

不飽和土の負の圧力水頭と体積含水率の測定法に関する研究

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
中国電力(株) 正会員 横田英嗣
岡山大学大学院 学生会員 渡邊 真

1.はじめに

地盤の地下水の挙動を評価する場合、不飽和領域の浸透特性を把握することが重要である。この中でも特に重要なのが、土の力学的挙動に大きな影響をもたらす体積含水率である。本研究では原位置での不飽和地盤の水分量測定に対してADR(Amplitude Domain Reflectometry)法¹⁾の適用を目的とし、その計測手法の検討を行う。また、原地盤の試料の特性を維持したままでの室内試験の実施を目的として、パーカッションボーリングによる不攪乱試料の採取法の妥当性の検討を行う。さらに、室内試験により得られる不飽和浸透特性のデータを生かし、原位置では計測が困難な負の圧力水頭の推定法を提案する。

2.ADR計測装置

ADR計測装置を図-1に示す。ADR法は、高周波の電気パルスが土壌中のプローブを通過して往復する際のセンサープローブ内の伝送線区域におけるインピーダンス(z)を測定し、誘電率(ϵ)-体積含水率(θ)の関係から θ を求める方法である。つまり、センサープローブにおいて、周波数を固定し、電圧による定在波の振幅の変化から誘電率を測定するものである。本体内部には、100MHzのシノソイド発信器、同軸伝送線区域および測定電子回路を内蔵している。

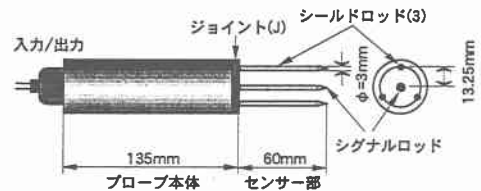


図-1 ADR計測装置

3.ADR法による土壌水分計測法の検討

ここでは、ADR計測法を実際に用いる際に必要となる校正曲線を求めた。また、この計測手法の適用性を検討するために、幾つかの予備実験を行った。

(1) 校正曲線^{1), 2)}

対象試料としてまさ土、標準砂、川砂を均質に締固め、土壌水分量を変化させ各水分状態の出力電圧 V と体積含水率 θ を測定した。 θ は全て炉乾法により測定した。得られた V - θ の関係を整理し、図-1の校正曲線を得た。校正曲線式を式-1に示す。相関係数は $R^2=0.99$ で、極めて精度の良い結果を得た。

$$\theta = \frac{(1 + 6.19V - 9.72V^2 + 24.35V^3 - 30.84V^4 + 14.73V^5) - 1.7}{7.8} \quad (1)$$

(2) ADR計測法の各種適用性の検討

a)高水分領域の測定限界：飽和度が約90%以上の高水分領域では計測値が校正曲線の値を上回った。つまり、飽和付近の地盤での測定は誤差を生じる。b)測定範囲：センサープローブの測定範囲は、鉛直方向はロッドの先端から付け根まで、水平方向はセンサー部の下端から上端までといえる。c)対象試料の種類及び密度による測定誤差：試料の種類や密度による測定誤差は無視できる。d)誘電率の温度及び塩分濃度に対する依存性：温度依存性に関しては、原位置で考えられる常温の範囲内では無視できる。塩分濃度依存性に関しては、濃度が高くなるにつれ出力電圧の減少が見られるため、塩類を含む地盤では実際よりも低い体積含水率を見積る可能性がある。

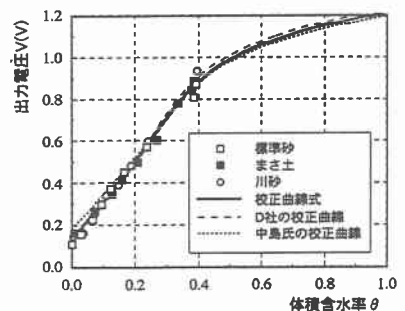


図-2 校正曲線

4. 不攪乱試料を用いた負の圧力水頭の測定

室内試験によって地盤の不飽和浸透特性を求めるために、試料のサンプリングの手段として主に利用されるボーリング法の妥当性の検討を行った。今回用いた方法は振動ハンマーによるパーカッションボーリングである。また、室内試験によって得られる水分特性曲線から、ADR計測法の利用による負の圧力水頭の推定法の提案を行った。

