

# 電気探査と弾性波探査による土層厚推定精度の比較

京都大学大学院農学研究科 ○山川陽祐・小杉賢一朗・水山高久  
国土交通省 近畿地方整備局六甲砂防事務所 岡本敦・星野久史・白髭一磨

## 1. はじめに

物理則に基づいて斜面の安定性を評価する上で、表土層はその重量が直接的に安全率に寄与するだけでなく、その厚さが基岩面への雨水の到達時間を支配するという側面においても影響度の高いパラメータである。すなわち、斜面の崩壊危険度を把握する上で土層厚の分布を知ることが非常に重要となる。地盤構造を間接的に計測する物理探査手法として、電気探査や弾性波探査が従来用いられている (Roth *et al.*, 2002; Dikmen, 2009)が、5 m 程度以浅の表層構造を捉える手法としてその有効性を検証した例は極めて少ない。本研究では、電極間隔を3段階で変えた電気探査と2種の弾性波探査(屈折法地震探査, 表面波探査)および長谷川式土壌貫入計を用いた土層厚の計測を同一測線にて実施することにより、各手法の土層厚計測精度を比較した。

## 2. 方法

兵庫県六甲山系西おたふく山流域内の斜面において全長 55 m の測線を等高線方向に設定した。電気探査には E60CNMERS (Geo Pen 社製) を用いた。電極間隔は 0.5, 1.0, 2.0 m の3段階とし、電極配置は dipole-dipole 法を用いた。二次元比抵抗構造の解析には E-Tomo ver. 4 (ダイヤモンドコンサルタント社製) を用いた。屈折法地震探査, 表面波探査には, McSEIS-SX, 受信器として 4.5Hz ジオフォン (応用地質社製), 発震器としてカケヤを用いた。受信器間隔は 0.5 m とした。速度分布構造の解析には, 屈折法地震探査については表層除去法を用い, 表面波探査については SeisImager/SW (応用地質社製) を用いた。長谷川式貫入計による土層厚の計測については,  $Nh$  値 (10 cm の貫入深を得るために必要な打撃回数; drop / 10 cm を単位として用いる) が 100 の深度を土層基岩境界とした。

## 3. 結果と考察

### 3.1. 電極間隔が異なる電気探査の比較

図-1 に, 電極間隔が 0.5, 1.0, 2.0 m の場合の比抵抗分布および土層基岩境界を示した。大局的には, 比抵抗構造は電極間隔に関わらず同様であった。特に電極間隔 0.5 m, 1.0 m の結果は (0~7 m 地点の範囲を除いて) 類似した結果となった。表層以下 0.5~3 m および深度 5 m 以上は 100~4000 ohm-m の低比抵抗を, 深度 0.5~5 m は 4000 ohm-m 以上の高比抵抗を呈した。また, 深度 0.5~5 m では 11000 ohm-m 以上の異常に高比抵抗を示す塊状の領域が計測された。これらの比抵抗構造が貫入試験によって求めた土層基岩境界と良好に対応した。すなわち, 11000 ohm-m 以上の高比抵抗帯と表層の低比抵抗帯の境界は土層基岩境界と良く一致した。異なる電極間隔による土層厚の計測精度を比較すると, 例えば, 18 m 地点付近の周囲よりも土層が浅い構造を電極間隔 0.5 m, 1.0 m の結果は 2.0 m よりも明瞭に反映した。また, 24~34 m 地点や 46~48 m 地点において電極間隔 0.5 m の結果は 1.0 m, 2.0 m よりも実測土層厚と対応が良い。

### 3.2. 屈折法地震探査と表面波探査の比較

図-2 に, 屈折法地震探査の結果 (P 波速度分布), 表面波探査 (S 波速度分布) および土層基岩境界を示した。P 波速度分布, S 波速度分布は大局的には共に深部に向かうに従い速度が速くなる成層構造を

