

室内透水試験による小田川堤防土の透水性の評価

堤防 透水係数 透水試験

名城大学

国際会員

小高猛司

中部土質試験協同組合

国際会員

○久保裕一（名城大非常勤）

日本工営

国際会員

李 圭太（名城大非常勤）

土木研究所

国際会員

石原雅規

1. はじめに

平成 30 年 7 月の降雨により生じた小田川の決壊箇所および法すべり箇所において、開削調査を実施し¹⁾、その際に堤体内部の複数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を実施した²⁾。その試験箇所近傍では、乱れの少ない試料の簡易サンプリングを実施しており、室内透水試験や力学試験も実施した。本報では、決壊した左岸 3.4k の下流開削断面で採取した試料、ならびに法すべりが発生した左岸 4.2k の上下流開削断面で採取した試料を用いた室内透水試験の結果を示す。今回は特に、現場透水試験の結果と比較するとともに、供試体レベルでの透水性の異方性の有無についても検討した。

2. 試験条件

試験試料は、現場透水試験²⁾を実施した試験孔のすぐ近傍において簡易サンプリング法³⁾によって採取した。具体的には、直径 10cm、高さ 19cm の塩ビ管の片側先端を刃先に加工した簡易サンプラーを丁寧に地面に押し込み、容器の周囲の土を掘って除去してサンプリングする。その状況を写真 1 に示す。

採取試料は塩ビ管のまま一旦凍結させてから、室内透水試験用の供試体に成形した。今回は、供試体レベルでの透水性の異方性を検証するために、図 1 に示すように一つの塩ビ管から縦方向と横方向の二つの供試体を成形することを試みた。その手順を図 2 に示す。はじめに、供試体周囲の塩ビ管に切れ目を入れて切断し、凍結試料を取り出す。その凍結試料を先端から 12cm 部分で切断し、2 つに分ける。これらをそれぞれ特殊加工した供試体成形用旋盤機にて、試料を回転させながら、鋭利なビットで周囲を削り、直径 5cm、高さ 9cm ほどの円柱供試体に成形する。この特殊旋盤機による方法は、凍結した状態のまま数分で成形できるため、ドライヤーやヒートガンで周囲を徐々に融解させながら削る成形方法とは異なり、乱れの誘発が極めて少ない。同じ箇所でも数本の試料をサンプリングしているため、上記のように縦横 2 本の供試体を成形した場合、比較のために塩ビ管 1 本分の凍結試料をそのまま供試体として用いた透水試験も実施した。その際には、周囲を削ることなく端面成形のみ施した。なお、礫分が多い箇所でも採取した試料においては、成形時に破損する恐れがあるために、そのまま 1 本の供試体として透水試験を実施した。

透水試験は、直径 15cm のモールド内に凍結試料を設置して実施するが、モールドと供試体の間に大きな隙間が生じるために、供試体の周囲に低透水材料であるベントナイトを充填した。試験の流れを図 3 に示す。図は塩ビ管そのまま 1 本分の直径 10cm の供試体での事例であるが、縦横 2 本の直径 5cm の供試体であっても充填するベントナイトの量が増えるだけで手順は同じである。



