

平成28年度

北海道駒ヶ岳火山山体構造解析について —空中物理探査及び高密度電気探査等による 山体構造解析について—

函館開発建設部 今金河川事務所 ○澤谷 裕貴
函館開発建設部 工務課 旭 峰雄
函館開発建設部 今金河川事務所 竹原 隆博

北海道駒ヶ岳は過去に複数回の山体崩壊が発生している。また、山麓には人家や観光資源など数多く分布し大規模崩壊が発生した場合の社会的影響は非常に大きいものになると想定される。この論文は、火山山体についてはその内部構造など不明確な点が多くあるため、空中物理探査や高密度電気探査結果等から山体内部構造の解析を行い大規模崩落発生の可能性について報告するものである。

キーワード：基礎技術、防災、自然災害、効率的な維持管理

1. はじめに

北海道駒ヶ岳は森町、鹿部町、七飯町にまたがる活火山であり、一帯は大沼国定公園に指定されている（図-1）。北海道駒ヶ岳の火山活動は、記録に残っているものでは、1640年、1694年、1856年、1929年に火砕流を含む大噴火が発生している。1640年の大噴火では山体崩壊が生じ、内浦湾に流れ込んだことで対岸に大津波を発生させ700名余の水死者を出している。この時の岩屑などが折戸川をせきとめて現在の大沼、小沼を形成した。



図-1 北海道駒ヶ岳の位置図

北海道駒ヶ岳の火山防災対策の取組は、昭和55年の関係市町村の「駒ヶ岳火山防災会議協議会」の設置から開始された。さらに平成26年9月に発生した御嶽山の噴火などを踏まえて平成27年7月に活動火山対策特別措置法が改正され、ハード・ソフト両面による総合的な活動火山対策への取組として「北海道駒ヶ岳火山防災協議会」が平成28年3月22日に設置され、函館開発建設部は砂防部局として同協議会のコアグループとして参画している。

一方、山越ら¹⁾は、活火山地域では火山活動以外に1984年の御嶽山²⁾や2008年の栗駒山³⁾で山体の一部が崩壊し下流域に甚大な土砂災害が発生していることから、崩壊の可能性のある斜面を特定することは火山災害を軽減するために重要であると指摘している。北海道駒ヶ岳の山麓には、人家、国道、鉄道、観光資源など数多く分布していることから、大規模崩壊が発生した場合の社会的影響は非常に大きいものになると想定される。

大規模崩壊は山体構造と密接な関係があると考えられているが、北海道駒ヶ岳では表層は火山噴出物に覆われているために山体構造については未解明な部分が多い⁴⁾。そこで、函館開発建設部では広域の山体構造を概略で把握するために空中物理探査（空中電磁探査と空中磁気探査）を実施し、既往資料と併せて北海道駒ヶ岳の山体構造について検討してきた^{5),6)}。

本報告では、空中電磁探査及び高密度電気探査結果等から北海道駒ヶ岳の山体構造解析を行い、大規模崩落の可能性について報告するものである。

2. 空中電磁探査の概要

空中電磁探査は、電磁誘導現象を利用する電磁探査の

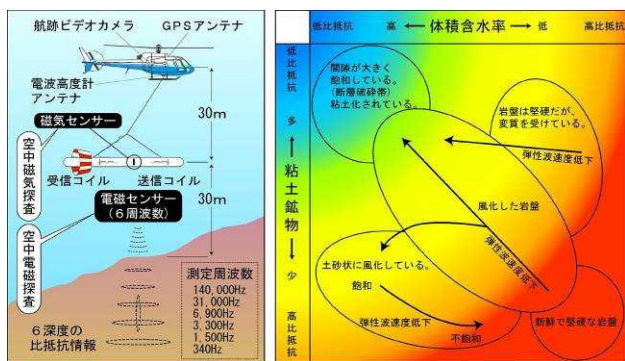


図-2 空中電磁探査の概要と比抵抗の説明図

一つで、ヘリコプターに曳航した電磁センサーを用いて地中の電磁場応答を測定することで、広域斜面の比抵抗3次元構造を把握する探査手法である（図-2左）。本稿での空中電磁探査は、周波数領域タイプの測定方法であり、異なる周波数の電磁場を用いることによって異なる深度の山体内部の比抵抗が同時に取得でき、これにLPデータと統合することで任意の比抵抗断面図が作成できる。北海道駒ヶ岳においては、平成26年7月に実施している。

