

# 斜面災害危険度評価のためのリモートセンシング技術の利用 — 空中物理探査情報の鉄道斜面防災への適応性の検討 —

中山 文也・奥野 孝晴

## A study for risk evaluation of slope disaster using remote sensing — An observation of air borne geophysics to the slope along a railway —

Fumiya Nakayama and Takaharu Okuno

### Abstract

The inspection of the slope along the railway is carried out by the walking patrol of the maintenance worker at present. In such inspection, however, it is difficult to evaluate objective by the risk of slope, and it is impossible to acquire the quantitative geological information of large regions along the railway.

Thereupon, we are examining it on the method obtaining the quantitative evaluation of the slope stability along the railway by using the remote-sensing technique and GIS.

As one of this research, we select airborne geophysics investigation for the purpose of the acquisition of the quantitative geological information and of the evaluation of danger zone, and we carried out measurement at slope along the railway actually to examine the application.

As the result, the ground qualitative characterization was evaluated on the basis of the physical properties. Also, the very useful result was obtained by combining with other information and the potential danger zone of various elements was selected.

キーワード：鉄道，斜面，空中物理探査，比抵抗

### 1. はじめに

鉄道沿線の斜面のり面の災害に対する安定性の評価は、現在検査員の徒歩巡回による目視検査を基本に実施している。しかしながら、この方法では安全性の評価が主観的になり易く、また土石流や地すべりなど広域にわたる大規模災害を想定し全線を対象として検査を行う場合には多大な労力を要する。

そこで、目視できる範囲を越えた後背地で発生する土石流や広域な地すべりなど、より大規模な災害の可能性や、目視では把握できない沿線の潜在的な軟弱部・地下水やそれによって引き起こされる小規模な地すべりの可能性など、これら鉄道沿線の斜面の安定性評価を広域に迅速に行うための手法の検討を現在進めている。

本研究では、リモートセンシング技術を用いて鉄道沿線地域の地理情報を取得し、GISにより斜面安定性の定量的な評価を行うとともに、ヘリコプターを用いた空中物理探査によって客観的な地質情報を取得し、それらを併せて沿線の危険区域を抽出することを目標としている。

本編では、実際の山間部の鉄道沿線で実施した空中物

理探査の結果と地表地質踏査をもとに、本手法の鉄道斜面防災への適応性の検討を行った結果、このシステムによって、定量的かつ包括的な斜面災害リスク評価が可能となることを示し、鉄道防災分野へ効率的な利用が期待できることを述べたい。

### 2. リモートセンシング技術を利用した斜面の安定性評価

鉄道沿線の広域な地理情報を得るために、リモートセンシング技術を用いて周辺域のデータを取得し、それによって作成された地形データ、地質データ、オルソフォトおよび線路・構造物の位置のデータベース等を基にGISを活用して、鉄道沿線を対象とした斜面の安定性の評価検討を行うことを目標とした研究が進められている(図-1参照)。

この研究のひとつとして、リモートセンシング技術の適応性を検証するために、実際に山間部の鉄道沿線の一定範囲をモデルエリアとして設定し、航空機に搭載したレーザープロファイラによる地形計測、および空中探査機器による空中物理探査を実施した。

