

安価な光学式水位計を用いた現場飽和透水係数 K_{fs} の決定

Determination of K_{fs} using an inexpensive optical water level meter

井上光弘¹・青木伸輔²・登尾浩助³・猪迫耕二¹

¹鳥取大学・²香川大学・³明治大学

要旨(Abstract)

表層土壌の現場飽和透水係数(K_{fs})は重要な土壌水理特性の1つであるため、最小限の攪乱で原位置の K_{fs} 値を測定することは多くの研究者にとって大きな関心事である。定常定水位法と比較して実験の使用水量が少なく時間が短縮できる単管反復変水位法を採用し、砂地圃場で安価な光学式水位計を用いて水位変化を測定した。水位変化を指数関数で近似して、直接 K_{fs} 値を算出した。特に水位変化の測定精度を検討するために光学式水位計の特性を吟味した。

キーワード：光学式水位計，単管反復変水位法，HYDRUS 2D/3D

Key words: optical water level meter, single-cylinder repeated falling-head method, HYDRUS 2D/3D

1. はじめに

現場飽和透水係数(K_{fs})を求めるために、土の膨潤あるいは収縮がなく数値計算 (HYDRUS 2D/3D) で取り扱える土壌であることを前提とした。井上ら(2020)は、半径 r (cm)のスケール付き透明アクリル円筒を圃場に垂直に d (cm)挿入し、目視で水位変化 $H(t)$ を等間隔で測定して K_{fs} 値を決定する方法を開発した。その中で無次元形状係数 G は、変水位境界の数値計算から直接得られる同時刻の水位と浸潤フラックスの直線関係から勾配 A を求めて、 $G=Ks/(r \pi A)$ で計算した。ここで、 Ks は数値計算の入力値で土壌の飽和透水係数である。

本研究は目視による砂地の水位変化測定が容易でないことから、安価な光学式水位計を導入した。光学式水位計の測定精度について検討し、Inoue et al. (2023)の指数関数で水位変化 $H(t)$ を決定して砂地圃場の K_{fs} 値を測定した。

2. 方法

データロガーに M5Stack Core2, 距離センサーに VL53L0X を採用した。光源は 940nm の赤外レーザー線で、対象物から反射して戻ってくるまでの時間から距離を測定する Time of Flight(ToF)方式が採用され、5 秒間隔でマイクロ SD カードに距離を記録した(Fig. 1 参照)。

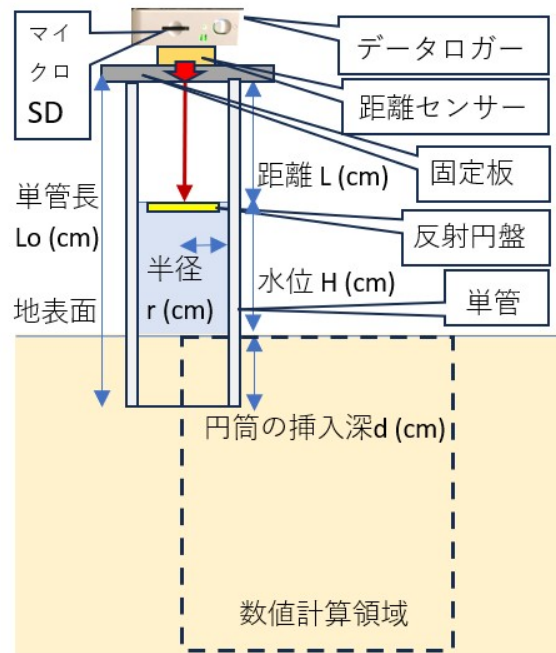


Fig. 1 光学式水位計による水位測定装置

乾燥地研究センターの圃場で 2024 年 9 月 17 日に内径 10.2cm 長さ 45.7cm の透明アクリル円筒を 4cm 挿入し校正済みの光学式水位計を用いて単管反復変水位法の実験を行った。

水位変化を測定して、次式の指数関数で直接 K_{fs} 値とパラメータ λ 値を求めた。

$$H(t) = (H_0 + L_g + \lambda) \exp \left[-\frac{K_{fs}}{L_g} t \right] - L_g - \lambda \quad (1)$$

