

携帯型ミニディスクインフィルトロメータから算定される現場透水係数の 精度向上に関する検討

鹿児島大学理工学研究科 学生会員 ○小川 大輝

鹿児島大学学術研究院 正会員 酒匂 一成, 伊藤 真一

1. はじめに

携帯型ミニディスクインフィルトロメータ (METER 社, 以降, インフィルトロメータと称す) は, 飽和状態に近い不飽和地盤の透水係数を求める手法の一つであり, 従来の現場透水試験器に比べ, 持ち運びが容易で, 計測を速やかに開始できるが, 計測結果 (現場透水係数) の精度が不明確である。本研究では, 安定した精度の現場透水係数を得るため, 計測地表面の含水状態に着目し, さらにインフィルトロメータの圧力水頭の設定を考慮した室内実験を行う。その実験結果に基づき, バラツキが小さい計測手法を提案する。

2. インフィルトロメータによる現場透水係数の算出手法

本研究では, 計測結果から現場透水係数を算出する手法として, 杉井らの手法¹⁾を用いる。現場透水係数の算出式を次式に示す。

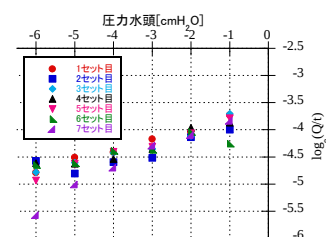
$$k_{fs} = \frac{e^{\log_e(Q/t)}}{\pi R^2 + \frac{4R}{a}} \quad (1)$$

ここに, k_{fs} : 現場透水係数 [cm/s], Q/t : 定常時の流量 [cm³/s], R : インフィルトロメータのディスクの半径 [cm], a : パラメータ。

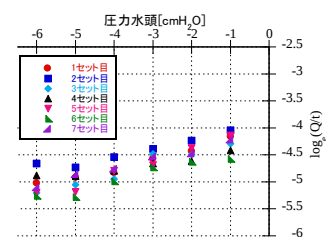
未知数である a , $\log_e(Q/t)$ を決定するには, インフィルトロメータの圧力水頭を変えた 3 回の計測が必要である。その 3 回の計測データから引かれる回帰直線より a , $\log_e(Q/t)$ が決まる。以降, 現場透水係数を単に透水係数と称す。

3. 実験概要

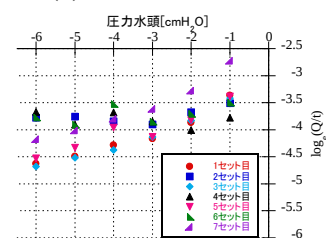
本実験の試料として, 鹿児島県鹿児島市郡山町で採取したシラスを用いる。供試体は, 含水比 $w=12.8\%$ で, 間隙比が $e=0.98$ となるように透水円筒に締め固めた。実験では, 地表面の含水状態が計測結果に及ぼす影響を考慮するため, 計測開始前の供試体の含水状態を 3 ケース設定する。供試体作製後に後述する方法で加水や乾燥を行い, 各ケースの含水状態に調整する。ケース 1 (自然乾燥状態) は, 日当たりと風通しの良い場所で自然乾燥をさせた状態とする。ケース 2 (湿潤状態) は, 供試体下部からゆっくりと上部まで湿潤させた状態とする。ケース 3 (極度乾燥状態) は, 供試体を炉乾燥機で 3 時間乾燥させた状態とする。また, インフィルトロメータの圧力水頭の設定についても検討するため, インフィルトロメータの圧力水頭を -1, -2, -3, -4, -5, -6 [cmH₂O] に設定して, 順次, 浸潤量の計測を行う。計測後は, 各ケースの条件で, 供試体の含水状態を再調整し, 再度計測を繰り返す。各ケースにおいて, これを 7 セット繰り返し, 1 つのケースにつき, 42 個の計測結果を得た。1, 3, 5, 7 セット目は, 圧力水頭 -1 [cmH₂O] から計測を始め, 2, 4, 6 セット目は, 圧力水頭 -6 [cmH₂O] から計測を始める。



(a) ケース 1 (自然乾燥)



(b) ケース 2 (湿潤)



(c) ケース 3 (極度乾燥)

図-1 実験結果

キーワード: ミニディスクインフィルトロメータ, 現場透水係数
連絡先 (住所: 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40, 電話: 099-285-8472)

4. 実験結果の考察と計測手法の検討

4.1 地表面の含水状態が計測結果に与える影響

図-1 に実験で得られた計測結果を示す。図-1(a), (c)から、計測前の地表面が乾燥している状態では、最初に計測を行う圧力水頭-1 や -6[cmH₂O]の結果のバラツキが大きいことがわかる。各ケース 42 個のデータから圧力水頭が重複しない 3 つのデータを用い、式(1)より透水係数を算出すると、各ケース 6,860 個の透水係数が得られた。データの組合せによっては、負の透水係数を示す場合もあったが、正の値のみを用い、ヒストグラムを作成した。図-2 より、ケース 3 はケース 1、ケース 2 に比べてばらつきが大きいことがわかる。ケース 1 とケース 2 では大差無いが、原位置で地表面の状態の再現しやすさを考慮すると、十分に地表面を湿潤させるケース 2 (湿潤状態) が良いと考えられる。

