

# 082 貫入試験機を用いた斜面土壌水分空間分布の計測手法の開発

京都大学農学研究科 ○小杉賢一朗・堤 大三・藤野貴之・水山高久  
ジオグリーンテック株式会社 長谷川秀三

## 1. はじめに

山地斜面土層内の土壌水分空間分布を知ることは、崩壊に対する斜面の安全性の評価や、斜面緑化の為の土壌環境評価を行う上で、極めて重要となる。特定の斜面における土壌水分分布の時系列を知るためには、テンシオメータや土壌水分計を設置すれば良いが、利用できるセンサーの数によって空間的な分解能が規定されてしまう上、測器の設置に時間と手間がかかることから、例えば「崩壊を起こした直後の斜面の水分分布を計測する」といった、機動性を重視した使用には適さない。一方、最も標準的な秤量法による土壌水分計測は、決められた体積の土壌を、土壌断面を掘削したり専用のオーガーを用いたりして採取せねばならず、非常に効率が悪い。これに代わる手法として、電気探査比抵抗法等による地表面からの非接触計測技術の向上が望まれるが、非接触であるが故にキャリブレーションが難しく、また土層構造など土壌水分以外の特性が計測値に影響するといった報告もある。そこで筆者らは、崩壊発生斜面や緑化対象斜面で頻繁に行われている貫入試験に着目した。すなわち、貫入試験機のロッドの先端に TDR 式土壌水分計のセンサー部（プローブ）を取り付けることによって、貫入抵抗を測定しながら、同時に土壌水分の鉛直分布を計測するという試みを行った。ここでは、標準砂を用いた測器のキャリブレーション結果と、風化花崗岩を母材とする山地斜面での計測結果について報告する。

## 2. 方法

貫入試験機（長谷川式土壌貫入計）の貫入ロッドの先端にアクリル管（長さ 70mm，外径 18mm，内径 14mm）を取り付けた（図-1）。このアクリル管には、2本のステンレスワイヤ（長さ 200mm，直径 0.3mm）が互いに交差しないようにコイル状に幅 22mm（図-1 の矢印の範囲）で巻かれており、この部分が TDR プローブとして周囲の土壌水分を感知する。ステンレスワイヤの貫入試験機先端側の端は、貫入ロッド内部に通された同軸ケーブル（50Ω）に半田づけされ、さらに同軸ケーブルは貫入ロッドの地上部の端から取り出されて TDR 式土壌水分計本体（Campbell 社製，TDR100）に接続されている。

TDR 式土壌水分計では、水の比誘電率（80）が土粒子（3.5）や空気（1）に比べて格段に大きいことを利用して、土壌の比誘電率 $\kappa$ から体積含水率 $\theta$ を求めている。 $\kappa$ を $\theta$ に変換する経験式を定めるため、TDR プローブを入れた容器に豊浦標準砂を充填し、蒸発による乾燥過程の $\kappa$ と $\theta$ を同時計測する実験（実験 1）、豊浦標準砂を充填したカラムの下端に地下水面を設けて含水率を調節した上で、土層表面から貫入試験を行いながら $\kappa$ の鉛直分布を計測する実験（実験 2）、滋賀県南部田上山中の風化花崗岩を母材とする森林斜面において、貫入試験を行いながら $\kappa$ の鉛直分布を計測する実験（実験 3）を行った。実験 2、3では、貫入試験を行った直後に、同じ地点で深さ 5cm 毎に土壌サンプル（100cm<sup>3</sup>）を採取し、秤量法によって $\theta$ の鉛直分布を実測した。