これらの探査データを解析した後、現地の地表地質踏

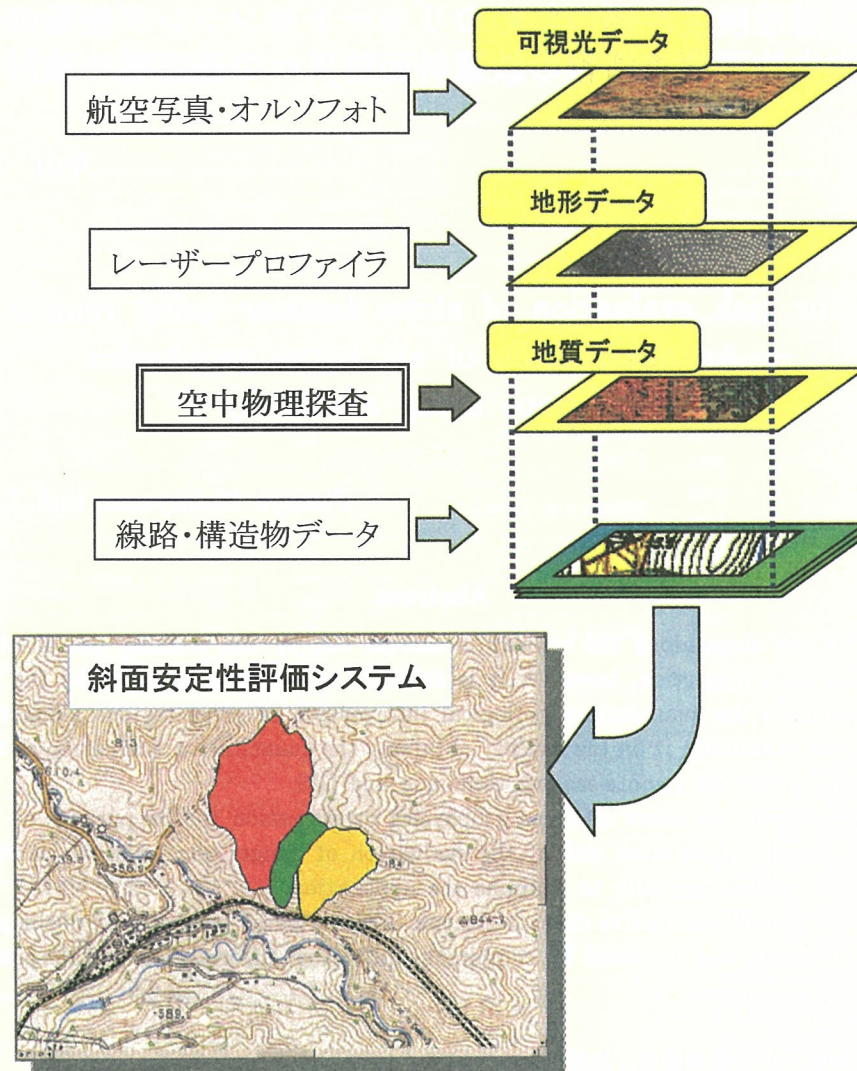


図-1 斜面安定性評価システムの概要

Fig.1 Concept of the slope risk evaluation system.

査を行い探査結果の評価を行った。レーザープロファイラによる地形計測では、三次元の詳細な地形データが取得でき、航空写真や地形図では判読が困難であった現地の微地形を詳細に捉えることができた。なお、この計測では同時に航空写真も撮影した。

一方、当社が実施した空中物理探査では、地盤を構成する地層岩石の一定深度までの物性の違いを定量的に取得することができ、調査エリア内の地質や斜面堆積物などを識別することができた。

以下、このモデルエリアでの計測・検討結果のうち、当社が実施した空中物理探査結果をもとにした鉄道沿線斜面への空中物理探査情報の適応性検討結果を示す。

### 3. 調査エリアの地質

既往の地質資料によると、調査エリアの地質はほぼ全区域に上部中新世の火砕岩を主体とした地層がゆるやかな向斜構造をもって分布する。調査エリアの東部には、上記の火砕岩の下位に位置する中部中新世の砂岩頁岩互層からなる地層が分布している。これら中新世の地層が

つくる山地を東西に横断する川の流域部や段丘面、および支沢には、山地からの崩壊土石に由来すると考えられる未固結の表土層、砂礫層のほか半固結の土石流性堆積物や渓流堆積物が分布する。

ここで、調査エリアの中央付近の緩斜面は、地すべりブロックによって形成された地形面であることが、主に地形解析から指摘されている。

また、調査エリアの東部では、地形解析から崩壊地形が抽出されており、過去には2度の林地内の崩壊による土砂が線路内に流出している。

### 4. 調査概要

図-2に示す調査エリアは、図の中央を横断する鉄道から両側約1.5kmまでの範囲を設定した。エリア内の線路延長は約7kmで、鉄道は分水界をなす峠をトンネルで通過し、これより東側は川の北側を、西側は川の南側を通っている。

空中物理探査は、空中電磁・磁気探査と空中放射線探査の3種類を実施し、それぞれ地盤の比抵抗値、磁気強

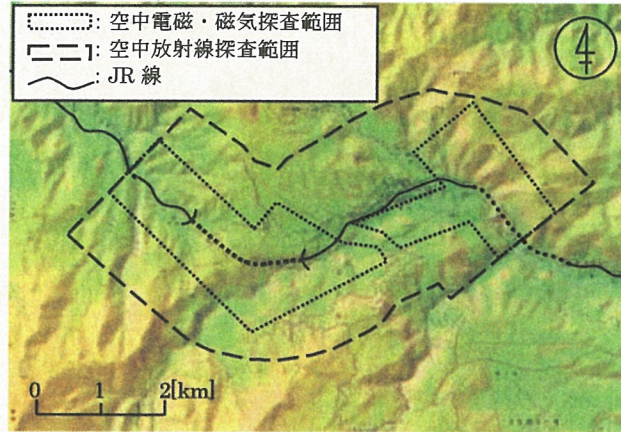


図-2 調査エリア  
Fig. 2 Geography of survey area.

度，放射線強度を取得した。測定範囲は図-2に示すように別々に設け，空中電磁・磁気探査は鉄道沿線斜面をより詳細に，空中放射線探査は広範囲の傾向を把握することを目的として測線を設定し測定を行った。

また，データ取得後に実施した地表地質踏査は，空中物理探査の結果，レーザープロファイラの結果，および既往の地形解析結果によって抽出した地質的な特異箇所（次章参照）を中心に行った。

### 5. 空中物理探査結果および地質的特異箇所の抽出

図-3に空中電磁法探査結果，図-4に空中磁気探査結果，図-5に空中放射線探査結果をそれぞれ示す。これら空中物理探査から得られた三種類の岩盤物性値と，

レーザープロファイラの結果および既往の地形解析結果を併せて検討して，表-1および図-6に示す5箇所の地質的な特異箇所を抽出した。

### 6. 地表地質踏査結果

抽出した地質的特異箇所の地質踏査結果の主要点を以下に述べる。

#### 【Aエリア(地すべり地)】

地形解析から同地には地すべり地が抽出されている。空中物理探査による比抵抗分布では，表層部に崖錐堆積物などの移動土塊に対比される高比抵抗層，その下位には移動土塊と不動地盤の境界と考えられる比抵抗の急変部が見られ，他の地すべり地と同様の比抵抗構造が抽出

