

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、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では、不攪乱土壌を土壌断面掘削やオーガーを用いて採取せねばならず、効率が悪い。これに代わる手法として、電気探査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、非接触であるがために土壌水分以外の要因が計測値に大きく影響してしまい、キャリブレーション方法の確立が容易でない。このような背景のもと、筆者らは水分計付貫入試験機を開発し、そのキャリブレーション結果と山地斜面への適用例について昨年度の砂防学会で報告した。ここでは、現位置試験の事例を増やし、各種気象条件下における林地斜面の土壌水分空間分布の計測を行った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 70 mm，外径 18 mm，内径 14 mm）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 200 mm，直径 0.3 mm）が互いに交差しないようにコイル状に幅 22 mm（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 κ を計測することにより体積含水率 θ を求めている。

滋賀県南部に位置する田上山系の風化花崗岩を母材とする森林斜面（斜面長約 30 m）において、水分計付貫入試験機を用いた土壌水分計測試験を行った。計測日は 2002 年 1 月 17 日，9 月 4 日，2003 年 3 月 4 日で、9 月 4 日は夏期の乾燥期，3 月 4 日は降雨直後の湿潤条件下での計測である。いずれの計測日についても、斜面上部から谷底部にかけての 4~8 地点において貫入深 2 cm 毎に土壌水分の計測を行った。また打撃回数と貫入深を連続的に記録して、土壌の柔らかさの指標である s 値（一回の打撃による貫入深）の鉛直変化を求めた。計測終了後、同地点で不攪乱土壌サンプル（100 cm³）を採取し、実験室に持ち帰って秤量法によって体積含水率を計測した。

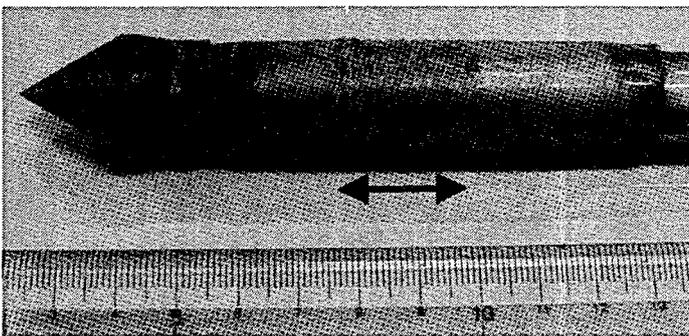


図-1 貫入試験機先端に取り付けたコイル型 TDR プローブ（矢印部）

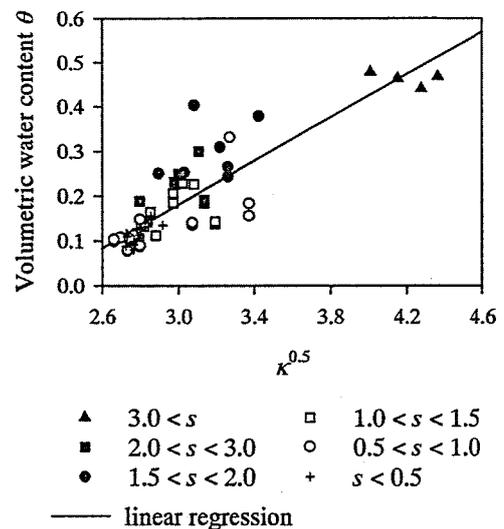


図-2 体積含水率 θ —比誘電率 κ 関係（ s 値の単位は cm/drop）

3. 結果

計測された比誘電率 κ の平方根と体積含水率 θ の間には、おおむね次の直線で表される関係が検出された (図-2)。

$$\theta = 0.243 \kappa^{0.5} - 0.547 \quad (\text{Model 1})$$

しかしながら中程度の含水率 (0.15~0.4) では、直線から大きく外れるケースも見られた。各データを s 値で区分したところ、 s 値が小さい場合は回帰線の下側に、 s 値が大きい場合には回帰線の上側にプロットされる傾向が検出された。この原因として、 s 値が大きい柔らかい土壌ほど、貫入試験の際にコイル状の水分感知部と周囲の土壌との間に隙間を生じやすいことが考えられる。そこで、 κ と s 値より θ を推定する次のモデル (Model 2) を導出した。

$$\begin{aligned} \theta &= (0.243 \kappa^{0.5} - 0.547) (0.283 s + 0.674) & s \leq 1.87 \\ \theta &= (0.243 \kappa^{0.5} - 0.547) (-0.031 s + 1.262) & s > 1.87 \end{aligned}$$

Model 1 による決定係数 (R^2) が 0.74 であるのに対し、 κ と s による回帰モデル (Model 2) では R^2 が 0.84 となり、 θ の推定精度が向上していることがわかる (図-3)。

