

# FDR法を用いた室内試験における不飽和浸透特性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 渡邊 徹

## 1. はじめに

現在、不飽和浸透特性の計測には用いる水分量測定法により制約を受けることが多い<sup>1)</sup>。そこで本研究ではそれらの問題点を解決するため、近年注目されている非破壊で高精度、また瞬時の計測が可能である誘電法のうち、正確な測定座標を得ることができるFDR(Frequency-Domain Reflectometry)計測法<sup>2)</sup>を採用し、不飽和浸透特性の室内試験法に導入するための適用性の検討について報告する。

## 2. FDR計測法

FDR法は電圧を周波数領域で計測し、干渉波のピーク特性から見かけの誘電率を求める方法である。図-1にFDRシステムの概略図を示す。使用する電極は図-2に示すような1本タイプのものであり、今回新たに室内計測タイプとして、電極部のコネクタを改良することで、より室内試験に用い易くした。なおロッドは真鍮製である。図-1において、A点から出力された電磁波は電送線に沿ってB点に達する。BC間が異なるインピーダンスを持つ場合、電磁波の一部はB点で反射する（反射波B）。またB点を通過した電磁波はC点に達し、ここで反射による損失がなければ同じ位相で完全反射して戻る（反射波C）。反射波Bと反射波Cは合成波となり電送線を帰って行くがこの過程でB点における反射と屈折の割合と反射波Bと反射波Cの位相のずれによって干渉が起きているためそれぞれの周波数に対して異なる電圧を示す。この波形は周期的にピークが現れ、その周期はBC間の電磁波の速さ（BC間の誘電率）によって異なる。FDR法はこのピーク間隔を測定することで誘電率を測定する方法である。

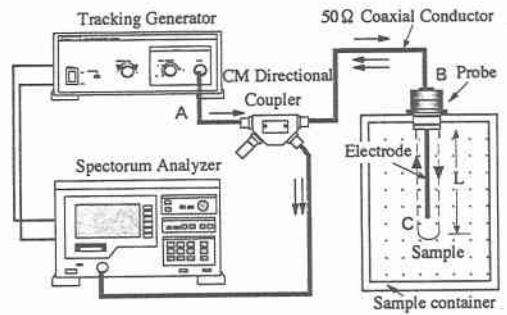
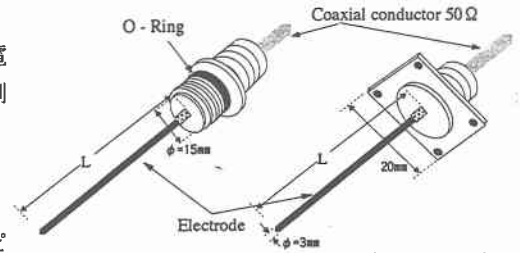


図-1 FDR計測システム



(a) 室内計測タイプ (b) 原位置計測タイプ

図-2 FDRプローブ（電極部）

## 3. FDR計測法の適用性の検討

### (1) ロッド（センサープローブ）の特性

誘電率境界を作成することでロッドの測定影響範囲を先端方向と側面方向について求めた。測定の結果、実質測定範囲は約5mm、測定影響範囲は約20mmであることがわかった。

### (2) 誘電率の各種依存性の検討

a) 温度：測定時期によって地盤の温度は変化しているものと予想される。そこで温度変化における誘電率の変化を純水及び不飽和土に

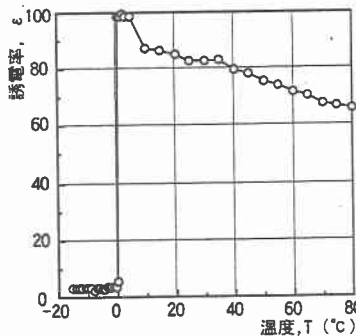


図-3 水温と誘電率の関係

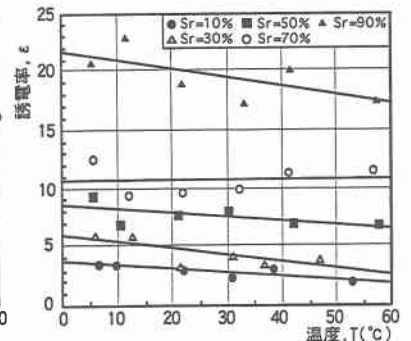


図-4 不飽和土の温度と誘電率の関係

対して計測した。結果を図-3、図-4に示す。温度の上昇に伴い誘電率はわずかに線形的に低下するが高精度を要求する場合を除いて補正は必要ないと考えられる。

b) 塩分濃度：実際の地盤で測定する場合において、地盤中にイオン性の物質を含んでいることも少なくなく、誘電率に影響を与えることが懸念される。そこで、イオン性の物質として塩化ナトリウム水溶液を用いて塩分濃度が誘電率に与える影響を調べた。計測結果を図-5に示す。塩分濃度は誘電率に影響しないという結果が得られた。しかし、濃度が高くなるに従って各ピークの谷は小さくなり濃度2000ppm(0.2%)を越えた辺りからピークの検出が困難となり測定不可能となった。

