

土壤水分計付貫入計の開発と性能試験

京都大学農学研究科 ○小杉賢一朗, 山川陽祐, 正岡直也, 水山高久

1. 研究背景と目的

山地斜面土層内の土壤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、斜面緑化の為の土壤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壤水分分布の時系列を知るためには、テンシオメータや土壤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壤水分計測では、不攪乱土壤を土壤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壤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、本研究は水分計付貫入計（以下、CPMP と呼ぶ）を開発し、精度の検証を行った。なおこれまでに、農耕地土壤における作物根系の生育環境調査を目的として同様の測器の開発を試みた例^{1),2)}があるが、計測深度が40～60 cm しかないこと、衝撃耐久性が低いことが原因となって、山地斜面への適用は不可能であった³⁾。

2. 方法

2.1 CPMP の開発・改良

貫入試験機（長谷川式土壤貫入計）の貫入ロッドの先端にアクリル管（長さ72 mm，内径12 mm）を取り付けた（図-1）。アクリル管には深さ0.5 mmの溝が切っており、この溝に沿って2本のステンレスワイヤ（直径0.55 mm）が互いに交差しないようにコイル状に幅42 mmで巻かれている。このワイヤがTDR式土壤水分計のプロープとして周囲の土壤水分を感知する。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（50 Ω）に半田づけされ、さらに同軸ケーブルは貫入ロッドの上端から取り出されて電磁波発生解析装置（Campbell社製，TDR100）に接続されている。貫入ロッドは、延長ロッドを挿入することによって、最大552 cmまで延長が可能である。

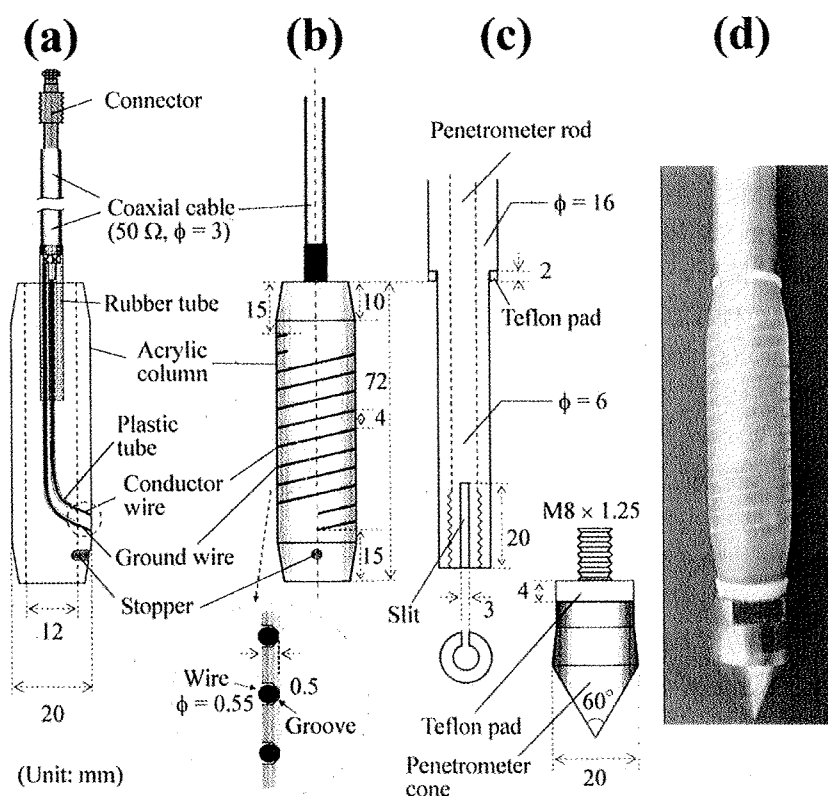


図-1 土壤水分計付貫入計（CPMP）の水分センサー部の模式図

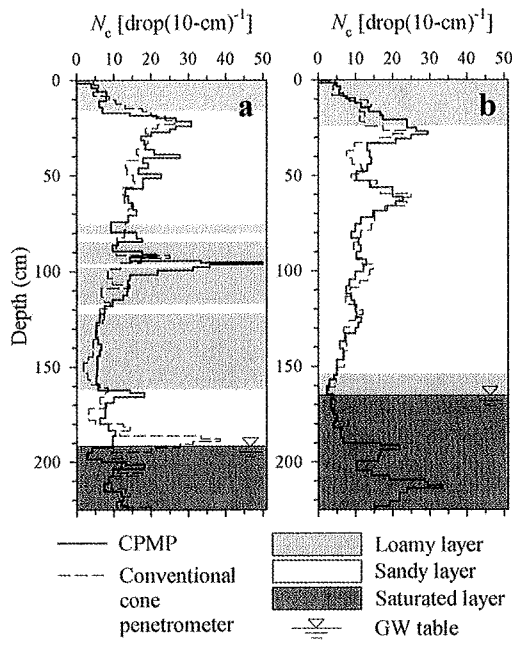


図-2 貫入抵抗値 N_c の鉛直分布 (地点 a, b)