図-4 には、Model 1, 2 により推定された、各測定日・各斜面位置の含水率鉛直分布を、実測値と共に示した。実測含水率は、2002年1月17日には谷底部 (Bottom) の下層を除いて低い値となっている。また、2002年9月4日の含水率は斜面全体で低く、これに比べて2003年3月4日の含水率は5~15%増加している。貫入試験結果から求めた含水率の分布は、実測値の傾向を再現していること、Model 1 に比べて Model 2 の推定精度が向上していることがわかる。

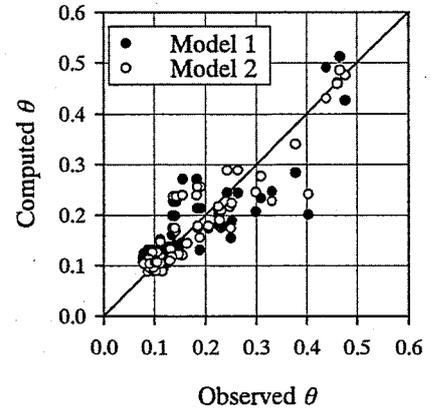


図-3 回帰モデル1および2による体積含水率計算値の実測値との比較

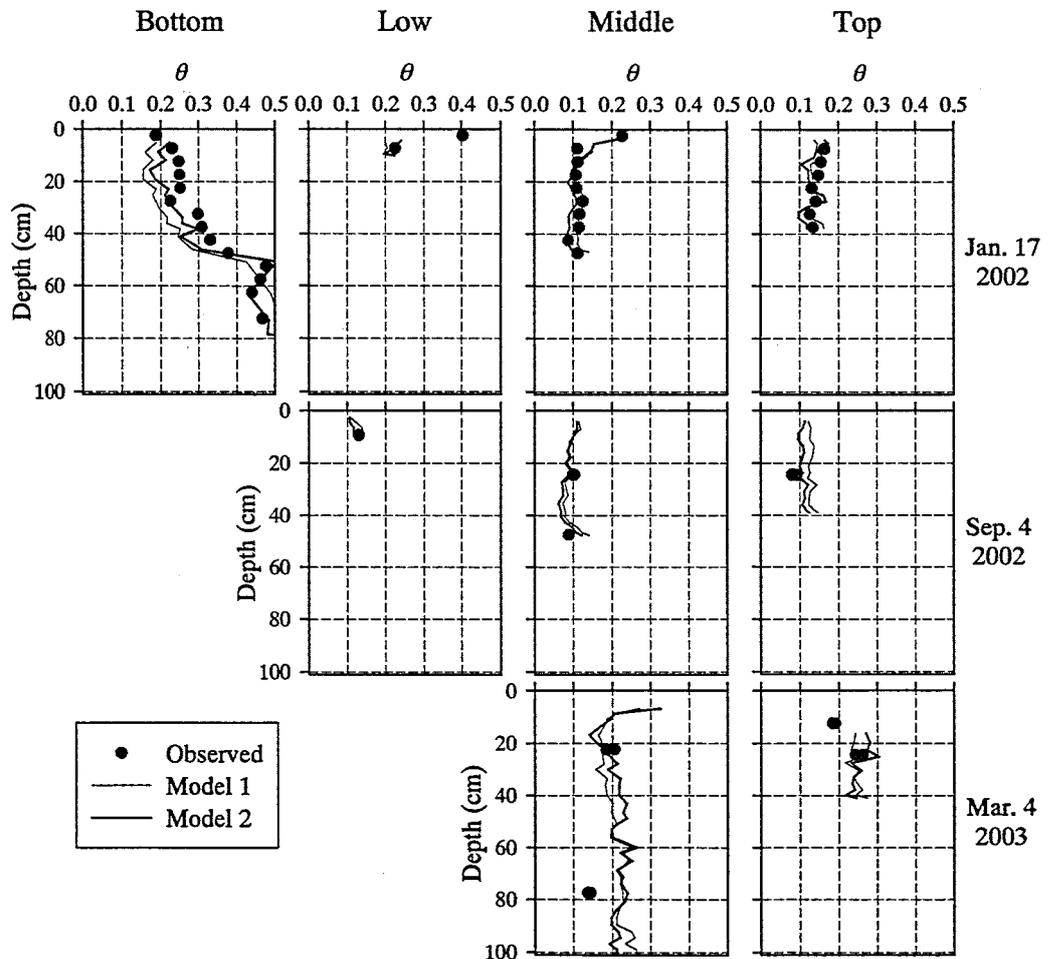


図-4 体積含水率の鉛直分布の実測値 (秤量法) と貫入試験機による推定値の比較

4. まとめ

水分計付貫入試験機を用いることで、斜面土層の土壌水分空間分布が効率的に計測できることがわかった。含水率の計測精度を向上させるには、TDR による比誘電率の計測値に加え、貫入抵抗値 (またはその逆数である s 値) を回帰モデルの説明変数に加えることが有効であることが示された。