

Ⅲ-A333

FDR法を用いた不飽和土の水分量と溶液濃度の計測法に関する研究

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
 岡山大学大学院 学生会員 小松 満
 岡山大学大学院 学生会員 熊本 創

1. はじめに

近年注目されている誘電法は、超高周波数(1MHz~1GHz)により土壌誘電率を介して直接含水量を測定する技術を用いて開発された。¹⁾ 誘電法は測定精度が良く、瞬時の水分計測が可能で、計器等も比較的小さい。さらに大部分の試料に対して校正が不要(シルトや粘土は除く)であるため、中性子や γ 線を用いるRI(ラジオ・アイソトープ)や比抵抗法等に比べてより簡便な方法である。この中でも周波数領域におけるインピーダンス応答を利用したFDR法は一本電極式のプローブで精度良い測定が可能であるため、正確な測定座標を必要とする室内試験に利用するには便利である。しかし、誘電法は土壌誘電率を測定するためイオン性の物質や溶液に対しては測定に限界がある。そこで、本研究ではFDR法を用いて塩分濃度の測定限界を示すとともに、合成干渉波の信号レベルの領域で評価することで水分量と同時に溶液の濃度を測定する方法を提案する。

2. FDR法による土中水分計測法²⁾

FDR計測システムを図-1に示す。既知長の電極ロッドを用いて、発信器(トラッキングジェネレータ)より1MHz~1.7GHzの高周波を試料に加える。試料中の波の進行速度は周囲の誘電率によって異なるため、試料への入力端と電極先端からの反射波は合成干渉波を生じ、方向性結合器を経て受信器(スペクトラムアナライザ)で観察される。このスペクトラムアナライザに現れる合成干渉波の周波数間隔から式(1)によって誘電率 ϵ を求める。

$$\epsilon = k \epsilon_m = k(C/2L \Delta f_m)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ϵ_m : 測定誘電率、 Δf_m : 測定周波数差(Hz)、 L : 電極長さ(m)、 C : 真空中の光の速さ($=3 \times 10^8$ m/sec)、 k : 補正係数である。なお今回用いた測定装置は発信器と受信器が一体型のものであり、非常にコンパクトである。

図-2にスペクトラムアナライザの出力結果の例を示す。ここで、測定の対象となるピークは $f_1 \sim f_6$ までの6点であり、周波数間隔は $\Delta f_1 \sim \Delta f_6$ の5個である。したがって、この場合、式(1)の Δf はこの $\Delta f_1 \sim \Delta f_6$ の平均値となる。

3. 塩分濃度による測定値の変化

水溶液において塩分濃度を变化させた場合の出力結果を図-3に示す。4つのピークとともに塩分濃度が変化しても周波数には変化を生じない。一方、干渉波の信号レベルは濃度の上昇に伴い上昇し、この場合には約0.2%(2000ppm)で干渉波のピークを検出できなくなった。つまり、土中の水分量は周波数のみに