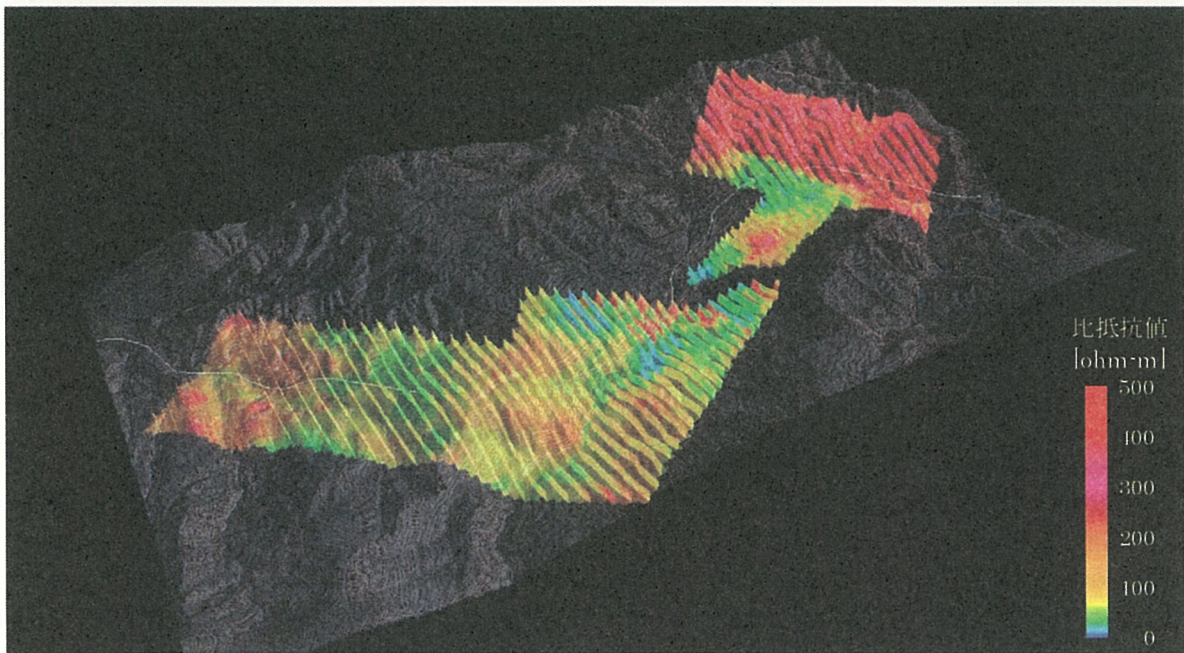


図-3 空中電磁法探査結果鳥瞰図（深度100m平面図と断面パネル）  
Fig. 3 Bird's-eye view as a result of airborne electromagnetic survey (resistivity map at 100m depth and section panel).

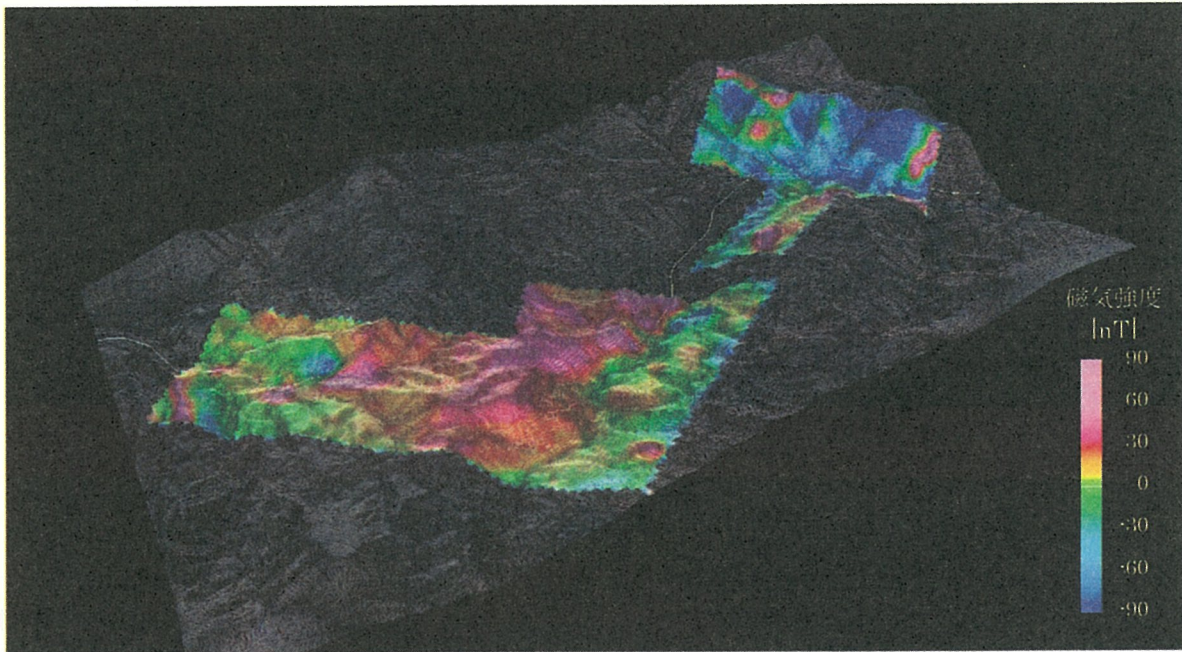


図-4 空中磁気探査結果鳥瞰図(極磁気変換異常)

Fig. 4 Bird's-eye view as a result of airborne magnetic survey (Reduction to the pole).

