

堆積岩の原位置水分量測定に与える地下水塩分濃度の影響

岡山大学大学院環境生命科学研究科 小松 満・○佃 明恵

(独)日本原子力研究開発機構 岸 敦康

1. はじめに

(独)日本原子力研究開発機構幌延深地層研究所では、放射性廃棄物地層処分における坑道掘削に伴う応力状態や間隙水圧の変化に起因する岩盤内の不飽和領域形成の可能性についての検討を目的に、2009年3月より深度140m試験調査水平坑道において岩盤の水分量測定が実施されている¹⁾。また、2013年1月からは深度350mで同様の測定が開始されている。試験対象の地層は新第三紀堆積岩類であり、地下水は塩水系であるとともにメタン及び二酸化炭素が溶存している。水分量測定にはFDR-V法²⁾が用いられており、比誘電率(以下、誘電率)を測定することで実数部の値から体積含水率及び飽和度(設置時の誘電率から間隙率を算出)に換算している。これまでの測定結果から、間隙水圧が減少しているにも関わらず水分量が増加している期間が繰り返し見られることから、①地下水の塩分濃度変化、②温度変化、③間隙水圧低下に伴う遊離ガス発生等の影響が要因として挙げられており、これらの定量的評価が課題となっている。そこで本報では、上記①について、現地採取のボーリングコアを用いて体積含水率と複素誘電率の関係について確認した結果をまとめる。

2. 試料及び測定方法

表-1 供試体条件

(a) 声問層(珪藻質泥岩) 現地採取深度: 198m

供試体番号	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
飽和水塩分濃度(%)	0	0.01	0.1	坑内水	1	3
乾燥密度(g/cm ³)	1.092	1.074	1.081	1.101	1.085	1.103
間隙率	0.566	0.555	0.567	0.564	0.560	0.560

(b) 稚内層(珪質泥岩) 現地採取深度: 368m

供試体番号	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6
飽和水塩分濃度(%)	0	0.01	0.1	坑内水	1	3
乾燥密度(g/cm ³)	1.378	1.371	1.348	1.346	1.353	1.372
間隙率	0.438	0.441	0.443	0.436	0.437	0.436

試験調査坑道 140m 付近の地層は珪藻質泥岩で構成される声問層, 350m 付近は珪質泥岩の稚内層である。測定に用いた供試体は各深度より採取された直径約φ8cm 程度のボーリングコアから表面に亀裂が認められなかった部分を鋸刃で約 3cm 厚に切断したものであり、表-1 に示す

ように各層それぞれ 6 個の合計 12 個に成型した。次に、これらの供試体を炉乾燥させて乾燥密度を算出した後、蒸留水と各濃度の塩化ナトリウム水溶液及び現場採取水(電気伝導度 6.88mS/cm, NaCl 濃度 4.79g/l, 約 0.47%)で水中脱気により飽和供試体を作成した。各供試体の間隙率は、飽和重量と乾燥重量の差から求めた値を用いるとともに、成型時の切削屑を用いて JIS A 1209 に基づき密度試験を行った結果、土粒子密度は声問層 2.214g/cm³、稚内層 2.433g/cm³となった。飽和供試体を大気乾燥させて重量を減じた後、ラップで包んで水分状態を均一にするように養生した上で、直径φ1.5cm の同軸プローブを供試体に密着させる方法で表面を 10 点以上測定した値の上下限 10%をそれぞれ除外した平均値で整理し、飽和から一定水分量毎に間隙水が無くなるまで繰り返し実施した。

3. 測定結果

誘電率(実数部)と体積含水率の関係を整理した結果を Topp らによる土質試料の校正曲線³⁾と併せて図-1 に示す。ここで、塩分濃度の変化に対する影響に対しては、塩分濃度 3%の値が若干高い傾向があるものの、顕著な差異は見られない。したがって、誘電率実数部に対する地下水塩分濃度の影響は無視できる程度であると判断できる。また、声問層と稚内層のそれぞれの測定結果を比較すると、体積含水率に対する誘電率実数部の値はほぼ同様であり、岩種の違いによる影響はほとんど無いものとみなすことができる。次に、誘電率虚数部と体積含水率の関係を図-2 に示す。塩分濃度が高いほど値が高く、体積含水率が増加するにつれてこれらの値の増加が顕著になる結果を示した。

