

空中電磁探査を活用した崩壊深度の推定に関する研究

Research on a method of estimating the potential depth of slope failure using the Airborne Electromagnetic Survey

*瀬戸 秀治¹、高原 晃宙¹、木下 篤彦¹、水野 秀明¹、河戸 克志²、奥村 稔²、影浦 亮太²

*shuji seto¹, teruyoshi takahara¹, atsuhiko kinoshita¹, hideaki mizuno¹, katsushi kawato², minoru okumura², ryota kageura²

1.国立研究開発法人 土木研究所、2.大日本コンサルタント株式会社

1.Public Works Research Institute, 2.Nippon Engineering Consultants Co., Ltd.

火山では、直接的な火山活動以外でも、御嶽山（1984年）や栗駒山（2008年）のように、火山体の一部が崩壊し、大規模な土砂災害が発生している。火山における崩壊するおそれのある斜面を調査する技術としては、空中電磁探査に関する研究事例がある。空中電磁探査は、人が立ち入ることができないような過酷な環境での調査や短時間で広範囲を調査する必要がある場合に有効な探査手法であり、ヘリコプターに探査装置を搭載して電磁誘導により地盤の比抵抗情報を非接触で取得することができる。現在、火山活動が活発で社会的影響の大きい15火山で空中電磁探査を活用した火山体調査が実施されている。これらの研究事例では、崩壊するおそれのある大まかな範囲を抽出しているが、斜面単位での抽出や崩壊深度の推定はなされていない。そのため、崩壊するおそれのある斜面を適切に抽出する手法の開発が求められている。

本研究では、まずはじめに、既往崩壊事例から崩壊した斜面の特徴を①キャップロック型②拡大崩壊型③地すべり型の3つに類型化するとともに、キャップロック型の斜面に着目し、地形・地質状況から崩壊するおそれのある範囲を抽出した。続いて、既往崩壊事例について微分フィルタを用いた比抵抗構造解析を行い、崩壊深度が比抵抗急変部に位置することを明らかにした。その結果、キャップロック型の斜面では、比抵抗急変部を抽出することで、崩壊深度を推定できる可能性があることがわかった。

本発表では、北海道駒ヶ岳、浅間山、阿蘇山などの事例について紹介する。

キーワード：空中電磁探査、比抵抗、火山、崩壊深度、微分フィルタ

Keywords: Airborne Electromagnetic Survey, resistivity, volcano, collapse depth, differential filter

周波数領域型空中電磁探査による比抵抗の深度情報に関する研究

Study on the depth information of resistivity using frequency-domain airborne electromagnetic survey

*奥村 稔¹、影浦 亮太¹、河戸 克志¹、高原 晃宙²、瀬戸 秀治²、木下 篤彦²

*minoru okumura¹, Ryota KAGEURA¹, Katsushi KAWATO¹, Teruyoshi TAKAHARA², Shuji SETO², Atsuhiko KINOSHITA²

1.大日本コンサルタント株式会社、2.国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム
1.NIPPON ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD., 2.Public Works Research Institute

空中電磁探査は、電磁誘導現象を利用して空中から地下の比抵抗分布を調査するもので、探査方法の違いから時間領域型と周波数領域型がある。周波数領域型は、複数の固定された送・受信コイルを格納したセンサーを航空機に曳航して計測するもので、時間領域型と比較して探査深度は浅いものの、分解能は高いとされる。周波数領域型空中電磁探査の解析は、まず、測定周波数毎に見掛比抵抗平面図を作成し、次に測定周波数と見掛比抵抗との関係式から求めた探査深度にその見掛比抵抗をプロットして見掛比抵抗断面図が作成される。この比抵抗の深度情報の精度を上げるために、数値モデルを使用したインバージョンに関する研究が進められているが、防災の実務的な観点で検証した事例は少ない。

そこで本研究は、実際の周波数領域型空中電磁探査の測定データを用いて見掛比抵抗断面と一次元インバージョン解析による断面を作成し、地質・地下水情報に基づいて、各々の比抵抗の深度情報について検討した。

