

不飽和な塩類凍土の水分測定にTDR法を用いる場合の留意点と精度の検討

和気朋己, ○渡辺晋生 (三重大)

Verification of TDR method for measuring liquid water amount in freezing saline soil

Tomomi WAKE and Kunio WATANABE

はじめに 比較的安価で、迅速かつ容易に土壌水分とECをその場で測定できる装置の一つにTDR法がある。TDR法は様々な実験や調査で活用されているが、その普及とともに汎用化が進み、温度変化を伴う環境や低水分域で、凍結により土中水の溶質濃度が変化するような場合に測定値をどの程度信頼できるかが曖昧になっている。本研究では、凍結・融解過程にある土中の水分量をTDR法で測定する際の精度と留意点を検討する。

試料と方法 藤森土、豊浦砂、鳥取砂丘砂、黒ボク土を試料に用いた。異なる含水率と溶質濃度に調整した試料を液体窒素で凍結したのち段階的に昇温し、各温度 T における液状水量 θ をNMR法で、比誘電率 ϵ をTDR法で測定した。TDR法には、 0°C 以下の土に対しても明瞭な波形が得られた3線プローブ(長74mm、径1.5mm、間隔5mm)とTektronix 1502B、WinTDRを用いた。 T - θ 関係と T - ϵ 関係から、各温度における ϵ - θ 関係を得た。

結果 各温度における、初期含水率0.37の藤森土のTDR波形を図1に示す。反射係数は温度低下に伴い高くなった。 0°C 以上の試料では、first peak (FP)とreflection point (RP)に含水率測定に影響を及ぼすような変化は見られなかった。 0°C 以下の試料では、反射係数が高くなることでFPが右に移動した。また、波形の傾きが変わるため接線の引き方(Anchor)によっては妥当なRPを得られなくなった。そこで、FPとAnchorを固定した。図2

に、溶質を含まない各試料の ϵ - θ 関係を示す。 ϵ が等しくても、 θ は土質と温度によりそれぞれ最大で 0.12 、 $0.05\text{ m}^3/\text{m}^3$ 異なった。これは、水の ϵ が表面の影響で低くなること、低温で高くなることによる。溶質が加わると ϵ は低くなった。

考察 媒体中に等方的に媒質が分散している系では、誘電率の立方に加算性があること、土粒子+土中空気と氷の比誘電率がほぼ等しいことから式(1)が成り立つ。

$$\epsilon^{1/3} = \theta(\epsilon_w(T, L, C))^{1/3} + (1 - \theta)\epsilon_o^{1/3} \quad (1)$$

ここで、 ϵ 、 ϵ_w 、 ϵ_o はそれぞれ全体、水、氷を含めた固-気相全ての誘電率、 L は固相表面からの距離、 C は溶質濃度である。式(1)を展開すれば、Topp et al (1980)やSmith and Tice (1988)ら同様の3次式が得られる。また、Topp式を $\theta = f(\epsilon)$ 、表面力の効果を α 、温度と溶質の効果を β とおけば、実験結果より $\theta = \beta.f(\epsilon) + \alpha$ といった修正式(2)を提案できる。当日は、Topp式、式(1)、式(2)で推定した θ とNMR法で求めた θ を比較検討する。

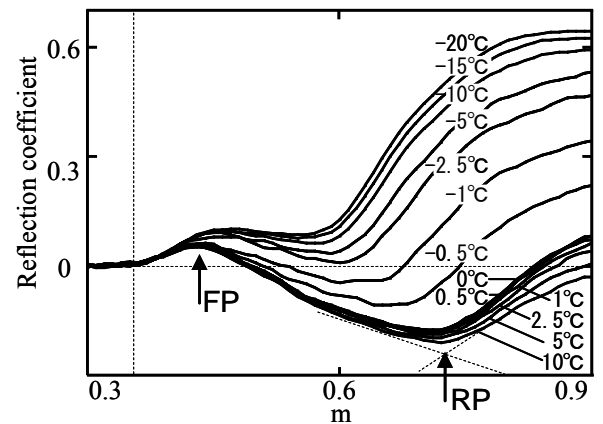


Fig. 1 TDR wave forms in clayey silt ($\theta_{\text{init}} = 0.37$).

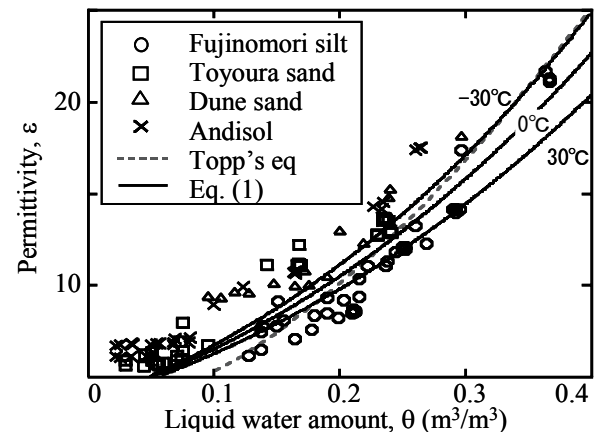


Fig. 2 θ vs ϵ (data for all soils).