4.2 最適な計測手法に関する検討

6,860 個の透水係数には、負の値や平均値から大きく外れた透水係数 (外れ値) が存在した。それらがどのような計測条件 (圧力水頭 3 種類) の組合せから算出されたかを考察する。負の値の透水係数については、圧力水頭-1, -2, -3[cmH₂O], -1, -2, -4[cmH₂O]の様な組合せが存在した。図-3 の実線のように直線の傾きが負で右下がりの回帰直線となる。ここで、外れ値の透水係数を $k_{fs} < \mu - 2\sigma$, $k_{fs} > \mu + 2\sigma$ の範囲にある透水係数 k_{fs} とした (平均値 μ , 標準偏差 σ)。 $k_{fs} > \mu + 2\sigma$ の透水係数については全て-1, -2, -3[cmH₂O]の様な組合せであった。 $k_{fs} < \mu - 2\sigma$ の透水係数については、およそ 8 割が-1, -2, -3[cmH₂O]の様な組合せ算出された。外れ値の透水係数は図-3 の破線のように、 a , $\log_e(Q/t)$ が小さくなるため算出されたと考えられる。このように圧力水頭の間隔が狭い設定の場合、負の値や外れ値が算出される可能性が高いと考えられる。一方、図-3 の一点破線のように圧力水頭の間隔を離すと平均値に近い透水係数が得られる可能性が高いと考えられる。

実験結果を考慮し、図-4 に示すようなインフィルトロメータによる計測手順を提案する。図-5 にケース 2 の透水係数 (負の値は除く) から標本サイズ 3 で抽出して描いた標本平均分布を示す。図-4 で提案した計測手法により、追加実験を実施したところ、 $k_{fs} = 4.76 \times 10^{-6}$ [m/s]であり、標本平均分布内に収まる透水係数の値が計測された。

5. おわりに

本研究では、インフィルトロメータを用いて、バラツキが小さくなるような計測手法の提案を行った。実験結果の考察から、バラツキが小さい結果を得るためには、計測前に十分に地表面を湿潤すること、インフィルトロメータの圧力水頭の設定間隔に注意が必要であることがわかった。

参考文献: 1) T. Sugii, H. Yokawa, and M. Ishii : Measurement of field-hydraulic soil properties using suction infiltrometer for soil-based pavement, Proc. of the 7th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils (AP-UNSAT2019), pp.84-89, 2019.

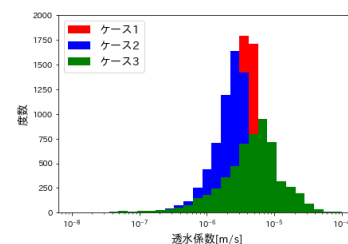


図-2 ヒストグラムの比較

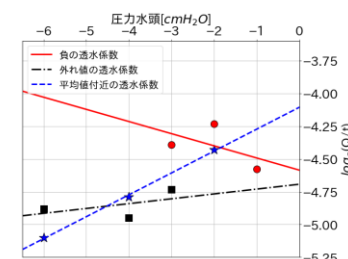


図-3 3種類の回帰直線

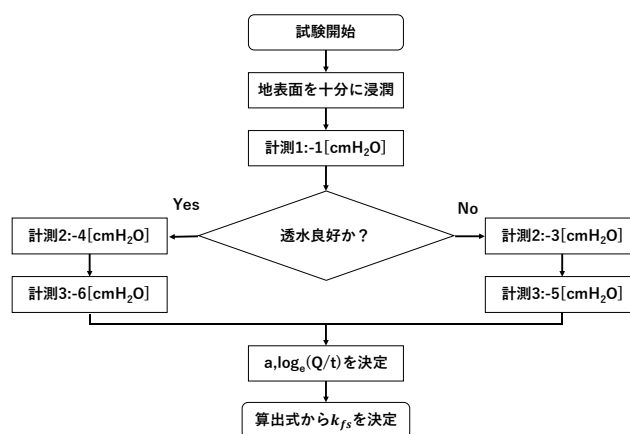


図-4 提案する計測手法

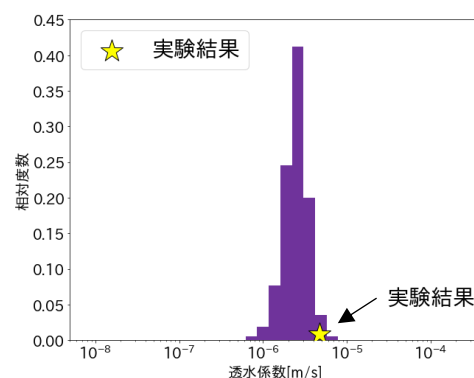


図-5 ケース 2 の標本平均分布