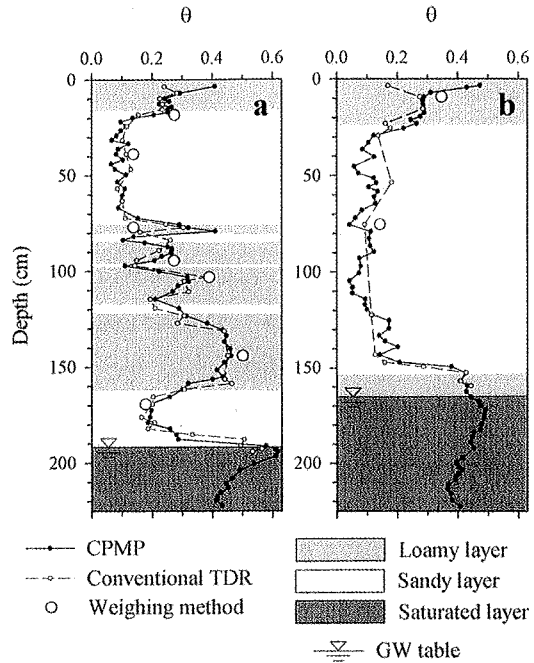


図-3 体積含水率 θ の鉛直分布 (地点 a, b)

2.2 精度の検証

滋賀県南部に位置し風化花崗岩を母材とする田上山地において、開発した測器の検証を行った。斜面末端部の堆砂地を調査地に設定し、始めに長谷川式土壌貫入計を用いて貫入抵抗を計測した。次にその地点から 20 cm ほど離れた地点において CPMP を用いて貫入抵抗および比誘電率 κ の計測を行った。その後この地点の土壌断面を掘削し、貫入ロッドの通過痕に沿って市販の TDR プローブ (Campbell 社製, CS605) を用いて再び κ を計測した。 κ は土壌の体積含水率 θ と高い相関を持ち、通常は Topp ら⁴⁾の式によって θ に変換することができるが、本研究では CPMP, CS605 のそれぞれについて、室内実験により得られたキャリブレーションカーブを用いて θ への変換を行っている。さらに、掘削した土壌断面から不攪乱土壌サンプル (体積 100 cc) を採取し、秤量法によって θ を計測した。以上の検証実験を、2 地点 (地点 a および b) で実施した。

3. 結果

図-2 に示したとおり、従来の長谷川式土壌貫入計ならびに本研究で開発した CPMP を用いて計測された貫入抵抗値 N_c (10 cm の貫入深を得るのに必要な打撃数) の鉛直分布は、互いに良好な一致を示した。このことから、水分センサーを取り付けたことによる貫入抵抗値への影響は、無視できる程度のものであると結論付けられた。

図-3 から、CPMP で計測された体積含水率 θ の鉛直分布が、市販の TDR プローブ (CS605) による計測値と非常に良い対応を示すことがわかる。また両測器で計測された θ は、秤量法により得られた含水率と一致した。この様に、CPMP を用いることによって、土壌水分量の鉛直分布を迅速かつ精度良く求めることができる。

検証実験を行った地点 a, b とともに、土壌断面はローム質土と砂質土が互層を成し、160 cm 以深に地下水面が存在した (図-3)。 θ はローム質土層で高く、砂質土層で低くなった。また、地下水面付近で急増した。このように θ の鉛直分布を知ることで、土性の違いや地下水位といった、水文現象を解析する上で重要な情報を得ることができる。一方、貫入抵抗の鉛直分布 (図-2) からは、このような情報を得ることは難しい。この様に、含水率と貫入抵抗の両方を同時に計測できる CPMP は、従来の貫入計に比べて、山地斜面の特性を調査する上でより有効な測器であるといえる。

参考文献

- 1) Vaz, C.M.P. and Hopmans, J.W.: Simultaneous measurements of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol.65, pp.4-12, 2001.
- 2) Topp, G.C., Lapen, D.R., Edwards, M.E. and Young, G.D.: Laboratory calibration, in-field validation and use of a soil penetrometer measuring cone resistance and water content, *Vadose Zone J.*, Vol.2, pp.633-641, 2003.
- 3) 小杉賢一朗, 堤大三, 水山高久, 長谷川秀三: 斜面土壌水分空間分布計測のための土壌水分計付貫入計の開発, 砂防学会誌, 57-3, p. 3-13, 2004.
- 4) Topp, G.C., Davis, J.L. and Annan, A.P.: Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines, *Water Resour. Res.*, Vol.16, pp.574-582, 1980.