

国道112号で発生した雪崩災害の調査と周辺の斜面積雪の安定性評価

阿部 修^{*1}・根本征樹^{*1}・望月重人^{*1}・小杉健二^{*1}・花岡正明^{*2}・
町田 誠^{*3}・町田 敬^{*3}・阿部孝幸^{*4}・上石 勲^{*5}・平島寛行^{*5}

Observations of the Avalanche Accident Occurred on Route 112 and Judgment of Avalanche Safety for the Surrounding Slopes

Osamu ABE^{*1}, Masaki NEMOTO^{*1}, Shigeto MOCHIZUKI^{*1}, Kenji KOSUGI^{*1}, Masaaki HANAOKA^{*2},
Makoto MACHIDA^{*3}, Takashi MACHIDA^{*3}, Takayuki ABE^{*4}, Isao KAMIISHI^{*5}, and Hiroyuki HIRASHIMA^{*5}

^{*1}*Shinjo Branch, Snow and Ice Research Center,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
oabe@bosai.go.jp*

^{*2}*Shinjo River Office, Tohoku Regional Bureau,
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan*

^{*3}*Machida Construction Co., Ltd., Japan*

^{*4}*KTB Co., Ltd., Japan*

^{*5}*Snow and Ice Research Center,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan*

Abstract

Route 112, Gassan highway of national road, passes through the foot of Mt. Gassan which is one of the extremely deep snow areas of Japan. This road closed at the Gassan interchange due to the avalanche accident occurred on Feb. 27, 2011, but fortunately no car was deposited. In the winter of 2010/11, it was cold and snowfall was heavy compared to the normal winter. This report summarizes observation results of the avalanche accident and countermeasures to reduce avalanche danger on slopes. In order to judge the avalanche safety for the surrounding slopes, snow pit data, snow depth distribution obtained by airborne laser profiler, and time series of image data of snow distribution taken in the previous winter were utilized.

Key words : Field survey of avalanche, Avalanche defense, National road Route 112

1. はじめに

2011年2月27日13:50ごろ、山形県西村山郡西川町月山沢の国道112号沿いの斜面から全層雪崩が発生し、同国道にデブリが堆積した。幸い、通行中の車両はなかったが、全面通行止めとなった（山形新聞社、2011）。雪崩の発生要因を解明するために、翌日、雪崩の現地調査および雪

崩斜面の積雪断面観測を行った。また、雪崩発生直前の2月23日に同地域の航空レーザープロファイラー計測が行われていたので、雪崩斜面とその周辺の詳細な積雪深分布データが得られた。その後、本格的な融雪期に入り、隣接する斜面においても雪崩発生の危険性が高まったことから、斜面積雪の調査を実施し、その安定性を評価した。

^{*1} 独立行政法人 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 新庄支所

^{*2} 国土交通省 東北地方整備局 新庄河川事務所

^{*3} 町田建設株式会社

^{*4} 株式会社 ケーティービー

^{*5} 独立行政法人 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

このとき、前年における同斜面の融雪状況の写真を参考にした。今回は特に、3月11日に発生した東日本大震災の復旧・復興のために、太平洋側と日本海側を結ぶ本幹線道路の早急な開通が迫られ、国土交通省東北地方整備局山形河川国道事務所および東日本高速道路株式会社東北支社山形管理事務所はそれぞれ連携して雪崩対策を実施し、国道112号および月山インターチェンジを含む高速道路の安全確保に努めた。そこで、今後の参考資料とするため、上記の一連の経過をここに報告する。

2. 国道112号の雪崩災害

2.1 雪崩の特徴

この雪崩は道路脇の防護柵を乗り越え、国道に幅約20m、長さ約30m、高さ最大約5mの規模で堆積した(図1, 2)。したがって、道路上のデブリの体積は約3,000 m³となる。後述の調査で判明したように、日本雪氷学会(1998)の分類による雪崩の種類は面発生湿雪全層雪崩であった。山形河川国道事務所によると、本斜面においては例年、小規模の表層雪崩が発生したことはあっても、このような大規模な全層雪崩が発生したことは1981年の道路運用開始以来なかったということである。



図1 雪崩全景(撮影:2月27日,山形放送)
Fig. 1 A whole view of the avalanche (Feb. 27, 2011 by Yamagata Broadcasting Co., Ltd.).



