

小田川堤防における開削調査時の現場透水試験と室内透水試験

堤防	現場調査	透水係数	名城大学	国際会員	小高猛司
			日本工営	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	国際会員	○久保裕一
			中部土質試験協同組合	正会員	伊藤康弘

1. はじめに

平成 30 年の 7 月豪雨によって小田川堤防における重篤な被災箇所は決壊箇所 2 箇所（左岸 3.4k 地点、左岸 6.4k 地点）および法すべり 2 箇所（右岸 0.6k、左岸 4.4k）の計 4 箇所に及んだ。我々の研究グループでは開削調査を実施し、堤体観察、物理試験、現場透水試験、室内土質試験、力学試験などの様々な調査を行ってきた^{1)~4)}。透水試験では、実堤体の飽和透水係数を正確に把握するため全箇所において、マリオットサイフォンを用いた現場透水試験「締め固めた地盤の透水試験方法 (JGS 1316-2003)」を実施²⁾し、近傍では乱れの少ない簡易サンプリングによる試料採取³⁾も行い、室内透水試験（左岸 3.4k、左岸 4.2k）との比較も実施した。さらに、室内透水試験では縦横 2 方向による供試体での異方性による透水係数の違いも比較した³⁾。今回は、既報²⁾においてマリオットサイフォンの飽和透水係数を報告した 2 箇所について、追加で室内透水試験と粒度試験を行った結果を報告する。

2. 試験方法

室内透水試験を追加したのは決壊箇所 6.4k 地点、法すべり箇所 0.6k 地点の 2 箇所である。いずれの地点も開削調査時において、上流部と下流部に分けた断面を上下段に段切りし、2 箇所現場透水試験を実施している。開削断面の詳細を図 1 と図 2 に示す。図は右岸 0.6k 地点と左岸 6.4k 地点の堤防開削調査の断面図¹⁾に現場透水試験の実施位置を示したものである。図中の黄色で示す土質名称は現場観察により大まかに土質分類したもので、白色で示した数字はマリオットサイフォンの現場透水試験の試験位置を示す。マリオットサイフォンを用いた現場透水係数について、透水性が高い箇所においては、流量計を用いて定常水位を保つ流量を直接計測する方法を用いた⁵⁾。

室内透水試験は、現場透水試験を行った試験箇所近傍から採取した乱れの少ない簡易サンプリングを用いて行った³⁾。具体的には、内径約 10cm の市販の塩ビ管を高さ約 19cm に切断した上で、片側先端を刃先に加工して簡易サンプラーとし、それを丁寧に地面に押し込んでサンプリングした。室内透水試験では、直径 15cm、高さ 9cm のモールドを使用した。サンプリングした試料は砂分が多いため、凍結させないまま無理に脱型すると破損や乱れを誘発する恐れがあるため、透水モールドと塩ビ管外周を低透水性材料であるベントナイトを充填し試験を実施することとした（特に細粒分が少ない試料については乱れを防止するため予め凍結させた）。供試体上下のポーラスストーンには直径 2~3mm 程の穴を放射状に開け、透水係数に影響を与えないよう配慮した。

3. 現場透水試験と室内透水試験結果

表 1 に各調査箇所における現場透水試験と室内透水試験から得られた透水係数、土質名称、室内透水試験供試体の試験前の飽和度などを示した。なお、室内透水試験後の飽和度はほぼ 100%であることは別途確認している。図 3 と図 4 は、0.6k と 6.4k 地点での現場透水試験実施箇所と室内透水試験供試体から得られた粒径加積曲線を示す。ただし、現場透水試験実施箇所の粒度は調査孔近傍で採取した試料のものであるが、必ずしも厳密に同じ地点ではないことに留意する。一方、室内透水試験の粒度は同じサンプリング試料から求めている。表 1 より、総じて室内透水試験よりも現場透水試験の方が大きく、最大 3 オーダーの差となっている。ただし、3 オーダーの差が見られる右岸 0.6k 堤防は、全体的に粘性土堤体であるが砂礫が層状に挟在（図 2 の筋状の部分）¹⁾していたことから、現場透水試験はその挟在砂礫層の影響を受けて大きくなっていると考えられる。一方、特に 0.6k①と③については、室内試験は細粒土で試験が実施されており、室内透水係数が非常に小さくなっている。0.6k②については、透水係数にほとんど差が生じなかったが、室内透水試験の試料の Fc は相対的に低く、また試験前の飽和度も低いことから砂質土主体であったことがわかる。既報³⁾で示した 3.4k、4.2k での現場と室内の透水試験の比較においても、細粒分が多い試料ほど、両者に差が生じることが示されている。