空中電磁探査で計測される比抵抗は、主に単位体積当りの含水量と粘土の含有量によって支配される物性値である⁷⁾。単位体積当りの含水量を示す指標として、間隙率に飽和度を乗じた体積含水率が用いられている。間隙率が大きく地下水で飽和した地質ほど、あるいは粘土が多い地質ほど比抵抗は低く、新鮮で間隙が少ないか、間隙率が大きくても地下水が不飽和な地質ほど比抵抗は高くなる（図-2右）。

3. 検討対象斜面の概要

既往の空中電磁探査結果及び微地形等の検討では、大規模崩壊が発生する可能性を有している斜面が概略的に6箇所抽出され、その中の砂原岳①斜面（以下、「砂原周辺斜面」という。）においては、深度方向に物性が急変するキャップロック構造が見られた^{5),9)}（図-3）。

そこで、砂原岳周辺斜面を対象に詳細な山体構造解析の検討を進め崩壊土砂量を算出することとした。

4. 検討方法

砂原岳周辺斜面の大規模崩壊が発生する可能性がある斜面を詳細に絞り込むために、下記の検討を行った。

- ①崖地形に着目し斜面を分割した。
- ②空中電磁探査から崩壊深度を設定した。
- ③現地踏査で山体構造と崩壊状況を確認し、斜面分割と崩壊深度の設定方法の妥当性確認した。
- ④上記の結果から砂原岳における大規模崩壊が発生する可能性がある斜面を絞り込み、想定される崩壊土砂量を算出した。
- ⑤絞り込んだ斜面の山体構造を確認するために高密度

