

河川堤体を対象とした透水性及び不飽和浸透特性の評価手法に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○館川 逸朗
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 新村 卓也
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 藤吉 秀彰
 岡山大学大学院 環境科学研究科 正会員 西垣 誠

1.はじめに

洪水時の河川堤体の安定性検討にあたっては、浸透流解析が実施される。そのため、堤体の透水性、及び不飽和浸透特性の把握が解析精度向上の上で重要である。透水性については、堤防は常時は地下水位より上方にあるため、これを対象とした透水試験としては、米国内務省開拓局が提示した E-19 法に基づく「地盤工学会基準(JGS1316-2012, 締め固めた地盤の透水試験方法)」による試験が挙げられるが、この方法は 1m 程度以浅の深度を対象とした試験である。

近年の研究では、孔径 66mm のボーリング孔に適用可能であることが確認されているものの¹⁾²⁾、実用化には至っていない。不飽和浸透特性については、原位置で求める手法が無く、保水性試験及び室内不飽和透水試験によって把握する必要がある。しかし、河川堤体は礫を含む場合が多く、室内試験の精度確保のためには、高精度なサンプリングにより、礫混り土の試料採取と試料外面の乱れを抑制する必要がある。

こうした背景の中、筆者らは、不飽和状態の堤体を対象として、ボーリング孔を用いた鉛直・水平方向の原位置透水試験を実施するとともに、外面の乱れが少ない試料を GP サンプラーにより採取して室内で鉛直・水平方向の不飽和透水試験を実施した。本論文は、これらの試験結果について報告するとともに、河川堤体の透水性や不飽和浸透特性、精度を確保する上の課題等について考察する。

2.試験の概要・試験方法

2.1 透水性(不飽和土を対象とした原位置透水試験)

ボーリング孔を利用して、マリオットサイフォンを用いた定水位試験を実施した。鉛直方向と水平方向のそれぞれの透水係数を算出するため、図-1 の模式図に示す試験を行った。鉛直方向については、孔壁までケーシングを打設し、掘削底面からの浸透量を測定した(チューブ法)。水平方向については、浸透区間の上下にパッカーを設置し、水平方向の浸透量を測定した(パッカー法)。水平方向の透水試験の実施にあたっては、ストレーナーの上下の水の動きを遮断する必要があるため、図-2 に示す装置を用いた。これは、ストレーナーの上部は遮水材により、上方向への

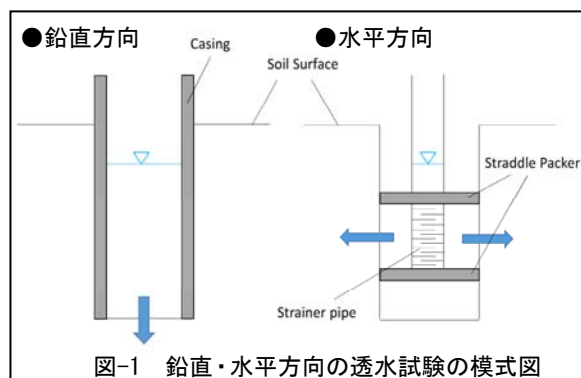


図-1 鉛直・水平方向の透水試験の模式図

水の動きを遮断し、ストレーナーの下部については、非開口の塩ビ管により、下方向への水の動きを遮断したものである。掘進直後の試験孔は、表面に細粒分の付着が顕著であったため、入念にブラシによる洗浄を行い、洗浄前後の孔壁の状態についてファイバースコープによる確認を行った。なお、不飽和土を対象とした透水試験は、初期飽和度の影響を受けることが報告されているため、試験開始前に 60 分間、CO₂ ガスを注入し、脱気を行った。

対象とした土質材料の物理試験結果は表-1 に示すとおり、「細粒分質砂質礫」であり、礫が主体であるものの、細粒分含有率 Fc=26.2%と比較的大きい。試験深度は、鉛直方向は GL-1.10m(湛水深 119cm)、水平方向は、GL-0.73~1.18m(湛水深 155cm)である。また、鉛直方向の試験に使用したケーシング内径は 101mm であり、水平方向の試験に使用した塩ビ管の内径は 46mm である。

