻淙・譙　熙晨
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

1．はじめに

河川堤防の堤体の飽和透水係数は，浸透に対する照査をする上で非常に重要である。しかし，現場透水試験と室内透水試験では，得られる値が異なるという指摘[1)]も多く，さらに地下水面より上の盛土を対象とする現場透水試験の方法も種々基準化されているものの，方法によって値が異なるのが実情である。本報では，台風に伴う出水で被災した同一堤防の数カ所で現場透水試験を実施するとともに，それぞれ同じ位置で採取した不撹乱試料を用いて三軸試験機を用いた室内透水試験ならびにせん断試験を実施した結果を示す。

２．試験の概要

現場透水試験（締め固めた地盤の透水試験方法（JGS 1316-2003））を写真 1 のようなマリオットサイフォン[2)]を用いて実施し，そのすぐ横で次の方法で採取した不撹乱試料を用いた室内透水試験との比較も行う。不撹乱試料は簡易サンプリング法で採取した。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 のように縦方向と横方向の直径 5cm，高さ 9cm の円筒形供試体を 2 本成型した。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，$\overline{\mathrm{CU}}$ 条件で単調載荷試験を行った。

写真 1　現場透水試験の様子

写真 2 簡易サンプリングの様子

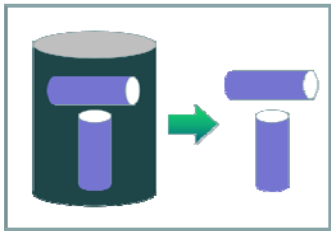


図 1　供試体の成型

３．現場透水試験と室内透水試験の比較

表 1 に現場透水試験と室内透水試験の結果を示す。総じて室内透水試験で得られる飽和透水係数の方が，現場透水試験で得られる透水係数より小さい値が得られることが分かった。本報では，室内で直径 5cm と 10 cm の 2 種類の供試体を透水試験実施したが，現場透水試験で得られた透水係数と比較すると 1/6 程度と小さくなった。現場透水係数の方が大きい理由の一つとして，現場透水現場透水試験では水の浸透方向が円柱状の貯水穴からの主に水平方向に卓越した放射状透水であるのに対し，室内透水試験では一次元流れに限定しているために，盛土地盤の透水性の異方性が関係しているのではないかと考えた。そのため本報では，図 1 のように鉛直方向と水平方向に対して，不攪乱試料の室内透水試験を実施した。表 1 に縦方向と横方向の室内透水試験と現場透水試験の結果によると，いずれの供試体においても，室内透水試験においては，縦方向と横方向の違いも含めて透水係数に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，直径 5cm の供試体スケールで現れるような局所的な透水性の異方性は認められない。

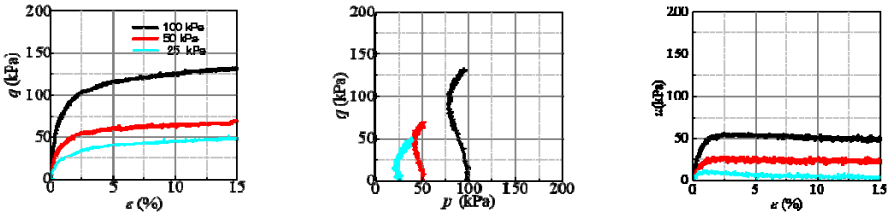
表 1 現場透水試験と室内透水試験の結果

	室内透水試験による透水係数(m/s)		現場透水試験による飽和透水係数(m/s)
	縦方向	横方向	
B3 上流　④-1	9.20×10^{-6}	6.90×10^{-6}	2.91×10^{-5}
B3 上流　④-2	7.90×10^{-6}	9.0×10^{-6}	
B3 上流　④-3	7.25×10^{-6}	6.3×10^{-6}	
B3 下流　③-2	1.58×10^{-5}	8.24×10^{-6}	3.15×10^{-4}
B3 下流　③-3	7.41×10^{-6}	9.45×10^{-6}	
B3 下流　③-4	1.02×10^{-5}	9.6×10^{-6}	
左岸 B-2　⑥-1	2.64×10^{-6}		2.16×10^{-5}
左岸 B-2　⑥-2	3.91×10^{-6}		
左岸 B-2　⑥-3	3.74×10^{-6}		

Field permeability test of levee and laboratory permeability test of the undisturbed sample: JT.Gu , XC.Qiao (Meijo University) T.Kodaka (Meijo University), K.-T. Lee (CTi Engineering),　Y. Kubo (Geo-Labo Chubu)

