

III-94

不飽和浸透における比抵抗特性の室内測定法に関する検討

岡山大学工学部 正会員 竹下祐二
三井建設(株) 正会員 石田義博
岡山大学工学部 正会員 河野一郎

1. はじめに

従来より地下水探査法として用いられてきた電気探査法は比抵抗インバージョンによるトモグラフィー手法により、地下水挙動のモニタリング手法の一つとして近年注目を集めている。電気探査法では地盤の状態を比抵抗値によって評価するために、定量的な評価手法として用いる場合には、比抵抗値と調査対象とされる地盤物理定数の相関データの蓄積と関数式の確立が極めて重要である。

本研究では、不飽和浸透における比抵抗特性に関する基礎的な資料を得ることを目的として、標準砂を用いた不飽和浸透実験を行い、比抵抗値と体積含水率の関係についての測定を行った。その際、電極配置としては2極法および4極法（ウェンナー法）を用いて、その適用性についても検討した。

2. 比抵抗特性の室内測定方法

(1) 電極配置の検討

不飽和土の比抵抗値の室内測定装置として、pF試験法の一つである土柱法を改良した装置を作成した。供試体の均質性の問題から直径10cmの円筒形モールドを用いた高さ60cmの円柱状試料にリング状の電極を配置することとした。任意電極間における試料の比抵抗値 ρ の算定には、柱状導体の比抵抗値の算定式である次式を用いた。

$$\rho = \frac{AV}{L_2 I} \quad (1)$$

ここで、A：供試体断面積、 L_2 ：電極間の長さ（測定区間長）、I：電流量、V：電位差

(1)式を適用する上で、測定区間内に平行電流が生じていることが ρ の算定精度上重要であり、測定区間および電極寸法の考察が必要になる。図-1に示すように供試体中央部と端部に電極を配置した場合において、電極幅 L_1 と測定区間長 L_2 をパラメータとし、供試体内のポテンシャル状況をFEMによる軸対称電位分布解析を行って考察した。その結果、2極法の場合にFEMより計算された電位分布を用いて式(1)より算出した ρ_{FEM} とFEMでの入力値 ρ_0 の比を図-2に示す。この図により L_1 と L_2 はいずれも長いほど、 ρ_{FEM}/ρ_0 の値が1.0に近づき(1)式の適用性は高くなることがわかる。本研究では試験効率の面から、一供試体において複数点での計測を行えるように、 $L_1=2\text{cm}$ 、 $L_2=4\text{cm}$ を選定した。ちなみに4極法では $L_1=2\text{cm}$ 、 $L_2=4\text{cm}$ とした場合、供試体中央部と端部の双方において $\rho_{FEM}/\rho_0=1.003$ であり、(1)式の適用には問題ないと考えられる。

(2) 室内比抵抗測定試験

試験に用いた代表的な電極配置における実験装置を図-3に示す。実験モールドは内径10cm、高さ3cmの亚克力製カラムを積み重ね、連結部分を真空グリスとビニールテープでシールして作成した。また電極部には、リン銅板（厚さ0.2mm）を加工したものを使用し、複数回の測定において電極配置の組み合わせにより測定区間を変化させた。試料には豊浦標準砂を用い、水中落下法にて高さ60cmの飽和土柱（ $\theta_s=0.42$ 、 $k_s=2.00 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ ）を作成した。

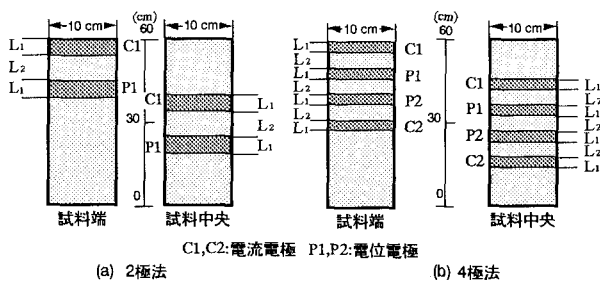


図-1 解析モデル

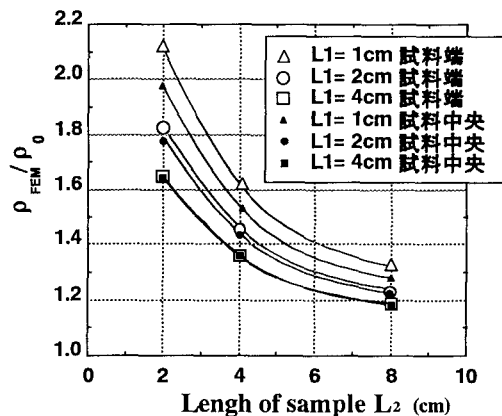


図-2 測定区間及び電極サイズの影響

比抵抗測定には、コンピュータ制御による自動電気探査装置¹⁾を用いた。本測定装置の電位の測定限界を考慮して間隙水には0.1%NaCl水溶液を使用した。計測は飽和状態における比抵抗値を1時間測定した後、供試体下部より重力排水を行って、各測定区間の不飽和状態における比抵抗値を2分毎に測定した。測定終了後直ちにカラムを解体し、各測定区間での体積含水率を求めた。