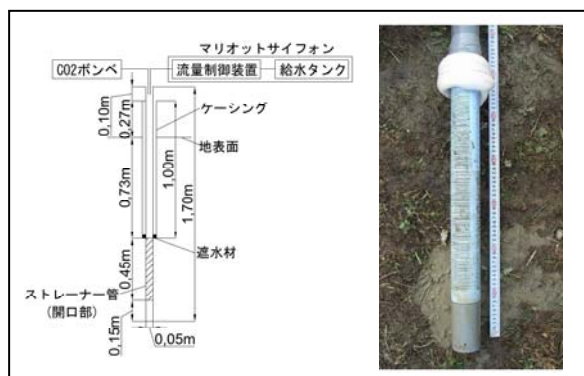


図-2 水平方向の試験装置

2.2 不飽和浸透特性(サンプリング及び保水性試験、室内不飽和透水試験)

堤体は不飽和土であることが一般的であり、かつ、礫が混じる場合が多いため、通常のサンドサンプリングでは乱れを抑えることは極めて困難である。今回、使用した GP サンプリングは、従来の泥水循環でなく、ポリマーを非循環方式で用いることにより、マトリクスの流出を抑制するとともに試料の表面を保護する。通常のサンドサンプラーではサンプリング中の礫の移動により試料の

表-1 試験対象とした堤体材料(物理試験結果)

最大粒径 D _{max} (mm)	60%粒径 D ₆₀ (mm)	50%粒径 D ₅₀ (mm)	30%粒径 D ₃₀ (mm)	20%粒径 D ₂₀ (mm)	10%粒径 D ₁₀ (mm)	均等係数 U _c	曲率係数 U _{c'}	細粒分含有率 (%)	土粒子の密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	土質分類
26.5	1.60	0.65	0.12	0.04	0.01	210.96	1.09	26.2	2.654	15.4	細粒分質砂質礫 (GFS)

キーワード 堤防, 不飽和土, 透水試験

連絡先 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地(テラススクエア) パシフィックコンサルタンツ株式会社
 TEL 03-6777-3001

-乱れが生じるが、GPサンプリングでは礫をきれいに切削するため、礫移動に伴う乱れを抑制できる3)。採取装置の模式図を図3に示す。本研究で採取した土質試料を写真-1に示す。保水性試験は、吸引法と加圧法を用いて、排水過程・吸水過程の両方について行い、室内不飽和透水試験については、定常法を用いた。なお、本研究では、 $\phi 50\text{mm}$, $h50\text{mm}$ の試料を作成し、鉛直方向・水平方向、それぞれに対し、試験を実施した。また、飽和透水係数を把握するため、飽和透水試験も合わせて、実施した。

3. 試験結果及び考察

3.1 透水性

原位置透水試験の結果と室内透水試験結果の比較を表-2に示す。透水係数の算出は、式①(雨水浸透施設の式)、②(理論式)の2通りで求めた。

原位置透水試験で求めた透水係数は、室内透水試験で求めた透水係数よりも1オーダー小さい値となった。

不飽和原位置透水試験においては、地盤の間隙中の空気のため完全な飽和状態にはならないこと、周辺地盤の土質・相対密度・飽和度の変化やばらつきが透水係数に影響したことが考えられる。また、原位置、室内とも鉛直方向の透水係数は、水平方向の透水係数より若干小さい結果となり、鉛直方向の透水係数は、水平方向の透水係数の0.18~0.66倍となった。

3.2 不飽和浸透特性

水平方向と鉛直方向について、不飽和透水試験の結果を図-4に示す。鉛直方向と水平方向について、不飽和浸透特性に殆ど差はない結果であった。また、 $\theta \sim \psi$ 及び $\theta \sim k/k_s$ の関係(吸水過程)について、Van Genuchten モデル(以下、VGモデル)による同定を行ったところ、図-5に示すとおり、今回求めた $\theta \sim \psi$ 及び $\theta \sim k/k_s$ 関係を同一のパラメータで表現できることが確認された。

5. まとめ

透水性の評価については、原位置透水試験結果では、室内透水試験結果で得られるよりも小さい透水係数が得られ、周辺地盤の土質・相対密度・飽和度の変化やばらつきによる影響が考えられる。今後は、 CO_2 ガスの注入時間による透水係数の変化のデータを蓄積、周辺の土質・相対密度・飽和度と透水係数の関係の把握等が重要である。

鉛直方向と水平方向の透水係数の比については、原位置でも室内透水試験でも、水平方向の透水係数と比べ、鉛直方向の透水係数が小さい結果が得られ、今回使用した装置・試験法の妥当性が確認された。

不飽和浸透試験の試料採取方法の評価について、GPサンプリングは、切削面の状況等から見て、礫混り土に対して乱れが少ない有効な手法と考えられる。採取試料を用いた鉛直方向・水平方向の不飽和透水試験では、鉛直・水平方向で不飽和浸透特性はほぼ同様の結果となった。