まず、付加体分布地域や火山地域における大規模な崩壊や地すべりを含む広域斜面での測定データを収集し、大規模な崩壊斜面や地すべり斜面における見掛比抵抗の深度情報を整理した。その結果、大規模な崩壊斜面や地すべり斜面とその近傍の斜面は、(1)浅部から深部に向かって高比抵抗から低比抵抗となり、その比抵抗コントラストが明瞭なタイプと、(2)浅部から深部に向かって低比抵抗から高比抵抗となり、その比抵抗コントラストが不明瞭なタイプに大別できた。また、土砂の移動形態に着目すると、大規模な崩壊斜面の近傍には、(1)タイプの比抵抗構造を示す斜面が多いことが確認できた。

そこで、(1)タイプを対象として、実際の測定データを用いてSengpiel (2000) の方法での見掛比抵抗断面を作成するとともに、一次元インバージョン解析を行った。さらに、ボーリングで確認された地質と地下水の情報に基づいて、これら深度方向の比抵抗分布の精度を比較検討した。その結果、(1)タイプでは、見掛比抵抗断面と一次元インバージョン解析では、比抵抗が変化する深度がほぼ同程度であることが確認できた。このことから、(1)タイプの場合、Sengpiel (2000) の断面表示方法の妥当性が実際の測定データから確認され、見掛比抵抗断面でも大規模崩壊に関わる概略調査としての精度は確保されていると考えられた。

一方、(2)タイプは、見掛比抵抗断面では明瞭な比抵抗コントラストが得られにくく、定量的な検討は難しいと考えられる。

今後、(2)タイプでの比抵抗の深度情報の精度を上げるために、一次元インバージョン解析による検討を行うとともに、防災実務での適用例がほとんど無い周波数領域型空中電磁探査における二次元や三次元インバージョンについても実際の測定データを適用した研究を進めていきたい。

キーワード：周波数領域型空中電磁探査、比抵抗断面、インバージョン

Keywords: frequency-domain airborne EM, resistivity section, inversion

空中送受信型時間領域空中電磁法探査の適用例

A case study of aerial time domain helicopter EM survey

*平田 諒次¹、結城 洋一¹、プラダン オム¹

*Ryoji Hirata¹, Youichi Yuuki¹, Om Pradan¹

1.応用地質株式会社

1.OYO corporation

空中送受信型の時間領域空中電磁法探査システムは、海外では以前からいくつかのシステムが開発され実施されてきた。国内でも最近、海外の調査会社が機材を持ち込み、調査が実施されている。一方、国内にあるシステムは、10年位前から地上発信空中受信型の時間領域空中電磁法探査システムが運用されていたが、昨年始めて空中送受信型のシステムが国内に導入された。

本報告では、新たに国内に導入された空中送受信型時間領域空中電磁法システム（P-THEM）を利用した探査事例を紹介する。

キーワード：時間領域電磁法、空中探査

Keywords: time domain EM, airborne survey

飛行対地高度が空中重力偏差法探査結果に与える影響

Influence of ground clearance on airborne gravity gradiometry survey

*相部 翔¹、代田 敦¹、千葉 昭彦¹、山口 宏²、福田 真人³

*Sho Aibe¹, Atsushi Shiota¹, Akihiko Chiba¹, Hiroshi Yamaguchi², Masato Fukuda³

1.住鉱資源開発株式会社、2.株式会社フグロジャパン、3.独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

1.Sumiko Resources Exploration & Development Co., Ltd., 2.Fugro Japan Co., Ltd., 3.Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

物理探査では、センサと対象との距離が大きくなるにつれて分解能が低下する性質があり、空中物理探査においては対地高度が高くなるにつれて分解能が低下する。高分解能の探査を行なうには、対地高度が低いことが望まれるが、実際は地表の樹木、送電線等の構造物、地形の起伏があるため、障害物より高い対地高度をとらなければならない。対地高度は上方接続で理論的に計算できるが、実際に同じ地域に対して対地高度を変えて測定した例は少ない。

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構では「地熱資源ポテンシャル調査のための広域空中物理探査」で、高度120mを前提として空中重力偏差法測定を行なっている。その中で、鉛直重力偏差 G_{00} および鉛直重力 g_0 の測定値の違いを検討する目的で、同じ測線で120m、250m、500m、750mと対地高度を変えた測定を行った。

