

# TDR 法による土壤水分測定値に与える温度依存性の影響

水文気象研究室 修士2年 佐藤遥  
指導教員 陸旻皎

## 1. はじめに

近年、世界的な気候変動の影響により様々な問題が指摘されている。その中で、地球温暖化の進行とともに土壤水分量も大きく変動することが予想される。土壤中の水分分布（移動）の予測をするために土壤水分特性値が用いられる。これは土壤水分量を測定することにより得ることができるものである、高精度な測定値を得ることで信頼性の高い予測が行える。土壤水分量の測定方法として、広く利用されているのは Topp<sup>1)</sup> によって提唱された TDR (Time Domain Reflectometry) による土壤水分測定である。当初、TDR による測定では有意な温度依存性はないとしていたが、山本<sup>2)</sup> によって土壤温度そのものが TDR 土壤水分量計測値に影響を与えることが明らかとなった。しかし、実験結果には含水率によって正負の相関が異なっていた。山本は TDR 法による計測をする際、土壤中の水分分布予測として van Genuchten が提案したモデル (以下 VG モデル) を用いていたが、模擬土壤の VG モデルパラメータとして使用した値<sup>3)</sup> は高サクシヨンのデータが得られていない不完全なパラメータであった。本研究では高サクシヨンのデータを得るための実験を行い、VG パラメータの再検討を行った。また TDR 土壤水分量計測を行い、山本の実験結果の再現性確認のための実験と、温度依存性が土壤水分量に与える影響について考察した。

## 2. パラメータ検討

VG モデル以下の式で表される。

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = (1 + |\alpha z_g|^n)^{-m} \quad (2.1)$$

ここで、 $Se$  は有効飽和度、 $\theta_s$  は飽和体積含水率、 $\theta_r$  は残留体積含水率、 $z_g$  (mm) は地表面を基準とした地下水水面位置、 $\alpha$  ( $\text{mm}^{-1}$ ) は空気侵入圧ポテンシャルの逆数、 $n$ 、 $m$  ( $= 1 - 1/n$ ) は孔隙分布に関するパラメータである。VG モデルの曲線の形状を与えるパラメータは、 $\alpha$ 、 $n$ 、 $m$  である。

各パラメータを算出するために三軸試験機を用いて高サクシヨンを加えたときの含水率変化のデータを得

る実験を行った。試験機内に粒径 0.150~0.180mm のガラスビーズを用いて作成した供試体を設置し、圧密排水試験を実施した。実験では 25, 50, 100, 200, 400kPa の圧力を加え、その間断的に排水量を測定する。実験後、得られた排水量から体積含水率を算出する。

## 3. TDR による土壤水分測定

TDR は土の比誘電率を測定し、体積含水率との校正曲線に当てはめて推定する方法である。

本実験では山本の結果と比較するため同じ装置を用いて実験を行った。図 1 に示すようにアクリル製円筒形容器に模擬土壤としてガラスビーズを充填した。装置は図 2 のようにセンサーを垂直、水平に設置できるようになっている。実験は恒温室で行い、土壤温度を 5°C から 40°C まで変化させる間 TDR センサーによって断続的に体積含水率を測定する。体積含水率は 3%、7.5%、10%、12.5%、20% の 5 パターンに設定した。

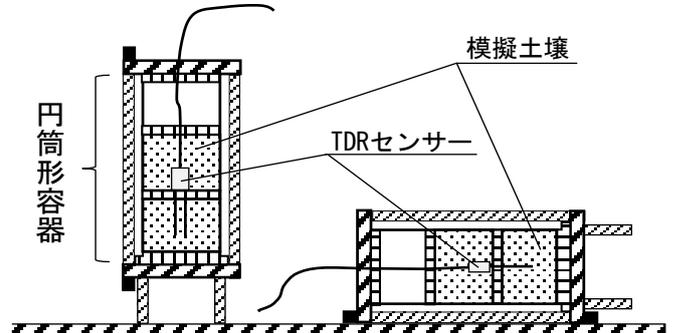


図 1 実験装置<sup>2)</sup>

## 4. 実験結果及び考察

西脇の結果と本研究の実験結果をもとに VG モデルにフィッティングすることにより図 2 に示す水分特性曲線を得ることができた。高サクシヨン時のデータを得ることで、低含水率領域における水分移動の推定が可能となった。検討したパラメータより TDR 実験装置内の土壤水分移動を予測するために以下に示す式を用いる。まず、式 4.1 により土壤内の任意の位置  $z$  の体積含水率を表せる。

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) (1 + |\alpha(z_g - z)|^n)^{-m} \quad (4.1)$$

