

空中電磁法を用いた六甲山系の風化・地質構造の把握に関する研究

国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所 木下 篤彦, 神野 忠広, 八木 啓太

国土交通省国土技術政策総合研究所 内田 太郎

アジア航測株式会社 ○船越 和也, 岡野 和行, 山口 和也

大日本コンサルタント株式会社 河戸 克志, 影浦 亮太

京都大学大学院農学研究科 小杉 賢一朗

1. はじめに

六甲山系周辺は、六甲変動による複数の大きな地塊の締め付けを強く受け、圧縮変位と横ずれ変位をあわせて受けた逆断層的な傾動地塊を呈する。これにより六甲山系は、急峻な地形を呈するとともに、地質構造運動を強く受けた脆弱な地質が広く分布する。

六甲山系では、表層崩壊や土石流の発生予測に重要となる表層土層厚を把握する調査が進められている。一方で、表層土層厚の分布を広大な斜面で把握していくことは多くの労力を要することから、地形量や土層形成メカニズムに着目した予測手法の研究が重要な課題となっている。坂井ら¹⁾が航空レーザ計測データを用いた地形解析による表層土層厚の推定手法を検討した結果、「表層土層厚の実測値が大きい範囲(2m以上)では推定値が過小に評価された」ことを報告している。表層土層厚の大きい範囲で、予測が困難となる要因として、風化や地質構造の影響が考えられる。

本研究では、六甲山系住吉川流域上流に位置する西おたふく斜面(図1に示す約1.2km²)を対象として、ヘリコプターを用いた空中電磁法(NE-RESOLVEシステム)を実施し、六甲山系の風化・地質構造の特徴を把握するとともに、表層土層厚に与える影響を検討した。

2. 空中電磁法を用いた地盤の比抵抗把握

空中電磁法は、地下の電気比抵抗を測定する電磁探査の一種であり、ヘリコプターを用いて空中から人工的に発生させた交流磁場が地中を透過する際に生ずる電磁誘導現象を利用し、地盤の比抵抗を測定する物理探査法である(図2)。本研究においては、西おたふく斜面を対象に、飛行測線長:23.21km、測線間隔:50m、測線本数:22本の空中電磁探査を実施した。

地盤の比抵抗は、岩石や土の組成、破碎帯及び亀裂に伴う間隙率、飽和度、地下水の比抵抗、風化及び変質に伴う粘土鉱物含有量などによって変化する²⁾。ここでは、稜線や斜面表層に沿って分布する高比抵抗領域は地下水面上位に分布する不飽和で間隙率の大きい表土や風化層、地下水面下に分布する低比抵抗領域は体積含水率の高い風化岩、さらに下部に分布する高比抵抗領域は亀裂や間隙の少ない基盤岩であると想定し、また、間隙率が周囲よりも高く地下水を伴う断層・破碎帯は低比抵抗を示すものと想定³⁾し、対象斜面の風化・地質構造特性を把握した。

3. 西おたふく斜面の比抵抗分布特性

空中電磁法により同時測定した6周波数(140,000Hz, 31,000Hz, 6,900Hz, 3,300Hz, 1,500Hz, 340Hz)から、各周波数の比抵抗分布(小さい周波数ほど地盤深部の比抵抗となる)を解析した。ここで、測定周波数:3,300Hzの比抵抗分布は、他の測定結果と異なるセンサー配置(地下内部における鉛直構造の把握に適した配置)による計測結果である(図3)。

これらの結果を見ると、大きい周波数の比抵抗分布(地盤浅部の比抵抗分布)は、相対的に谷地形で低比抵抗を示すなど表面地形と相関が高い傾向があるのに対し、小さい周波数の比抵抗分布(地盤深部の比抵抗分布)では表面地形と比抵抗の相関が少なくなる傾向を示している。特に、6,900Hz以下の周波数では、背後に集水域を有さない稜線部で帯状の低比抵抗部が明瞭に確認される。さらに、3,300Hzの比抵抗分布については、地盤深部の比抵抗分布と同様に稜線に沿った低比抵抗帯が存在するとともに、稜線に概ね直交する方向に低比抵抗帯が複数発達する状況が確認された。この基盤岩中に認められる低比抵抗帯は、断層・破碎帯である可能性がある。この結果から、西おたふく斜面では断層・破碎帯による基盤岩の風化や地下水分布が複雑になっていることが推察される。

