

# 空中電磁法による地質評価への実際的検証

小西尚俊<sup>1</sup>・塚田幸広<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大日本コンサルタント(株) 調査事業部(〒170-0003 東京都豊島区駒込3-23-1)

<sup>2</sup>正会員 建設省東北地方建設局企画部(〒980-8602 宮城県仙台市青葉区二日町9-15)

(前東北地方建設局酒田工事事務所長)

本論文では、広域地質調査の重要性および比抵抗測定地質工学上の意義に触れ、空中電磁法による広域調査事例(2例)とその検証結果について述べる。既往地質調査結果やボーリング結果との対比により、道路斜面および河川堤防についての2つの調査事例について検証した結果、空中電磁法は広域地質を概略的に把握する上で十分な水平方向および深度方向の分解能を有していることが確認された。地質精査を事前に空中電磁法による広域調査を実施して事前に異常の有無や比抵抗分布から推定される地質分布を把握できれば、以後の調査のポイントの絞り込みが容易になり、調査精度・能率の大幅な向上ひいてはコスト削減につながることを期待できる。

**Key Words** : helicopter-borne electromagnetic methods(HEM), resistivity, reconnaissance survey

## 1. はじめに

我が国は、火山が多く、地形も急峻であることから地質構造は非常に複雑で、出現する地質状況も多様性に富んでいるために、自然災害と常に隣り合わせているといえよう。また、公共投資が進み、社会資本が「作ってきた」時代から「使われる」時代へと変化しつつある現在、社会資本の老朽化や環境問題の深刻化が問題となりつつあり、この点からも、品質の確保および維持向上が求められている。一方、コスト削減も重要な課題で、合理的な技術の開発が期待されている。

メンテナンスを地質調査の面から見た場合、メンテナンスの問題は調査・設計段階の問題に直結しており、設計段階で対象地区の地質的問題点を平面的に把握し、地質情報を十分に考慮することが重要である。そのためには、広域地質調査が重要で、地質調査を狭い範囲に限定して行うのではなく、相当広域の調査から入ってそこから絞り込んでいくことが大事で、それにより、調査精度の向上はもちろんのこと、地盤の現況のみならず将来の環境面やメンテナンス等を含めた総合的な判断が可能になる。広域調査を実施する上で、広域を迅速に均一な精度で面的できれば3次的に、低コストで調べることのできる調査手法が望まれる。特に、道路の場合、対象範囲が長いために調査密度も小さくなりがちで、これを

克服するにも効率的な調査が必要である。また、作る段階での地質調査に加えて、できたものを維持管理していく上で、対象範囲を3次的に調べることでできる調査手法が重要である。

本論文で紹介する空中電磁法<sup>1)~4)</sup>はこれらの課題に答える有力な調査手法になり得ることが期待される。そこで、建設省東北地方建設局酒田工事事務所では、一般国道112号山道路および最上川沿いの沖積平地において空中電磁法による斜面調査<sup>5)</sup>および河川堤防調査<sup>6)</sup>を実施し、その適用性について検証を行った。以下にその結果について述べる。

## 2. 空中電磁法の概要

### (1) 探査原理

空中電磁法は、電気探査と同じく地下の電気比抵抗(導電率の逆数、単位を $[\Omega\cdot m]$ とすると $1m^3$ 当たりの電気抵抗に相当、比抵抗と称す)の分布を求め、地質状況を判定する手法である。

原理的には一対の送・受信コイルの間の相互インダクタンスの変化を測定して地下の比抵抗分布を求めている。送信コイルから送られた1次磁場(交流磁場)が地中に入ると、電磁誘導作用により、その磁束の変化を打ち消

すように渦電流が誘起され、これが別の交流磁場（2次磁場）を発生させる。生ずる渦電流の大きさや形状は地下の比抵抗分布に依存するので、渦電流に関する2次磁場を観測することによって地下の比抵抗情報が求められる。2次磁場の強さは地盤の比抵抗と負の相関があるので、1次磁場に対する2次磁場の割合を受信コイルで測定することにより、磁場が透入した深度までの地盤の平均的な比抵抗が測定される。

交流電流の周波数が高くなるにつれて磁場の透入深度が小さくなるので、同時に複数の周波数を用いて測定することにより、複数の深度の比抵抗情報が得られる。各々の周波数での平均比抵抗を求めて解析することにより、任意の方向沿いの地盤の比抵抗断面図を描くことができる。

## (2) 探査方法

地上基地で測定装置の調整・較正を行い、次いで、大地の影響の入らない400m以上の上空で各測定成分のゼロレベルの調整を行った後、実際の測定飛行に移る。

ヘリコプター利用の空中電磁法では、電磁センサを収納したバードと呼ばれる架台（10m×0.6mφ）の対地高度を、おおむね30m程度に保ち地形をなぞるように飛行し測定する。バードの中には5対の送・受信コイルが含まれており、5周波数同時に測定を行い、高周波数では地下浅部の、低周波数では地下深部の比抵抗情報を取得する。飛行速度は地形に依存するが、20～50km/h程度である。測線間隔は調査目的によって異なるが、土木地質分野では一般に50～100m程度である。航跡の確認には相対測位GPSとビデオ画像観察とを併用しており、その精度は±5m以内である。相対測位GPS（ディファレンシャルGPS）とは、移動体および地上局に設置した2台の受信器を用いて共通する4個以上の衛星電波を受信して、電離層等の影響による衛星位置の誤差を相殺して移動体の3次元的位置を求める手法で、移動体で数mの精度が得られる。また、ビデオ画像にはGPSとの対比を容易にするためGPSと連動した時刻信号も印字されている。図-1に測定時の概観を示す。