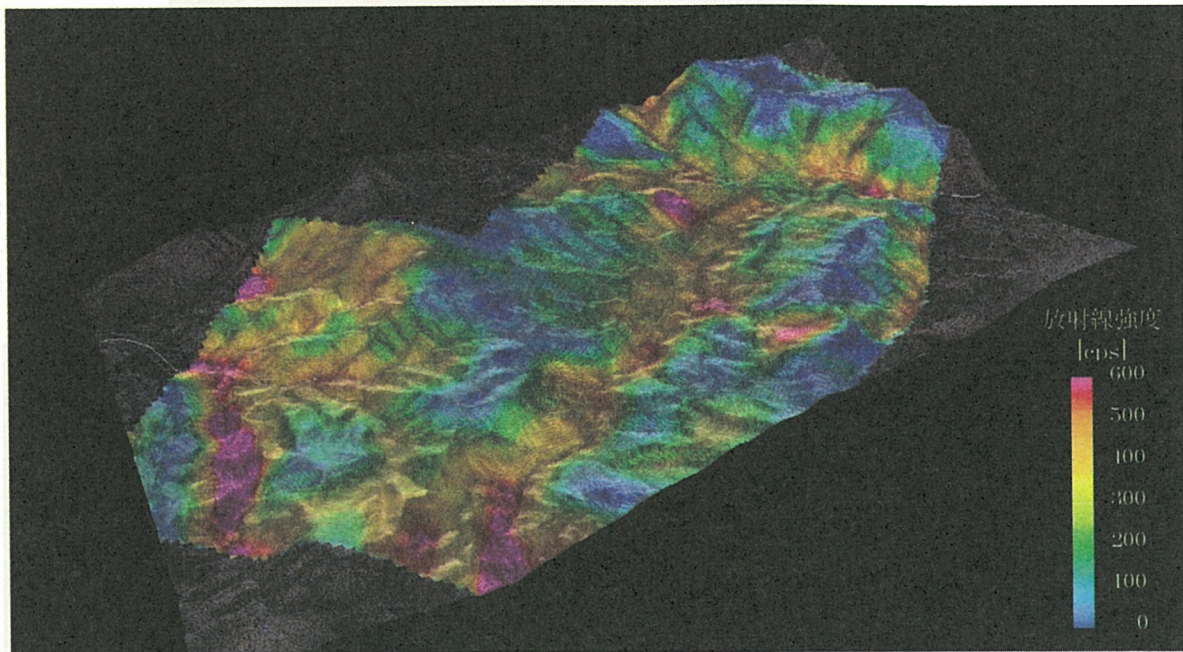


図-5 空中放射線探査結果鳥瞰図(全放射線)

Fig. 5 Bird's-eye view as a result of airborne radiation survey (Total gamma ray).

された。踏査の結果、地すべりブロックの末端側壁部で同付近の基盤岩である凝灰岩(不動地盤)が確認され、ブロック内には地すべり滑動によって生成されたとみられる礫混じり粘土(移動土塊 図-7参照)が認められた。また地すべり下部には巨礫を含む土石流性堆積物が確認された。

地すべり地付近の比抵抗分布と踏査で得られた情報から、図-8の地質断面に示すような地すべり構造が推定される。

#### 【Bエリア(表層崩壊および落石危険地)】

空中物理探査の結果、同地の斜面下部で高比抵抗域と低比抵抗域の境界が平面的には直線状に、断面上では高角度で接していることが捉えられた(図-9参照)。踏査の結果、高比抵抗を示す山地部には、砂岩頁岩互層からなる固い岩盤が分布する(図-10参照)のに対して、山麓部の低比抵抗域には未固結ないし半固結の土石流性の砂礫堆積層が基盤を覆って分布することが確かめられた。従って比抵抗分布の直線的な急変部は、岩質の異なる

表-1 地質的特異箇所一覧表

Table 1 Extraction reason table of the geological specific place.