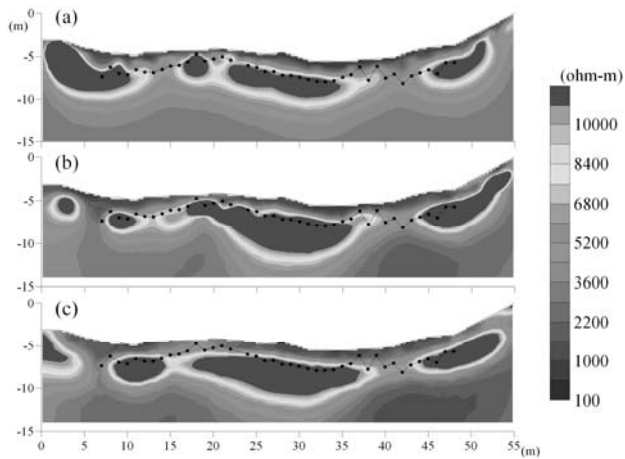


図-1 比抵抗分布と土層基岩境界面  
電極間隔 (a) 0.5, (b) 1.0, (c) 2.0 m

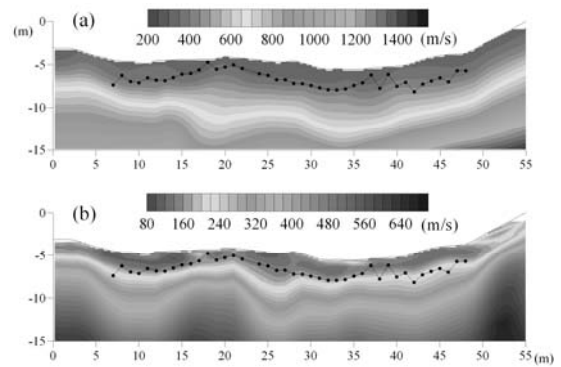


図-2 地震波速度分布と土層基岩境界面  
(a) P波, (b) S波

呈した。ただし、S波速度分布はP波速度分布に比べて、水平方向・鉛直方向共に値の大きな変動を示した。特に深度0.5～3mの領域ではS波速度分布の水平方向での変動がP波に比べて大きい。実測の土層厚分布と速度帯分布の対応については、P波速度が概ね400 m/s以下の領域と土層が対応し、S波速度が概ね160 m/s以下の領域と土層が対応した。ただし、P波速度分布に比べて、S波速度分布は不均一な土層厚の分布を極めて良好に反映した。

### 3.3. 電気探査と弾性波探査の比較

電極間隔0.5 mの場合の比抵抗分布およびS波速度分布は共に極めて良好に土層厚分布を反映した。特に11000 ohm-m以上の高比抵抗領域の境界が明瞭で、これに土層基岩境界が極めて良好に対応した。ただし、14 m地点および42 m地点付近においては11000 ohm-m以上の高比抵抗帯が途切れており、比抵抗分布が土層の分布と明瞭な対応を示さない。これに対して、S波速度分布は18 m地点付近、24～34 m地点、46～48 m地点に関しては、電極間隔0.5 mの場合の比抵抗分布に比べると土層の分布を明瞭に反映していない。ただし、14 m地点および42 m地点付近においては電極間隔0.5 mの場合の比抵抗分布に比べて土層厚の分布を良く反映している。つまり、表土壌と基岩の物性差が地震波速度と比抵抗に反映されない箇所がそれぞれ異なる位置に見られた。

## 4. 結論

0.5～3 mの土層厚を計測する上で、電気探査を用いた場合、電極間隔に関わらず大まかな土層厚分布は比抵抗分布に反映されたが、電極間隔がより小さい場合ほど良好に実測の土層厚分布と対応した。電極間隔および受信器間隔が0.5 mの電気探査と表面波探査の土層厚推定精度は同程度であったが、それぞれ異なる位置において推定精度が低い箇所があった。すなわち、電気探査と弾性波探査を組み合わせることで土層厚分布の推定精度が格段に向上すると考えられる。

## 引用文献

- Dikmen, U. 2009. Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *Journal of Geophysics and Engineering* 6:61-72.
- Roth, M.J.S., J.R. Mackey, C. Mackey, and J.E. Nyquist. 2002. A case study of the reliability of multielectrode earth resistivity testing for geotechnical investigations in karst terrains. *Engineering Geology* 65:225-232.