また、VGモデルで $\theta \sim \psi$ 、 $\theta \sim k/k_s$ の両方の試験値を表現できることが確認された。保水性試験結果から、 $\theta \sim \psi$ だけでなく、 $\theta \sim k/k_s$ も高い精度で推定できる可能性が高い。不飽和透水試験データは少なく、今回の中間土の試験結果は砂質土・粘性土の一般値と異なる。こうしたことから、透安定解析における精度の向上には、今後多くの堤体材料の試験データの蓄積が必要である。

〈参考文献〉

- 1) 西垣誠, 小川恵, 今西啓太: 原位置における不飽和浸透特性の計測法に関する研究, 日本地下水学会 2009 秋季講演要旨, pp. 218-219, 2010.
- 2) 西垣誠, 春名充明, 濱本隆太: 原位置でボーリング孔を用いた不飽和浸透特性の計測法に関する研究, 日本地下水学会 2010 秋季講演要旨, pp. 130-133, 2011.
- 3) 金子進他: 水溶性ポリマーの濃厚溶液を利用したサンプリング方法の深部地盤への適用, 第40回地盤工学研究発表会, pp. 183-184, 2005. 2) 中野政詩, 宮崎毅, 塩沢昌, 西村拓: 土壌物理環境測定法, 東京大学出版会, pp. 115-127

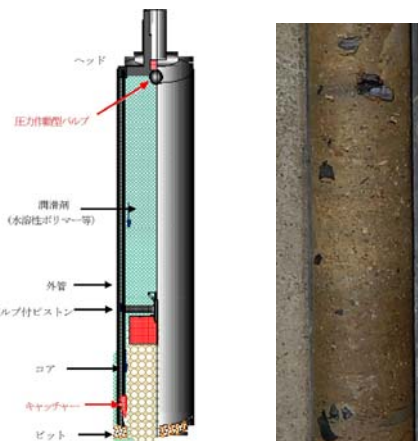


図-3 GP サンプラーの概要 写真-1 試料の状況

表-2 原位置透水試験結果と室内透水試験結果の比較

		① 透水係数 (鉛直方向)	② 透水係数 (水平方向)	③ 透水係数(鉛直方向)/ 透水係数(水平方向) (①/②)	【参考】 F_c : 細 粒分含有率	【参考】D20による 換算透水係数
原位置透 水試験	式①(雨水浸 透施設の式)	$9.95 \times 10^{-8} (\text{m/s})$	$1.50 \times 10^{-7} (\text{m/s})$	0.66	26.2%	$1.47 \times 10^{-6} (\text{m/s})$ ($D_{20}=0.035$)
	式②(理論式)	$3.70 \times 10^{-8} (\text{m/s})$	$2.06 \times 10^{-7} (\text{m/s})$	0.18		
室内透水試験		$1.12 \times 10^{-8} (\text{m/s})$	$2.22 \times 10^{-7} (\text{m/s})$	0.50		

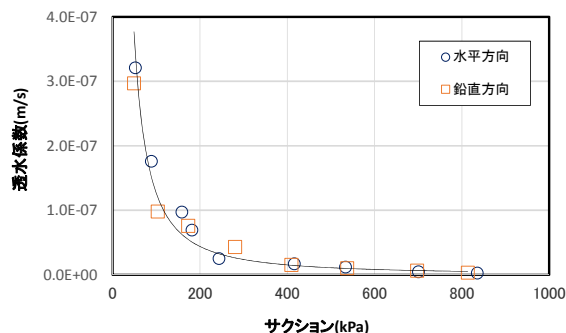


図-4 室内不飽和透水試験結果

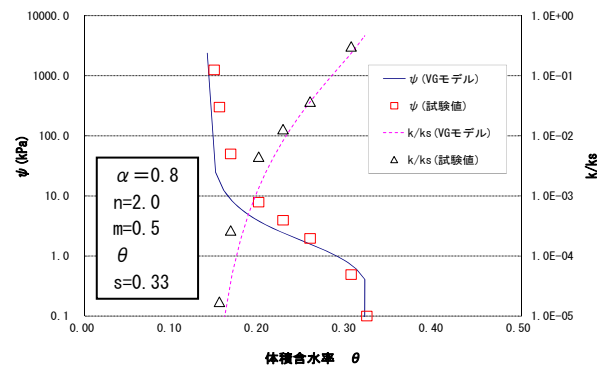


図-5 VGモデルによる試験結果の再現