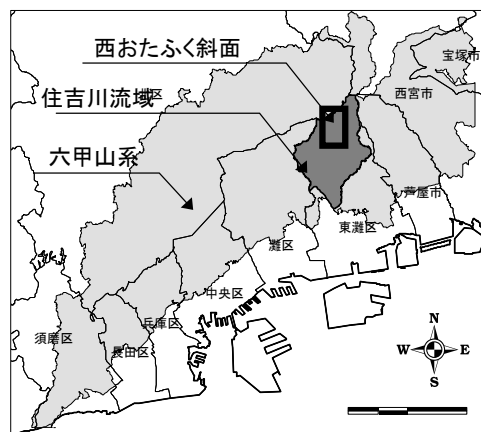


図1 検討対象とした西おたふく斜面の位置

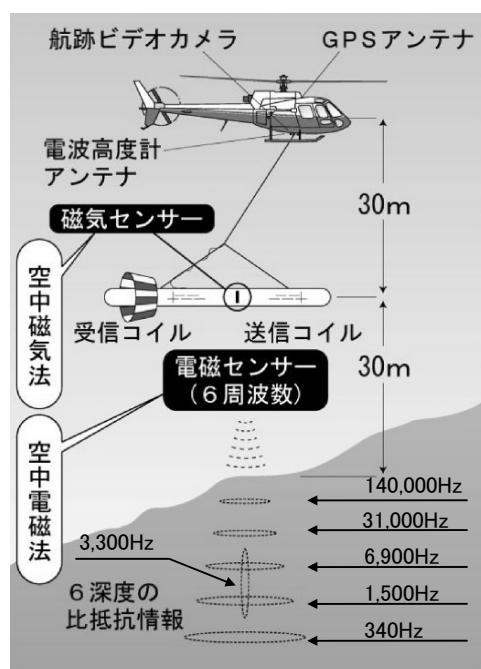


図2 空中電磁法の測定概念図

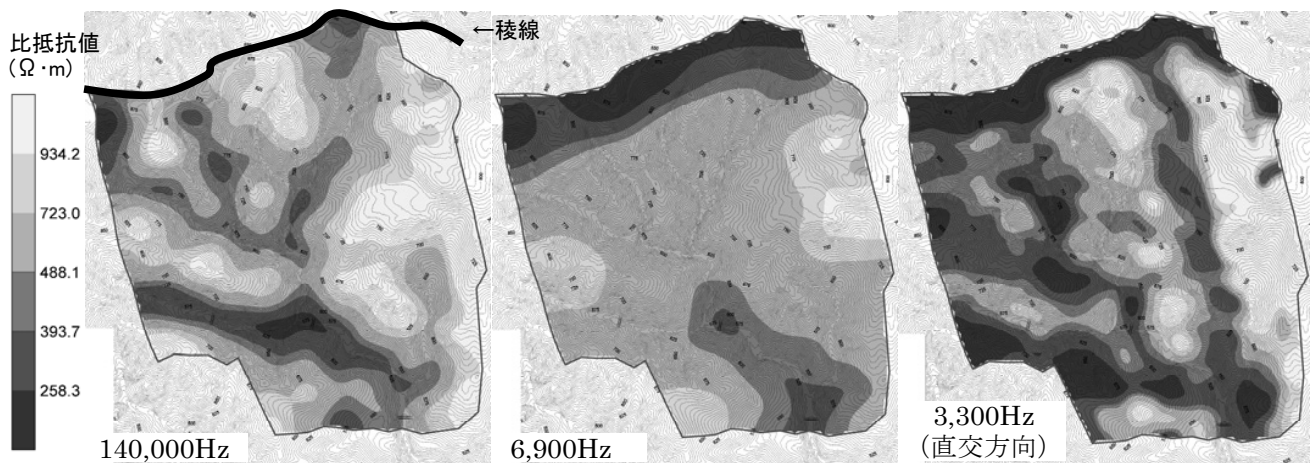


図3 周波数毎の比抵抗分布平面特性の変化

4. 2層構造解析による電気的な表層厚の推定

比抵抗分布から表層土層厚を想定する試みとして、地盤が2層構造であると仮定したインバージョン比抵抗解析（簡易貫入試験の基岩面深度と仮定した比抵抗逆解析）を行い、西おたふく斜面全体の電気的表層厚を把握した（図4）。電気的表層厚の平面分布を見ると、地盤表層部の比抵抗（140,000Hz）と谷地形部や集水型地形で整合する傾向が一部で認められるものの、表面地形と層厚の関連性が低い箇所も確認された。また、表面地形と層厚の関連性が低い箇所のうち、層厚が大きい地点に着目すると、地盤深部の鉛直構造を示す比抵抗分布（3,300Hz）と整合する傾向が認められた。

