

携帯型ミニディスクインフィルトロメータを用いた一次元流れにおける 現場飽和透水係数の算出方法の提案

鹿児島大学 学生会員 福留勘太, 高田雄大

鹿児島大学 正会員 伊藤真一, 酒匂一成

1. はじめに

現場で簡易に計測可能な透水試験装置として携帯型ミニディスクインフィルトロメータ(METER社, 以下, インフィルトロメータ)がある。インフィルトロメータを用いた透水係数の算出方法には, 高飽和領域の不飽和透水係数を算出する Zhang¹⁾の方法や現場飽和透水係数を算出する Reynolds and Elrick²⁾の方法などがあるが, これらの方法は三次元の浸透挙動(鉛直浸透やサクシオンによる間隙水の広がり)を想定しており, 現場の透水係数を算出するための条件としては複雑である。そこで, 図-1 に示すように, 現場でインフィルトロメータのディスク半径と径が等しい単管パイプを打設して, その上で水の流れを一次元に強制した透水試験を行うことで, 鉛直方向の透水係数をより高精度に算出できるのではないかと考えた。ただし, 浸透水を一次元流れにするため, 透水係数の算出式としては従来の式^{1),2)}が適用できない可能性が高い。そこで, 本研究では, Reynolds and Elrickの方法に着目して, 一次元流れにおける現場飽和透水係数の算出方法の提案を行うとともに, 室内試験によって提案した現場飽和透水係数の算出方法の妥当性を検証する。

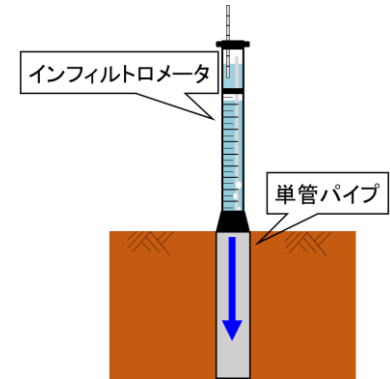


図-1 現場透水試験の概念図

2. 一次元流れにおける現場飽和透水係数の算出方法の提案

インフィルトロメータは, 上下の2つのチャンバーと圧力水頭調整チューブ, 多孔質ディスクで構成されており, 地表面上に設置した際の単位時間当たりの浸潤量を計測することで透水係数を算出する小型な試験器である。Reynolds and Elrick²⁾の方法では, 調整した圧力水頭ごとに浸潤量を計測し, 3つ以上の圧力水頭における定常状態の流量を計測する。そして, 各圧力水頭 h に対する単位時間当たりの定常流量 Q/t の自然対数を $h\text{-}\log_e(Q/t)$ 関係として回帰直線を得る。この回帰直線の傾き a と切片 $\log_e(Q/t)$ を用いて以下のように現場飽和透水係数 k_{fs} を算出する。

$$k_{fs} = \frac{e^{\log_e(Q/t)}}{\pi R^2 + \frac{4R}{a}} \quad (1)$$

ここで, Q/t は定常流量(cm^3/s), R はインフィルトロメータのディスク半径(cm)である。式(1)における分母の πR^2 は鉛直浸透の成分であり, $4R/a$ はサクシオンによる間隙水の広がりを考慮した成分である。本研究では鉛直一次元に強制した浸透挙動とするため, 現場透水係数の算出式として式(2)のように分母の $4R/a$ を除いた式を提案する。

$$k_{fs} = \frac{e^{\log_e(Q/t)}}{\pi R^2} \quad (2)$$

3. 室内試験概要

写真-1 は本研究で行った室内透水試験の様子を示している。多孔質ディスクの半径に合わせたアクリルパイプ(直径 58mm, 高さ 200mm)を用いて水の浸透挙動が一次元流れになるように試験(以下, 一次元透水試験)を行った。試験試料としては, 豊浦砂と鹿児島市東俣町での採取土(以下, 東俣シラス)を用いた。土粒子密度は, 豊浦砂が $2.64(\text{Mg}/\text{m}^3)$, 東俣シラスが $2.37(\text{Mg}/\text{m}^3)$ であり, それぞれ所定の間隙比(豊浦砂: $e=0.80$, 東俣シラス: $e=1.45$)となるように締め固めて供試体を作製した。本研究では, 透水試験の方法³⁾として供試体の表面を十分に湿潤させた

後に、-1, -3, -5 (cmH₂O) 順に 3 つの圧力水頭で計測を行った。また、試験ごとに算出される現場飽和透水係数 k_{fs} のばらつきを確認するために、同一の供試体を用いて合計 10 セットの試験を行った。

