

Ⅲ-A 330

原位置における不飽和浸透特性の計測法に関する研究

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. 背景及び目的

地下水問題を取り扱う場合、地盤の不飽和浸透特性を把握することが重要である。これらを測定するために原位置試験が行われているが、未だ簡便な計測法は確立していない。本研究では、近年注目されている誘電法のうちADR(Amplitude-Domain Reflectometry)計測法を利用し、原位置での水分量計測を目的として、校正曲線の作成や埋め戻し材に対する検討を行う。また、盛土の品質管理に用いられるE-19法を擬似盛土地盤にて行い、計測される非定常データから飽和透水係数の算定法の検討を行う。

2. ADR計測法による土中水分計測法

ADR計測法を原位置に適用するために、校正曲線の作成及び埋め戻し材の検討を行った。

(1) 校正曲線^{1), 2)}

対象試料としてまさ土、標準砂、川砂を乾燥密度一定で均一に締固め、水分量のみを変化させて各水分状態での出力電圧Vと体積含水率 θ の相関関係を求め、式(1)の校正曲線式を得た。図-1に各試料より得られたV- θ 関係と校正曲線式を示す。これより、相関係数 $R^2=0.99$ の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) 埋め戻し材の検討

ここではADRセンサーの埋め戻し材として、石膏、ペントナイト混合土を提案し、降雨実験にてその適用性を検討した。実験地盤は間隙率 $n=0.35$ 、初期体積含水率 $\theta=0.15$ 、降雨強度は約70mm/hである。実験装置を図-2に、実験結果を図-3に示す。3者とも浸潤前線の通過とともに体積含水率が上昇している。これより、埋め戻し材として石膏、ペントナイトは有効であるといえる。また、体積含水率のピーク値が地盤の間隙率に近い値を示していることから、地盤の有効間隙率をある程度推定することが可能と思われる。また試験終了後にADRプローブ先端付近から試料を採取し体積含水率を測定した結果を表-1に示す。これより、良好な計測結果であるといえる。

3. 盛土地盤における品質管理のための飽和透水係数の計測法

ここでは擬似盛土地盤にてE-19法を行い、流入流量、間隙水圧、体積含水率の非定常データを測定し、従来法に比べ短時間にて透水係数を求める方法を検討する。

(1) 実験方法

キーワード: 誘電率, ADR計測法, 体積含水率, E-19法

連絡先: 〒700-8530 岡山市津島中2-1-1, Tel(086)251-8167, Fax(086)251-8257

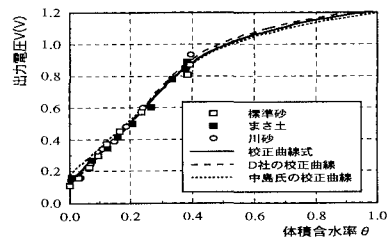


図-1 校正曲線

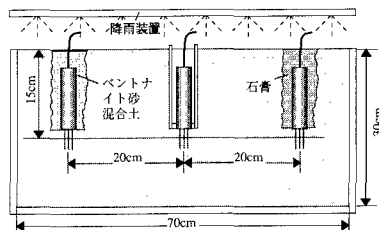


図-2 降雨実験試験装置

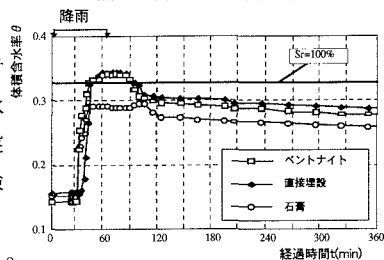


図-3 体積含水率の経時的変化

表-1 試験終了後の体積含水率の比較

埋め戻し材の種類	ADR法による計測値(θ)	採取試料の体積含水率θ	間隙率n
ペントナイト混合土	0.26	0.23	0.33
直接埋設	0.27	0.23	0.33
石膏	0.25	0.22	0.33

実験モデルは幅100cm、奥行き100cmの土槽に盛土を作成した。盛土地盤の状態を表-2に示す。この盛土に図-4のように直径30cm、深さ30cmのオーガ孔を掘削し、孔周辺に間隙水圧計、ADRセンサープローブを埋設し、E-19法を行った。