5. 表層土層厚と比抵抗分布特性

表層土層厚が大きい範囲で地形量から土層厚を予測することが難しいとされる課題に関して、地質構造などが与える影響を確認するため、比抵抗3次元解析結果から斜面表層比抵抗を算出し、簡易貫入試験で把握したNd $\geq$ 20深度との関係を検討した。検討にあたり、西おたふく斜面を0.1km²程度の単元斜面に分割し、単元斜面の比抵抗平均値から簡易貫入試験地点の比抵抗偏差を算出した。算出した比抵抗偏差とNd $\geq$ 20深度を整理した結果、表層土層厚が3m以上となる地点は、表層比抵抗偏差の絶対値が大きい傾向が確認された（図5）。

6. 考察

表層土層厚が3m以上の実測値を示す地点において、比抵抗偏差が大きくなる傾向が確認された。この結果は、類似する斜面のなかでも、周辺と異なる比抵抗値を示す地点で表層土層厚が大きくなる傾向を示すものである。比抵抗値が地盤の状況を反映していると考え、この結果は、地形からは予測し難い大きい表層土層厚の形成要因となっていることを示唆するものと考えられる。

六甲山系は、地質構造運動の影響で断層・破碎帯が複雑に発達しているため、その影響で表層土層厚が局所的に大きくなる可能性がある。このように、表層土層厚の大きい範囲に対して、地盤の比抵抗分布変化に着目して検証していくことが、表層土層厚の予測精度向上につながると考えられる。

<参考文献>

- 1) 坂井佑介・木下篤彦・小川紀一郎・中田真(2012)：航空レーザ計測データを用いた地形解析による表層土層厚の推定，砂防学会誌，Vol. 64, No. 6, p. 38-42
- 2) 例えば，社団法人 物理探査学会(2005)：新版 物理探査用語辞典
- 3) 例えば，財団法人 災害科学研究所 トンネル調査会(2001)：地盤の可視化と探査技術

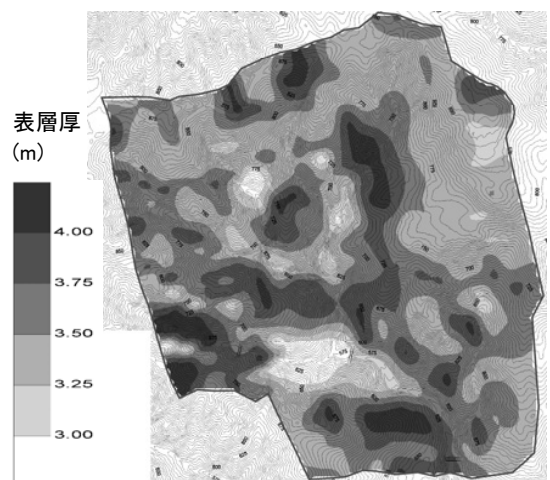


図4 2層構造解析による電気的な表層厚の推定結果

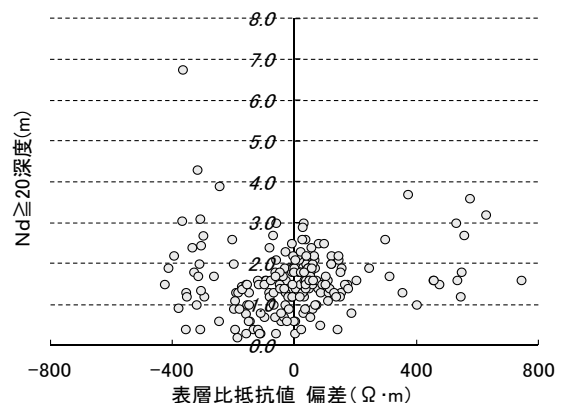


図5 表層土層厚と表層比抵抗偏差の関係