抽出箇所	抽出理由
Aエリア	既往地形判読において地すべり地とされている。比抵抗分布上にも、表層部に崖錐堆積物などの移動土塊に対比される高比抵抗層、その下位には移動土塊と不動地盤の境界と考えられる比抵抗の急変部が見られ、他の地すべり地と同様の比抵抗構造が抽出された。
Bエリア	山地斜面の下部において高比抵抗域と低比抵抗域の境界が平面的には直線状に、断面上では高角度で接していることが捉えられた。
Cエリア	比抵抗分布では大きな変化は見られないが、既往の地質図によれば火砕岩類とその基盤層との境界部に相当する。
Dエリア	表層部から地下深部まで高比抵抗が連続し、それに対応して高磁気異常がスポット状に捉えられた。
Eエリア	斜面の中腹部に高放射線異常が捉えられており、放射線強度分布と地形との一般的な相関、すなわち谷部に高放射能、尾根部に低放射能が分布するという傾向とは異質な地区である。

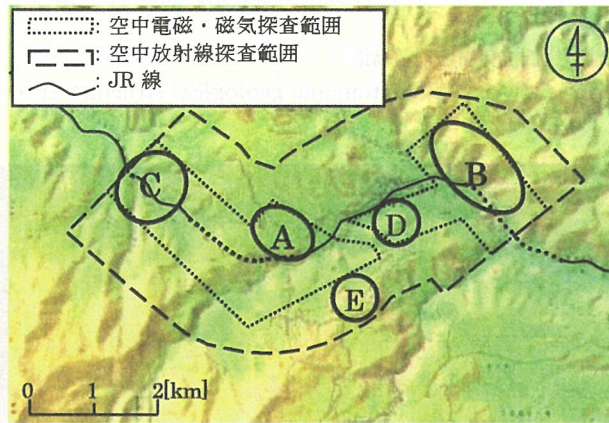


図-6 抽出した特異箇所の位置図

Fig. 6 Position figure geological specific place that extracted it.



図-7 径数cmから20cm大の礫を含む砂質粘土

Fig. 7 Sandy clay including gravel with from several cm to 20 cm diameter.

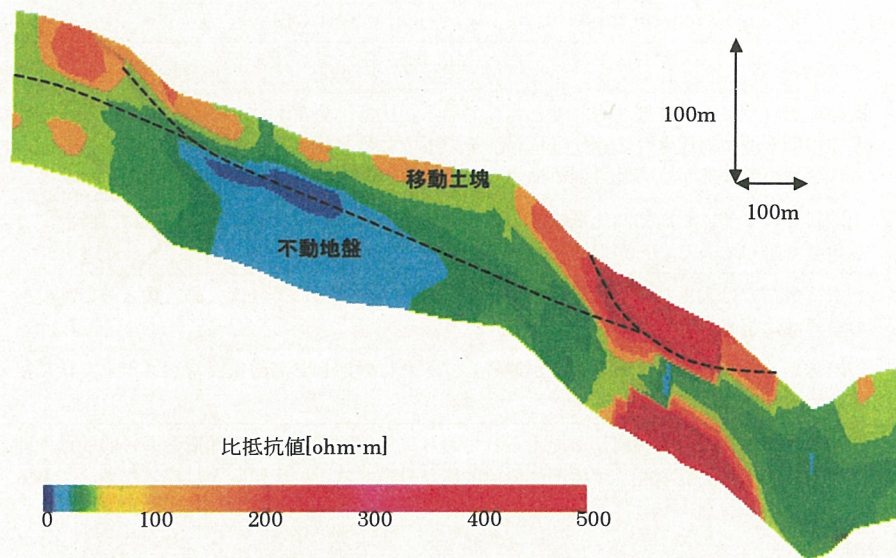


図-8 地すべり地の比抵抗分布と地質構造  
 Fig. 8 Section of resistivity distribution and geological structure at the landslide.

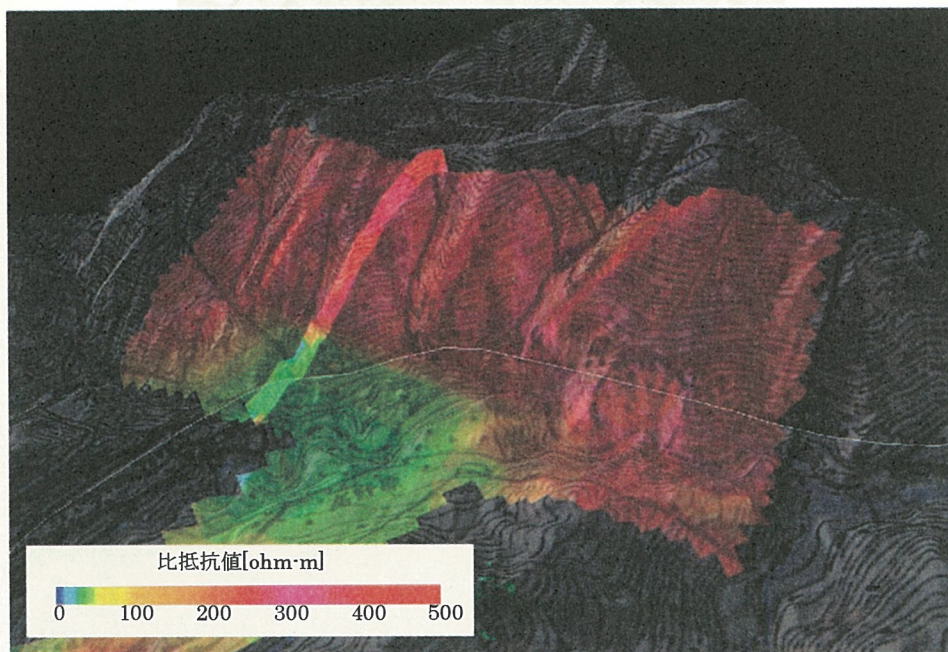


図-9 Bエリアの比抵抗構造  
 Fig. 9 Bird's-eye view of resistivity distribution at B-area.

