

FDR-V 法によるベントナイト混合土の密度測定に関するキャリブレーション

岡山大学大学院環境生命科学研究科 正会員・小松 満

(株) 安藤・間 正会員 千々松正和

1. はじめに

FDR-V 法¹⁾は同軸プローブを試料に密着させる方法で比誘電率（以下，誘電率）を複素数として測定する方法であるが，異なるプローブ径を用いることで測定影響範囲が異なることから，図-1のように施工直後の乾燥密度の深度方向へのばらつきを原位置で瞬時に把握できる可能性がある。そこで，現場用 FDR-V 密度計としての適用を視野に，主に下記に示す 3 点の課題を設定し，体積含水率（あるいは含水比）と乾燥密度をパラメータとした複数ケースについて，誘電率（実数部及び虚数部）の計測を行い，それぞれの関係式を作成した。

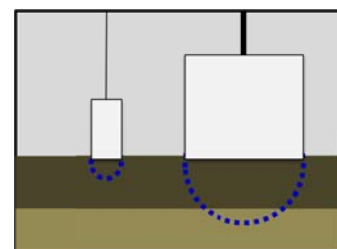


図-1 異なるプローブ径による測定範囲のイメージ図



写真-1 FDR-V 測定プローブ

- (1) プローブ径を変更することにより各深度での乾燥密度を把握できる可能性について，各径プローブの測定影響範囲の検証。
- (2) 水分量と乾燥密度の同時測定の可能性について，誘電率と体積含水率の関係において各乾燥密度に対する有意な差の有無の検討。
- (2) 上記で優位な差が得られない場合，誘電率と含水比の関係で整理した結果に対する検討。つまり，含水比を一定とするか別の装置で測定することで，乾燥密度を把握することが可能となる。

2. プローブの測定範囲に対する検証

測定に用いたプローブは写真-1に示すように直径φ12，15，30mmの3タイプである。測定原理はプローブ先端における電磁波の反射係数の比を求めることで誘電率を算定するものであり，プローブの測定影響範囲は，芯線から出力された電磁波が外側のシールドで遮断されるため，半球状に広がっている。ここで，プローブの測定影響範囲を確認するため，センサーに水面を徐々に近づけた際，水面を徐々に上昇させた場合のそれぞれの測定値の変化を確認した。その結果，プローブ半径程度が測定影響範囲であることが判明した。

3. 供試体仕様及び測定ケース

測定に用いた供試体は，山形県産Na型ベントナイト（クニゲルGX〔2mmふるい通過分〕：KG）のブロック供試体(直径φ50×高さ20mm)であり，供試体の仕様を表-1に，測定ケースを表-2にそれぞれ示す。供試体数は全部で44個となり，各供試体に対してプローブを密着させて各3回の測定を行い，その平均値を整理した。

表-1 供試体仕様

粒度特性						土粒子密度 (Mg/m ³)	供試体寸法(mm)	
粗砂分	中砂分	細砂分	シルト分	均等係数	曲率係数		直径	高さ
44.8%	30.6%	16.6%	8.0%	10.92	1.39	2.659	50	20

表-2 測定ケース

試験ケース	含水比(%)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	乾燥密度(Mg/m ³)											
KG-14-03～30	1.4	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
KG-15-00～27	1.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—
KG-16-00～24	1.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
KG-17-00～21	1.7	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—
KG-18-00～18	1.8	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—

キーワード：ベントナイト，体積含水率，乾燥密度，FDR-V，誘電率
 連絡先：〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1 Tel・FAX:086-251-8160

4. 誘電率 - 体積含水率関係

直径φ 30mmプローブにおける誘電率実数部及び虚数部と体積含水率の関係について、Toppらによる校正曲線²⁾と併せて図-2に示す。いずれも体積含水率の増加に伴い値が上昇する傾向が見られたが、これらの関係から体積含水率と乾燥密度を同時に特定できるような各ケースに対する明確な変化は認められなかった。