その結果、対地高度の上昇で鉛直重力偏差が鉛直重力に比べ、著しく分解能が低くなることを実測定で確認できた。各高度での実測値と、対地高度120mの実測値を各高度に上方接続した理論計算値とが調和的であるか検証を進めている。

キーワード：空中重力偏差法探査、鉛直重力偏差、飛行対地高度

Keywords: Airborne Gravity Gradiometry, Vertical gravity gradient, Flight height

空中、海上および深海地磁気3成分測定による青ヶ島の3次元磁化構造調査

3D magnetization structure of Aogashima Volcano by aero-, sea-surface and deep-sea magnetic vector surveys

松尾 淳¹、伊勢崎 修弘²、*佐柳 敬造²

Jun matsuo¹, Nobuhiro Isezaki², *Keizo Sayanagi²

1.0Y0インターナショナル株式会社、2.東海大学海洋研究所

1.0Y0 International Corporation, 2.Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University

Measurement of magnetic anomaly vectors is absolutely essential to obtain a magnetization structure of the magnetized body. We have developed a new magnetometer for measurement of the vector magnetic field, called High Precision Magnetic survey System (HPMS), which can be used in various situations, for instance, in the air, on the sea surface and in the deep-sea. We have applied the HPMS as Heliborne Three Component Magnetometer (HTCM), Deep-tow Three Component Magnetometer (DTCM) and Shipboard Three Component Magnetometer (STCM) for airborne surveys (2006 and 2009) and marine magnetic surveys (2014) over and around the volcanic island, Aogashima. A helicopter of Nakanihon air service and Tokai University Vessel 'Bousei-Maru' were used for the HTCM surveys and for the STCM and DTCM surveys, respectively. The Aogashima Island is an active volcanic island included in the Izu-Ogasawara volcanic arc. The objectives of this study were to obtain magnetic anomaly vectors on Aogashima volcano by aero-, sea surface and deep-sea magnetic surveys, and to clarify 3 dimensional spaced 3 component magnetization structure of the volcano.

In the HTCM surveys, a towing frame mounted with the HPMS, GPS and wireless LAN devices was towed using a fiber rope below the helicopter. In the DTCM survey, the towing frame mounted with the HPMS, acoustic positioning (SSBL) and acoustic communication devices was towed near the sea bottom using a wire rope. In the STCM survey, the towing frame mounted with the HPMS and GPS devices was fixed on the after-deck of the ship. Three components of the observed geomagnetic field, $F = (H_h, H_s, H_v)$, and gyro data (yaw, pitch, roll) are sampled in 10Hz. SSBL positions are fixed every 10 seconds. F , the vector in ship's coordinate (heading, starboard, vertical) is rotated to the vector in Earth's coordinate (X, Y, Z : north, east, vertical down) using the gyro data. From the rotated vector (X, Y, Z), the IGRF field is subtracted to get three components of a magnetic anomaly (dX, dY, dZ).

3D spaced 3 component magnetizations of the Aogashima volcano are analyzed by solving the linear least square equation for the obtained magnetic anomaly vectors. We tried 4 layer block model which consists of blocks with width of 500m, depth of 500m, and thickness of 250 m, 500 m, 750 m and 1000 m. The total number of the blocks is 2,492. The upper surface of Layer 1 approximates topographic surface. 25,536 data of three components of magnetic anomalies were inputted, and 7,476 data of three components of magnetization of 3D magnetized body were obtained by magnetization inversion with least square method using a dumping factor.