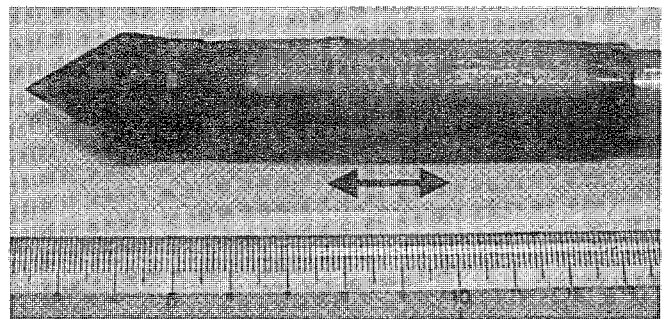


図-1 貫入試験機先端に取り付けたコイル型 TDR プローブ（矢印部）

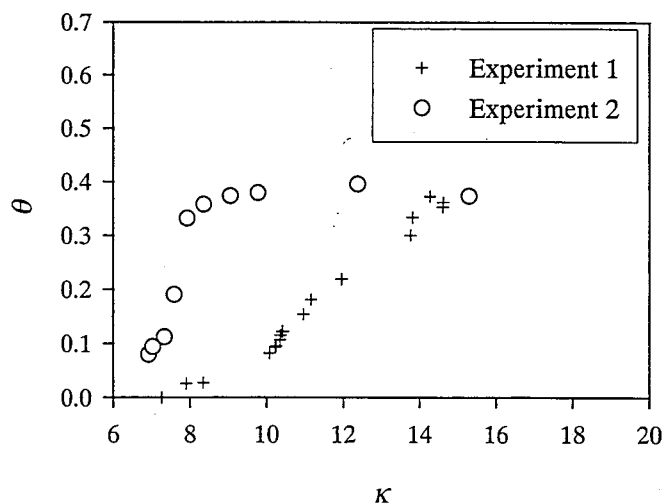


図-2 実験 1、2 で得られた体積含水率 $\theta$ -比誘電率 $\kappa$ 関係

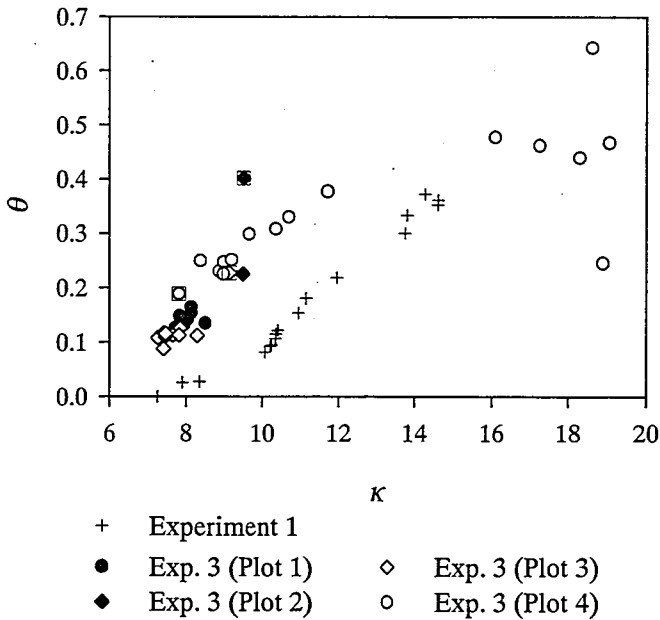


図-3 実験1, 3で得られた体積含水率 $\theta$ -比誘電率 $\kappa$ 関係  
□で囲ったデータは、深さ 0-5 cm で採取したサンプルについての結果を示す。

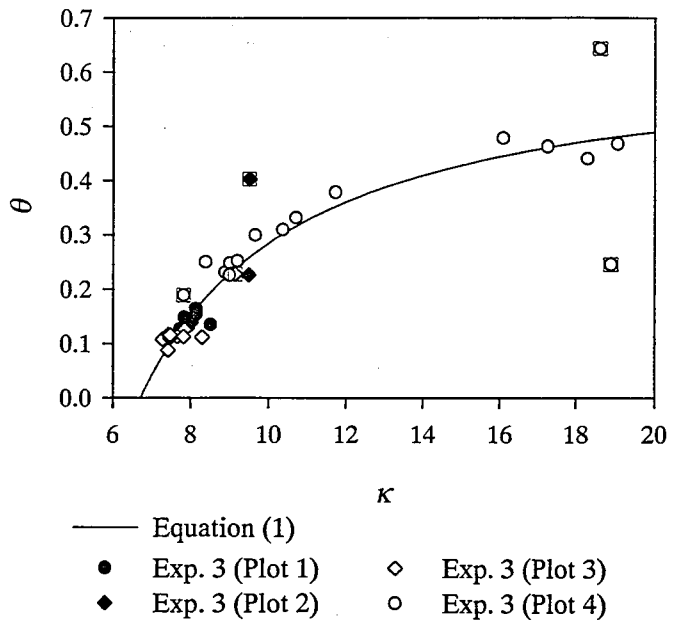


図-4 実験3で得られた体積含水率 $\theta$ -比誘電率 $\kappa$ 関係に(1)式をあてはめた結果  
□で囲ったデータは、関数のあてはめの際に考慮しなかった。

