

T-TDR センサーを用いた野外計測による降雨浸透過程の解析

京都大学大学院農学研究科 ○法利祐香（現：日本工営株式会社）・正岡直也・小杉賢一郎

1. はじめに

降雨の浸透過程の予測には水分特性曲線(θ - ψ)や不飽和透水係数曲線(K - ψ)などの土壌水分パラメータが必要である。水分特性曲線には、排水過程・吸水過程で θ - ψ 関係が異なる曲線を描くヒステリシスと呼ばれる現象が見られるが、このヒステリシスが浸透過程に及ぼす影響を検討した例は少ない。また、土壌水分パラメータは実験室で計測するよりも野外で原位置計測する方が、より実現象に即した値を得られると言われているが、従来は圧力水頭 ψ と体積含水率 θ を完全な同位置で計測することができず、ヒステリシスを含めた水分特性曲線を精度よく原位置計測することが難しかった。こうした中で、 ψ と θ を同位置で計測できる測器である T-TDR センサーが開発されているが¹⁾²⁾、強度が弱く、野外土壌に適用することが難しいという問題があった。そこで、本研究では、T-TDR センサーを改良して野外土壌に適用し、水分特性曲線の原位置計測を行うとともに、原位置計測と室内試験で得られたパラメータを用いて浸透計算を行い、計測手法の違いやヒステリシスの有無による浸透過程の再現性の違いを比較することを目的とした。

2. T-TDR センサーについて

T-TDR センサーは、図1のように圧力水頭 ψ を計測する測器であるテンシオメータのポーラスカップに、体積含水率 θ を計測する測器である TDR 土壌水分計の電極棒に当たる 2 本のワイヤーを巻き付けた構造となっている。本研究では、野外土壌への挿入に耐えうる強度を得るために、ポーラスカップに溝を彫り、ワイヤーを溝に埋め込み、その上から接着剤で固定することで、ワイヤーが剥がれにくいようにした。また、2本の太さの異なる塩ビ管を用い、外側の塩ビ管の一部分を切り取ってその部分に同軸ケーブル

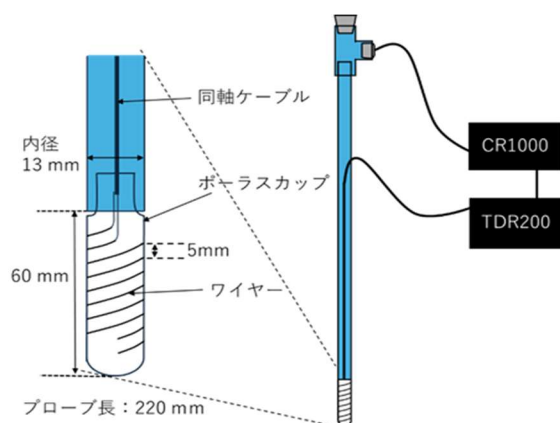


図1 T-TDR センサーの構造

ルを埋め込む構造とすることで、土壌に挿入する際に同軸ケーブルが傷つかないような構造とした。また、キャリブレーション実験を行い、T-TDR センサーで計測できる比誘電率(ξ)から体積含水率 θ を求める式を作成した。

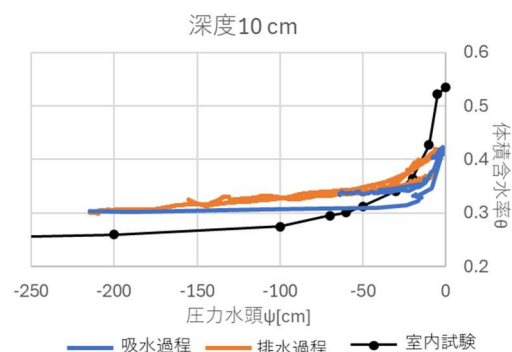
3. 原位置計測と室内試験

3.1 手法

本研究では京都大学北白川試験地の林内において T-TDR センサーを用いた原位置計測を行った。T-TDR センサーは深度 10 から 40 cm まで 10 cm 間隔で 4 本設置し、約 1 か月間にわたって ψ と θ を 10 分間隔で計測して θ - ψ 曲線を求めた。また、Instantaneous Profile Method(IPM 法)³⁾を参考に、排水過程の θ と ψ の時系列変化から K - ψ 曲線を求めた。さらに、計測終了後に、センサーを設置していた地点において各深度 4 個ずつ土壌サンプルを不攪乱採取し、実験室内における加圧板法（以下、pF 試験）により θ - ψ の計測を行った。

3.2 結果

T-TDR センサーを用いた原位置計測では、深度によって特徴が異なる θ - ψ 曲線が得られた。例として深度 10 cm の原位置計測と pF 試験の結果を図2に示す。図2のようにヒステリシスループも明確に見られた。また、pF 試験で得られた θ - ψ 曲線と比較すると、曲線の変化幅や傾きが大きく異なっていた。

図2 θ - ψ 曲線の例

4. 浸透実験

4.1 計算条件

北白川試験地にて行った T-TDR センサーを用いた原位置計測結果と pF 試験の結果を用いて HYDRUS-1D による浸透計算を行った。計算には各計測で得られた θ - ψ 曲線や K - ψ 曲線に Mualem-van Genuchten モデルをフィッティングして得られたパラメータを用い、野外計測期間中の降雨を与えて計算を行った。土壌パラメータを①T-TDR で得ら