## (3) データ処理および解析

測定値から比抵抗値を求めるには、理論計算によるデータを基にして作成された電磁応答値と比抵抗および測定高度との関係式に実測値を代入することにより行われる<sup>1),4)</sup>。

求められた比抵抗は、通常、周波数毎に比抵抗平面図として表現される。また、高周波数では地下浅部の、低周波数では地下深部の比抵抗情報を反映する特性に基の1次場の平均透入深度位置に、それぞれ対応する比抵抗

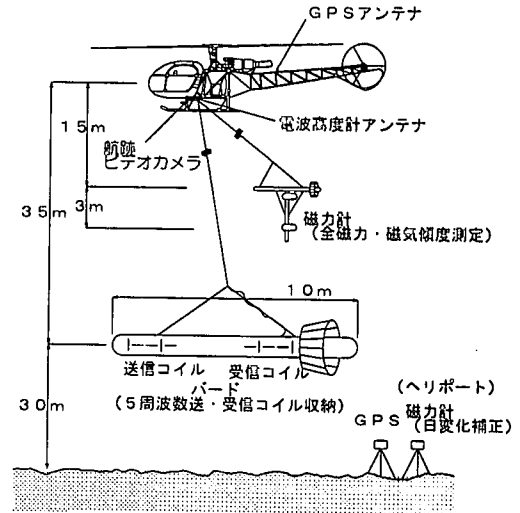


図-1 測定概観図

分布断面図として表現される<sup>7)</sup>。これは、各測定周波数毎の断面分布の特徴を把握するのに非常に有用である。また、抗を配し、深度方向に3次のスプライン補間を施して表現するもので、1種の疑似断面表示ではあるが、比抵抗について<sup>1),3),4)</sup>、各測線あるいは任意設定測線沿いの比抵抗た、地すべり面の深度や表土層厚を求める場合のような詳細な解析にはインバージョン解析の方法を用いる。空中電磁法の場合にはデータ量が多いので、計算の速いSVDインバージョンが用いられることが多い。これは、モデルの応答と測定値との差の自乗の和が最小になるようにモデルのパラメータを決める最小自乗法の考えを基本としている。

## (4) 空中電磁法の特徴

空中電磁法は、市街地等の人工構築物の多い所、送電線・架線等の飛行障害物の多い所あるいは海上等での調査には適していないが、一般的には次のような特徴を有している。

- ①大地に非接触、かつ地形の変化に比べてデータの取込み範囲が小さい（いわゆる footprint が小さい）ので、地形の影響を受けることが少なく均質なデータを得ることができる。
- ②アクセスが困難な斜面や広域を迅速にカバーできる。環境面で制約があるが国立公園等の調査にも支障はない。
- ③多周波数測定により比抵抗の平面分布ばかりでなく深度方向の分布をも得られる。
- ④任意の方向の比抵抗解析断面図を作成することができる。すなわち、3次元の調査が可能である。
- ⑤連続的に高密度（5サンプリング/秒）で測定してい

表-1 比抵抗に及ぼす要因

要因 \ 比抵抗	低比抵抗	高比抵抗
乾・湿状態	湿潤状態 〔この場合には水比抵抗が支配的要因〕	乾燥状態 〔この場合には電導性鉱物の量が支配的要因〕
間隙水の比抵抗	低(溶存イオン濃度高)	高(溶存イオン濃度低)
体積含水率 (間隙率×飽和度)	大	小
電導性鉱物の量	多 〔25%以上で低比抵抗への影響大〕	少
粘土鉱物の量	多	少
粘土鉱物の陽イオン交換能	大(特にスメクタイト系)	小

るために、微細な比抵抗異常をも見逃さない。

#### (5) 比抵抗測定の地質工学上の意義

土木分野で広く用いられている弾性波速度は地盤の力学的性質（硬さ）に関連する物理量であるのに対し、空中電磁法等の比抵抗探査結果から得られる比抵抗値は地盤の電気的性質（電導度）に関連する物理量であって、粘土などの電導性鉱物の含有量、間隙率、水分含有量・飽和度、間隙水の水質（比抵抗）など多くの要因に左右される（表-1参照）。

一般には風化、変質が進むほど、亀裂が発達するほど比抵抗が低くなる。実際の地盤ではこれらの要因が複合して比抵抗値に影響を及ぼしているため、比抵抗値だけから岩石の違い、鉱物組成、含水率、地盤強度を直接に判断することは困難である。しかし、比抵抗解析結果の低比抵抗異常に注目して、それが比抵抗を左右する要因の中のどの要因に起因しているかを現地踏査や既往調査結果により特定できれば、これに基づいて地質状況、水文環境、地盤強度などの評価が可能になることが期待できる。今後、比抵抗と地質との対比データを蓄積していくことにより、限定された地質条件の下では比抵抗から地盤状況を直接的に評価できるようになる可能性も十分考えられる。

### 3. 事例1: 月山道路における検証結果

#### (1) 月山道路

一般国道112号月山道路（山形県西川町～朝日村）は、山形県内陸と日本海側沿岸を結ぶ重要な幹線道路である

が、地形特性からトンネル・橋梁の構造物が約4割を占め、我が国有数の豪雪地帯であるとともに、大規模な地すべり地帯を通過するために、これらの地すべりや構造物の老朽化による災害が近年頻発している。特に平成8年6月に発生した八紘沢橋地すべり災害では4日間にわたり全面通行止めになり、地域活動に多大な影響を及ぼした。月山道路は地形・地質、道路構造の特性上、今後同様の災害が発生する危険性が高く、被災規模を最小限にとどめるために新たな管理手法の確立が望まれている。