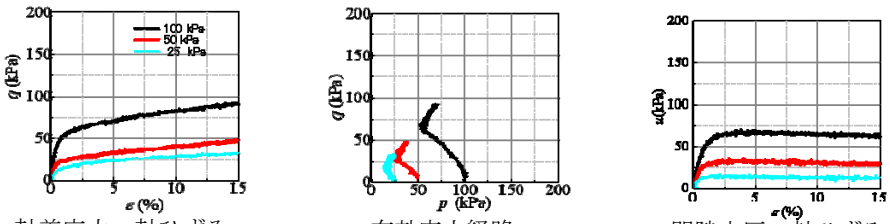
４． 三軸試験による力学特性の評価

図 2～5 にそれぞれの試料における $\overline{CU}$ 試験の結果を示す。B3-④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。縦方向供試体では軸ひずみ 2% まで塑性圧縮を示し，その後塑性膨張を伴う硬化を示す。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。B3-④縦方向供試体の有効応力経路の方が立ち上がっており，せん断初期に弾性応答が卓越しており，せん断初期から塑性圧縮が顕著に現れる，横方向供試体よりも骨格構造が高位と考えられる。もし，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，変相までは有効応力経路がほぼ同じになることが指摘されており，今回のようにせん断初期から大きく異なる挙動を呈するのは，現時点では盛土構築時からの構造的な異方性が考えられる。B3-③ 試料においてもせん断特性には明らかな異方性が認められる。横方向試料では，変相までの塑性圧縮の度合いは B3-④ 横方向試料よりやや大きいように感じられる。図 4，5 に B3-③ 試料の $\overline{CU}$ 試験と吸水軟化試験結果を示す。$\overline{CU}$ 試験結果から見ると，縦方向供試体では軸ひずみ 2% 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。吸水軟化試験結果から見ると，縦方向は横方向より破壊応力比が小さい，横方向の浸透耐性は高いことが示された。



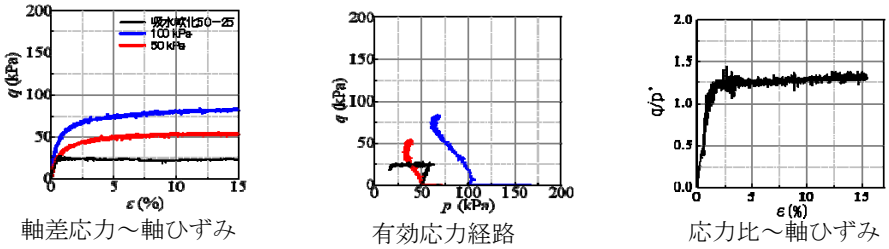
軸差応力～軸ひずみ　有効応力経路　間隙水圧～軸ひずみ

図 2　不攪乱 B3 の④試料縦方向　三軸試験結果



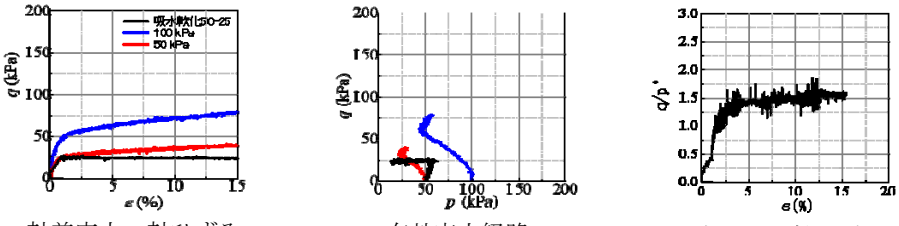
軸差応力～軸ひずみ　有効応力経路　間隙水圧～軸ひずみ

図 3　不攪乱 B3 の④試料横方向　三軸試験結果



軸差応力～軸ひずみ　有効応力経路　応力比～軸ひずみ

図 4　不攪乱 B3 の③試料縦方向　三軸試験と吸水軟化試験



軸差応力～軸ひずみ　有効応力経路　応力比～軸ひずみ

図 5　不攪乱 B3 の③試料横方向　三軸試験と吸水軟化試験

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，室内試験で得られた透水係数の方が 1/6 程度小さくなった。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認められなかった。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，他の採取場所での不撹乱試料で同様の試験を進める予定である。

参考文献：1) 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.
2)地盤工学会：締め固めた地盤の透水試験方法（JGS 1316-2003），2013.