

### 砂漠地への適用を目指したプロファイル水分計の特徴と測定精度の評価

九州大学大学院 学生会員 ○新開 敦 正会員 安福規之  
九州大学大学院 正会員 大嶺 聖 正会員 小林泰三

#### 1. はじめに

現在、陸地の全面積の3分の1にあたる4500万km<sup>2</sup>が砂漠地であると言われており、さらに毎年6万km<sup>2</sup>の速度で砂漠化が進行している。砂漠化は地球環境保全上の深刻な問題となっており、砂漠化への対策は急務となっているが、砂漠化防止対策を講ずるための気象や土壌特性、生態系などのデータが不足している<sup>1)</sup>。

そこで本研究では、砂漠地の土質・土壌特性及び生態学的特性を把握するための定点・広域的な地盤調査技術の確立に向けた取り組みを行っている。定点地盤調査とは、ある1地点についての長期的なデータを得るための調査である。具体的には、土中水分・塩分濃度・土中温度・外気温度・湿度・風向風速・気圧・降雨量等の経時変化を計測できる自動観測装置の開発を検討している。広域地盤調査とは、例えば砂漠地の土中水分を広域的に把握するための調査であり、定点地盤調査と併せて合理的な砂漠地調査法を提案したいと考えている。本研究では、かかる目的のために5~10mの深度までの土中水分計測に用いるプロファイル水分計の基本的な特性を調べた。

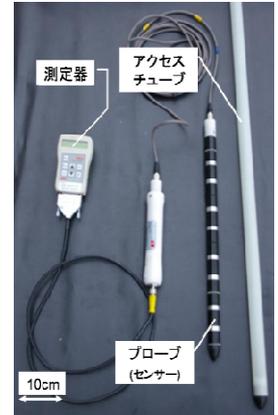


写真1. 水分計(PR2)

#### 2. プロファイル水分計の特徴

今回用いたプロファイル水分計は、Delta-T Devices社製PR2/4プロファイルプローブ(以下PR2)である。写真1にプローブの外形を示す。プローブには一対の電極が10cm間隔で計4個設置されている。本研究では任意の深さの土中水分量を計測するためにアクセスチューブを導入した。このアクセスチューブをあらかじめ地盤に挿入しておくことによって、任意の深さでの水分量を測定することができるだけでなく、計測にはプローブと計測器だけを持ち運ぶだけでよいので、効率的に水分計測ができ、1本のセンサーで多点を計測できることからコストの削減にもつながる。このプロフ



写真2. 試験装置

ファイル水分計の測定原理はADR (Amplitude Domain Reflectometry)法に基づいており、土壌水分の変化に非常に敏感で、その土壌の密度や成分にあまり影響されないという特徴を持つ。ADR法とは、二つのステンレスリングから出た約100MHzの高周波の信号が土壌を通過して往

表1. 試験条件

試料	気温 (°C)	設定含水比 (%)	試料高さ (cm)	平均粒径 (mm)	有効径 (mm)	均等係数	曲率係数
まさ土	17	0,1,3,5,	30	0.60	0.06	13.3	1.9
k-3	17	7,9,11,13,		1.50	1.00	1.6	1.1
k-7	18	15,17,20,25		0.25	0.13	2.1	1.1

復する際の電気抵抗を測定するものであり、この電気抵抗が土中の物質の誘電率に依存するという原理を利用している。誘電率は各物質によって異なり、空気を1とすると土は約4、水は81という値を示す。測定した誘電率の値を電圧(V)に変換して出力し、以下の多項式に代入して土中の体積含水率θの値を校正する。

$$\theta = -0.057 - 0.66V + 8.00V^2 - 27.91V^3 + 49.23V^4 - 42.46V^5 + 14.47V^6 \quad (\text{m}^3/\text{m}^3) \quad (1)$$

なお、(1)式はADRセンサー製作会社が無機質土に適合した式として提供しているものである。

#### 3-1. プロファイル水分計の精度を確認するための模型実験

プロファイル水分計の現地での適用を目指し、まずは写真2のような内径25.7 cm、高さ30 cmのカラムを用いてキャリブレーション試験を行った。試料は砂漠地の砂質土を想定し、まさ土、硅砂3号(以下k-3)、硅砂7号(以下k-7)と

キーワード：土壌水分 プロファイル水分計 砂漠化防止対策

連絡先：〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウエスト 2 号館 1108 九州大学 地盤工学研究室 TEL 092-802-3378

した。表1に各試料の試験条件を示す。試験方法はカラムに含水比を調節した試料を詰め、PR2の各センサー部を試料の中心部まで挿入し出力電圧を測定する。測定後、試料を採取し含水比を計測し、出力電圧と体積含水率の関係を定式化する。

各センサーの出力電圧値の平均と体積含水率の関係を図1に示す。図1より、(1)式は体積含水率を5~10%程度過大評価しており、新たに校正式を定めることが必要であることがわかる。各試料の体積含水率と出力電圧との間には一義的な関係があることが確認できるとともに、各プロットは同一曲線上に乗り、その曲線は(1)式が示す曲線と形状が似ていることが予想される。そこで、(1)式を下方へ平行移動させることで砂質土に適した校正式として次式を提案した。