#### (2) 月山道路周辺の地形・地質概要

調査地は磐梯朝日国立公園の北端に位置し、出羽三山の湯殿山（1,504m）、月山（1,980m）に代表される第四紀火山と花崗岩類からなる朝日山系とに挟まれた狭長な地域で、北西～東南に延びる凹部の北東側の斜面を国道112号が走っている。付近一帯は1,000m級の山岳地帯で、それらを下刻する河川によって急峻な地形をなしている。

調査地の基盤をなす地質は、中生代白亜紀～古第三紀に貫入した花崗岩類と閃緑岩である。新第三紀中新世頃より基盤の上位にいわゆるグリーンタフ地層の凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、安山岩溶岩、泥岩、砂岩が堆積した。第四紀に月山・湯殿山火山が出現し、その噴出物である火山砕屑岩類、石英安山岩溶岩およびローム層が覆い、その後、河川などの浸食により、段丘堆積物、崖錐堆積物、現河床堆積物などが堆積し、現在の地質分布が形成された。

調査地は、地質分布に規制された地形を示しており、調査地南側には、花崗岩が分布しているため急峻で規則正しい沢と陵線が存在し、北側では、一般に新第三紀の堆積岩が分布するため、地形が変化に富んでいる。調査

地の地すべりは中央部～北側の堆積岩分布域の平坦地形部に多く見られる。

なお、平成10年3月時点で、酒田工事事務所管内の月山道路において26件の地すべり災害が報告<sup>9)</sup>されている。

### (3) 調査結果および考察

図-2および図-3に、調査地の地質分布および周波数137.5kHz（概略探査深度：4～15m）の比抵抗分布をそれぞれ示す。調査自体はもっと広範囲で実施されたが、図の大きさの関係上、ここでは特に問題の多い範囲に限定して示した。図-3において暖色系は低比抵抗分に対応し、泥流堆積物、泥岩および粘土質凝灰岩などの分布を反映している。寒色系は高比抵抗分に対応し、安山岩や花崗岩などの分布を反映している。以下に、本調査の結果および考察について述べる。

①比抵抗分布と地質との関係を見た場合、比抵抗分布の変化の様子と地質分布とがおおむね合致している。すなわち、花崗岩、安山岩および貫入岩類の分布域が相対的に高比抵抗になっており、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩、泥岩および泥流堆積物の分布域が低比抵抗に対比される。

②本調査地区の泥流堆積物は、安山岩礫と礫間を埋める粘土化したローム質粘性土からなり、著しい低比抵抗分布を示すのが特徴である。本調査地区の地すべりブロックや変状は低比抵抗分布域に集中しており、このことは、泥流堆積物分布域での切土や盛土工事により発生したものが多くことと調和的である。

③凝灰角礫岩および火山礫凝灰岩の分布域は総じて低比抵抗分布に対比される。これらの岩石は、もともと変質を受けやすく、熱水変質作用や地下水の作用によって容易に粘土化する性質を有している。既往調査においても数多くの粘土化した箇所が確認されているが、それらのほとんどは凝灰角礫岩と火山礫凝灰岩の分布域に集中している。したがって、これらの岩石の分布域の中で20～30Ω・m以下の低比抵抗を示す所では粘土化が著しいと推定され、地すべりが発生しやすいと予想される。

④既往調査結果による地すべり地形箇所と比抵抗とを対比した場合、地すべり地形は田麦俣周辺(図-3中のT)に集中している。田麦俣周辺は全体的に低比抵抗分布を示すことから、地域的特性として全体的に粘土化・変質を受けており、そのために難透水性の地層を形成しやすく、地下水位も全体的に高く、地すべりを起こしやすくしていると判断される。

⑤八紘沢(図-3中のH)および湯殿山スキー場(同Y)の地すべりについてその厚さを推定するために、地下の比抵抗分布が二層からなるとの仮定の下で比抵抗2層構造解析<sup>1),3),4)</sup>を行った。その結果を図-4および図-5に示すが、いずれの場合も推定されたすべり面の深度は既

往ボーリング調査結果と比較的良く合っている。

⑥花崗岩および一部の安山岩分布域が相対的高比抵抗分布に対比されるが、岩種には必ずしも高比抵抗ではないので、全体的に風化・変質が進行していると考えられる。既往調査<sup>5),8)</sup>によれば、花崗岩の分布域で数多くのマサ土が確認されており、これらの箇所は相対的に低比抵抗の所に対比される傾向がある。したがって、調査地域内の花崗岩は見た目以上に脆弱である可能性が懸念され、表層崩落の斜面崩壊を生じやすいと考えられる。

### (4) 検証結果

以上の結果および考察から次のように要約される。①空中電磁法による比抵抗分布と地質分布とを対比した結果、比抵抗分布の変化の様子と地質とがおおむね合致しているので、空中電磁法は概略の地質分布を把握する上で十分な水平方向の分解能を有していると判断される。

②特に、シルトや粘土あるいは風化・変質による軟質部等を探知する能力に優れている。

③既知地すべり箇所における比抵抗2層構造解析の結果、求められた上部層(第1層)の厚さは、ボーリングで確認されているすべり層の厚さと10%程度以内の差異でもっておおむね合っている。このことは、空中電磁法データによる比抵抗2層構造解析は、広域斜面の風化層やすべり層をマクロ的に把握するのに有効であることを示している。

④以上のことから、空中電磁法は、対象地区を含む比較的広い範囲の地質的問題点を平面的に抽出するのに適しており、この実施により、当面の対象箇所の地盤の現況のみならず、その近傍に存在するかも知れない地質的問題点を把握できるために将来のメンテナンスを含めた総合的な判断が可能になり、以後の調査の効率化・精度の向上が図れるものと考えられる。

