

## 電気探査法とコイル型 TDR センサを用いた山腹斜面における塩水トレーサー試験

京都大学大学院農学研究科 ○山川陽祐・隅田順・小杉賢一朗・水山高久

### 1. はじめに

山地斜面における空間的に不均質な雨水挙動を把握する手法として、地盤内の比抵抗分布を把握する電気探査法が有用な一手法と考えられている。ただし、本手法はあくまで地表面からの間接的計測手法であり、適用性の検証と計測・解析手法の改良を進める必要がある。自然降雨イベントにおける比抵抗と土壌水分の経時計測データを比較した筆者らのこれまでの検討(山川ら, 2011, H23 砂防学会概要集, P-126)からは、比抵抗の解析手法上の問題や地盤の不均一な構造に起因する計測精度(空間分解能, キャリブレーション)の限界が指摘されている。本研究では、立木を含む自然斜面において、塩水をトレーサーとして用いた散水試験により、比抵抗分布の時系列変化から山地斜面における降雨浸透の様態をより明瞭に把握する手法の検討を行った。また、一方で、電気探査法の計測精度の限界を補足する手法として、TDR 式土壌水分計測法を応用し、土壌体積含水率とバルク電気伝導度を同時に計測するシステムの開発を行った。

### 2. 方法

#### 2-1. 電気探査法による塩水トレーサーの追跡

塩水を用いた散水試験は、京都大学上賀茂試験地(京都市北区)内の粘板岩を母材とする自然斜面において行った。斜面縦断方向に水平距離 7 m の測線を 2 本(測線-I, II)設定し(図-1)、以下に述べるように測線毎に異なる降雨の与え方を再現した散水を行った。両測線の中央には胸高直径 25~30 cm のヒメシャラ立木を 1 本ずつ含ませた。両測線において塩水の散水は樹幹を挟む斜面縦断方向の水平距離 4 m、等高線方向に幅 1.5 m の領域とした。測線-Iにおいては、同斜面において立木の樹幹流が樹幹下流側に集中する観測結果(Liang et al., 2007, Vadose Zone J., 6 : 879-889)を再現した散水と林内雨を再現した散水を行った。一方、測線-IIにおいては、林内雨のみを再現した。比抵抗の計測には E60CN MERS (Geo Pen 社製)を用い、電極間隔は 50 cm として自動計測を行った。

#### 2-2. コイル型 TDR センサの開発

本研究において開発した TDR 式水分計測システムを図-2 に示す。本システムは筆者らが開発を行った土壌水分計付貫入計(CPMP)(山川ら, 2007, 砂防学会誌, 60 : 34-39 ; Kosugi et al., 2009, Vadose Zone J., 8 : 52-63)を応用したものであり、大型のトレンチを掘削する事無く、ハンドオーガー等によって成形した孔にセンサを挿入することより容易に設置することが可能である。先端のコイル型プローブ部は、外径 18 mm のポリカーボネイト管に刻んだ 2 条螺旋溝(4 mm 間隔)に沿って直径 0.55 mm のステンレスワイヤを 2 本(信号線とグランド線)巻きつけた構造となっている。塩化ビニル製のロッド部分は目的の深度によって長さを自在に変更することができる。センサと同軸ケーブルによって接続された電磁波送受信装置は、データロガーによって制御される。TDR システムは電磁波送受信装置に接続されたケーブルおよびプローブ中を伝播する電磁波の反射波形を解析することによって、計測媒体の(体積含水率と相関の高い)比誘電率とバルク電気伝導度を独立に計測するものである。本研究では本システムの原因位置での適用に向け、カラムを用いた塩水散水実験を実施し(直径 25 cm のカラムに乾燥密度 1.4~1.7 g/cm<sup>3</sup>にてマサ土を充填し、その中央にコイル型プローブを設置。電気伝導度 663 μS/cm の塩水を使用。), 体積含水率とバルク電気伝導度の経時計測を同時に行った。