写真 1 サンプリング状況

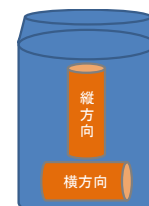


図 1 成形イメージ



凍結試料の切断



切断状況



特殊旋盤機にて成形



成形された供試体

図 2 供試体成形の手順



試料の抜き取り



ベントナイト充填



充填後の状態



真空脱気

図 3 室内透水試験の手順

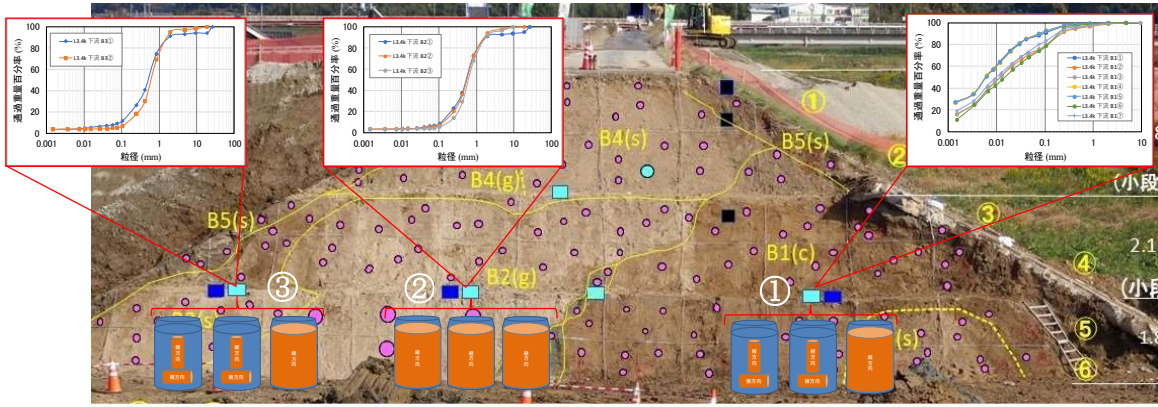


図 4 左岸 3.4k の破堤箇所における開削調査時の現場透水試験の実施箇所と状況⁵⁾を加工

表 1 現場透水試験結果と各箇所土質と推定透水係数

調査場所	開削断面	採取位置	試験方法	供試体の成形方法	室内透水係数(m/s)		現場透水試験近辺の土質		現場透水係数(m/s)
					縦供試体(鉛直方向)	横供試体(水平方向)	工学的土質分類	推定透水係数(m/s)	
左岸 3.4k	下流	堤外①	変水位	縦1本	8.4×10 ⁻⁹ (1.93)		細粒分質砂 (FS)	推定不可	3.2×10 ⁻⁶
			変水位	縦横2本	1.6×10 ⁻⁸ (1.93)	7.5×10 ⁻⁸ (2.01)			
			変水位	縦横2本	8.8×10 ⁻⁹ (2.00)	6.9×10 ⁻⁹ (2.00)			
		堤内(内側)②	定水位	縦1本	4.2×10 ⁻⁵ (1.99)		礫混じり砂 (SP-G)	4.8×10 ⁻⁴	3.7×10 ⁻⁴
			定水位	縦1本	7.0×10 ⁻⁵ (1.95)				
			定水位	縦1本	5.8×10 ⁻⁵ (1.95)				
		堤内(外側)③	変水位	縦1本	2.3×10 ⁻⁷ (1.90)		礫混じり砂 (SP-G)	2.7×10 ⁻⁴	1.1×10 ⁻⁴
			変水位	縦横2本	5.7×10 ⁻⁷ (1.78)	9.7×10 ⁻⁶ (1.67)			
			変水位	縦横2本	8.6×10 ⁻⁷ (1.76)	8.9×10 ⁻⁶ (1.71)			
左岸 4.2k	下流	上段	変水位	縦横2本	7.7×10 ⁻⁷ (1.65)	2.2×10 ⁻⁶ (1.57)	細粒分混じり礫質砂 (SG-F)	2.5×10 ⁻⁴	2.5×10 ⁻⁴
		下段	変水位	縦横2本	8.4×10 ⁻⁶ (1.53)	5.5×10 ⁻⁷ (1.60)	細粒分質砂 (SF)	1.8×10 ⁻⁶	3.1×10 ⁻⁵
	上流	堤内(内側)	変水位	縦横2本	2.2×10 ⁻⁷ (1.57)	3.2×10 ⁻⁷ (1.69)	細粒分質砂 (SF)	8.5×10 ⁻⁶	9.2×10 ⁻⁵
		堤内(外側)	定水位	縦1本	3.4×10 ⁻⁶ (1.431)		細粒分礫混じり砂 (S-FG)	8.9×10 ⁻⁵	4.6×10 ⁻⁵

※()内の数字は凍結供試体の湿潤密度(g/cm³)

3. 実験結果

図 4 は左岸 3.4k の開削調査における室内透水試験用の試料採取位置と採取試料の供試体成形状況を示す。図 1 で示したように、基本的に一つの採取試料から、縦横 1 本ずつ合計 2 本の供試体を成形した。それぞれ長軸方向で室内透水試験を実施することにより、堤体盛土に対して鉛直と水平の供試体寸法レベルでの透水の異方性について検討するためである。なお、図 1 あるいは図 4 中ではサンプラーの刃先を上を描いているため、実際の採取試料は上下逆である。図 4 中には、採取地点近辺での粒径加積曲線も示した。なお、左岸 4.2k での試料採取位置等は紙面の都合上割愛する。

表 1 に今回の室内透水試験結果をまとめて示す。左岸 3.4k では 3 地点で採取した試料によって、合計 13 本の供試体で試験を実施し、左岸 4.2 では 4 地点、合計 7 供試体の試験を実施した。表中には、それぞれの供試体に対して、凍結状態で成形した直後の湿潤密度も示している。採取位置が同じ供試体であっても、湿潤密度にはばらつきが見られる。

表 1 には試料採取位置とほぼ同じ場所で実施した現場透水試験²⁾の結果も示すが、総じて現場透水試験に比べて室内透水試験で得られる透水係数は小さい。これは、既往の調査結果⁴⁾においても同様の傾向が見られている。細粒分を多く含んでいると見られる場所においては、透水係数に 1~2 オーダー、場合によってはそれ以上の差がある。室内透水試験を実施した供試体そのものを用いての粒度試験を実施していないが、近傍での採取試料の粒度から推定した透水係数と比較すると、礫が多く透水性が高い位置においては、推定値は現場透水係数に近く、細粒分が多く透水性が低い位置においては、推定値は室内透水係数に近い傾向が見られる。

異方性の評価については、左岸 3.4k 下流堤内(外側)③において、水平方向の透水係数が鉛直方向よりも 10 倍程度大きくなったが、これらのケースにおいては縦方向供試体の湿潤密度がわずかに大きいこともあり、明確な差があるとは言いきれない。転圧盛土模型から抜き出した大径の供試体で実施した室内試験によって透水性の異方性を示した先駆的な既往の研究⁵⁾もあることから、更なる検討が必要である。一方、現場透水試験自体が、水平方向の透水異方性を包含した評価であるとも解釈でき、それが室内透水試験との大きな差にあらわれているとも考えられることから、堤体内での透水のスケール効果についての検証も別途進める必要である。

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 回地盤工学研究発表会, 2020. 3) 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. 4) 石原ら: 梯川旧堤で実施した現地堤防地盤調査, 第 4 回河川堤防技術シンポジウム, 2016. 5) 大本ら: 半透水性材料の透水性の異方性について, 第 24 回土質工学研究発表会, 1989.