

TDT による砂のバルク EC 計測

Measurement of bulk electrical conductivity in sand using TDT

○平嶋雄太*¹ 上村将彰*² 宮本英揮*¹

*¹ 佐賀大学農学部 *² 佐賀大学大学院農学研究科

Abstract

TDT センサーによる高精度の電気伝導度(EC)計測を実現するために、濃度の異なる NaCl 溶液と混合した水分飽和砂の TDT 波形を取得・解析し、その測定値を4極センサーのそれと比較した。波形の勾配は、NaCl 溶液の電気伝導度(σ_w)の増加とともに緩やかになり、波形の立ち上がり点の時間は σ_w によらず概ね同一値を示した。波形最大勾配値(S_{Max})が 580 mV ns^{-1} を超える低 EC 条件では σ_{TDT} はゼロを示し、良好な精度で EC を決定することができなかった。 S_{Max} と4極センサーで測定した EC 値(σ_{4probe})との関係を定式化し、同式に基づき EC を再計算した結果、低 EC 条件においても、良好な精度で EC を決定することができた。

キーワード: TDT, バルク電気伝導度, 最大勾配(S_{Max})

Key words: TDT, Bulk electrical conductivity, Maximum slope

1. はじめに

土中の水分量および溶質濃度の定点観測法として、時間領域透過法(TDT)が検討されており、既に、野外計測に適した低価格の TDT センサーが流通している。しかし、低導電性を示す土壌においては、バルク EC 値を精度良く決定することができないことが指摘されている¹⁾。本研究では、低 EC 領域におけるバルク EC 計測の高精度化を図るために、濃度の異なる NaCl 溶液と混合した水分飽和砂の TDT 波形を取得・解析し、EC の増減に対する波形の振幅・勾配の応答を調べた。

2. 実験方法

プラスチック製箱型容器(高さ 10 cm, 横 26 cm, 奥行き 20 cm)を蒸留水で満たし、高さ 5 cm まで豊浦標準砂を沈降充填した。その後、SDI-12 型 TDT センサー(Aclima 社)および自作の4極 EC センサー(感知部ロッドの直径 3 mm, 長さ 3 cm)を水平に埋設した(Fig.1)。

各センサーを CR800 データロガー

(Campbell Scientific 社)に接続し(Fig.1(a)), TDT センサーで体積含水率, 温度, 見かけの誘電率(ϵ_{TDT}), バルク EC(σ_{TDT})に波形解析パラメータ(5項目)を加えた計9項目を, また, 4極 EC センサーでバルク EC(σ_{4probe})をそれぞれ1分間隔で10回測定し, その平均値を記録した(Fig.1(a))。TDT センサーを自作インターフェイスに接続し直し, TDT 波形をコンピュータに取り込んだ(Fig.1(b))。各センサーを容器から取り出し, 容器に NaCl を添加して砂と溶液とを攪拌した後, 上述の手順で砂の沈降充填と各センサーの設置を行い, TDT 波形と計9項目の測定を反復した。土中溶液の電気伝導度(σ_w)を同一手順で段階的に増加させ, 各段階において一連の計測を反復した。

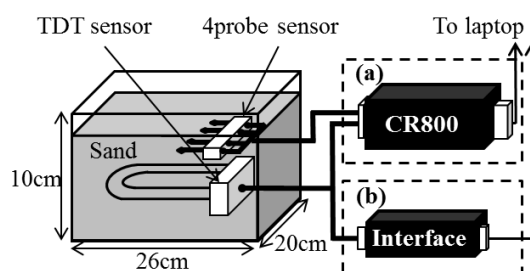


Fig.1 実験の模式図。

3. 結果と考察

水分飽和砂($\sigma_w = 0.43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$)の TDT 波形には、ステップ状の立ち上がりが認められた(Fig.2)。 σ_w の増加とともに波形の勾配は緩やかになった(Fig.2)。 ε_{TDT} を決定する波形の立ち上がり点(Fig.2 の白丸)の時間は、 σ_w によらず概ね同一値を示し、 ε_{TDT} に対する σ_w の影響は認められなかった。

波形の最大勾配値(S_{Max})は、 σ_{TDT} の増加とともに小さくなった(Fig.3)。 σ_{TDT} 値(Fig.3 の黒丸)は、NaCl 溶液を供試体として得た Eq.(1)¹⁾上に分布した。 S_{Max} 値が 580 mV ns^{-1} を超えた $\sigma_w \leq 1.8 \text{ dS m}^{-1}$ では、 σ_{TDT} はゼロを示した(Fig.3)。 $S_{\text{Max}}-\sigma_{\text{TDT}}$ 関係の妥当性を明らかにするために、 $\sigma_{4\text{probe}}$ で測定した EC 値を各試料のバルク EC 値とみなし、それと S_{Max} との関係を Fig.3 に併記したところ、低 EC 条件における $S_{\text{Max}}-\sigma_{\text{TDT}}$ 関係とのずれが認められた。

