

土壌水分計測法としての TDR と TDT の比較

Comparison of TDR and TDT for evaluating soil moisture

上村将彰¹・宮本英揮²・登尾浩助³

¹佐賀大学大学院農学研究科・²佐賀大学農学部・³明治大学農学部

要旨

同一測定条件の土壌水分計測に対する TDT と TDR の測定感度・精度を比較するために、水分量の異なる砂の時間領域波形を取得・解析し、見かけの誘電率(ϵ_{TDT} , ϵ_{TDR})を測定した。水分飽和条件における両法の有効周波数の差異が小さかったこと、また、 ϵ_{TDT} および ϵ_{TDR} から算出した体積含水率の測定精度が概ね等しかったことなどから、TDT と TDR の水分計測感度・精度は同程度であることが確認された。ただし、TDT はノイズの処理が容易であるため、野外計測に適した手法である。

キーワード: TDT, TDR, 体積含水率, 有効周波数

Key words: TDT, TDR, Volumetric water content, Effective frequency

1. はじめに

近年、土壌水分・EC 計測手法として、時間領域透過法(TDT)の利用者が増加している。TDT の利点や課題については検討されているものの¹⁾、同一測定条件下において従来の TDR と TDT とを比較した事例は少なく、TDR に対する TDT の技術的優位性については十分に明らかにされていない。本研究では、同一測定条件の土壌水分計測に対する TDT と TDR の有効性を検討するために、水分量の異なる砂の TDT および TDR 波形を取得・解析し、見かけの誘電率(ϵ_{TDT} , ϵ_{TDR})およびそれから求まる体積含水率(θ_{TDT} , θ_{TDR})の測定感度・精度を調べた。

2. 実験方法

アクリル製チャンバー内に敷設したセラミックフィルター上に設置したアクリル円筒カラム(内径 8.0 cm)の高さ 3 cm まで、蒸留水で洗浄した豊浦標準砂を沈降充填した。高さ 1.5 cm に自作 TDT プロブ(ロッド直径 0.12 cm, 長さ 13.4 cm), 4 極 EC センサー(ロッド直径 0.12 cm, 長さ 1.5 cm), 熱電対を設置した。TDT プロブに高周波ステップパルス信号(18 GHz)を送信し、サンプリングオシロスコープ(86100B Infiniium DCA, Agilent Technologies)を用いて、水分飽和条件における TDT 波形を取得した。CR800 データロガー(Campbell Scientific 社)に接続した熱電対を用いてカラム温度を、4 極 EC センサーを用いてバルク EC をそれぞれ測定した。また、宮本ら¹⁾に倣って TDT 波形を解析し、 ϵ_{TDT} を算出した。その後、フィルター底面に与えるサクシオンを段階的に増加させて土中水の排水を促し、平衡状態に達した時点で積算排出水量から体積含水率(θ)を求めるとともに、上述の測定を反復した。伝播距離が等しくなるように感知部長を調整した TDR プロブ(ロッド直径 0.12 cm, 長さ 6.7 cm)をカラムに設置した場合についても同様の排水実験を行い、既往の方法²⁾に従って TDR 波形を取得・解析した。

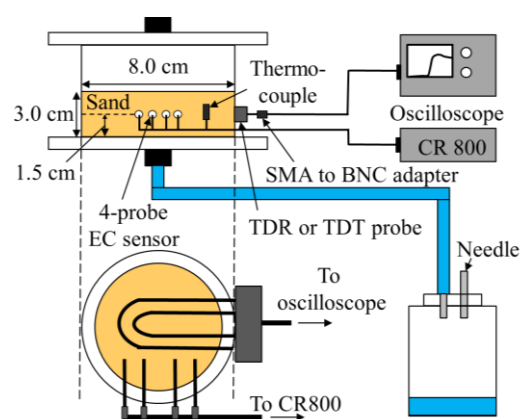


Fig.1 実験の模式図

3. 結果と考察

TDT 波形の形状は、TDR のそれと異なる傾向が認められた。測定された TDT 波形には、最速で感知部を透過した信号成分を表す立ち上がり部と、その右方に遅延成分を表す凹凸部分が認められた(Fig.2)。TDT 波形の立ち上がり点の時間(Fig.2 の白丸)が θ の増加とともに大きくなる傾向は、一般的な TDR と共通する。ただし、TDR 波形の自動解析を不安定化させる一因となる凹凸が、立ち上がり部の右側に現れること、またその勾配が緩やかになることなどが TDT の特徴である。

電気工学の慣例³⁾に倣って、立ち上がり時間(t_r)から算出した有効周波数(f_{eff})は、 θ の低下とともに大きくなった(Fig.3)。低 θ 条件ほど波形に混入した凹凸が大きくなり、 t_r を正確に評価できなかつたため、 f_{eff} 値の信頼性については更なる検討を要する。ただし、凹凸が小さく、解析の信頼性が高いと考えられる水分飽和条件において、TDT と TDR が類似した f_{eff} を示した点が興味深い。水の複素誘電率の虚数部は、空気のそれよりはるかに大きい。すなわち、最も信号減衰効果が現れ易い水分飽和条件において、両法の f_{eff} 値が概ね等しかったことは、測定感度の差異が小さいことを示唆している。