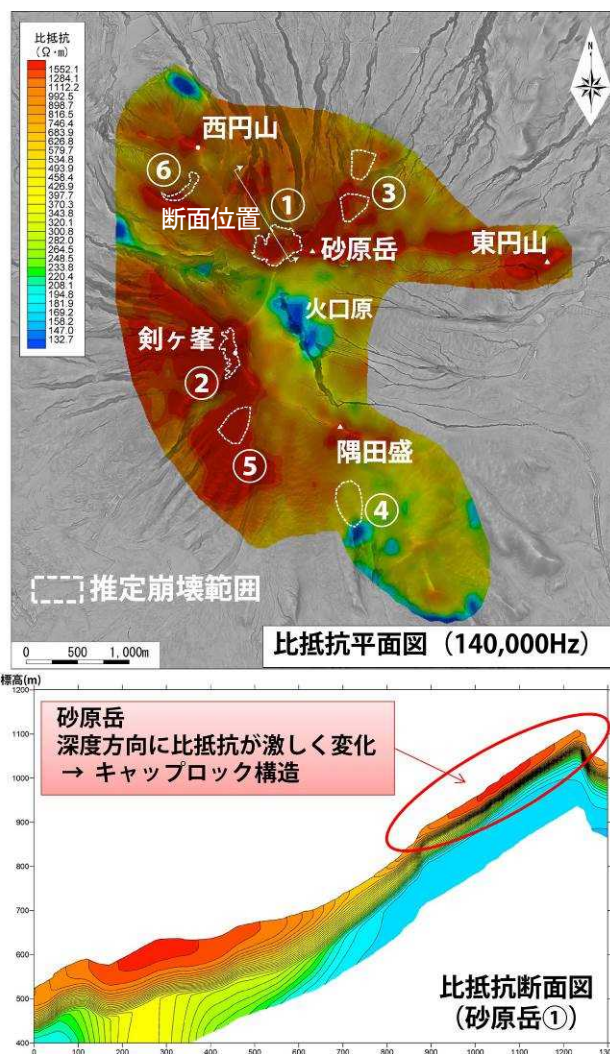


図-3 砂原岳位置図及び比抵抗断面図

電気探査をから、空中電磁探査で設定した崩壊深度（山体構造）の精度を検証した。

5. 崖地形に着目した斜面の分割

砂原岳周辺斜面の地形特性を検討するために、LPデータから崖地形が判読できる地形表現図を作成した。

砂原岳周辺斜面は外周が崖で縁取られ、さらに斜面内にも崖が発達している（図-4）。崖には溶結火砕岩が露岩^{5),9)}しており、崖地形に着目して斜面分割を行うこととして傾斜区分図を作成した（図-5）。砂原岳周辺斜面の山体内部構造がキャップロック型であることから、主として傾斜区分図をもとに、地形写真と赤色立体地図等の地形表現図を参考に、崖地形に着目して砂原岳周辺斜面を34に分割した（図-6）。

6. 空中電磁探査による崩壊深度の設定

(1) 空中電磁探査による崩壊深度の設定方法

a) 仮定

砂原岳周辺斜面は、溶結火砕岩と褐色火砕岩の地質境界を崩壊面として上位の溶結火砕岩が崩壊する可能性が

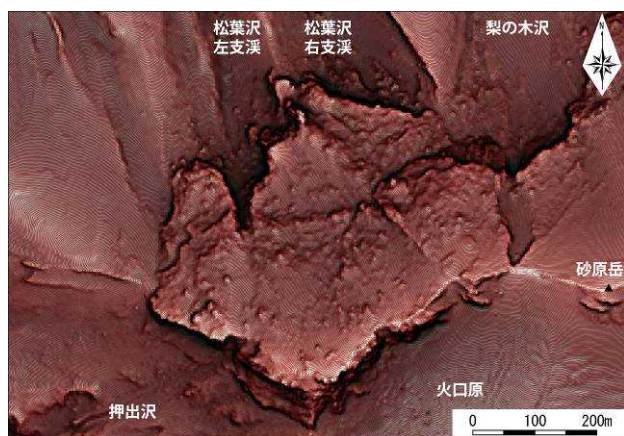


図-4 砂原岳の赤色立体地図

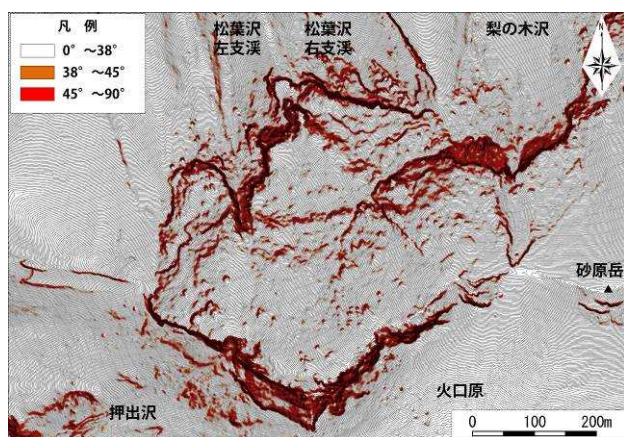


図-5 砂原岳の傾斜区分図

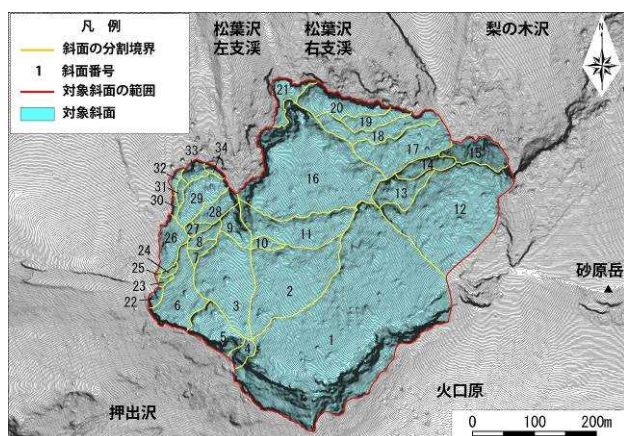


図-6 崖地形に着目した斜面の分割結果

あり、この地質境界は空中電磁探査の断面図で深度方向の比抵抗の急変部として把握できると考えた。

b) 方法

砂原岳周辺斜面は、溶結火砕岩からなる崖の基部に褐色火砕岩の分布が現地で確認できる。そこで、崖を横断する方向で空中電磁探査の比抵抗断面図を作成した。また、比抵抗の急変部を客観的に捉えるため、深度方向に比抵抗差分値が変化する区間（急変部）を1次微分フィルタにより抽出した。