$\theta = -0.1352 - 0.66V + 8.00V^2 - 27.91V^3 + 49.23V^4 - 42.46V^5 + 14.47V^6$  (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) (2)  
 上式は、(1)式の定数項のみを変化させてデータフィッティングの結果得られた校正式であり、本試験で用いたような砂質試料において、より正確な体積含水率を校正することができるようになる。

**3-2. プロファイル水分計の互層地盤への適用**

次に、砂漠地の不均質地盤を模擬した高さ2mの土槽(図2)を作成し、プロファイル水分計の地盤内の水分量分布に対する感度の検証を行った。試料は絶乾状態のk-7と硅砂8号(以下k-8)を用いて、各層20cmの互層地盤とした。k-8はk-7よりも粒度の小さいシルト質であるため、不飽和土においては体積含水率が高くなると予想される。土槽作成後、底面から給水を行い、地下水位が試料高さ10cmの位置となるように調節した。

結果の一例として、給水開始から21時間後と、水分上昇が落ち着いてきた240時間後(10日後)の水分状態を図3に示す。この図より、時間の経過とともに各層の体積含水率が上昇していることがわかる。このことから、アクセスチューブを利用したプロファイル水分計を用いることで任意の深さの水分計測だけでなく、経時変化を計測することもできることが確認された。また、10日後の水分状態において、k-8の層(図中、白抜きのプロット)において下層よりも体積含水率が上昇しており、互層地盤の体積含水率の変化をとらえていることから、プロファイル水分計の層に対する分解能が高いことが示された。

**4. まとめ**

- (1) センサー製作会社提供の校正式の定数項のみを変化させるという簡便な方法で、砂質土に適した校正式を定めた。この式は、互層地盤においても試料の違いによる体積含水率の変化を捉えており、不均質な砂質土においても適用できることが期待される。
- (2) 大型の模型土槽において、土中の任意深さにおける水分の経時変化を計測することができた。多数のアクセスチューブを調査地に設置し、任意の場所・深さ・時間にプローブをその都度挿入して計測を行うことで、簡便にかつ経済的に深さ方向の水分量プロファイル・モニタリング計測が可能となることが示唆される。

【参考文献】1) 遠藤 勲：沙漠工学，森北出版，1998

本研究の一部は九州大学・玄海町薬草プロジェクト研究、九州大学 P&P 研究の支援を得て行われたものである。

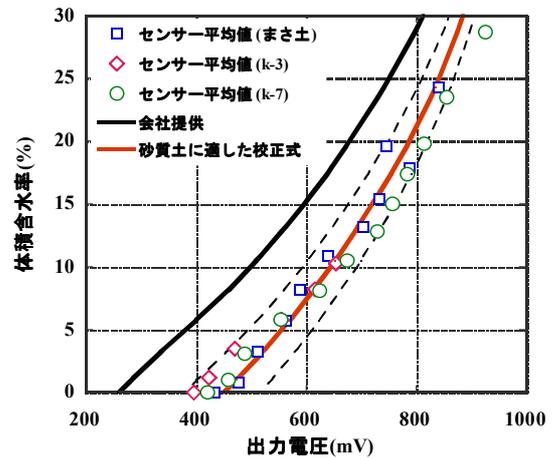


図1. 校正結果

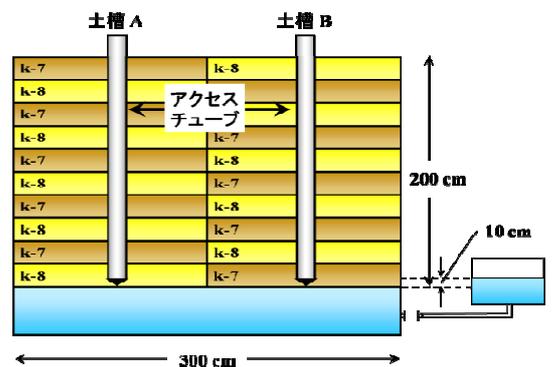


図2. 大型土槽

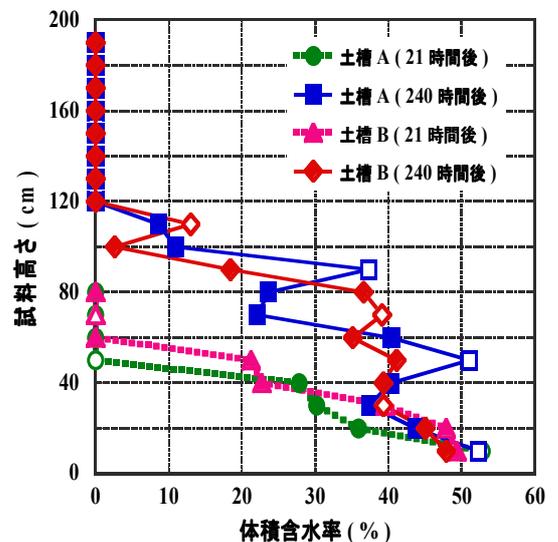


図3. 大型土槽の水分状態