波形の立ち上がり点の時間から算出した ϵ_{TDT} 、 ϵ_{TDR} は、 θ の増加とともに大きくなった(Fig.4)。 $\epsilon_{\text{TDT}} - \theta$ 関係および $\epsilon_{\text{TDR}} - \theta$ 関係と Topp 式⁴⁾の間には、ずれが認められたため、 $\epsilon_{\text{TDT}} - \theta$ 関係を3次関数で、また、 $\epsilon_{\text{TDR}} - \theta$ 関係を対数関数でそれぞれ近似した(Fig.4 の Eq.(1)、Eq.(2))。測定された ϵ_{TDT} を Eq.(1)に、 ϵ_{TDR} を Eq.(2)にそれぞれ代入して得た計算値は、概ね θ との 1:1 線上に分布し、両法の計測精度の差異は小さかった(Fig.5)。

4. おわりに

本研究により、類似した計測原理を有する TDT と TDR は、同程度の水分計測感度および精度を有することが明らかになった。波形の凹凸は、その自動解析を不安定化させる一因となるが、その影響を単純なアルゴリズムで排除しやすい TDT は、野外の不均一土壌の水分計測に適した手法であろう。

引用文献: 1)宮本ら(2013): 農業農村工学会論文集, 288, 513-519., 2)Noborio(2001): Computers and Electronics in Agriculture, 31, 213-237., 3)Robinson et al.(2003): Vadose Zone Journal., 2, 444-475., 4)Topp et al.(1980): Water Resour. Res., 16, 574-582.

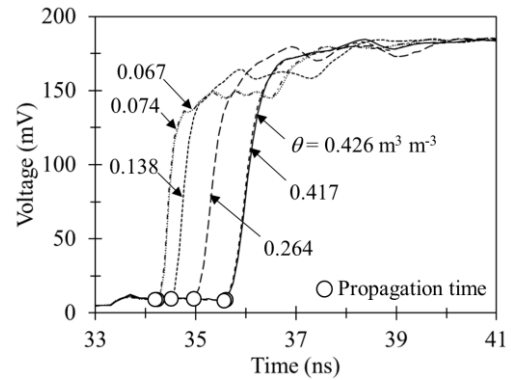


Fig.2 蒸留水と混合した豊浦標準砂の TDT 波形

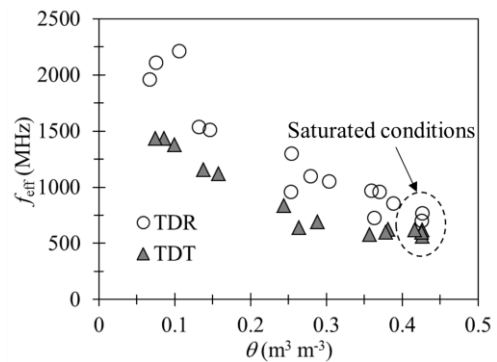


Fig.3 体積含水率(θ)と有効周波数(f_{eff})との関係

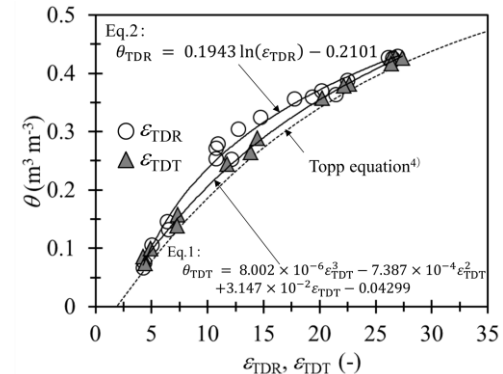


Fig.4 見かけの誘電率(ϵ_{TDT} , ϵ_{TDR})と体積含水率(θ)との関係

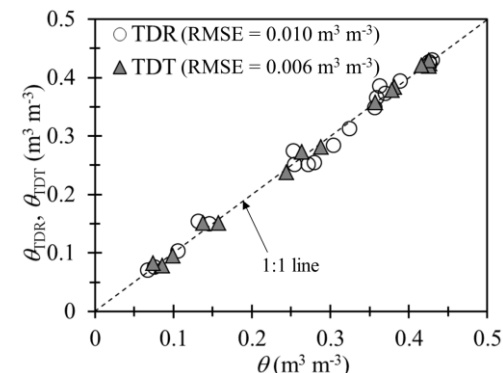


Fig.5 体積含水率(θ)と見かけの誘電率から算出した体積含水率(θ_{TDT} , θ_{TDR})との関係