c) 検証

実際の溶結火砕岩の厚さをもとに、空中電磁探査から

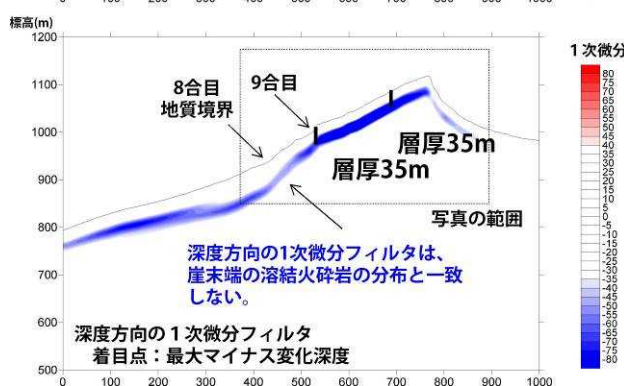
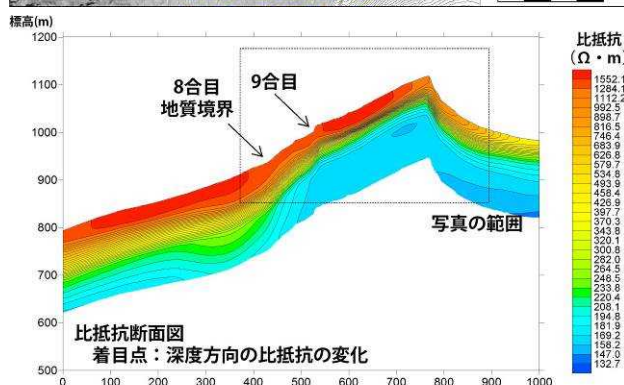
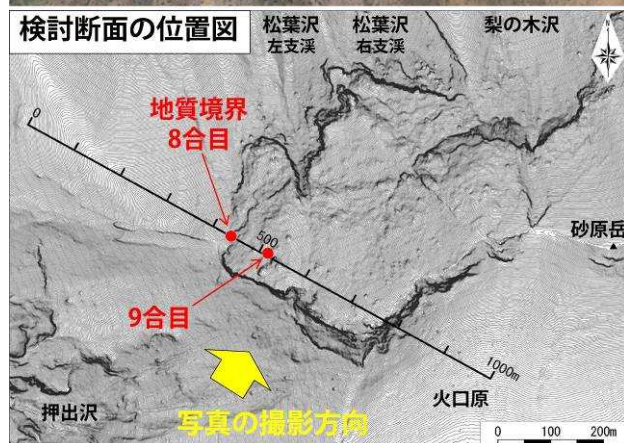


図-7 空中電磁探査から推定した地質境界深度の検証

推定した溶結火砕岩の厚さ（この場合は地質境界の深度である）を対比した結果、ほぼ一致した（図-7）。

d) 砂原岳における地質境界深度の設定

砂原岳周辺斜面の地質境界深度を設定するために、東西方向と南北方向に各50mの間隔で比抵抗断面図を作成し、深度方向の1次微分フィルタによる計算を実施し深度を求めた（図-8）。

