

岡山大学大学院 正会員 小松 満
同 学生会員 ○藤田 知大
神戸市 非会員 児嶋 晃弘

1. 背景及び目的

岩盤内に地下空洞を建設する場合、空洞周辺には掘削によりゆるみ領域が発生し、湧水量の変化や間隙水圧の低下が生じる事が懸念されている。不飽和領域が発生するケースでは坑道周辺の岩盤内に空気が侵入するほか、液層への溶解に伴う酸化還元電位への影響や酸化に伴う収着性の変化が懸念される。また、沿岸海底下の堆積岩では塩水環境の影響を加味する必要もある。そこで本研究では、堆積岩地域の沿岸海底下で空洞掘削に伴う不飽和領域の発生状況を把握するための基礎データの取得を目的とし、不飽和浸透特性の計測を実施した結果について報告する。

2. 堆積岩の誘電率測定

現地から採取したボーリングコア試料を用いて体積含水率と誘電率の関係を求めた。飽和には現場採取水（電気伝導度 14.9mS/cm, 塩分 0.82%）を用い、水分量の測定には誘電損失が大きな材料に対しても誘電率が測定可能な FDR-V システム¹⁾を用いて測定した。得られた誘電率と体積含水率の関係を図-1 に示す。結果として、Topp ら²⁾が示した校正式よりは大きく下方に現れる形となり、岩石中の塩分濃度及び有機物の影響であるものと推察される。次に、次式(1)で表わされる2点 α 混合モデルを用いて校正式を同定した³⁾。

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

ここで、 ϵ : 誘電率, ϵ_{sat} : 飽和状態の誘電率, ϵ_{dry} : 乾燥状態の誘電率, θ : 体積含水率, n : 間隙率である。誘電率実数部と体積含水率の値からパラメータ α を最小二乗法で求めて得られた校正曲線を図-1 に併せて示す。なお、虚数部は誘電損失成分であり、水分量とともに増加する傾向を示した。

3. 堆積岩の不飽和浸透特性の計測

JIS A 1218 に基づいて飽和透水試験を実施した結果を表-1 に示す。また、一般的な加圧法を用いて、水分保持特性曲線を求めた。得られた試験結果を図-2 に示す。なお、得られたデータを基に van Genuchten モデル⁴⁾に対して同定した結果を併せて示す。次に、不飽和透水係数を求めるため、Hot Air Method を用い、前述の誘電率結果を踏まえ、FDR-V 法による水分量計測を適用することとした。

水平一次元の排水実験において、排水面を $x=0$ (m) の基準面とし、次式(2)のボルツマン変数を用いて積分すると、水分拡散係数は式(3)により得られる⁵⁾。

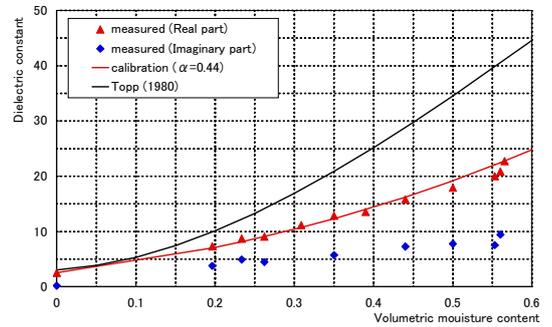


図-1 誘電率と体積含水率の関係

表-1 飽和透水試験結果 (20°C換算値)

項目 (単位)	数値
透水係数, k (m/s)	2.05×10^{-7}
密度, ρ (Mg/m ³)	1.003
粘性係数, μ (mPa·s)	1.017
固有透過度, K (m ²)	2.12×10^{-14}
透水係数, k_w (m/s)	2.08×10^{-7}

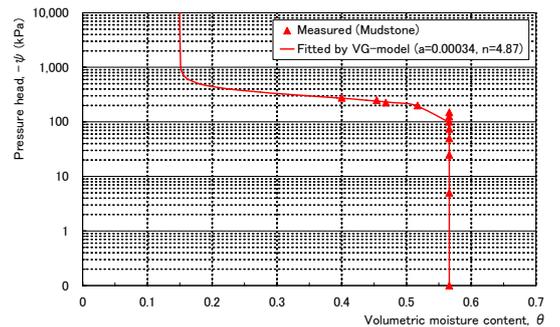


図-2 堆積岩の保水性試験結果

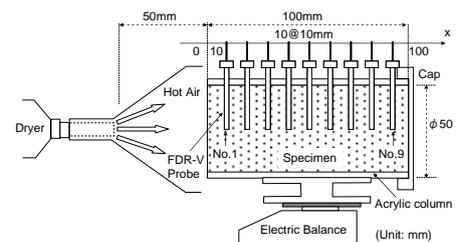


図-3 試験装置 (Hot air method) 概略図

$$\lambda = x \cdot t^{-1/2} \quad (2)$$

$$\theta = f(\lambda)$$

$$D(\theta_x) = \int_{\theta_x}^{\theta} \lambda d\theta / 2 \left(\frac{d\theta}{d\lambda} \right)_{\theta_x}, \quad D(\theta) = \frac{k(\theta)}{C(\theta)} \quad (3)$$