ここで、 H_0 は時間 $t=0$ における水位、形状係数 L_g (cm)は $L_g=G \pi r$ (2)式で与えられる。

水位の測定値と指数関数による推定値の差の二乗の総和が最小になるように、エクセルのソルバーによる GRG 非線形で K_{fs} 値を計算した。

3. 結果と考察

(1) G と(d/r)の関係

数値計算の結果、Fig. 2 に示すように、水位測定範囲によって直線関係が異なり、 $2 < H < 6$, $5 < H < 15$ の範囲では G 値が小さい。定常定水位法で得られた Reynolds and Elrick(1990)の G 値は(d/r)に対して、いずれの非定常変水位法の G 値よりも大きい。砂地圃場では、 $15 < H < 25$ の範囲で実験を行い、Fig. 2 の関係式は

$$G = 0.319 (d/r) + 0.142 \quad (3)$$

を採用した。

(2) 光学式水位計の出力値 X と距離 L の関係

Fig. 1 の反射円盤を固定して、光学式水位計の出力値を 100 個測定し、その平均値と実際の距離 L との関係を図 3 に示した。標準偏差はいずれも 2mm 以下であった。凡例にセンサー番号 (No. 1, No. 2, No. 3)、円筒の種類、内径、長さを示した。円筒の内径が小さくなると出力値 X が小さくなった。センサーによる個体差はわずかに認められたが、反射板の色の影響、インキュベータ内の温度 10℃湿度 30%の実験結果から温度影響は少なかった。円筒の大きさ(内径)の影響は光線のレンジング角度 25° と壁面の粗度の影響によると思われる。

(3) 砂地圃場における K_{fs} 値の測定

水位変化が著しい砂地圃場では、個々の光学式水位計の校正が必要で、円筒との組み合わせが精度を左右する。光学式水位計(No.2)の校正実験の結果、 $L=0.947X-10.7(R^2=0.9999)$ が得られ、 $H=0.0947X+41.8$ の式によって出力値 X から水深 H の時間変化を求めた。水位変化 $H(t)$ を丸印で Fig. 4 に示した。(2)式から $L_g=6.28\text{cm}$ を固定して、(1)式の非線形最小二乗法による結果は、二乗平均平方根誤差 (RMSE)は 0.196 cm となり実測値と曲線が一致し、 $K_{fs}=1.73\text{ cm/min}$, $\lambda=2.52\text{ cm}$ を得た。

4. おわりに

今後は、安価な排水用塩ビ管の使用、水位測定範囲を考慮した円筒の内径と長さ、異なる土壌、異なる乾燥密度など圃場実験を積み重ねる必要がある。

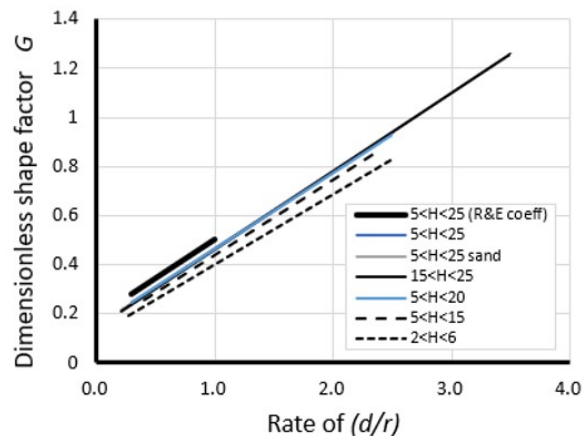


Fig.2 無次元形状係数 G と比(d/r)の関係

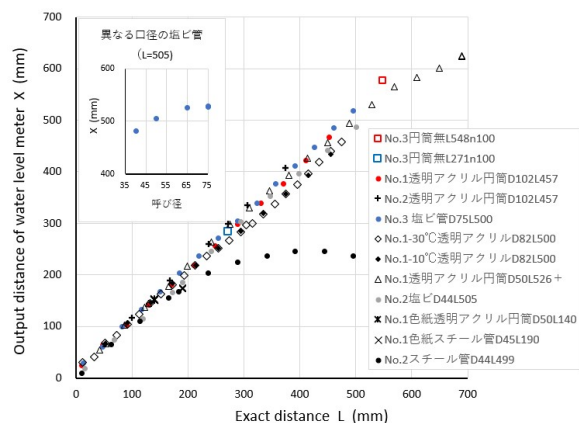


Fig.3 光学式水位計の出力値 X と距離 L の関係

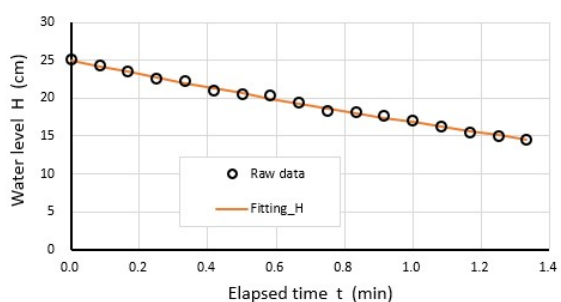


Fig. 4 砂地圃場の光学式水位計による変化

参考文献

- Reynolds, W. D. and D. E. Elrick: S.S,S.A.J., 54,1233-1241(1990)
 井上光弘ら：日本砂丘学会誌, 67(1),11-23 (2020)
 Inoue et al.: Geoderma, 435, 116511 (2023)