る地質の分布境界とよく一致している。

さらに高比抵抗域の岩盤分布域における表層地質との関係を詳細に検討した結果、溪流の上流域から中流域の比較的緩傾斜の部分に厚く堆積する溪床堆積物は、相対的に低比抵抗を示すことが明らかになった。一方、急峻な山地の表層部に捉えられた相対的に高比抵抗を示す区域は、亀裂が発達した硬い岩盤が直接露出している区域と良く対応することが明らかになった。

【その他のエリア】

その他のエリアの踏査においても、分布する岩盤の性質と空中物理探査で得られた岩盤物性値には上記と類似の傾向が確かめられた。なおEエリアでは高放射線異常がスポット状に捉えられ、地表地質踏査の結果、このエリア全域での湧水が確認された。



図-10 急峻な山地斜面に露出する基盤岩（砂岩頁岩の互層）  
 Fig. 10 The base rock that exposes it in a steep slope.

7. 鉄道斜面防災への空中物理探査の適応性検討  
 (要素別危険区域の抽出)

空中物理探査で得られた岩盤物性値（ここでは比抵抗値）を基に、地質踏査結果および同時に実施したレーザープロファイラによる地形要素を考慮し、Bエリアについて、斜面災害の素因ごとの危険区域の抽出を試みた。

Bエリアにおける斜面災害の素因には以下の3種類が挙げられた。

- ① 表土層および溪床堆積物
- ② 半固結ないし未固結層
- ③ 亀裂の発達した岩盤

①、②は表層崩壊、③は落石が想定される。以下にそれぞれの素因ごとの危険箇所抽出の結果を示す。

なお、地形要素は斜面災害の危険度評価基準として重要な要素の一つであるが、本研究では、空中物理探査で得られた物性値によって、上述の斜面災害の素因がどの程度抽出可能であるかを主目的としている。したがって、

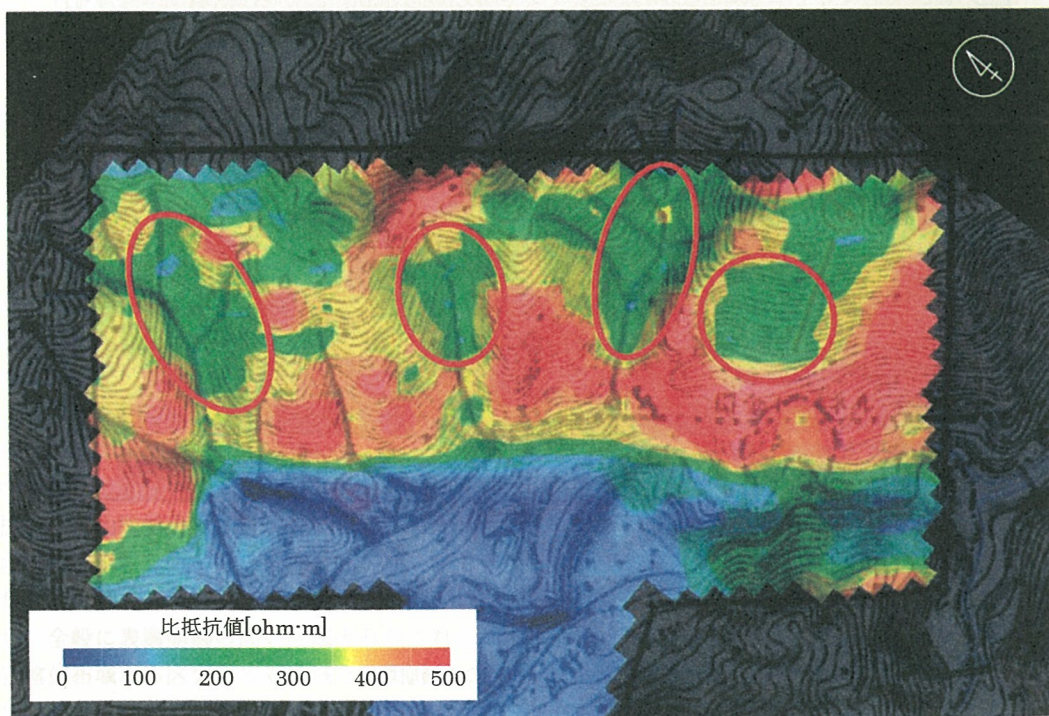


図-11 Bエリア谷部に見られる低比抵抗域  
 Fig. 11 Low resistivity area along the valley at B-area.