表-2 盛土地盤の初期状態

乾燥密度 $\rho_d (\text{g/cm}^3)$	含水比 $\omega (\%)$	初期体積含水率 θ_w	間隙率 n	飽和度 $S_r (\%)$
1.94	11.5	0.22	0.26	85

(2) 試験結果及び考察

以下に測定された非定常データ別の透水係数の算定法を検討する。

(a)流入流量：流入流量の非定常データから透水係数を算定する方法として、カーブフィット法が挙げられる³⁾。図-5にフィッティング結果を表-3に従来のE-19法と孔周辺から採取した試料により室内試験を行った結果との比較を示す。これより精度良く透水係数が算定されていることがいえる。以上の結果より、流入流量の非定常データを用いることで、短時間で透水係数を求めることが可能である。

(b)間隙水圧：試験開始時に圧力水頭が $\phi = -10\text{cm}$ であり、地盤内がほぼ飽和状態であった。また、間隙水圧計は地盤に設置してから、測定可能となるまで長時間必要であるという問題点が存在する。

(c)体積含水率：盛土のように最適含水比付近において締固める地盤は、飽和状態である。また、本来地盤にはエンラプトエアが存在するため、有効空隙率は、間隙率の80~90%であり、本実験の盛土での有効間隙率は $n_e = 0.21 \sim 0.23$ 程度と思われる。表-4に試験前に孔周辺から採取した試料より初期体積含水率とその試料に24時間水を浸潤させた後の体積含水率の関係を示す。これより、浸潤させても体積含水率はほぼ同じ値を示すことがいえる。図-6にADRセンサーの試験開始までの変化を示す。設置した瞬間は、ほぼ地盤の体積含水率と等しい値を示しているが、時間が経過するとともに体積含水率が上昇している。この原因としてセンサーロッドと地盤の隙間に水が析出したためと思われる。以上のことから飽和に近い地盤において体積含水率の経時の変化を測定することは困難であることがいえる。

4. おわりに

本研究においてADR計測法を用いた土壌水分計測法は高精度の測定法であることを確認した。また、ADR計測法の埋め戻し材として石膏、ベントナイトを提案し、さらに飽和状態の体積含水率を測定することから有効間隙率をある程度推定できることを示した。またE-19法において非定常データを用いて透水係数を迅速に算定するには、流入流量を測定することが最も良いことを示した。また、同時に飽和地盤において体積含水率の変化を測定することは困難であることを確認した。

<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・竹下祐二・織田吉文: 原位置における不飽和土の透水係数の測定法, 第26回土質工学会 研究発表会, pp.1681-1682, 1991.

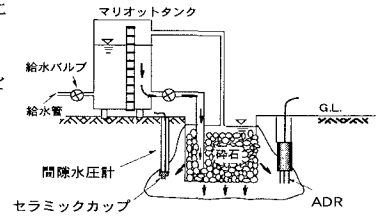


図-4 E-19法の概要図

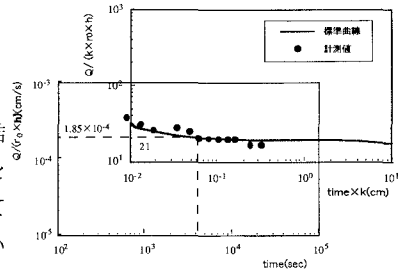


図-5 フィッティング結果

表-3 算定された透水係数の比較

カーブフィット法	$k = 8.80 \times 10^{-6} (\text{cm/s})$
従来法	$k = 8.94 \times 10^{-6} (\text{cm/s})$
採取試料（水平方向）	$k = 2.30 \times 10^{-5} (\text{cm/s})$ (飽和度 $S_r = 93\%$)

表-4 初期及び浸潤後の体積含水率

浸潤前 θ_{in}	浸潤後 θ_{sat}
0.20	0.24

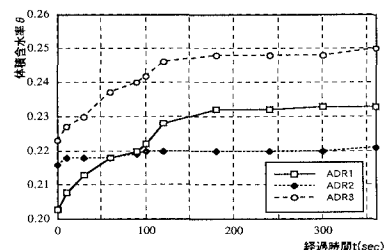


図-6 試験開始時までの体積含水率の変化