3.関数モデルによる測定データの評価

測定された結果は、比抵抗変化率（飽和状態における比抵抗値 ρ_{sat} に対する不飽和状態における比抵抗値 ρ_{unsat} の比）と体積含水率 θ の関係にて整理した。体積含水率と比抵抗値の関係はArchieの式を用いると次式のように表される。

$$\frac{\rho_{unsat}}{\rho_{sat}} = \left(\frac{\theta}{n} \right)^m \quad (2)$$

ここで、m:実験定数 n:間隙率

2極法と4極法における測定結果に対してそれぞれ(2)式のフィッティングを試みた結果を図-4に示す。式(2)中の実験定数は2極法では $m=1.2$ 、4極法では $m=1.35$ となった。2極法では体積含水率が0.15~0.4の付近でArchieの式からのやや逸脱する現象が認められるものの、2極法、4極法とも体積含水率のほぼ全域において、Archie式による実験結果の表現は可能であるように思われる。また、体積含水率の非定常挙動について、計測された比抵抗値から体積含水率への換算にArchie式（2極法: $m=1.2$ 、4極法: $m=1.35$ ）を用いたデータと、有限要素法による飽和～不飽和浸透流解析²⁾結果とを比較したものを図-5に示す。この図によれば比抵抗値による計測は、全般的に非定常不飽和浸透挙動に対する定性的な追従性を満足していると考えられる。したがって、比抵抗変化率を用いて不飽和領域における体積含水率の推定が可能であると考えられる。

4.おわりに

本研究では、不飽和浸透における比抵抗特性を室内不飽和浸透試験により求める方法について考察した。その結果、砂質土に対して本方法を適用すれば、比抵抗値と体積含水率の関係を簡便に測定することが可能であると思われる。今後は各種の土における比抵抗特性について、室内測定法の検討を行う予定である。最後に本研究の遂行にあたり、(株)パイコンソフトの井上誠氏より多くの助言を得たことを記して感謝の意を表します。

参考文献)

- 1) 井上:比抵抗法電気探査の地盤計測への適用例について,物理探査学会第82回学術講演論文集,pp.243-246,1990.
- 2) 赤井・大西・西垣:有限要素法による飽和～不飽和浸透流の解析,土木学会論文報告集,第264号,pp.87-95,1977.

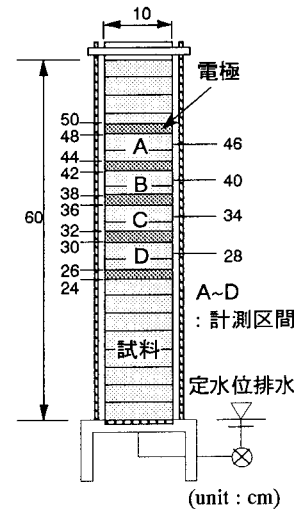


図-3 比抵抗測定装置

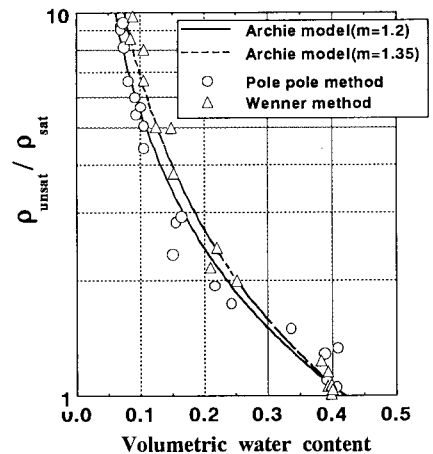


図-4 比抵抗値と体積含水率の関係

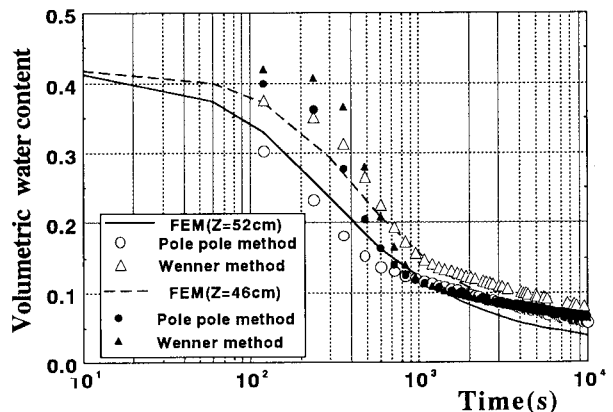


図-5 体積含水率の非定常挙動