キーワード：堆積岩，不飽和，体積含水率，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

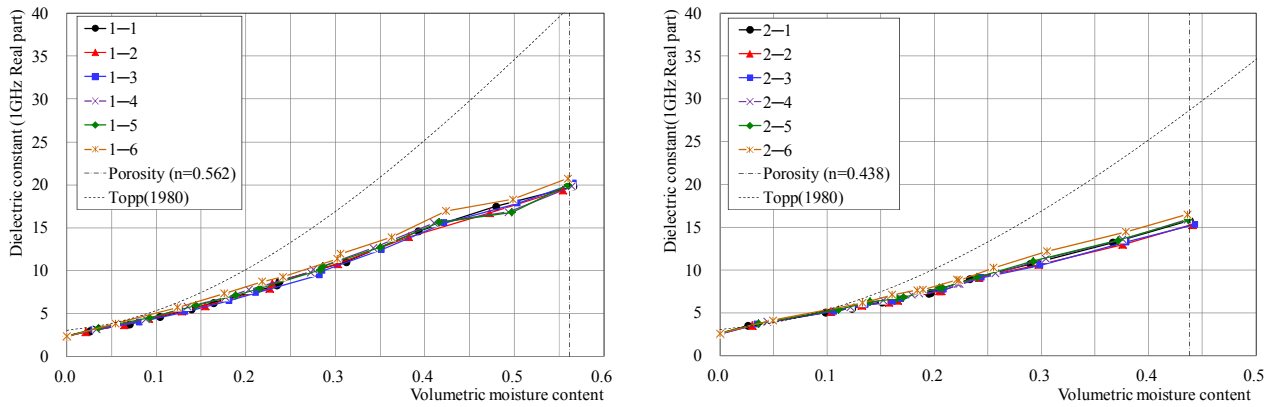


図-1 誘電率実数部と体積含水率の関係 (左図: 声問層, 右図: 稚内層)

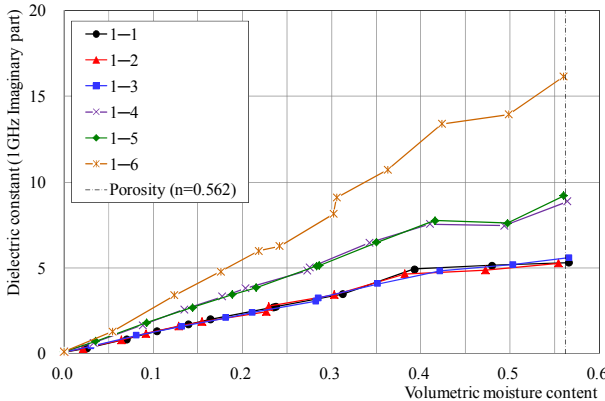
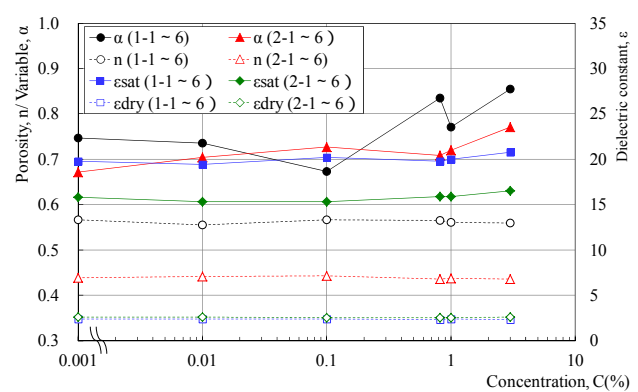


図-2 誘電率虚数部と体積含水率の関係 (声問層)

図-3 2点 α 混合モデル同定結果 (誘電率実数部)

4. 2点 α 混合モデル同定結果

得られた誘電率と体積含水率との関係について次式(1)で表される飽和と乾燥状態の誘電率の値を用いる2点 α 混合モデル⁴⁾のパラメータ α を最小二乗法で求めることで同定した。

$$\epsilon^\alpha = \frac{\theta}{n} \epsilon_{sat}^\alpha + \left(1 - \frac{\theta}{n}\right) \epsilon_{dry}^\alpha \quad \therefore \theta = \frac{\epsilon^\alpha - \epsilon_{dry}^\alpha}{\epsilon_{sat}^\alpha - \epsilon_{dry}^\alpha} \cdot n \quad (1)$$

ここで、 ϵ :誘電率、 ϵ_{sat} :飽和状態における誘電率、 ϵ_{dry} :乾燥状態における誘電率、 θ :体積含水率、 n :間隙率、 α :形状パラメータ(校正曲線の形状を決定する値で $-1 < \alpha < 1$ の範囲)である。誘電率実数部におけるこれらの値を塩分濃度の関係で表した結果を図-3に示す。若干のばらつきが見られるものの、いずれも塩分濃度との関係には相関が認められないことから、これらの値からも誘電率実数部の値は塩分濃度の影響を受けないものと判断することができる。

5. まとめ

現地採取のボーリングコア材料を用いて誘電率と体積含水率の関係を測定し、地下水塩分濃度の影響について調査した結果、誘電率実数部に対する地下水塩分濃度の影響は無視できる程度であり、砂試料を用いて検討した結果²⁾と整合することが判明した。また、声問層と稚内層のそれぞれの測定結果を比較すると体積含水率に対する誘電率実数部の値はほぼ同様で試料の違いによる影響もほとんど無視できる程度であること、さらに、誘電率実数部の値から校正曲線を用いて体積含水率が求まり、虚数部の値から塩分濃度を求めることの可能性を示す結果が得られた。なお、今後の課題としては、その他の要因(温度変化、溶存ガスの影響)について検証する必要がある。

【参考文献】

- 1) 藪内聡・國丸貴紀・岸敦康・小松満：水平坑道の掘削に伴う坑道周辺の間隙水圧・岩盤水分量モニタリング - 幌延深地層研究所 140m 調査坑道での測定 - , 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.67, No.4, pp.464-473, 2011.
- 2) 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.
- 3) Topp, G.C., J.L.Davis, A.P.Annan: Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines, Water Resour. Res., Vol.16, No.3, pp.574-582, 1980.
- 4) Robinson, D. A., S. B. Jones, J. M. Blonquist Jr., and S. P. Friedman: A physically derived water content/permittivity calibration model for coarse-textured, layered soils, Soil Sci. Soc. Am. J., Vol.69, pp.1372-1378, 2005.