## 4. 事例2:

### 最上川沿い沖積平地における検証結果

#### (1) 調査地の特徴

最上川は出羽丘陵から東側の中～上流部では南北性の山地および丘陵地を横切った典型的な先行河川で、土地の隆起よりも川の下流侵食が大きく、そのため、大量の土・砂・礫が運搬されて下流域で堆積し、赤川・京田川・相沢川等の他の河川の堆積作用と相まって庄内平野が形成された。沖積層からなる庄内平野はほとんど勾配がないために、最上川などは相当に乱流しており、これらの河川に沿って各所に旧河道が見られる。

洪水時に氾濫した河川は、川筋の両側は流速が早いた



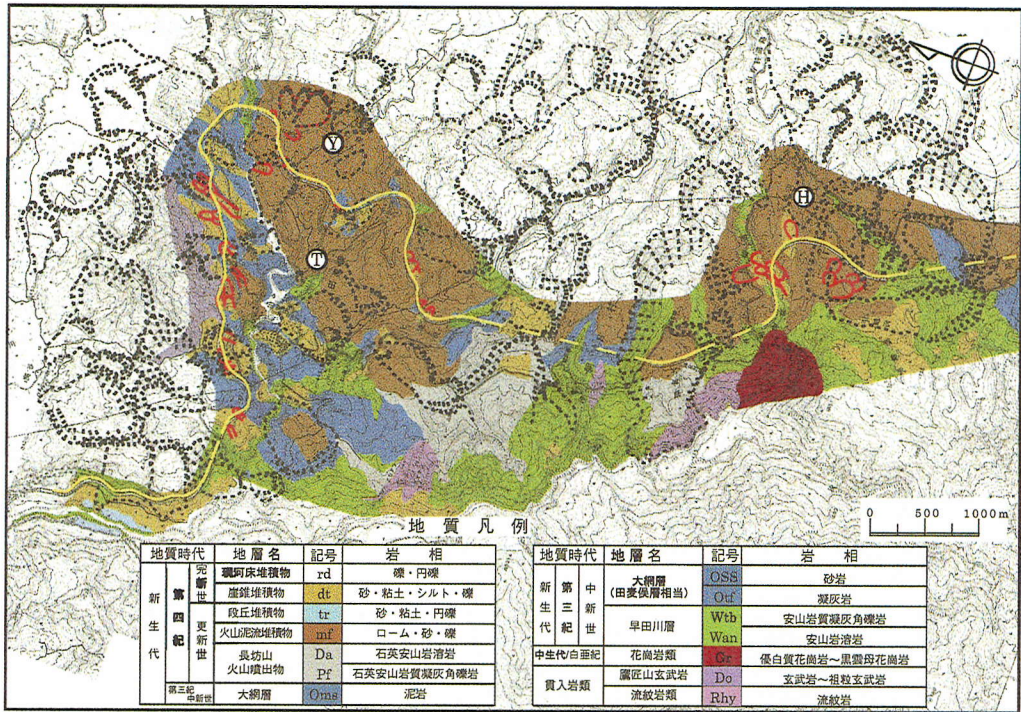


図-2 月山道路周辺の地質分布

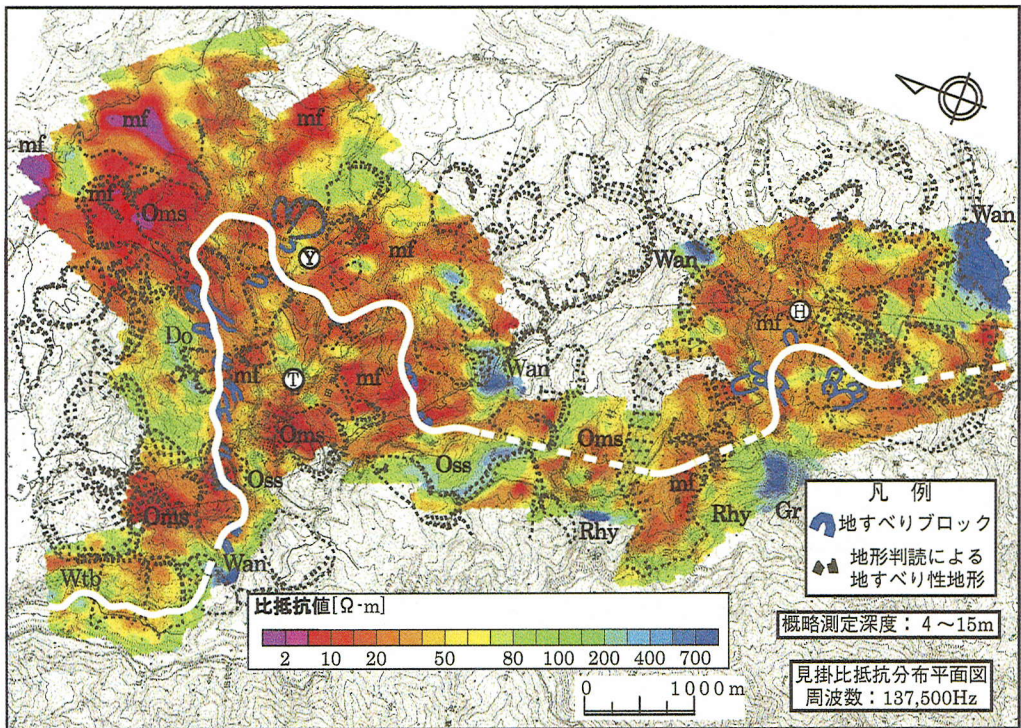


図-3 周波数 137.5kHz の比抵抗分布



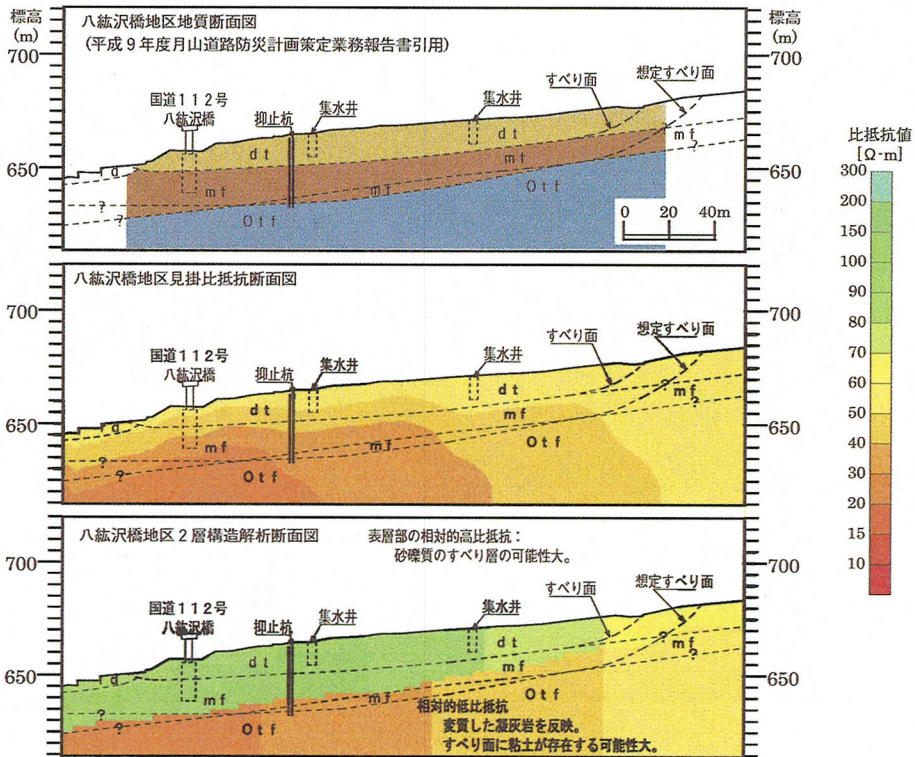


図-4 八紘沢地すべりの比抵抗解析

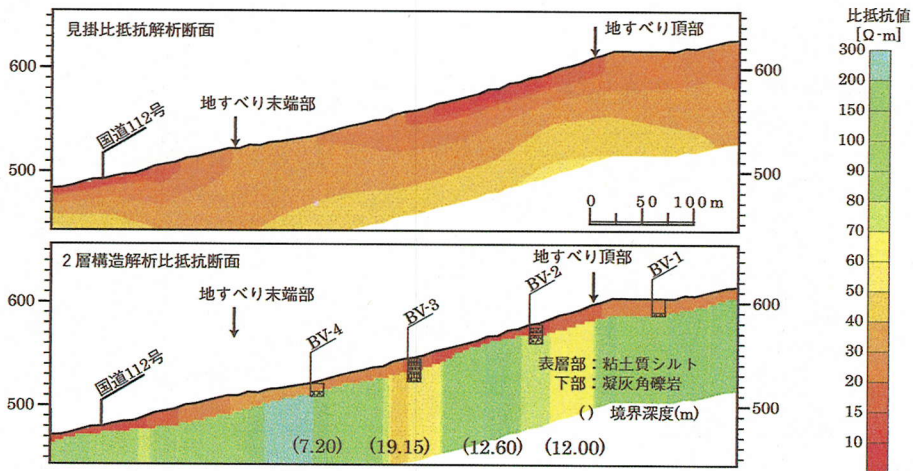


図-5 湯殿山スキー場地すべりの比抵抗解析

めに礫・砂などの粗流物質しか堆積しないが、洪水が終わるとその外側に細粒のシルト・粘土が沈殿し自然堤防と後背湿地とが形成される。後背湿地、自然堤防、旧河道などからなる自然堤防帯（氾濫原）の地盤状況は、砂