図2 雪崩発生区(撮影:3月2日,阿部孝幸)
Fig. 2 Release zone of the avalanche (Mar. 2, 2011 by Takayuki Abe).

2.2 現地調査および積雪断面観測

雪崩発生翌日、2月28日に発生区の地形、植生を調査するとともに積雪断面観測を行った。雪崩は標高590mから発生し、斜面長で約300m流下し、標高440mの道路を埋めて停止した(図3)。発生区は地面がほとんど露出し、疎らに生えた高さ約2mの灌木が立ち上がった状態になっていた(図4)。雪崩発生斜面の一部には積雪が残っていた(図4左側)。また、発生区の稜線には雪底が残っており、頂部の傾斜角は約45度で、下流ほど緩くなっていた。図3中A、B地点の斜面頂部および中腹で行った積雪断面観測によれば、全層平均密度は頂部、中腹とも約400 kg m⁻³と高く、雪温は0℃、すなわちぬれ雪になっており、一部にしまり雪が残っているものの、ほとんどがざらめ雪に変質していた(図5, 6)。ざらめ雪層の割合は頂部より中腹の方が多くなっていた。

以上のことから、雪崩の種類は面発生湿雪全層雪崩と判定した。なお、図3中A地点は、ちょうど雪崩発生区の上破断面である(図6左)。同B地点では斜面積雪のグライドやクリープにより縦方向のクラックができていた(図6右)。

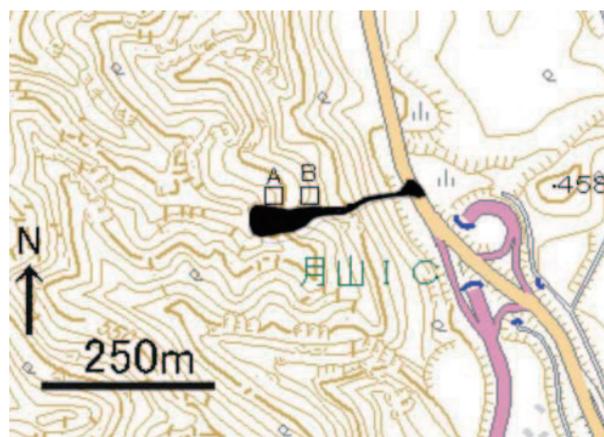


図3 雪崩位置図(A、Bは積雪断面観測地点)
Fig. 3 Location of the avalanche (A and B indicate observation points of snow layer structure).



図4 雪崩発生区(右側灌木が露出している部分)
Fig. 4 Release zone of the avalanche (the part where bushes appear on the right side).