れたパラメータ（ヒステリシスあり）、②T-TDR で得られたパラメータ（ヒステリシスなし）、③pF 試験で得られたパラメータの3通りに設定した。透水係数の違いによる影響を小さくするため、K- ψ 曲線は共通して野外計測で得られたK- ψ 曲線をフィッティングして得られたパラメータを用いた。土壌層の厚さは500cmとし、図3のように4層に分けて各深度で計測したパラメータを入力した。また、上層には計測期間中の降雨を与え、下面は Seepage Face とした。

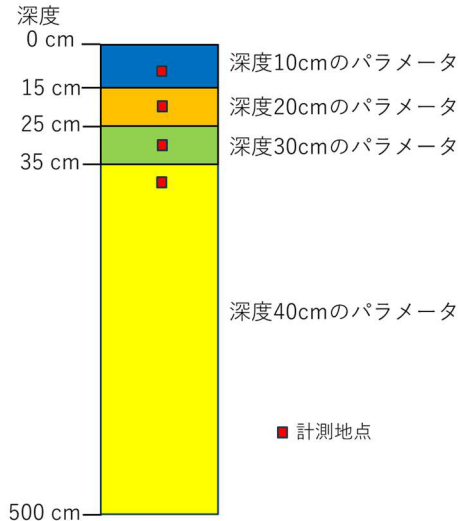


図3 土壌層の条件

4.2 結果

各条件で得られた ψ の時系列データを実測値と比較した。結果の一例として深度30 cmの地点における変化を図4に示す。条件②や③に比べて、条件①では降雨時の ψ のピークがより実測値に近い値となっており、降雨時のピークの立ち上がりタイミングが遅く、傾きが急である点も実測値に最も近く、最良の再現性を示していた。また、各条件における降雨開始時（図4のT1~T6）の2時間おきの ψ の鉛直分布は図5のようになった。条件②や③では早い段階で深い地点でも ψ が上昇しており、表層では ψ が0まで到達しているのに対し、条件①では深い深度での反応が遅く、表層は ψ が0まで到達していることが分かった。この条件①の浸透過程が最も実測に近い結果となった。以上の結果から、pF試験よりもT-TDR センサーで得られる θ - ψ 曲線の変化幅や傾きがより降雨浸透の実態を反映していること、さらにヒステリシスを考慮した方がより実測値に近い浸透過程を再現できることが示された。

参考文献

- 1) Carlos M. P. Vaz et al. Soil Society of America Journal, Vol.66, No.6, p.1752-1759, 2002.
- 2) Sheng-Lun Li and Wei-Li Liang. Water, Vol.11, No.8, p.1662, 2019.
- 3) K. K. Watson et al. Water Resources Research, Vol.2, No.4, p.709-715, 1966.

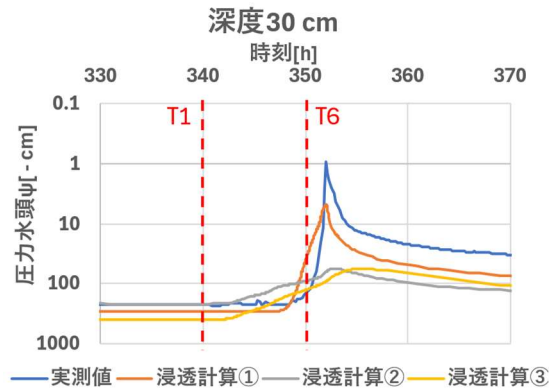


図4 ψ の時系列変化の例

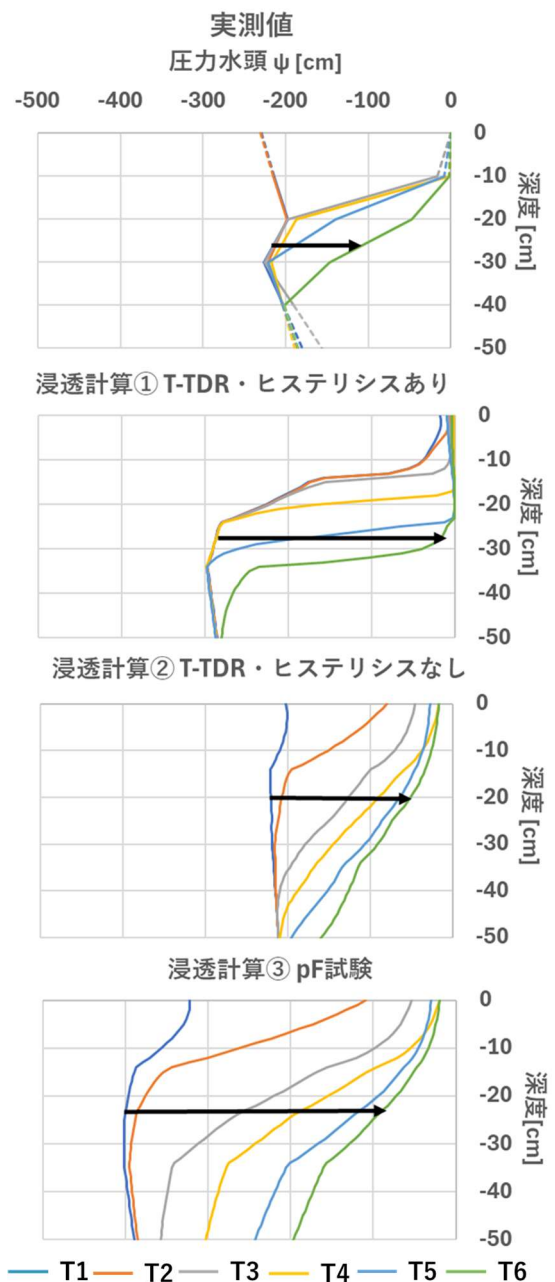


図5 圧力水頭の鉛直分布の変化