### 3. 結果と考察

散水開始前からの比抵抗分布の経時変化を図-2 に示す。測線-II においては、散水開始から時間が経過するにつれて、散水範囲における地盤の比抵抗が地表面から深部へ向けて徐々に低下した。最終的に比抵抗の低下は深度 50~100 cm (貫入抵抗値 10~20 (drop/10cm) 以下の領域) まで達した。一方、測線-II については、測線-I と同様に散水範囲全体において地表面から深部にかけて緩やかに比抵抗が低下したことに加えて、樹幹の下流側直下の領域において局所的かつ急激に比抵抗が低下した。さらに比抵抗の低下領域が下流方向へと拡大した。これらの塩水散水によって比抵抗の低下する状況は、自然降雨下で同斜面において直接計測した土壌体積含水率の増加と良好に対応した。また、計測毎のノイズによって比抵抗の低下部が不明瞭であった自然降雨条件下に比べて、比抵抗変化をより明瞭に測定することが可能であった。ただし、概ね貫入抵抗値 10~20 (drop/10cm) 以上の深部領域においては、浅層部の極端な比抵抗の低下を補償するように比抵抗が増大する虚像の出現が確認された。この点については、比抵抗変化解析時のフィルタリングなど解析法の改良が今後の課題となる。

カラム散水実験において、コイル型 TDR センサを用いて計測した体積含水率 $\theta$ とバルク電気伝導度  $EC_b$  の時系列変化を図-3 に示す。ここで、 $\theta$ は、Kosugi et al. (2009, Vadose Zone J., 8 : 52-63)の示すコイル型 TDR センサのキャリブレーション式に基づき比誘電率から変換することにより求めた。時間経過に伴い塩水が鉛直浸透し、塩水がプローブ部に達すると $\theta$ および  $EC_b$  がほぼ同時に上昇した。散水終了後も徐々に表層から浸透する塩水によって $\theta$ および  $EC_b$  が上昇を続けた。この結果から、本研究にて開発したコイル型 TDR センサを用いて原位置における斜面内の水分量変動およびバルク電気伝導度の変動を高精度に計測出来る可能性が示された。塩水を用いたトレーサー試験において本システムを電気探査法と組み合わせることによって、高精度かつ空間的に連続した地盤内雨水挙動の把握が可能になると考えられる。特に、コイル型プローブは安価に自作可能であることから、より多地点 (高空間分解能)、より広範囲の探査についても適用可能な手法と言える。

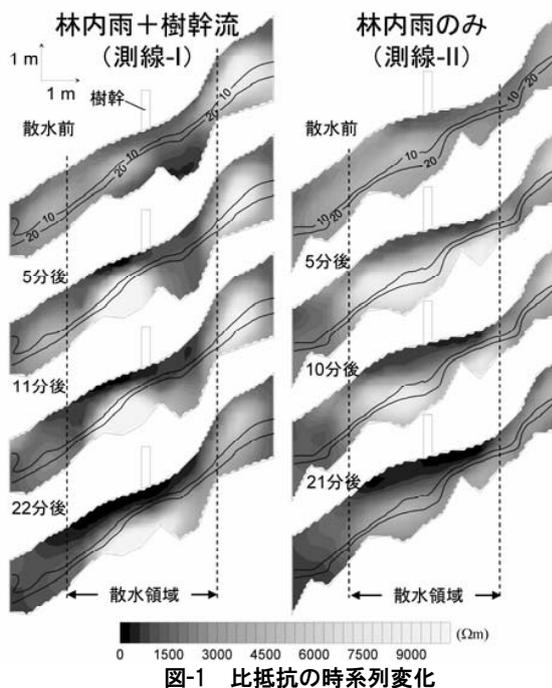


図-1 比抵抗の時系列変化

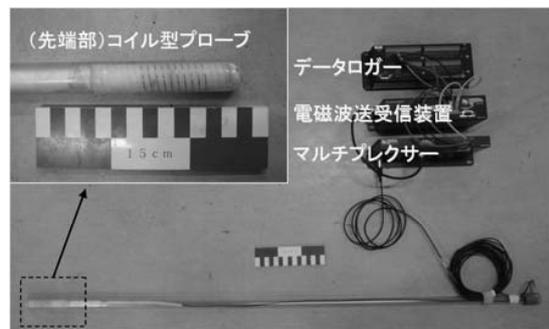


図-2 コイル型 TDR センサ

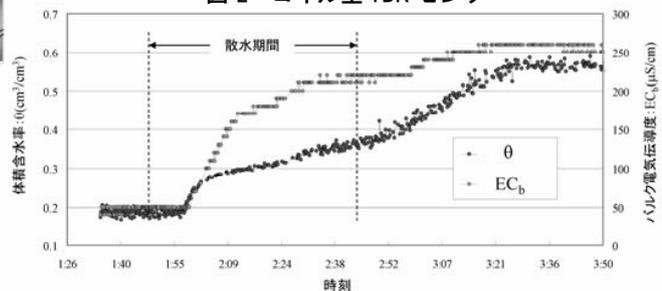


図-3 体積含水率とバルク電気伝導度の時系列変化