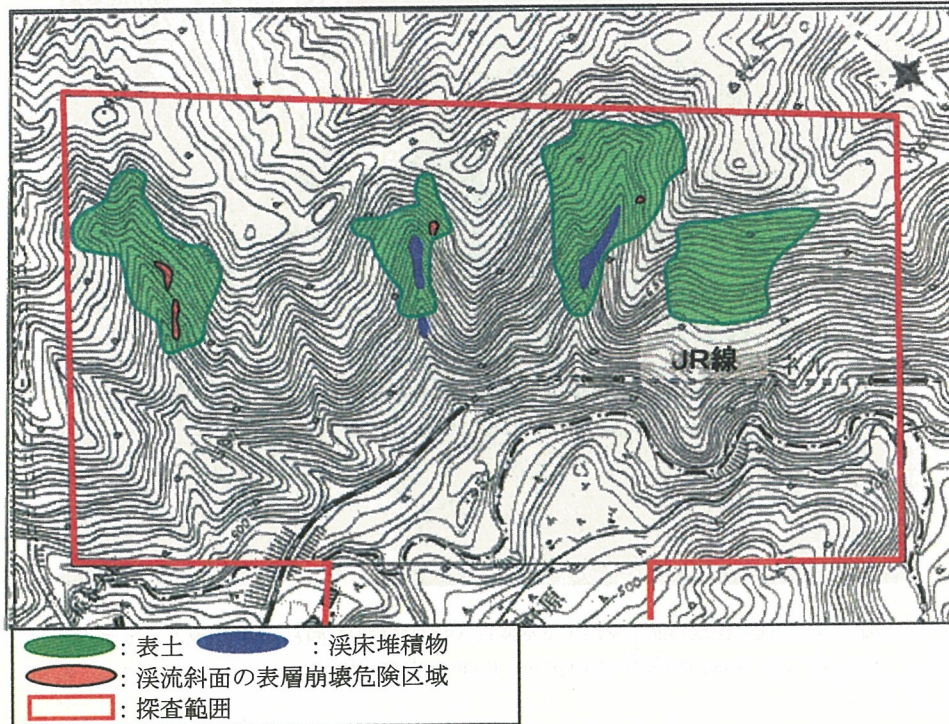


図-12 危険区域の抽出（表土層および溪床堆積物分布域の表層崩壊）  
 Fig. 12 Selection of the potential disaster of surface failure (1).

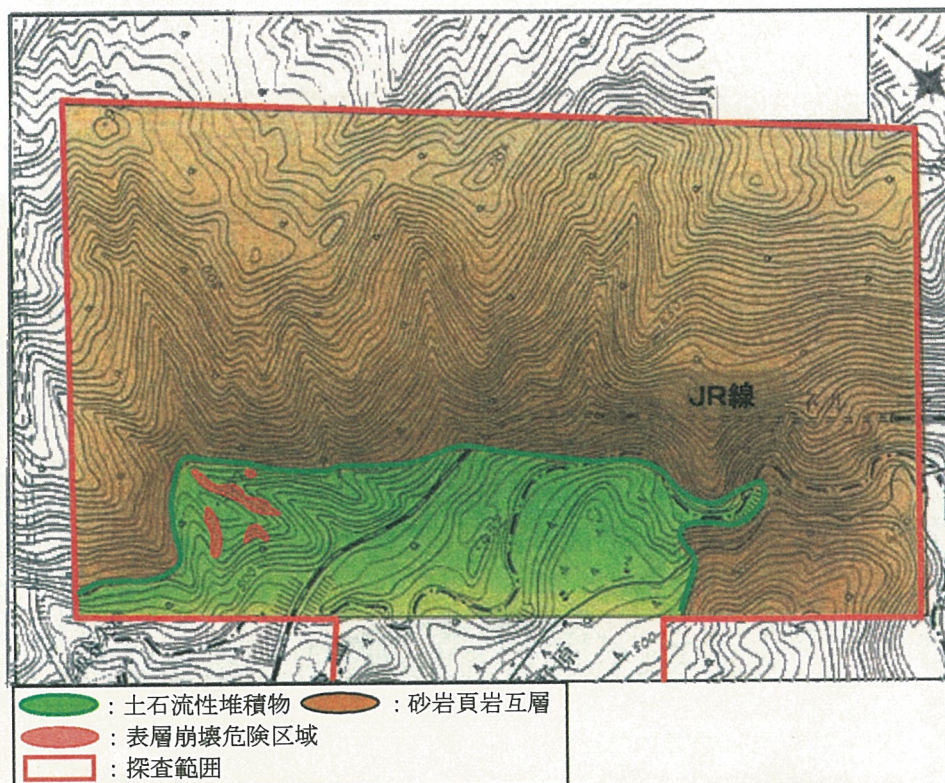


図-13 危険区域の抽出（未固結・半固結層分布域の表層崩壊）  
 Fig. 13 Selection of the potential disaster of surface failure (2).