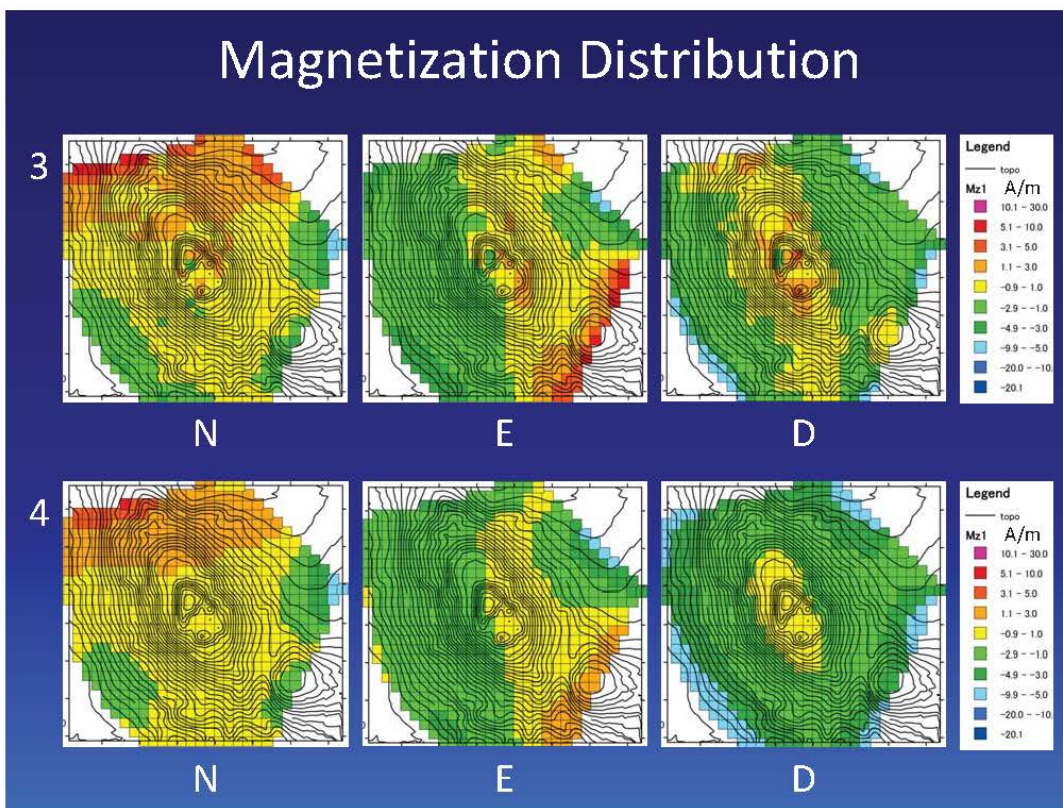
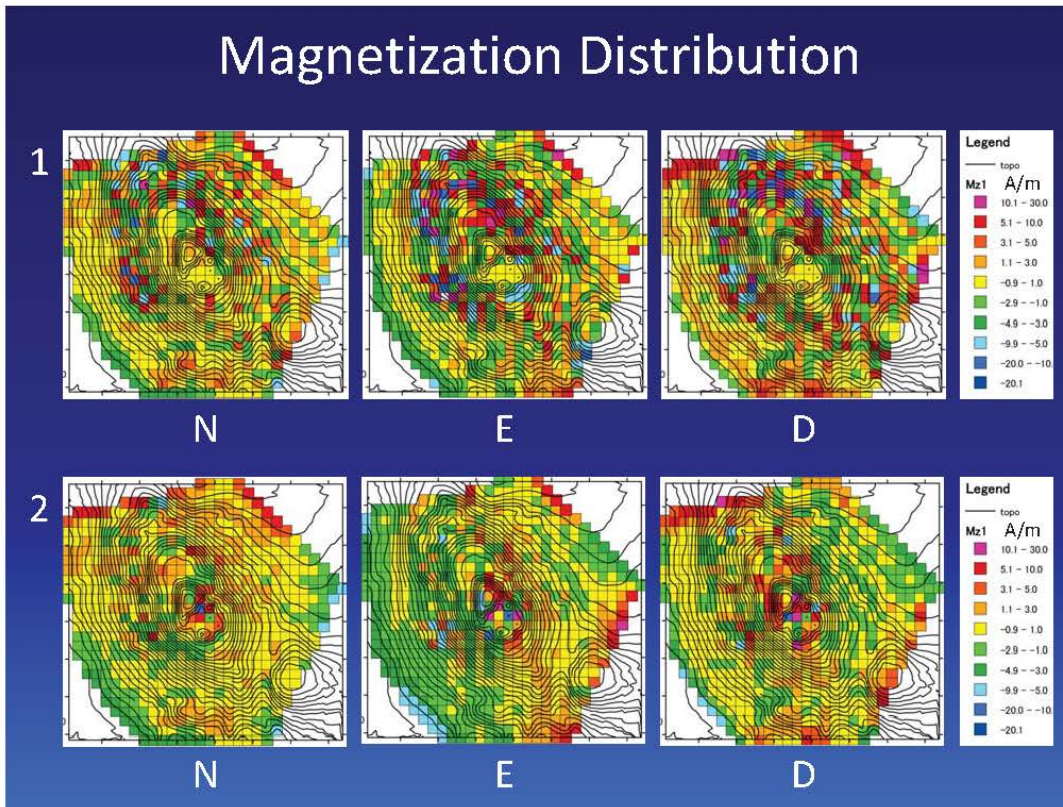
The figure shows three components of magnetization of each layer. Thin contour lines show the topography. The Aogashima Island is located at the center of each map. The shallower layers have complicated magnetization distribution, especially in Layer 1. There are larger magnetization to the north of the island as seen in Layers 1 and 2. The deeper layers such as Layers 3 and 4 have smooth magnetization distribution comparing with Layers 1 and 2. Layers 3 and 4 show the following characteristic distributions: relatively large positive north component of magnetization to the north of the island, contours of east component of that elongated along the ridge, and small downward component of that along the ridge in Layer 3 and under the island in Layer 4.