4. 試験結果及び妥当性評価

図-2 は豊浦砂を用いた場合の $h\text{-}\log_e(Q/t)$ の関係図を示している。同図には、各圧力水頭で得られた 10 個のプロットを用いて算出した合計 1,000 本の回帰直線も併せて示している。これらの回帰直線を用いて、式(2)より 1,000 通りの現場飽和透水係数 k_{fs} を算出した。図-3 は豊浦砂を用いた場合の現場飽和透水係数のヒストグラムを、図-4 は東俣シラスのそれをそれぞれ示している。また、得られた現場飽和透水係数の妥当性を評価するために、一次元透水試験と間隙比を合わせた定水位透水試験(豊浦砂)と変水位透水試験(東俣シラス)を行っており、図-3 と図-4 にはこれらの試験結果も併せて示している。図-3 と図-4 の結果から、一次元透水試験によって得られた現場飽和透水係数 k_{fs} はそのばらつきが小さく、定水位透水試験や変水位透水試験によって得られた透水係数と同程度の値を算出できている。以上のことから、本研究で提案した式(2)を用いることで、インフィルトメータによる一次元流れにおける現場飽和透水係数を精度良く算出できることが明らかになった。



写真-1 室内試験の様子

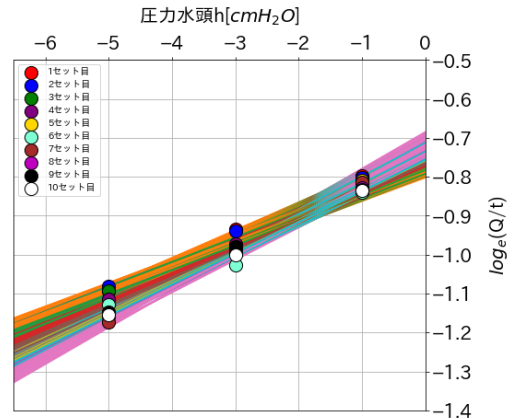


図-2 $h\text{-}\log_e(Q/t)$ の関係図 (豊浦砂)

5. まとめ

本研究では、インフィルトメータを用いて一次元流れにおける現場飽和透水係数の算出方法を提案するとともに、室内試験によって提案した現場飽和透水係数の算出方法の妥当性について検証した。その結果、豊浦砂と東俣シラスのどちらに関しても、提案式を用いることで現場飽和透水係数を精度良く算出できることを示した。また、一次元流れにすることで、現場飽和透水係数のばらつきを抑制できる可能性があると考えられる。

謝辞: 本研究は科学研究費補助金(若手研究, 課題番号: 22K14326)の援助を受けて行われました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Zhang, R. : Determination of Soil Sorptivity and Hydraulic Conductivity from the Disk Infiltrometer, Soil Sci. Soc. Am. J. 61, pp.1024-1030, 1997.
- 2) Reynolds, W. D., Elrick, D. E. : Determination of Hydraulic Conductivity Using a Tension Infiltrometer, Soil Sci. Soc. Am. J. 55, pp.633-639, 1991.
- 3) 小川大輝, 酒匂一成, 伊藤真一: 携帯型ミニディスクインフィルトメータから算出される現場飽和透水係数の精度向上に関する検討, 第 56 回地盤工学研究発表会, 12-5-3-04, 2021.

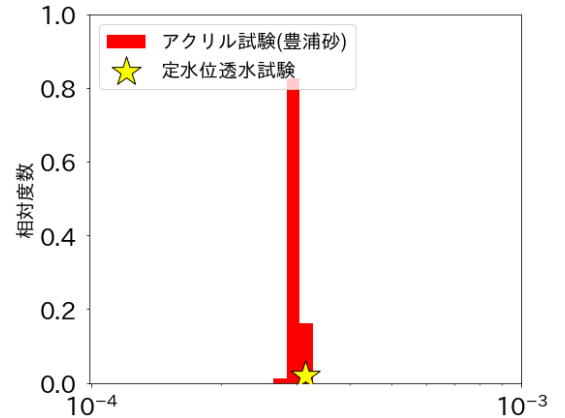


図-3 試験結果 (豊浦砂)

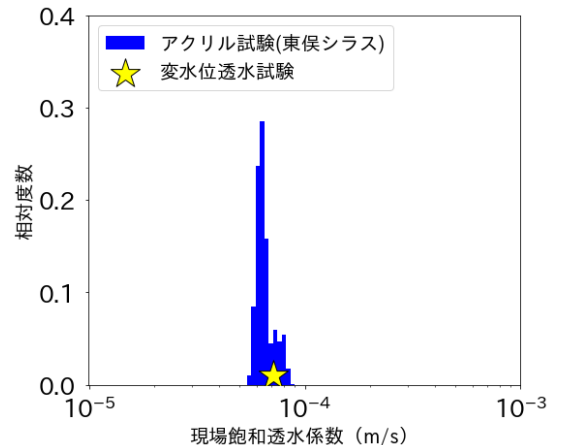


図-4 試験結果 (東俣シラス)