(1) 不攪乱試料のサンプリング法の検討³⁾

本実験では、ボーリングとの比較対象にコアカッター法を用いた。疑似地盤より採取した試料の乾燥密度と透水係数の比較を行った。図-3に乾燥密度の比較図を示す。乾燥密度は、ボーリングの方がやや高くなっている。これは、ボーリングによる孔底や孔壁の圧縮が密度を増加させたか、コアカッター法によって採取した試料が、拘束圧が除去されるため密度を過小評価する傾向があると考えられる。一方、透水係数は、両者に明確な相違点は見つからなかった。よって、掘削時に細心の注意を払って孔壁や孔底を乱さないように掘進すれば、ボーリングによる方法に大きな問題はないと考えられる。

(2) 負の圧力水頭(ψ)の推定

原地盤の水分量をADR法により計測し、水分特性曲線から ψ の推定を行う方法を提案するが、水分特性曲線にはヒステリシスが存在するため、任意の θ に対する ψ の決定が容易ではない。そこで、人工に締め固めたまさ土試料を用いて浸潤過程と排水過程の両方のpF試験を図-4に示す加圧板法にて行った。得られた結果とVGモデルの同定結果を図-5、図-6に示す。図-5では排水過程から浸潤過程へ移行する際に走査曲線を通っており、ヒステリシスの存在を確認した。図-6を見ると、任意の有効飽和度における比透水係数は浸潤過程の方が大きい。工学的見地から、不飽和土の浸透に関する問題では、危険予測の面で浸潤過程を無視できない。

5. おわりに

ADR計測法を用いた土壌水分計測法は、高精度の測定度を有しており、地盤の体積含水率を測定する有効な手法であることを確認した。原位置から室内に試料を持ち込む際の採取法として、ボーリングによる方法は、作業の正確性を条件として、妥当であることを確認した。負の圧力水頭の推定を行うにあたり、水分特性曲線のヒステリシスを考慮し、不飽和土の浸潤過程の浸透特性を把握することは、工学的な見地から非常に重要であり、浸潤過程の水分特性曲線から推定を行う方法が有効である。

【参考文献】

- 1) Miller, J. D. and Gaskin, G. J.: The Development and Application of The ThetaProbe soil Water Sensor, MLURI Technical Note, 14p., Macaulay Land Use Research Institute, Aberdeen, 1996.
- 2) 中島誠・井上光弘・沢田和男・C. Nicholl: ADR法を用いた土壌水分量の測定, 1997年春季講演会講演要旨, 日本地下水学会, pp. 18-23, 1997.
- 3) 西垣誠: 室内透水試験における諸問題, 地下水と井戸とポンプ, 第27巻第8号, 1985.

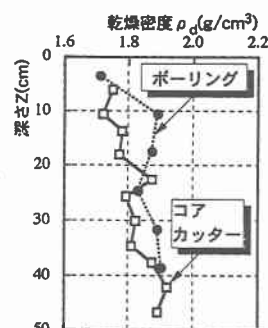


図-3 乾燥密度の比較

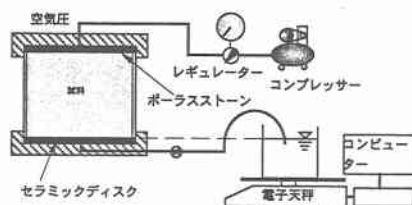


図-4 加圧板法装置概略図

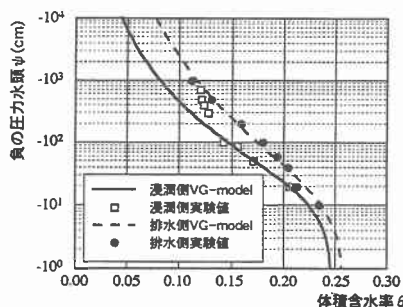


図-5 水分特性曲線

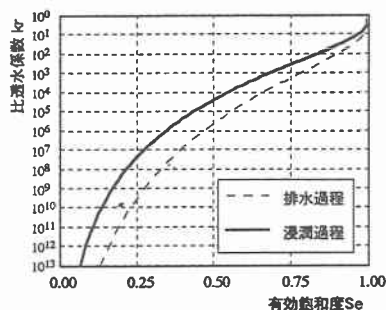


図-6 比透水係数の比較