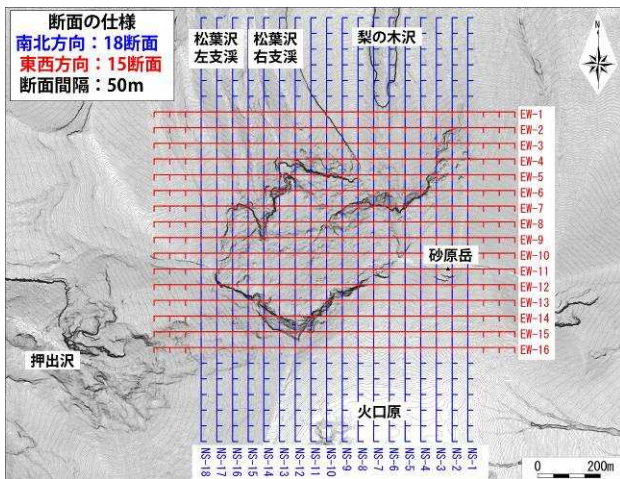


図-8 空中電磁探査の断面作成位置図

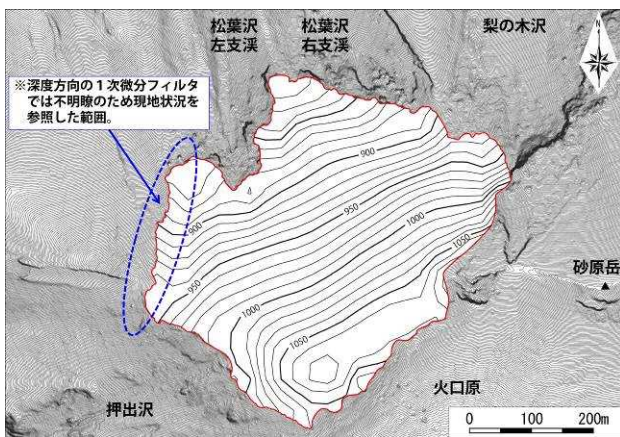


図-9 空中電磁探査から推定した地質境界のコンター図

断面測線の交差位置における深度を標高に置き換えてコンター図を作成し地質境界の形状とした（図-9）。

7. 現地踏査で確認した砂原岳周辺斜面の崩壊状況

斜面の分割結果や空中電磁探査で着目した地質境界と崩壊との関係を確認するために現地踏査を実施した。

崩壊は、松葉沢方面（山麓方面）に多く見られ溶結火砕岩の層構造と高角度割れ目を不連続面として発生していた。溶結火砕岩の脚部は風化した褐色火砕岩であり、溶結火砕岩と褐色火砕岩の地質境界に崩壊すべり面が確認できた（写真-1）。

崩壊斜面の形態を模式図（図-10）に示すが、下記の特徴が見られた。

- ①分離面は溶結火砕岩の層構造（流れ盤）と背面の高角度割れ目である。
- ②崩壊すべり面は、溶結火砕岩中の層構造で発生したもの、溶結火砕岩と褐色火砕岩の地質境界で発生したものがある。
- ③溶結火砕岩脚部の褐色火砕岩の風化による斜面の後退が起こっている。



写真-1 崩壊形態状況

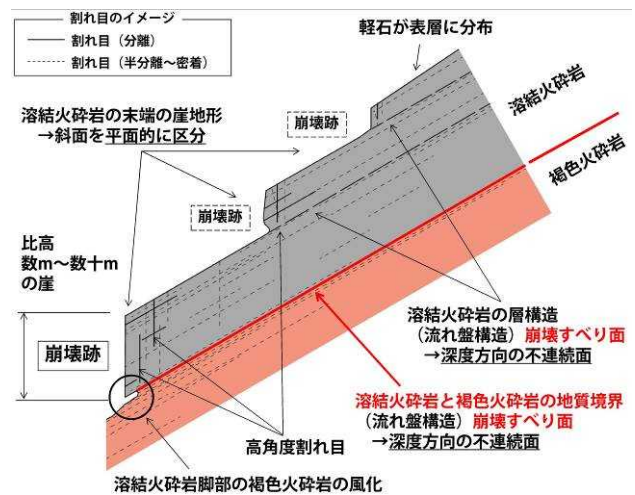


図-10 砂原岳周辺斜面における崩壊斜面の模式

8. 大規模土砂移動が発生する可能性がある斜面と想定される崩壊土砂量

以上の結果を基に、砂原岳周辺斜面における大規模土砂移動が発生する可能性がある斜面と想定される崩壊土砂量を算出した。崖地形に着目した斜面の分割と1微分フィルタから地質境界のコンター図を作成し各斜面の崩壊土砂量を算出した（表-1）。さらに現地踏査の結果に基づいて、崩壊地に隣接したり、崩壊跡地や斜面下方に生産された巨石や崩壊土砂がある斜面は、真っ先に崩壊するであろう斜面と考え抽出した（図-11）。