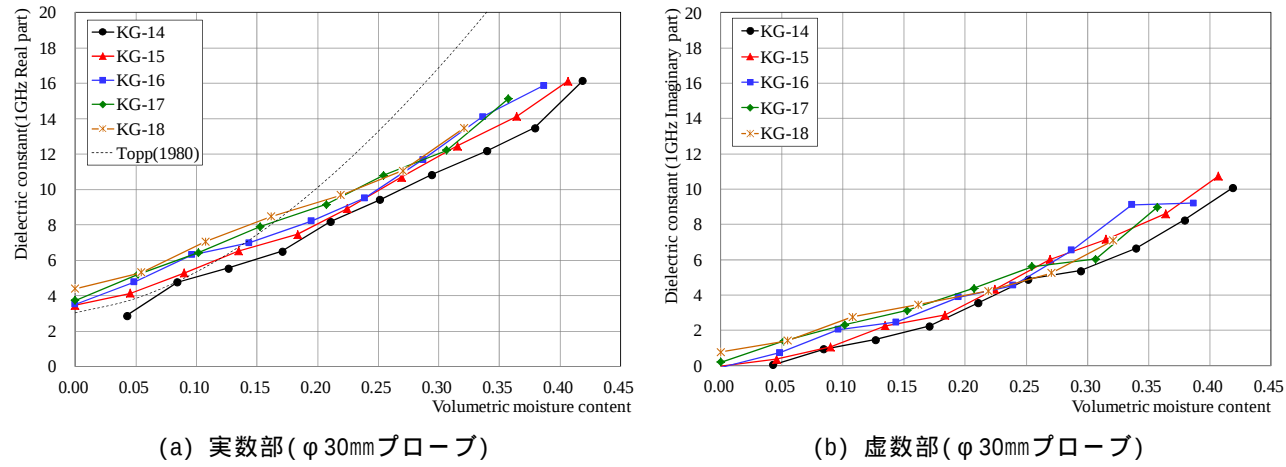


図-2 誘電率（実数部，虚数部）と飽和度の関係

5. 含水比既知状態での校正（誘電率実数部と含水比及び乾燥密度の関係）

次に、含水比既知の状態における校正式を作成した。図-3に各含水比での誘電率実数部(ε_R)と乾燥密度(ρ_d)の関係を示す。この関係を基に、各含水比での線形近似(ρ_d = a × ε_R + b)を行い、その傾き(a)と切片(b)を含水比の関数として表した結果を図-4に、校正式を次式(1)に示す。

$$\rho_d = (-0.0067 \times w + 0.2142) \times \varepsilon_R + (0.0016 \times w^2 - 0.0436 \times w + 0.8184) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、ε_R：誘電率実数部(1GHz)、ρ_d：乾燥密度(Mg/m³)、w：含水比(%)である。

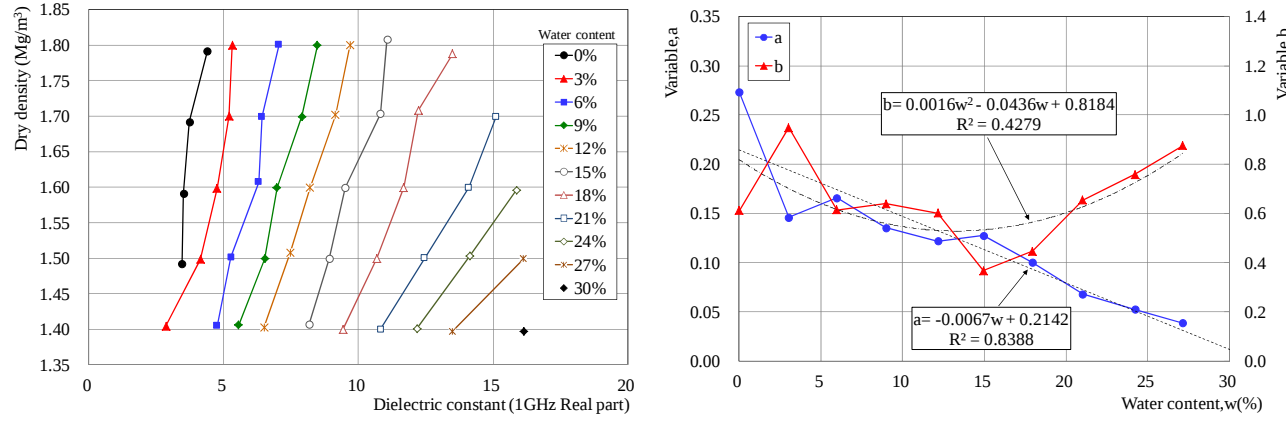


図-3 各含水比における誘電率実数部と乾燥密度の関係

図-4 傾き(a)・切片(b)と含水比の関係

6. まとめ

現場用 FDR-V 密度計としての適用を視野に、今回それらの基データを取得するため、プローブ径の異なる FDR-V センサーによるキャリブレーション試験を実施した。その結果、誘電率（実数部，虚数部）と体積含水率の関係において、水分量と乾燥密度の同時測定が可能となるような各乾燥密度における有意な差は得られなかった。一方、誘電率と含水比の関係で整理すると各乾燥密度に対する結果は一定の傾向を表した。つまり、含水比を既知として誘電率から各深度の乾燥密度を把握できる可能性を示した。

今後は、深度方向に密度の異なる供試体を作製し、異なるプローブ径を適用した検討を行う予定である。

【参考文献】

1) Komatsu, M, M. Nishigaki: Study on in-situ measuring system of subsurface contamination using Frequency Domain Reflectometry, Environmental Geotechnics(4th ICEG), de Mello & Almeida (eds), pp.521-526. 2002.

2) Topp, G. C., J. L. Davies, & A. P. Annan: Electromagnetic determination of soil water content measurements in coaxial transmission lines. Water Resour. Res., Vol.16, pp.574-582, 1980.