泥互層状であり、かつ水平方向（横方向）への地層の連続性に欠けるのが特徴である。

後背湿地では軟弱層や腐植土層の圧密沈下が、また、自然堤防や旧河道では地震時の地盤の液状化がそれぞれ

懸念される。

## (2) 調査結果および考察

一般に、本調査地域のような沖積層分布域に出現する地層の比抵抗は、シルトや粘土の含有量によって大きく変化するが、一般的には、礫層>砂礫層>砂層>砂泥互層>泥層>粘土層の順に変化する。したがって、比抵抗分布の判読により、土質の分類あるいは堆積環境や透水・難透水性層の区分が可能になると期待され、ここに空中電磁法で広域的に沖積平地を調査することの大きな意義がある。

図-6に5周波数(異なる5深度に対応)比抵抗平面分布のうち高周波数側の3周波数(137.5, 27.5, 5.5kHz)について示す。それぞれの概略の探査深度は5~10m, 10~30m および 30~50m 程度である。図-7に、137.5kHzの比抵抗データと旧地形との関係を示す。また、図-8に最上川の左岸堤防沿いの比抵抗縦断分布を示す。以下に、比抵抗平面および縦断分布から判読される知見について述べる。

①調査地域は自然堤防地帯で、沖積層が厚く分布しており、砂泥互層の分布状況を反映し、全体的に100Ω-m以下の比抵抗分布を示している。その中において、一段と低い比抵抗分布は泥層~シルト層を、相対的高比抵抗分布は砂礫層をそれぞれ反映している。