9. 大規模土砂移動が発生する可能性がある斜面の高密度電気探査による山体構造

(1) 高密度電気探査の概要

高密度電気探査により、空中電磁探査の精度検証を行った。測定は平成28年8月に実施し電極配置は2極法（ポール・ポール法）とし、電極間隔は5mとした。測線は、大規模土砂移動が発生する可能性が高い斜面及び作業員の安全が確保できる場所に設定した（図-12）。

表-1 分割斜面毎の面積、崩壊深度、想定される崩壊土砂量

斜面番号	面積 (m ²)	崩壊深度 (m)	想定崩壊土砂量 (m ³)	斜面番号	面積 (m ²)	崩壊深度 (m)	想定崩壊土砂量 (m ³)
1	61,829	35	2,164,015	18	4,474	25	111,850
2	14,530	35	508,550	19	2,159	25	53,975
3	10,425	34	354,450	20	4,525	20	90,500
4	1,158	35	40,530	21	2,282	5	11,410
5	4,321	34	146,914	22	563	15	8,445
6	6,080	25	152,000	23	263	10	2,630
7	797	25	19,925	24	321	10	3,210
8	1,129	25	28,225	25	110	5	550
9	2,043	30	61,290	26	2,709	10	27,090
10	812	35	28,420	27	656	20	13,120
11	7,886	35	276,010	28	2,113	20	42,260
12	21,529	35	753,515	29	3,609	15	54,135
13	3,350	32	107,200	30	326	10	3,260
14	2,012	30	60,360	31	506	10	5,060
15	3,717	32	118,944	32	486	5	2,430
16	25,931	30	777,930	33	996	5	4,980
17	7,454	28	208,712	34	432	5	2,160

全体面積=201,533m² 全体想定崩壊土砂量=6,247,523m³

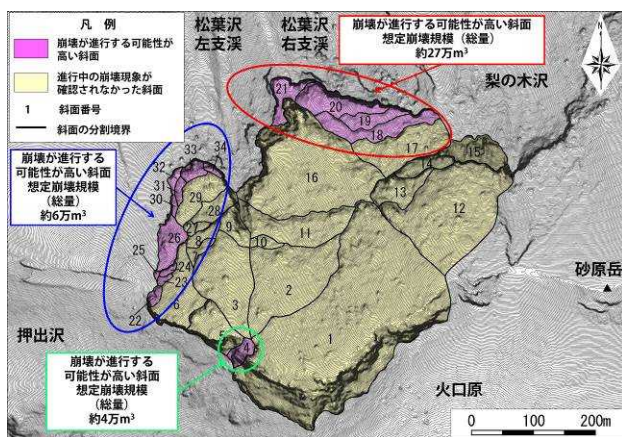


図-11 崩壊が進行する可能性が高い斜面と想定される崩壊土砂量

(2) 高密度電気探査による山体構造の確認

高密度電気探査による山体構造の確認は、物理探査学会のマニュアルに従い比抵抗パターン¹⁰⁾に着目して実施した。結果を図-13に示す。

(3) 高密度電気探査と空中電磁探査の比較検討

高密度電気探査結果が正しいものとして、同じ位置での空中電磁探査結果(図-14)と深度方向の1次微分フィルタの結果を比較した(図-15)。

比較検討の結果、空中電磁探査は、斜面1と斜面2では溶結火砕岩の構造にほぼ一致しているが、高角度の比抵抗構造が把握できておらず、斜面3から下方斜面では一致していない。また、浅部の比抵抗構造が把握できていなかった。