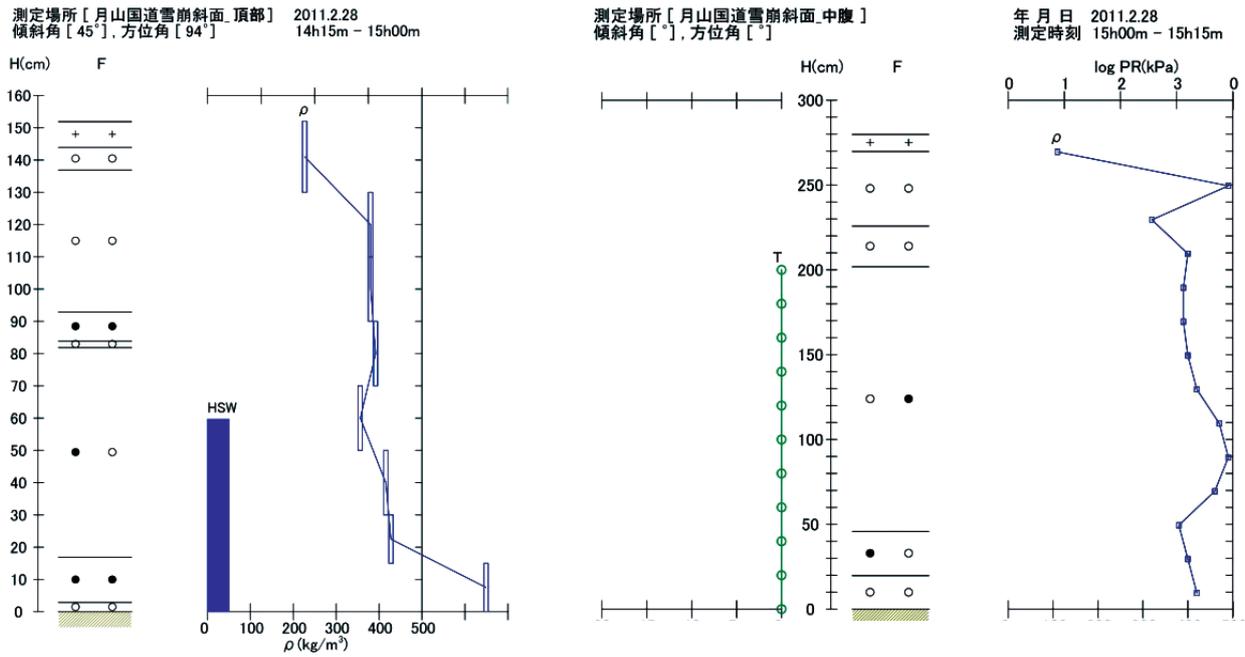


図 5 雪崩斜面頂部(左)と中腹(右)での積雪断面観測結果(左右の縦軸スケールが異なることに注意)。頂部より中腹の方がざらめ雪(○印)の割合が多くなっている。F: 雪質, ρ : 密度, T: 雪温, HSW: 積雪相当水量

Fig. 5 Profiles obtained by snow pit observation at the top (left) and middle (right) of the slope where the avalanche occurred (each vertical axis has different scale). Ratio of total thickness of snow layers classified as melt forms (○) at the top is larger than that at the middle. F: grain shape, ρ : density, T: snow temperature, HSW: water equivalent of snow.



図 6 雪崩斜面頂部の破断面(左)と中腹(右)の積雪断面写真。右の写真には斜面に対して縦方向のクラックが見える。

Fig. 6 Photographs of cross section of snow cover at crown surface of the avalanche (left) and at the middle of the slope (right). Vertical cracks appear in the cross section at the middle.

2.3 航空レーザープロファイラー計測

国土交通省東北地方整備局新庄河川事務所では、雪崩発生4日前の2011年2月23日と無雪期の2009年9月に航空レーザープロファイラーによる地形計測（計測密度：1点以上 m^2 、1mDEM、オルソ画像：地上解像度0.5m）を行っており、前者では積雪面の標高データを、後者では地表面の標高データをそれぞれ取得していた。両者の標高差をとることにより、2月23日現在の積雪深分布を求めることができる（花岡ら、2011）。なお、東日本高速道路株式会社東北支社山形管理事務所の月山インターチェンジ除雪基地での観測によれば、2月23日と27日の間の降雪深は計9cm、積雪深は-23cmで計測時と雪崩発生時に著しい差異はなかったと見られる。

図7に雪崩が発生した斜面とそれに隣接する斜面の積雪深分布をカースケールで示す。また、図8には雪面の標高データを用いて作成した、同斜面における雪崩走路に沿った縦断面図を示す。これによれば、この斜面は頂部の勾配が 50° と急になっており、中腹にやや緩勾配の区間があることがわかる。今回発生した雪崩が堆積した道路末端からの見通し角は 30° であり、高橋の経験則（高橋、1960）による全層雪崩の到達範囲である 24° より急である。したがって、雪崩は障害物がなければさらに遠方まで到達した可能性があったが、道路脇の防護柵で減勢され、除雪により凹状になった国道に堆積し停止したと考えられる。