②旧地形図と比抵抗分布とを見比べたところ(図-7)、40~50Ω-m以上の相対的高比抵抗部が自然堤防地形や旧河道に対比される傾向が認められる。

また、20~30Ω-m以下の相対的低比抵抗分布は粘土質~シルト質が多い沖積層の分布域を示しており、後背湿地や低位デルタ地帯に対比される。図-6(a)において、下流域左岸側および中流域右岸側の低比抵抗分布はそれぞれ旧三角州および後背湿地に対比される。なお、図-6(a)および図-6(c)において上流域の低比抵抗分布は暗灰色泥岩からなる土質地盤自体の分布を反映している。

③図-6(a)および図-7において、高比抵抗分布の中の線状あるいは円弧状の30~50Ω-m程度の中比抵抗(相対的低比抵抗)分布は旧河道に対比される。これは、旧河道が、従来から移動していない砂礫層(高比抵抗分布)の中で河道の変遷に伴いシルトなどが堆積した箇所(中比抵抗)として判読されたものである。ただし、個々の旧河道の一連の流路についての判読は流路が繰り返し変動しているために判別が難しい。

④図-6において周波数毎の比抵抗の変化を見た場合、地下浅部を反映した高周波数の比抵抗分布においては高・低のコントラストが比較的明瞭であるが、低周波数になるにつれて(探査深度が大きくなるにつれて)コントラストが小さくなり一様な比抵抗分布を示す傾向が認められ

る。このことは、地下浅部では砂礫層・砂泥互層・シルト層等の分布域は比較的はっきりしているのに対し、地下深部では全体的に砂泥互層が卓越し、比抵抗コントラストに乏しくなっていることを反映していると予想される。図-6(c)において全体的に砂泥互層を反映した中比抵抗が多く出現することより、大局的な地質の深度方向の変化点は30~50m程度であることを示唆している。

⑤図-8の最上川左岸側堤防沿いの比抵抗縦断図には既往ボーリング結果も併せて示したが、221ボーリングの箇所を除いては、比抵抗分布とボーリング結果とはよく合っている。すなわち、砂礫層は高比抵抗に、砂泥互層は中比抵抗に、シルト~粘土層は低比抵抗にそれぞれ対比される。221ボーリングでは8.9m以深でシルト質粘土を確認しており、比抵抗分布の上では低比抵抗を示すべきところであるが、実測定では高比抵抗分布になっている。この違いの原因としては、古いボーリングであるため位置の整理や台帳への転記のミスのほか、ボーリングで捕捉したシルト質粘土は局部的であって水平方向の広がりが小さく(直径5~10m程度以下)測線間隔も100mであったために、空中電磁法の観測にかからなかった可能性が考えられる。

## (3) 検証結果

以上の結果および考察は次のように要約される。

①空中電磁法による比抵抗分布と旧地形図、治水地形分類図およびボーリング結果との対比により、砂礫層は高比抵抗に、砂泥互層は中比抵抗に、シルト~粘土層は低比抵抗にそれぞれ対比されることが確認された。これにより、空中電磁法は、砂礫層/砂泥互層/シルト等の比抵抗コントラストの比較的大きい土質を分類するのに有効な手法であることが確認された。

②治水地形分類図<sup>9)</sup>において旧河道は50~100m程度の幅で表示されているが、比抵抗分布図においても旧河道を反映した比抵抗異常は同程度の幅を示しているために、空中電磁法の水平方向の分解能は十分に高いものと判断される。

③比抵抗縦断図と既往ボーリング結果とを対比したところ、砂礫層/砂泥互層/シルト~粘土層の各々の分布域は明瞭な比抵抗分布の違いとして認識された。本調査地の場合、地層境界はおおむね5~20m程度の深さにあるが、この深さは比抵抗解析で推定した比抵抗境界深度とは推定深度の±10%以内の誤差範囲で合っており、これは空中電磁法の深度方向の分解能の目安を与えていると考えられる。もっとも、深度方向の分解能については地層間の比抵抗コントラストが大きいほど精度が向上し、小さいほど低下することが予想される。なお、空中電磁法自体の探査深度および解析精度は文献<sup>1),4)</sup>に詳述されてい