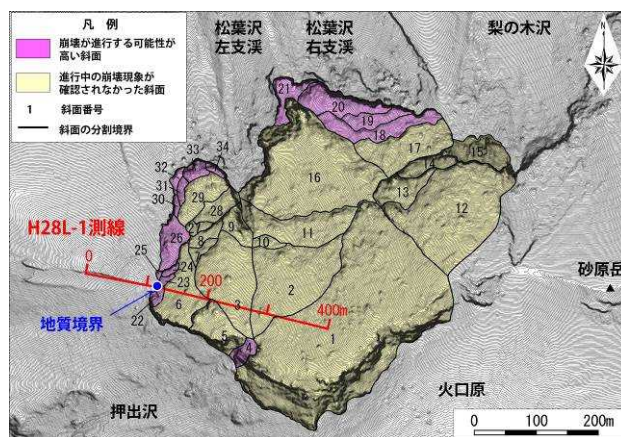


図-12 高密度電気探査の測線位置図

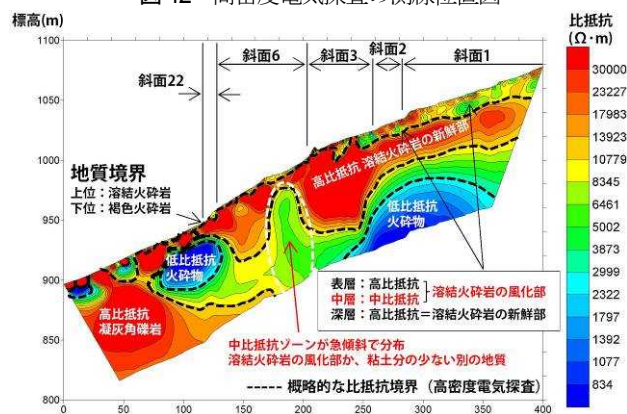


図-13 高密度電気探査による大規模土砂移動が発生する可能性がある斜面の山体構造

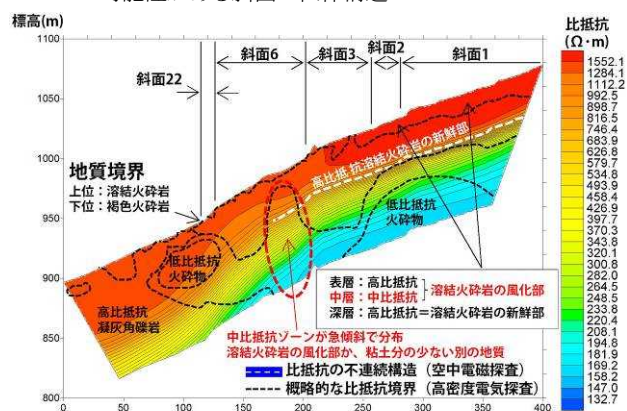


図-14 高密度電気探査と空中電磁探査の比較結果図

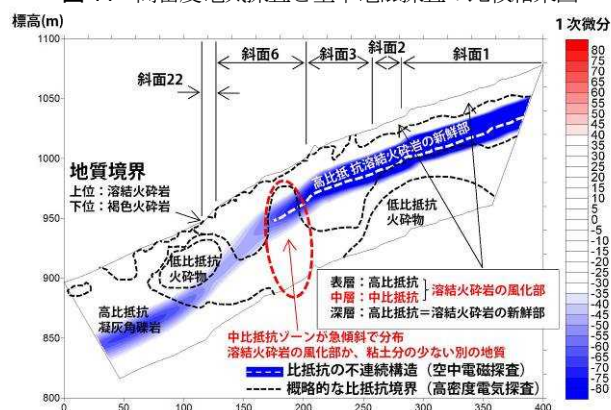


図-15 高密度電気探査と深度方向の1次微分フィルタの比較結果図

9. まとめと今後の課題

本報告内容を下記にまとめる。

- (1) 砂原岳周辺斜面の山体内部構造がキャップロック型で崖地形が発達することから、LPデータから地形表現図を作成し、崖地形に着目して斜面を分割した。
- (2) 1次微分フィルタを用いた空中電磁探査の層厚解析の結果と、一部1次微分フィルタが不明瞭な箇所は現地状況を参照して、崩壊深度を設定した。
- (3) 現地踏査によって崖地形による斜面分割の妥当性と崩壊形態を確認した。
 - ① 崖地形は、山体構造を反映したものである。
 - ② 崩壊は、溶結火砕岩内部でも発生しているが、規模が大きく崩壊しやすい箇所は、溶結火砕岩と褐色火砕岩の地質境界周辺で発生している。
- (4) 上記(1)～(3)の結果に基づいて、砂原岳周辺斜面における大規模土砂移動が発生する可能性がある斜面を区分し、各斜面の想定崩壊土砂量を算出した。
- (5) (4)で絞り込んだ斜面に対して高密度電気探査による現状確認を行った。
- (6) 高密度電気探査結果の比抵抗パターンを基に空中電磁探査結果を比較した結果、下記の事項が確認できた。
 - ① 一次微分フィルタを用いた空中電磁探査の層厚解析の結果は、高密度電気探査結果とほぼ一致するか、深い深度を示している。
 - ② 空中電磁探査は、浅部の比抵抗構造と高角度の比抵抗構造が把握できていない。
- (7) 空中電磁探査を用いて崩壊深度を設定する場合、崩壊深度を過大に見積もっている可能性があることが示唆された。
- (8) 今後は、本調査検討を踏まえ北海道駒ヶ岳の大規模土砂移動が発生する可能性を有している斜面について引き続き調査検討を行い下流域への影響について把握していく予定である。

参考文献

- 1) 山越隆雄, 一色弘充, 石塚忠範, 内田太郎, 横山修, 河戸克志, 奥村稔, 佐藤敏久: 2008 年岩手・宮城内陸地震による栗駒山崩壊斜面の三次元比抵抗パターン, 日本火山学会講演予稿集, p.109-110, 2012.