ここで、 θ : 体積含水率, $D(\theta)$: 水分拡散係数 (m^2/sec), x : 排水面からの距離 (m), t : 時間 (sec), θ_i : 初期体積含水率, θ_r : 最小含水量である。

試験は $\phi 4.3 \times 10.0cm$ の円柱状のボーリングコアを肉厚 $0.5cm$ のアクリルパイプにエポキシ樹脂を用いて固定した上で現場採取水中で約 1 週間真空脱気をして飽和供試体を作製した。試験装置の概略を **図-3** に示す。水平方向に FDR-V 水分計を $1cm$ ピッチで 9 本設置し、電子天秤の上に乗せて重量の変化を測定した。試験は供試体の一端にドライヤー (温度 $50^\circ C$) を当てた時点で開始し、片端はアクリル製のキャップでシールした。**図-4** に累積蒸発量の経時変化を示す。試験初期は徐々に増加する傾向を示しているが、その後、直線的な状態に落ち着いていることが分かる。試験条件としてこの直線状態が前提となるため、 $\sqrt{t}=147, 225, 312(sec)$ の体積含水率の分布を用いて水分拡散係数を算出した。**図-5** に初期と上記時間の体積含水率の分布を示す。なお、ドライヤーを当てた面の体積含水率は $\theta=0.15$ 程度で落ち着いていることから、この値を最小含水量とした。次にそれぞれの時間における $\theta \sim \lambda$ 関係を求め、式 (3) により水分拡散係数を算定した結果を **図-6** に示す。最終的に得られた水分拡散係数と **図-3** より得られる比水分容量の値を基に不飽和透水係数を算定した結果を **図-7** に示す。なお、VG モデルによる推定値を実線で併記する。最大で 1 オーダー程度の差が見られるが、概ね近い結果を示しているものと判断できる。

4. まとめ

本研究では、堆積岩地域の沿岸海底下で空洞掘削に伴う不飽和領域の発生状況を把握するための基礎データの取得を目的とした。結果として、現場より採取した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た結果、土質材料とは異なる曲線を示した。また、Hot air method の水分量の経時変化を FDR-V 法で測定した上で、水分拡散係数から不飽和透水係数を求め、水分量の経時変化を細かいピッチで計測することで、経時的な水分量の分布を確認することが出来ることを示した。

【参考文献】

- 1) 西垣誠・小松満・金萬鑑 : FDR 法による土壌・地下水汚染のモニタリング手法に関する基礎的研究, 地下水学会誌, 第 46 巻, 第 2 号, pp.145-157, 2004.
- 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.
- 3) 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.
- 4) M.Th.van Genuchten : A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Science, Vol.44, pp.892-878, 1980.
- 5) 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, 岡山大学工学部土木工学科, 1993.

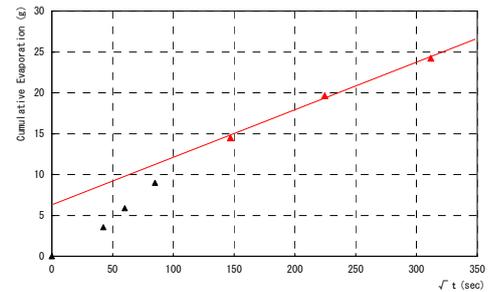


図-4 累積蒸発量の経時変化

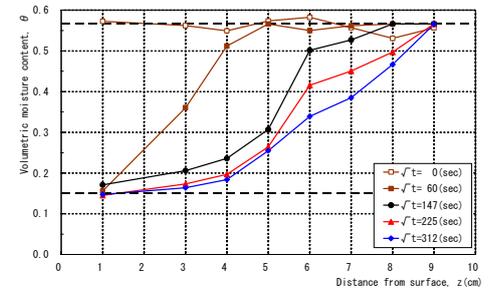


図-5 供試体内体積含水率分布の経時変化

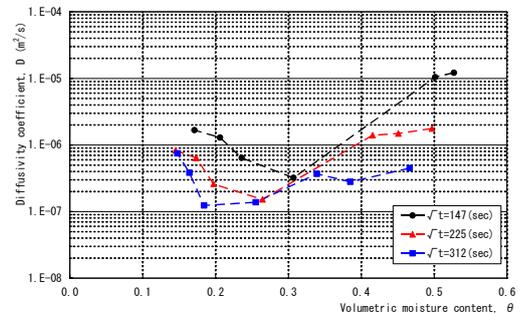


図-6 水分拡散係数の算定結果

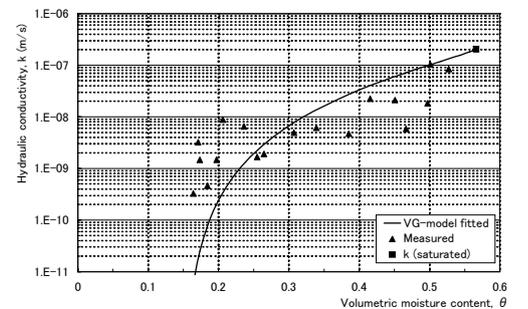


図-7 不飽和透水係数