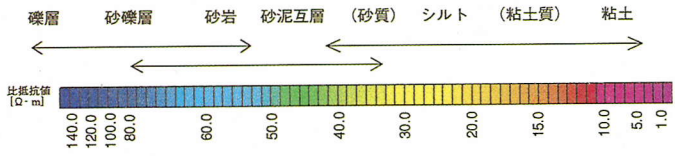
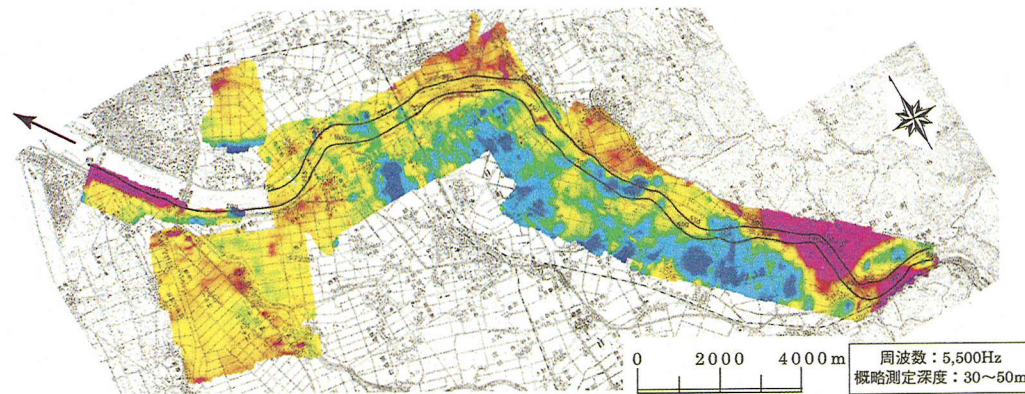
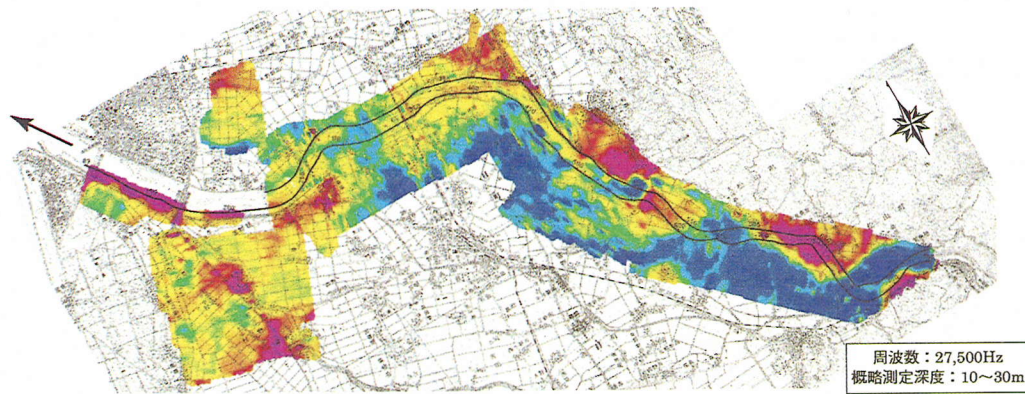
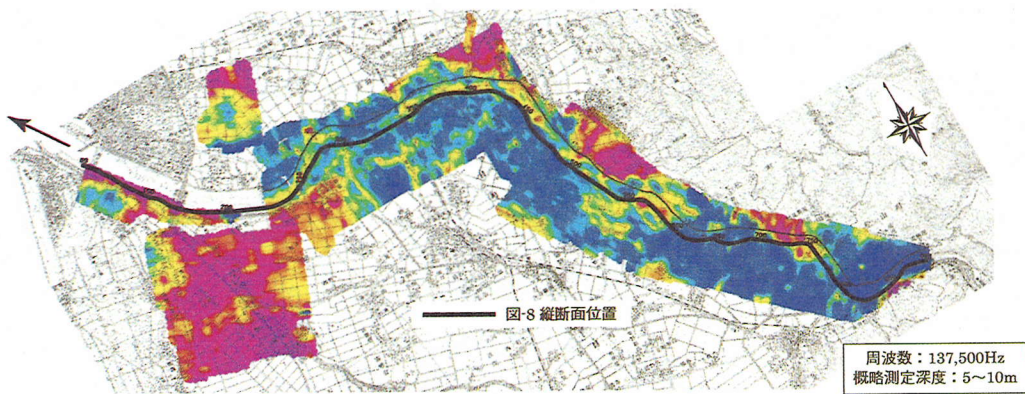