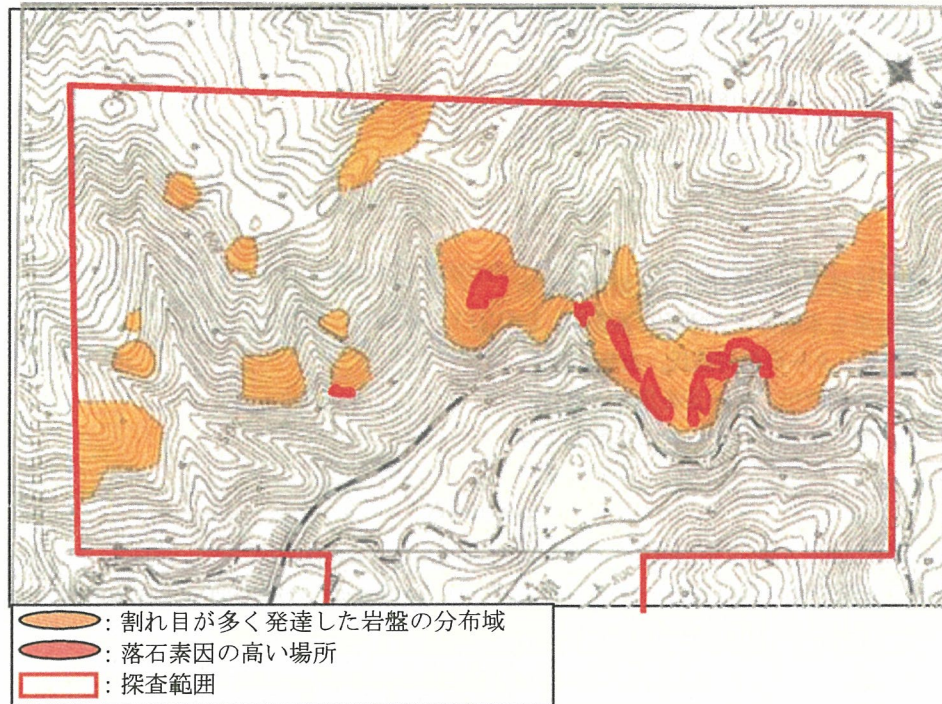


図-14 危険区域の抽出（亀裂の発達した岩盤の落石）  
Fig. 14 Selection of the potential disaster of rock fall.

以下に取り扱う斜面の傾斜角については、現地の履歴などから求めた値ではなく仮定したものである。

①表土層および溪床堆積物（表層崩壊）

図-9中の赤色で示される比抵抗値約100 [ohm-m] 以上の高比抵抗域には、凝灰岩や砂岩頁岩互層など固結した岩盤が地表に広く分布する。この高比抵抗域に発達する谷に沿う上流部から中流域にかけて、比較的比抵抗を示す区域が空中探査で確認された（図-11中の赤丸で囲んだ区域）。

踏査の結果、そこには表土層あるいは溪床堆積物の分布が認められ、表土層の分布域を比抵抗値300 [ohm-m] 以下（図-12中の緑色で囲んだ区域）、溪床堆積物の分布域を比抵抗値200 [ohm-m] 以下（図-12中の青色で囲んだ区域）とすると現地の状況と良く一致することが認められた。

図-12には、表土層・溪床堆積物が分布すると想定される区域のうち、仮に斜面傾斜40°以上を危険性が高いとみなし、表層崩壊危険区域として図示した。

②未固結ないし半固結層（表層崩壊）

図-9中の緑色で示される比抵抗値約100 [ohm-m] 以下の低比抵抗域の山地斜面には、未固結ないし半固結の土石流性の砂礫堆積層およびその崩壊土石が地表に分布する。これらが分布する斜面には大小多数の斜面崩壊地が確認され、全般に表層崩壊の高い区域とみなされ、高比抵抗の岩盤分布域から区分して対象域とした。

図-13には、これら未固結ないし半固結層が分布すると想定される区域のうち、仮に斜面傾斜60°以上を危険性が高いとみなし、表層崩壊危険区域として図示した。

③亀裂の発達した岩盤（落石）

急峻な山地をつくる岩盤は一般に高比抵抗値を示す。その中でも特に高い比抵抗を示す部分（図-11中の赤色で示される高比抵抗域）は、割れ目が発達した固い岩盤が直接露出している地区と一致することが確かめられた。そこで、比抵抗値500 [ohm-m] 以上の区域を岩盤の中でも割れ目が発達している区域として抽出した。

図-14には、これら割れ目が発達していると想定される区域のうち、仮に斜面傾斜50°以上を危険性が高いとみなし、落石危険区域として図示した。

8. まとめ

今回の調査地は、わが国に広く分布する新第三紀の火砕岩類の分布地域にあり、その火山性堆積岩層が作る山地の斜面について、それぞれ異なる三種類の斜面災害の素因があり、空中物理探査を基にした地質評価と、従来手法で抽出された地すべり地や土石流、落石などの危険地とは良く整合した結果が得られた。探査で得られた物性値とレーザープロファイラで得られた詳細な地形情報および地表地質踏査結果から、一定の危険区域を抽出することができ、空中物理探査を用いた定量的な斜面のり面安全性評価の可能性を確認できた。

今後は、実際の多くの崩壊事例からデータを抽出して、より定量的な危険度評価の手法や基準の標準化を検討し、鉄道沿線の点検の効率化に資するばかりでなく、融雪・大雨降雨時の後背地の大規模災害の予測、前兆の把握をも視野に入れた鉄道斜面防災に寄与する手法として確立して行きたい。

また、わが国の鉄道沿線に広域に分布する花崗岩類、変成岩類、古期堆積岩類等の異なる地質分布地域においても、同様の現地調査を行い基準の標準化と検討を行うことで、本システムのより広範の利用が可能となると考えられる。

#### 謝 辞

本調査は、東日本旅客鉄道株式会社のご依頼により実施された。これらの結果を本編にまとめるにあたり、同社 JR 東日本研究開発センターの島村誠氏、友利方彦氏、石黒進也氏には、多くの御教示、御助言を頂くと共に、各種資料の使用に御了解を頂きました。ここに記して深甚の謝意を表します。