低 EC 条件に適合する経験式を得るために、 $S_{\text{Max}}-\sigma_{4\text{probe}}$ 関係を対数関数で近似した(Fig.3 の Eq.(2))。Eq.(2)式に、測定した S_{Max} 値を代入して求めた計算値(σ_{cal})に対する $\sigma_{4\text{probe}}$ の二乗平均平方根誤差(RMSE)は 0.07 dS m^{-1} であった(Fig.5)。同式を適用すれば、低 EC 条件においても、バルク EC を良好な精度で決定できると考える。

また、最大勾配点の振幅値(A)と $\sigma_{4\text{probe}}$ の関係から得た近似式(Fig.4 の Eq.(3))に基づく計算値の RMSE は、 0.08 dS m^{-1} であった(Fig.5)。ただし、 A 値は個体差が大きいため(データは割愛)、複数のセンサーを用いる多点 EC 計測に適するのは、 S_{Max} 値を Eq.(2)に代入する方法であると考えられる。

4. おわりに

本研究により、TDT センサーによる EC 計測の高精度化を実現できた。今後は、不飽和水分土壌に対する Eq.(2)の適合性を明らかにするために、広範な水分・電気伝導度条件下で EC 計測実験を行う予定である。

引用文献: 1)上村ら(2013):日本生物環境工学会 2013 年高松大会講演要旨, 204-205.

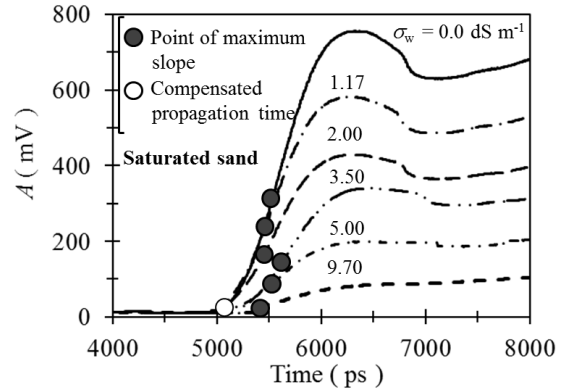


Fig.2 TDT 波形.

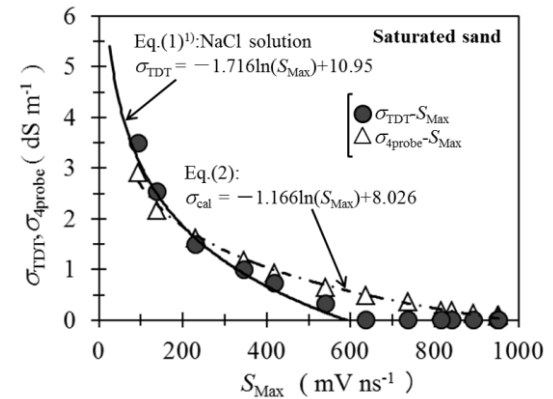


Fig.3 σ_{TDT} または $\sigma_{4\text{probe}}$ と S_{Max} との関係.

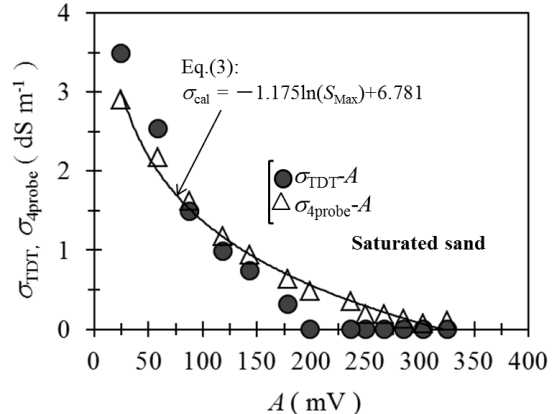


Fig.4 σ_{TDT} または $\sigma_{4\text{probe}}$ と A との関係.

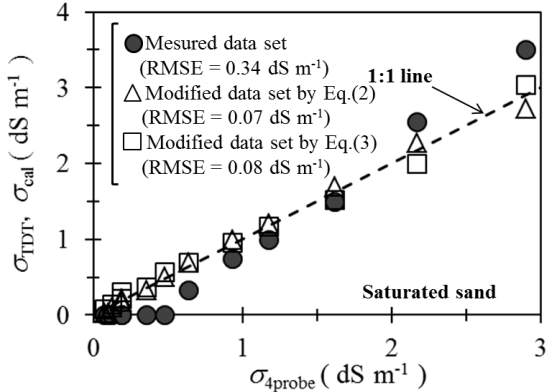


Fig.5 σ_{TDT} または σ_{cal} と $\sigma_{4\text{probe}}$ との関係.