図-6 3周波数の比抵抗分布



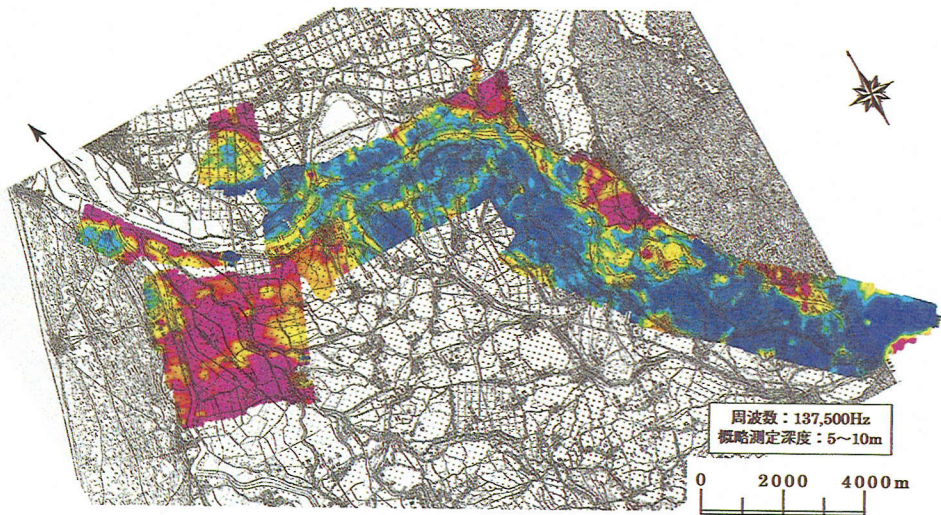


図-7 137.5kHz の比抵抗分布と旧地形との対比

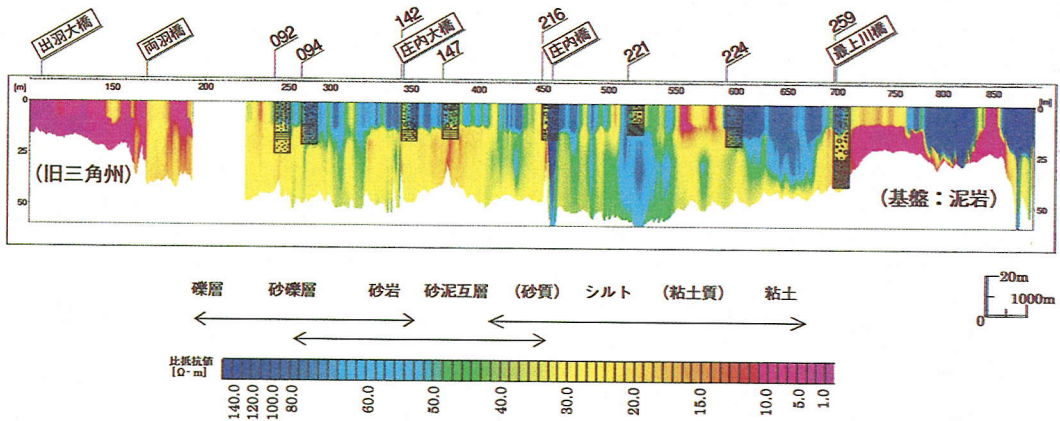


図-8 最上川左岸堤防沿いの比抵抗縦断分布

る。

④比抵抗分布から沖積層の概略的な地質構成が判読できるために構造物などの設計時の地質ボーリング調査についてのポイントを絞り込むことが可能である。また、漏水や液状化などを生じやすい地質状況の把握が可能になるほか、沖積平地内の概略的な地下水の流動状況が把握できるものと予想される。

⑤空中電磁法に限らず比抵抗を測定する電気・電磁気探査法は、シルト、粘土、変質帯等に基づく低比抵抗異常を選択的に探知する傾向がある。そのために、本調査地においても著しい低比抵抗分布を示す箇所では5周波数

(異なる5深度に対応) 共、全体的に低比抵抗を示し、各周波数間の比抵抗変化の割合が小さい。このことは、低比抵抗を示すシルト～粘土層の中に高比抵抗を示す砂礫層や砂層の挟みが存在しても、これらの挟みは高比抵抗異常として探知されない場合があることを意味している。したがって、著しい低比抵抗分布域の地質の解釈については注意を要する。

## 5. おわりに

本論文では広域地質調査の重要性および空中電磁法による広域調査事例（2例）とその検証結果について紹介した。2事例についての検証の結果、空中電磁法は広域地質を概略的に把握する上で十分な水平方向および深度方向の分解能を有していることが確認された。

月山道路斜面での調査結果は、空中電磁法調査と既往調査結果とを合わせて総合的に検討することにより、①比抵抗分布と既往災害履歴との関連を把握することにより、今後の崩壊の形態を予測するのに役立つ、②変状が見られない区間であっても、空中電磁法の比抵抗分布を相対的に区分することにより、要注意箇所を絞り込み、潜在的に危険度の高い区間を把握できることを示唆している。また、最上川沖積平地での調査結果は、調査地域の土質の概略の分布状況を反映している。すなわち、低比抵抗分布域では粘土～シルトが卓越し、相対的高比抵抗分布域では砂層～砂礫層の分布割合が多いことを反映しており、流域の地盤環境の実体を把握する上で有用な知見を与えている。

空中電磁法の調査実績としては、本論文で紹介した斜面調査や河川流域調査の他に、ルート選定調査、ダム湖、原石山候補地を含むダム地質調査、トンネル調査、地下水調査、火山地質調査および温泉調査等がある。いずれの調査においても、地質精査を実施する前に空中電磁法による広域調査を実施して事前に異常の有無や比抵抗分布から推定される地質分布を把握できれば、以後の調査のポイントの絞り込みが容易になり、調査精度・能率の大幅な向上についてはコスト削減につながる事が期待で

きる。

最後に、調査結果のとりまとめに当たり熱心に御討議いただいた建設省東北地方建設局酒田工事事務所の関係各位に心より謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 建設省土木研究所：新地盤探査技術の研究 斜面の探査技術の開発に関する共同研究報告書（その2） 空中電磁法による斜面の概査技術, 1995.
- 2) 小西尚俊, 中村直文, 木村智浩, 中村康夫, 佐々木靖人, 浅井健一：新型空中電磁法による軟岩地域での地すべり調査, 応用地質, 36巻, 6号, pp. 59-69, 1996.
- 3) 小西尚俊, 佐々木靖人：やさしい知識「空中電磁法」, 地質と調査, 第2号, pp. 37-41, 1998.
- 4) 小西尚俊：空中電磁法による3次元調査, 物理探査, Vol. 51, No. 6, pp. 643-658, 1998.
- 5) 建設省東北地方建設局酒田工事事務所：平成11年度, 月山道路空中電磁法地質調査報告書, 1999.
- 6) 建設省東北地方建設局酒田工事事務所：平成11年度, 河川堤防総合地質情報調査報告書, 1999.
- 7) Sengpiel, K. P. : Approximate Inversion of AEM Data for a Multilayered Ground, Geophys. Prosp., Vol. 36, pp. 446-459, 1988.
- 8) 建設省東北地方建設局酒田工事事務所：平成9年度, 月山道路防災計画策定業務報告書, 1998.
- 9) 建設省東北地方建設局酒田工事事務所：治水地形分類図「余目」および「藤島」, 1977.

(2000.9.8 受付)

## THE PRACTICAL VERIFICATION OF A GEOLOGICAL ESTIMATION USING A HELICOPTER-BORNE ELECTROMAGNETIC METHOD

Naotoshi KONISHI and Yukihiro TSUKADA

This paper describes the reconnaissance surveys using a helicopter-borne electromagnetic method (HEM) and their verification results, also referring to the importance of a reconnaissance survey and the significance of a resistivity measurement for the geological engineering.

As a result of the verification, consisting of the comparison between HEM survey results and the past geological/boring survey results, it is recognized that HEM is expected to have the sufficient resolutions powers in both horizontal and vertical directions in order to grasp the outline of the regional geology and its engineering problems.