

TDR を用いた水平浸潤実験による水分拡散係数の測定 Soil water diffusivity measurement by horizontal infiltration experiment with TDR

○吉岡尚寛*・土井俊弘**・佐藤直人*・登尾浩助*

○Takahiro YOSHIOKA, Toshihiro DOI, Naoto SATO, Kousuke NOBORIO

1. はじめに

水平浸潤実験はソープティビティや水分拡散係数といった土壌の物理的性質を評価するために行われてきた。水平浸潤実験により水分拡散係数を得る Bruce and Klute 法(Bruce and Klute, 1956)は煩雑な作業や1回の実験に多くの時間を必要とする。これらの課題を解決するために、本研究では TDR 法を用いた水平浸潤実験を提案し、従来法と同様に土壌の水分拡散係数を測定できるか評価した。

2. 方法

実験は明治大学生田キャンパスの実験室内で行った。実験カラムは長さ 42 cm、内径 2.4 cm のアクリルパイプを用いて作成した。TDR センサーのプローブ部分となる 3.8 cm の銅箔テープをアクリルパイプ内壁の水源側端から 4.4 cm の距離に貼り付けた。50 Ω の同軸ケーブルを、銅箔テープにはんだ付けし、TDR100(Campbell Scientific)と接続した(図 1)。

実験カラムに乾燥密度 1.61 g/cm³で豊浦砂を充填した。浸潤溶液には水道水を使用し、マリオット管を用いて給水した。

実験カラムを水平に設置し、水源と試料の間に接続したシリンジを引いて空気を抜き、浸潤を開始した。TDR 波形はデータロガー (CR1000, Campbell Scientific) で記録した。また、得られた TDR 波形よりプローブ始端から終端までの距離を見かけのプローブ長さ(登尾, 2003)とした。

カラム内壁に貼り付けた TDR プローブにより湿潤試料の比誘電率を求める際には、アクリルの誘電率を考慮する必要がある(宮本・筑紫, 2006)。本実験では真の比誘電率 ϵ' を測定するために(1)式を提案した。

$$\epsilon = a\epsilon' + b\epsilon_{ac} \quad (1)$$

ここで ϵ は見かけのプローブ長さから算出した見かけの比誘電率、 ϵ' は試料の真の比誘電率、 ϵ_{ac} はアクリルの比誘電率、 a 、 b は実験定数である。

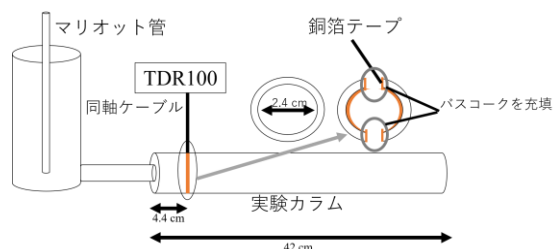


図 1. 実験装置図

Fig.1 Experimental apparatus diagram

*明治大学農学部 School of Agriculture, Meiji University

**明治大学研究・知財戦略機構 Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University

キーワード: TDR, 豊浦砂, 水平浸潤, 水分移動

空の実験カラムおよび水のみ充填した実験カラムを用いて TDR 波形を取得し、見かけの比誘電率 ϵ を算出した。水と空気の真の比誘電率 ϵ' をそれぞれ 80 および 1 として (登尾, 2003), (1)式に代入することにより a と $b\epsilon_{ac}$ の値はそれぞれ 0.444 と-0.442 に決定した。

また Topp(1980)の経験式を用いて湿潤試料の比誘電率 ϵ' から体積含水率 θ を求めた。水分拡散係数 $D(\theta)$ の算出は(2)式 (登尾・佐藤, 2022)を用いた。

$$D(\theta) = -\frac{1}{2} \frac{d\lambda}{d\theta} \Big|_{\lambda_t} \int_{\theta_{t=0}}^{\theta_t} \lambda d\theta \quad (2)$$

ここで、 λ_t は時刻 t (s)における $\lambda=x/t^{1/2}$, x は水源側端から TDR プローブまでの長さ、 θ_t は時刻 t における体積含水率(cm^3/cm^3), $\theta_{t=0}$ は初期体積含水率(cm^3/cm^3)である。

3. 結果と考察

図 2 に TDR 法と Bruce and Klute 法により測定した水分拡散係数を示す。 $\theta < 0.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ では TDR 法と Bruce and Klute 法の水分拡散係数が良く一致した。TDR 法を用いた水平浸潤実験による水分拡散係数の測定が可能であることが明らかになった。

一方、飽和付近($\theta > 0.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$)では水分拡散係数を過小評価した。図 3 に TDR プローブ部を浸潤前線が通過する前後の TDR 波形を示す。プローブ終端の位置(図 3○印)が不明瞭であったため、見かけのプローブ長さの決定に不確かさが含まれ、見かけのプローブ長さを過大評価したと考えられる。このことは、TDR 法により得られた飽和体積含水率($\theta_s = 0.44 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$)が乾燥密度から推定した飽和体積含水率($\theta_s = 0.39 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$)よりも大きかった一因と考えられる。したがって、波形解析の精度向上が今後の課題である。

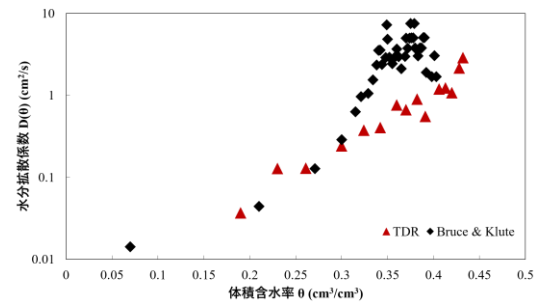


図 2. TDR 法と Bruce and Klute 法による水分拡散係数の比較

Fig.2 Comparison of soil water diffusivity using TDR and Bruce & Klute methods.

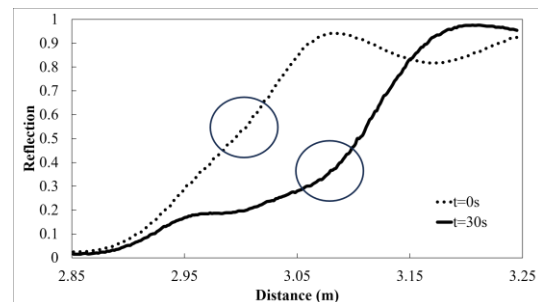


図 3. 浸潤後の TDR 波形

Fig.3 TDR Waveform after infiltration

参考文献

登尾浩助(2003): 実践 TDR 法活用-土壌中の水分・塩分量の同時測定-. 土壌の物理性, 93:57-65.

登尾浩助, 佐藤直人(2022): 非定常体積含水率の定点観測による土壌水分拡散係数測定. 土壌物理学会大会要旨集 SP64, P21:66-67

宮本英揮・筑紫二郎(2006): 誘電混合モデルによるカラム内壁面接着型 TDR プローブのキャリブレーション. 土壌の物理性, 104:5-12

Bruce, R.R., and Klute, A. (1956): The measurement of soil moisture diffusivity. Soil Science Society of America Journal, 20(4):458-462.

Topp, G.C., Davis, J.L. and Annan, A.P.(1980):Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. Water Resour. Res.,16:574-582