### 3. 結果

標準砂を用い、貫入試験をしないうで計測を行った結果(実験1),  $\theta$ と $\kappa$ の間にほぼ直線で表される関係が検出された(図-2)。これに対して、同じ標準砂を用い、貫入試験を行って計測した場合(実験2)には、 $\theta$ - $\kappa$ 関係が凸型の曲線となった(図-2)。飽和付近( $\theta \approx 0.4$ )では両実験の $\theta$ - $\kappa$ 関係はほぼ一致するが、不飽和領域では同じ $\kappa$ に対応する $\theta$ が実験2で大きくなっている。この原因として、貫入試験をした場合にTDRプローブと土壌の間に隙間が生ずることが考えられる。よって貫入試験機による含水率計測の場合、実際に貫入試験を行って $\theta$ - $\kappa$ 関係を定める必要がある。

実験3(Plot1: 斜面上部, Plot2: 斜面下部, Plot3: 斜面中部, Plot4: 溪岸堆砂地)でも、実験2と同様の凸型の $\theta$ - $\kappa$ 関係が得られた(図-3)。Plot2の最表層は他と異なる傾向を示したが、これは土壌が有機物を多く含んでいたことが原因と考えられる。またPlot4での $\kappa$ が大きい部分でのバラツキは、飽和土層からの土壌採取時に発生した $\theta$ の計測ミスに起因すると推察された。これらのデータを考慮せずに関数のあてはめを行った結果、

$$\theta = 0.64(\kappa - 6.7)/(\kappa - 2.6) \quad (1)$$

なる関係が得られた(図-4)。(1)式を用いて計算された $\theta$ の鉛直分布は、秤量法で求めた $\theta$ の鉛直分布と概ね良い対応を示し、斜面部位の違いによる土壌水分状態の違いも良好に再現しているといえる(図-5)。

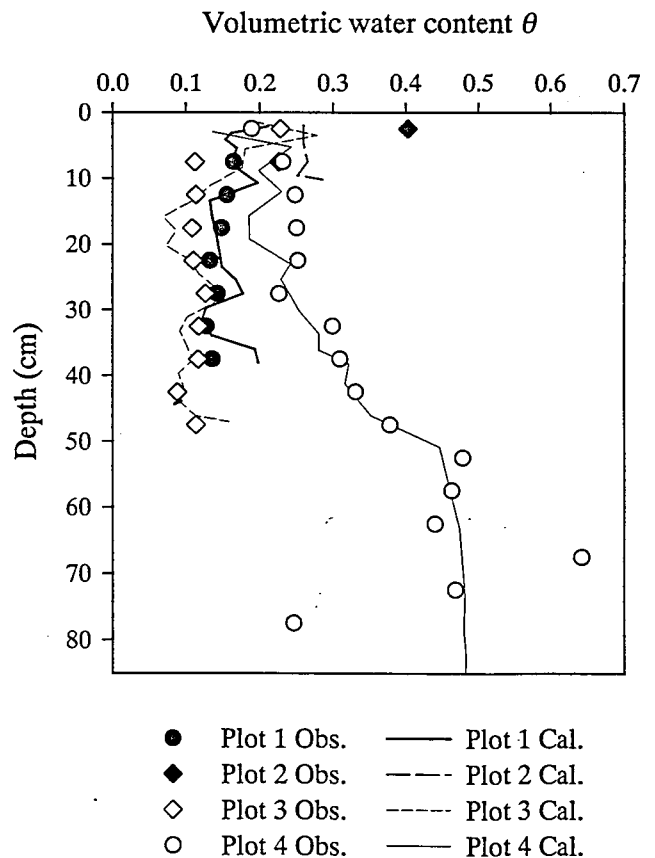


図-5 実験3における体積含水率 $\theta$ の鉛直分布の実測値と貫入試験機による比誘電率 $\kappa$ の計測値に基づく計算値の比較