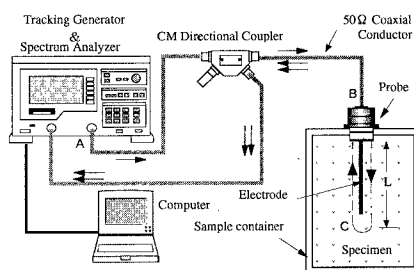


図-1 FDR計測システム

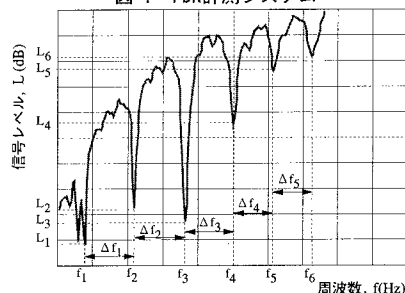


図-2 スペクトラムアナライザ出力例

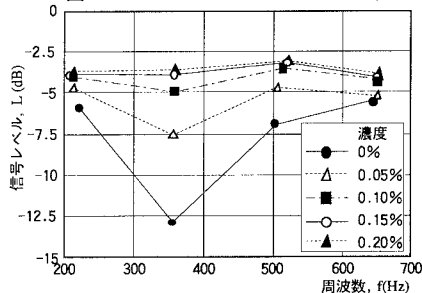


図-3 水溶液の塩分濃度変化による測定値の比較

Keyword: FDR法, 不飽和土, 体積含水率, 塩分濃度

連絡先: 〒7008530 岡山市津島中2-1-1 TEL 086-251-8167 FAX 086-251-8257

依存し、溶液の濃度は信号レベルに影響を与えるため、水分量と溶液濃度を分離して測定することが可能であると考えられる。

4. 不飽和土の水分量と溶液濃度の測定法

次に、不飽和土に対して溶液濃度が変化した場合の測定を行った。図-4に今回用いた豊浦標準砂の絶乾状態での測定スペクトラムを示す。この場合、100MHz～1700MHzの間に2つの合成干渉波のピークを生じているが、式(1)からわかるように電極を長くすると周波数間隔が小さくなりピークの数も多くなる。なお今回用いた測定ロッドは8.0cmである。先に述べたように土中の水分量は周波数に依存し、溶液の濃度は信号レベルに影響を与えるため、不飽和土に対して水分量と溶液濃度の両方を測定することが可能であると考えられる。そこで、図-5に示すようにアクリルカラムを用いて土柱を作成し、濃度既知の水溶液中に試料を詰めた。そして、下部より排水させて土柱に任意の体積含水率分布を作成し、FDR法による測定を行った後にカラムを分解して炉乾法により体積含水率を求める。

測定結果として、図-6にピーク周波数と体積含水率及び塩分濃度の関係を、図-7にピーク信号レベルと体積含水率及び塩分濃度の関係を示す。なお、結果は図-4の様な測定スペクトラムに対して、信号レベル差の大きい第2ピークの結果を示したが、第1ピークも同様の結果が得られている。図-6から周波数は体積含水率が増加すると減少する傾向にあるが、塩分濃度には依存しないことが分かる。一方で、信号レベルは体積含水率及び塩分濃度両方に依存している。つまり、あらかじめ対象とする試料に対して校正を行えば、測定されたピーク周波数から体積含水率を推定し、さらに体積含水率とピーク信号レベルを組み合わせることで溶液の濃度が推定できる。

5. おわりに

FDR法は周波数領域において合成干渉波のピーク特性を捉えるため、数個のピーク特性からより詳細に不飽和土の特性を把握することが可能である。今回、周波数に加えてピーク信号レベルで評価することにより、溶液濃度の測定が可能であることを示した。今後はより高い周波数領域(1GHz～50GHz)での測定を行い、さらに詳しく不飽和土を評価する方法を開発する予定である。

【参考文献】

- 1) G.C.Topp, J.L.Davis, A.P.Annan : Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines, Water Reso. Res., Vol.16, No.3, pp.574-582, 1980.
- 2) 冀北平・三野徹・赤江剛夫：FDR計測法による土壤誘電率測定と特定深さの土壤水分測定，農業土木学会論文集，No.182，pp.25-30，1996.

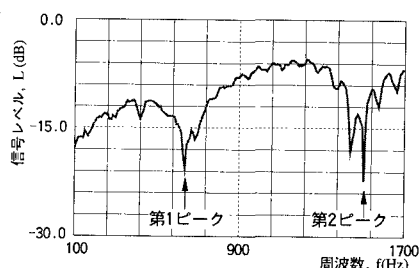


図-4 豊浦標準砂の測定スペクトラム (絶乾状態)

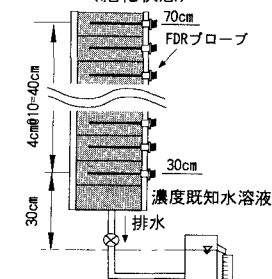


図-5 不飽和土における水分量と塩分濃度測定の校正方法 (標準砂)

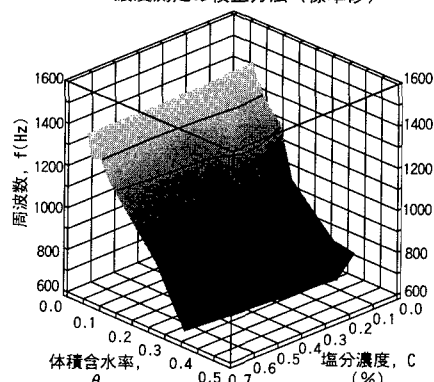


図-6 ピーク周波数と体積含水率、塩分濃度の関係 (第2ピーク)

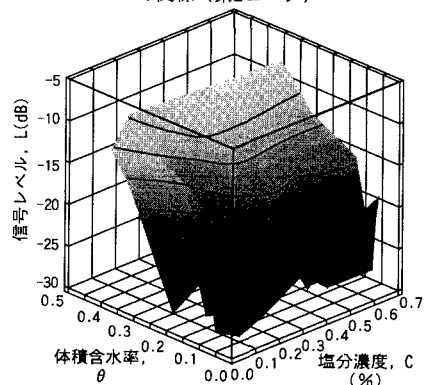


図-7 ピーク信号レベルと体積含水率、塩分濃度の関係 (第2ピーク)