6.4k においては、室内透水試験の試料はどれも Fc が小さく、それを反映して試験前の飽和度も低い。現場透水係数と室内透水係数との差は少なくない。最も差が小さく 5 倍程度の①においては、現場と室内の粒度は近いが、図 4 左に示す Fc が高い地点でも⑤のように現場透水試験が大きいこともあり、粒度と現場透水係数との関係性を明確に示すことは難しい。本報の現場透水試験は、直径 30cm の円筒状の穴から放射状の定常浸透場を作って計測しているため、局所的な室内透水試験よりも、堤体のマクロな透水性を推定するには適していると考えている。

Field permeability test performed at Oda River embankments and laboratory permeability test for comparison:

T. Kodaka (Meijo University), K.-T. Lee (Nippon Koei), M. Ishihara (PWRI), Y. Kubo and Y. Ito (Geolabo-chubu)



図1 左岸 6.4k の破堤箇所における開削調査時の現場透水試験の実施箇所（左：下流断面，右：上流断面）

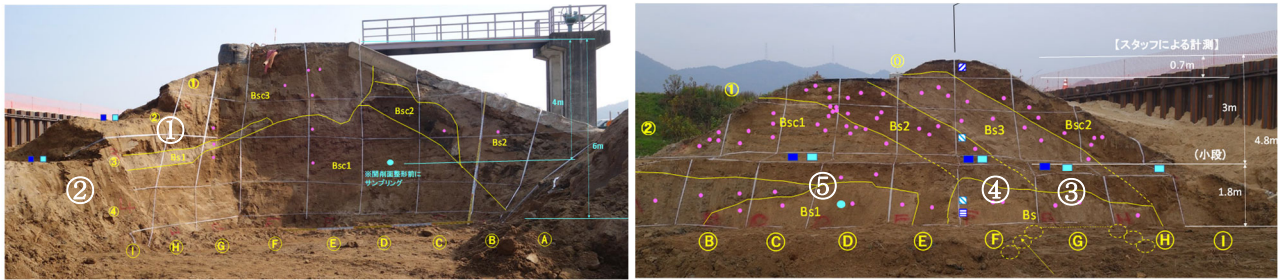


図2 右岸 0.6k の破堤箇所における開削調査時の現場透水試験の実施箇所（左：上流断面，右：下流断面）

表1 現場透水試験結果と近傍簡易サンプリングでの室内透水試験結果と粒度試験結果

調査場所	開削断面 (上下流)	試験位置		現場透水係数 (m/s)	室内透水試験 (m/s)	室内透水試験 前の飽和度	現場透水試験付近の土質	室内透水試験試料の土質	現場	室内
		詳細箇所	写真							
右岸 0.6k	下流	上段	①	1.6×10^{-4}	2.5×10^{-7} (1.907)	85.9	砂質粘土 (CLS)	砂質細粒土 (FS)	0.0026	0.0021
		下段	②	3.1×10^{-5}	2.9×10^{-5} (1.683)	36.1	砂質細粒土 (FS)	礫まじり細粒分質砂 (SF-G)	0.0016	0.0046
	上流	上段(堤外)	③	4.6×10^{-5}	1.4×10^{-8} (1.887)	75.9	砂質粘土 (CLS)	砂質細粒土 (FS)		
		上段(堤内)	④	2.3×10^{-5}			砂質粘土 (CLS)			
		下段(堤外)	⑤	1.9×10^{-5}	9.1×10^{-7} (1.691)	60.1	砂質粘土 (CLS)	砂質細粒土 (FS)	0.0037	0.0017
		下段(堤内)	⑥	6.4×10^{-5}	1.3×10^{-6} (1.836)	66.9	粘土質砂 (SC)	礫まじり細粒分質砂 (SF-G)	0.0046	0.0033