ここで、鉛直上向き方向を正、垂直設置では地表面、水平設置では中心位置を  $z=0$  とし、 $z_g$  (mm) は  $z=0$  から

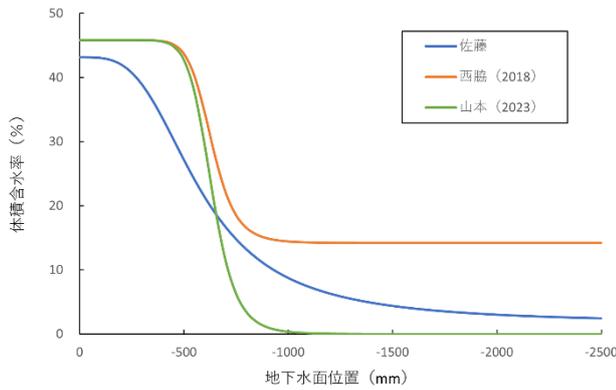


図 1 水分特性曲線

の地下水面位置である。次に模擬土壤全体の $\theta$ は、垂直設置の場合式 4.2, 水平設置の場合式 4.3 によって表現できる。

$$\int_0^L \theta A dz = \theta_m A L \quad (4.2)$$

$$\int_{-R}^R 2\theta D \sqrt{R^2 - z^2} dz = \theta_m A D \quad (4.3)$$

ここで  $L$ [mm]は模擬土壤の鉛直方向長さ,  $A$  [mm<sup>2</sup>]は模擬土壤を垂直方向で見たときの底面積,  $R$ [mm]は半径,  $D$ [mm]は模擬土壤の水平方向長さ,  $\theta_m$ は調合した土壤の含水率である。4.2, 4.3 式を用いて調合した含水率に見合う $z_g$ を求める。以上より模擬土壤内の水分移動予測をすると図 3 に示すようになる。低含水率領域を詳細に推定できることにより、従来の値を使って推定するよりも設定した体積含水率に近い推定値を算出することができている。

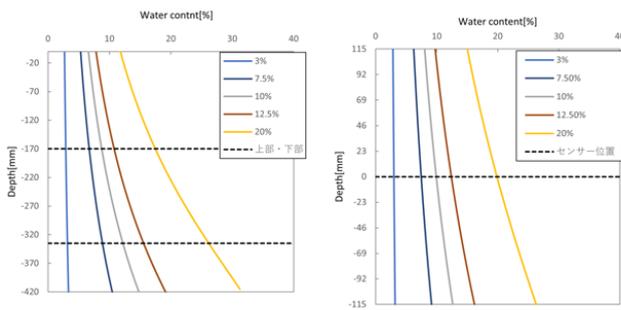


図 2 模擬土壤内水分分布予測 (左: 垂直, 右: 水平)

TDR 法による土壤水分測定の実験ではすべての実験パターンにおいて土壤温度と体積含水率がともに上昇する正の相関が確認された。しかし山本により報告された特定の含水率における負の相関が確認されなかった。さらに、3%から体積含水率を上昇させていく中で、7.5%の実験では体積含水率が 3%の実験よりも減

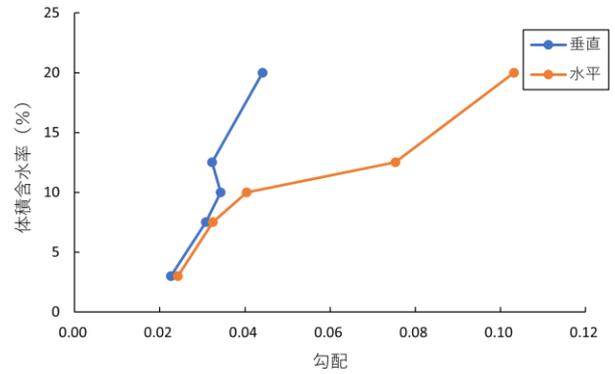


図 4 温度勾配

少していることや、20%の実験以外では想定よりも体積含水率が低く計測されたことが確認できた。

また設置方法ごとの体積含水率と温度変化の勾配についてまとめたものを図 4 に示す。結果より、体積含水率が大きくなるほど温度変化による勾配の影響が大きくなる傾向であることが確認でき、設置方法の違いについて比較すると、低含水率のときは、両設置方法において近い勾配となっているが、高含水率になるにつれ、水平設置の場合、勾配が大きくなる傾向にあることが示された。

## 5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- ・高サクションを加える三軸試験を実施し新たな VG パラメータを検討することで低含水率領域の水分分布を推定することのできる水分特性曲線を得た。
- ・今回の実験では土壤温度と計測値に正の相関があることが示され、負の相関が確認されなかったことから、土壤温度以外の要因が体積含水率の変化にあることが示唆された。
- ・センサーの設置方法として水平設置の場合、温度変化による水分移動の影響を受けやすい可能性が示された。

## 参考文献

- 1) Topp, G.C., Davis, J.L. and Annan, A.P. : Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines, *Water Resour. Res.*, Vol 16, pp574-582, 1980.
- 2) 山本寅大: 誘電型土壤水分センサーによる測定値の温度依存性に関する研究, 長岡技術科学大学修士論分, 2023
- 3) 西脇和希: 土壤水分保持特性が土壤の含水率測定に及ぼす影響, 長岡技術科学大学学士論文, 2018