c) 土粒子密度：土粒子密度が誘電率に与える影響を求めるため、まさ土、標準砂を用いて乾燥密度を変化させ誘電率を測定した。結果を図-6に示す。土粒子密度の誘電率に与える影響は無視できる程度であることが確認できた。

#### (3) 各種試料に対する校正曲線の作成

各種試料に対して誘電率と体積含水率の関係を測定しキャリブレーションの必要性について検討した。用いた試料はまさ土、川砂、標準砂、砂(シルト混)、シルト、DLクレーである。求めた校正曲線を図-7に、飽和度で整理した曲線を図-8に示す。図-7ではToppの提案した式<sup>3)</sup>によく一致している。しかし、シルトのような微粒子の試料に対してはキャリブレーションが必要である。また、図-8から飽和度80%以上の測定値がわずかに低下する傾向を示すことがわかった。

#### 4. おわりに

本研究では近年注目されている誘電法のうちFDR法を用いてその適用性の検討を行った。その結果として実質測定範囲が5mm程度と非常に狭く、温度、塩分濃度、土粒子密度の誘電率に与える影響は無視できることが確認された。ただし、水溶液の場合2000ppm以上の塩分濃度では測定不可能となる。また、各種試料の校正曲線を作成し砂試料に対しては校正不要であるが、シルトのような微粒子の試料に対しては校正が必要であるという結果が得られた。今後、FDR計測法を不飽和室内試験法に導入していく予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 西垣誠・竹下祐二：室内及び原位置における不飽和浸透特性の試験及び調査法に関する研究、岡山大学土木工学科地下水工学研究室, 1995.
- 2) 冀北平・三野徹・赤江剛夫：FDR計測法による土壌誘電率測定と特定深さの土壌水分測定、農業土木学会論文集, No.182, pp.25-30, 1996.
- 3) 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.

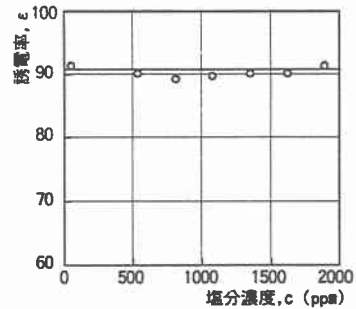


図-5 水溶液の塩分濃度と誘電率の関係

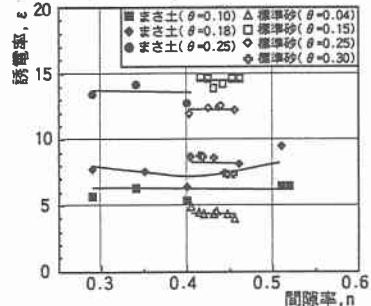


図-6 土粒子密度に対する誘電率の変化

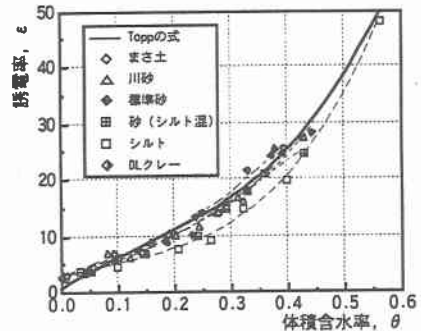


図-7 各種試料に対する校正曲線

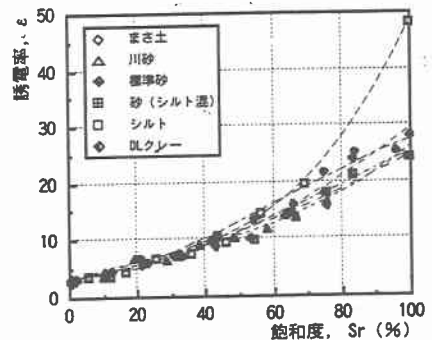


図-8 飽和度と誘電率の関係