左岸 6.4k	下流	上段	①	6.2×10^{-5}	1.1×10^{-5} (1.678)	20	粘土質砂 (SC)	細粒分まじり礫質砂 (SG-F)	0.0200	0.1955
		下段	②	6.9×10^{-6}	9.9×10^{-7} (1.826)	29.3	粘土質砂 (SC)	細粒分質礫質砂 (SFG)	0.0050	0.0738
	上流	堤外	③	6.2×10^{-5}			礫混じり細粒分質砂 (SF-G)		0.0106	
		中央	④	5.4×10^{-4}	7.2×10^{-6} (1.756)	13.2	礫混じり細粒分質砂 (SF-G)	細粒分まじり礫質砂 (SG-F)	0.0074	0.2114
		堤内	⑤	1.4×10^{-4}	2.9×10^{-6} (1.682)	5.4	細粒分質礫質砂 (SFG)	細粒分まじり礫質砂 (SG-F)	0.0098	0.2659

※()内の数値は透水試験前の湿潤密度(g/cm³)

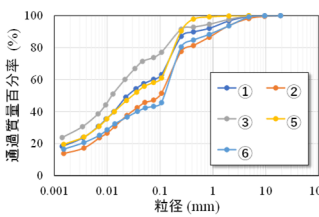
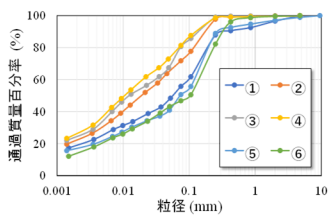


図3 右岸 0.6k 地点での現場と室内の粒径加積曲線
(左：現場透水試験近傍，右：室内透水試験から)

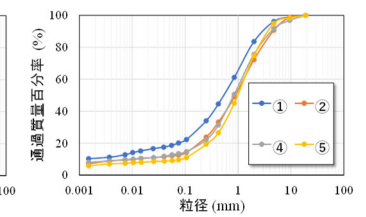
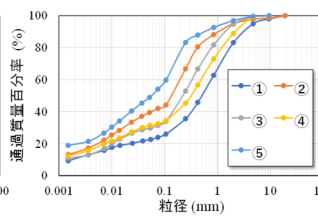


図4 左岸 6.4k 地点での現場と室内の粒径加積曲線
(左：現場透水試験近傍，右：室内透水試験から)

4. まとめ

平成 30 年 7 月豪雨により決壊や法すべりが発生した小田川堤防において実施した開削調査の一環の現場透水試験と室内透水係数の結果を示した。総じて、現場透水試験 (JGS-1316) で得られる透水係数は、室内透水係数に比較して大きい値が得られた。これは、他の現場調査でも同様の傾向が得られており、現地堤防の透水性を適正に評価する上で重要な知見である。本研究を実施するにあたっては、中国地方整備局に多大なる協力を頂いた。この場を借りて謝意を表す。

参考文献：1)杉山ら：法すべり等が生じた小田川堤防における開削調査，第 55 回地盤工学研究発表会，2020. 2)小高ら：小田川堤防における開削調査時の現場透水試験，第 55 回地盤工学会研究発表会，2020. 3)小高ら：室内透水試験による小田川堤防土の透水性の評価，第 55 回地盤工学会研究発表会，2020. 4)小高ら：小田川堤防土の浸透時のせん断強度特性，第 55 回地盤工学研究発表会，2020. 5)李ら：石混じり礫質土による物部川堤防盛土の特性に関する一考察，第 74 回土木学会年次学術講演会，2019.