In conclusion, we have developed the versatile and useful equipment corresponding to a

multiplatform that can survey the vector magnetic fields in the air, on the sea surface and in the deep-sea. That enables us to calculate the 3 dimensional and 3 components magnetization. The HPMS should make a contribution for more detailed and reliable magnetic geophysical surveys.

キーワード：地磁気3成分異常、磁化ベクトル、3次元磁化構造、汎用型3成分磁力計、船上3成分磁力計、深
曳航式3成分磁力計

Keywords: three components of geomagnetic anomaly, magnetization vector, 3D magnetization structure, vector magnetometer for multi-platform, Shipboard Three Component Magnetometer (STCM), Deep-tow Three Component Magnetometer (DTCM)



無人ヘリコプターを利用した口永良部島繰り返し空中磁気測量

Repeated aeromagnetic surveys at Kuchi-erabu-jima volcano by using unmanned helicopter

*小山 崇夫¹、金子 隆之¹、大湊 隆雄¹、渡邊 篤志¹、神田 徑²

*Takao Koyama¹, Takayuki Kaneko¹, Takao Ohminato¹, Atsushi Watanabe¹, Wataru Kanda²

1.東京大学地震研究所、2.東京工業大学

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.Tokyo Institute of Technology

Kuchi-erabu-jima island is an active volcanic island in Kyushu, and some volcanic events happened in the last century. Very recently, a phreatic eruption occurred on Aug. 23rd 2014, and a phreatomagmatic explosion followed it on May 29th 2015. At the latter eruption, a pyroclastic flow attacked a village, and all the residents in the island have evacuated out of the island. The eruptive activity never happens after a tiny Vulcanian eruption on 18th June 2015.

We conducted repeated aeromagnetic surveys in April and September 2015 by using unmanned helicopter. The altitude of the flight was kept to about 100 m above the ground and geomagnetic total intensity data at an almost whole area above the volcanoes were obtained. A total measurement length of flight was about 60 km.

The first survey in April 2015 revealed that the average magnetization is so small as about 1.8 A/m, which is typical value for andesite. Also the crater areas show very low magnetization, while surrounding areas of the crater have relatively strong magnetization as much as 3 A/m. The second survey in September detected small changes of the geomagnetic field. It reveals that the demagnetization in the crater and the magnetization around the crater. It may indicate that the magmatic products erupted out of the crater and showed the demagnetized features, while some ashes and pyroclastic flow remain at the volcanic surface around the crater and got some magnetization.

キーワード：空中磁気測量、無人ヘリコプター、火山

Keywords: aeromagnetic survey, unmanned helicopter, volcano