- 2) 小林武彦: 御嶽火山の火山体形成史と長野県西部地震による伝上崩壊の発生要因, 地形, Vol.8, p.113-125, 1987.
- 3) 大丸裕武, 村上亘, 多田泰之, 岡本隆, 三森利昭, 江坂文寿: 2008 年岩手・宮城内陸地震による一迫川上流域の崩壊発生環境, 日本地すべり学会誌, Vol.48, No.3, p.23-36, 2011
- 4) 勝井義雄, 鈴木建夫, 曾屋龍典, 吉久泰樹: 北海道駒ヶ岳火山地質図, 地質調査所, 1989.
- 5) 古賀文雄, 中根賢志, 栗本茂季, 木下篤彦, 清水孝一, 高原晃宙, 瀬戸秀治, 細川亮介, 影浦亮太, 河戸克志, 清野耕史, 藤田浩司: 空中電磁探査の比抵抗パターンが示す地質・地下水状態—北海道駒ヶ岳の事例一, 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集 B, p.434-435, 2015.
- 6) 旭峰雄, 竹原隆博, 栗本茂季, 木下篤彦, 高原晃宙, 瀬戸秀治, 清野耕史, 河戸克志, 阿部征輝, 細川亮介: 北海道駒ヶ岳における空中電磁探査の比抵抗急変パターンが示す山体内部構造の検討, 平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 B, p.398-399, 2016.
- 7) 土木学会関西支部 比抵抗高密度探査に基づく地盤評価に関する調査・研究委員会: 比抵抗高密度探査に基づく地盤評価, 平成 9 年度講習・研究討論会テキスト, p.107, 1997.
- 8) 瀬戸秀治, 高原晃宙, 木下篤彦, 清水孝一, 石塚忠範, 河戸克志, 奥村 稔, 影浦亮太: 空中電磁探査を活用した火山体調査事例, 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集 A, p.292-293, 2015.
- 9) 瀬戸秀治, 高原晃宙, 木下篤彦, 水野秀明, 奥村 稔, 河戸克志, 影浦亮太, 阿部征輝: 空中電磁探査を活用した崩壊するおそれのある斜面における崩壊深度の推定手法に関する検討, 平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 A, p.244-245, 2016.
- 10) (財)災害科学研究所トンネル調査研究会編: 地盤の可視化と探査技術 比抵抗高密度探査法の実例, 鹿島出版会, p.68-69, 2001.