レーザープロファイラー計測で求められた、雪崩発生

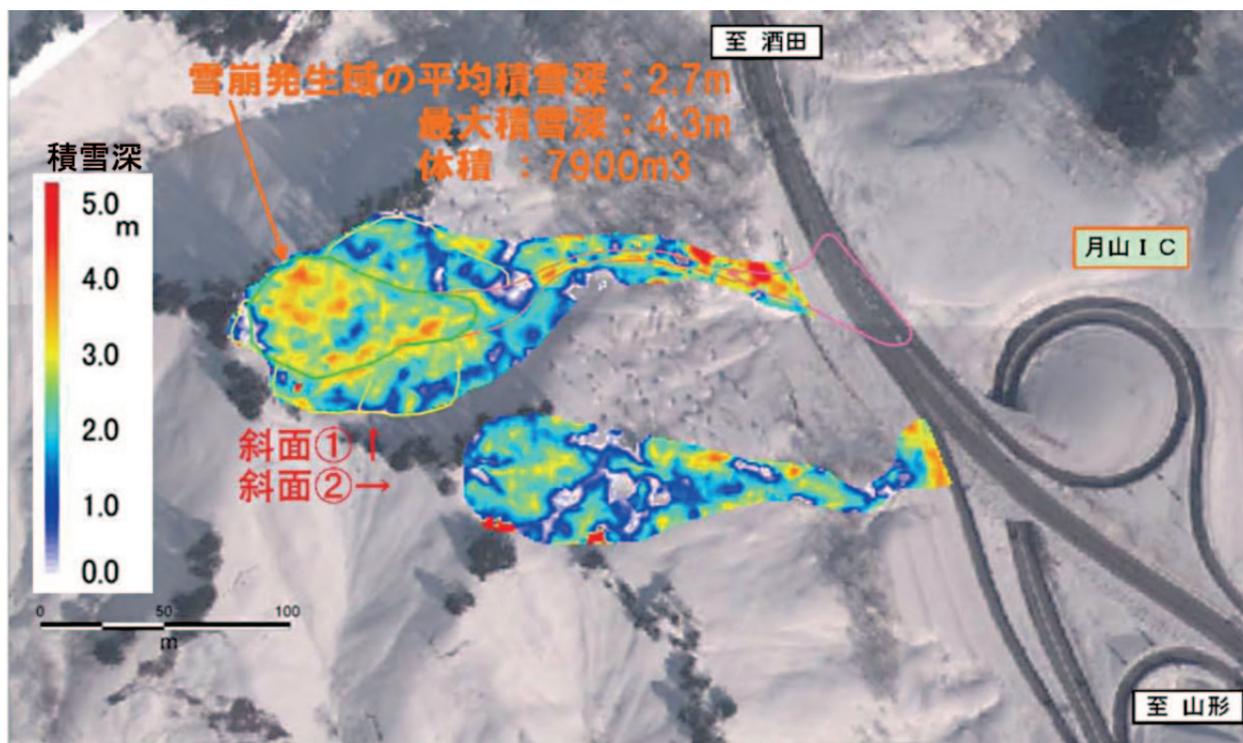


図7 2011年2月23日の積雪深分布（計測：新庄河川事務所）

Fig. 7 Horizontal distribution of snow depth on the avalanche slope ① and its neighbor slope ② on Feb. 23, 2011 (Laser profiling image obtained by Shinjo River Office).

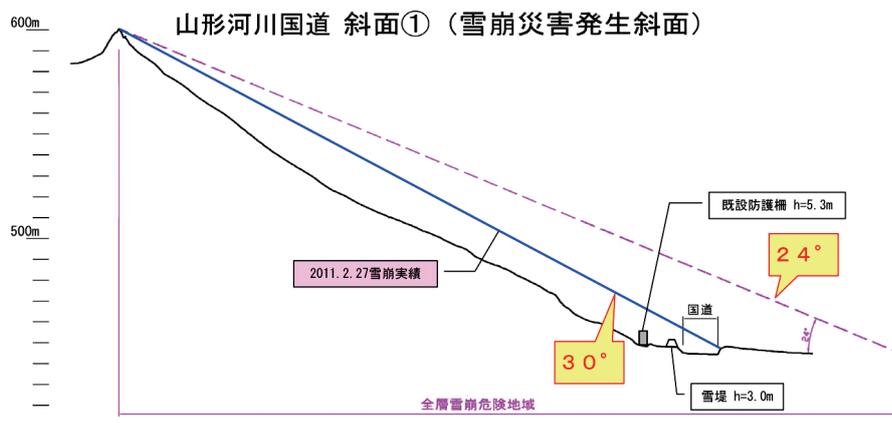


図8 雪崩発生斜面の縦断面図（計測：新庄河川事務所）

Fig. 8 Vertical section along the avalanche pass on the slope (obtained by Shinjo River Office).

区の最大および平均の積雪深はそれぞれ 4.3 m, 2.7 m であった。また、体積は約 7,900 m³ となるが、これは道路に堆積したデブリの体積の 2.6 倍である。すなわち、圧密の影響を無視できると仮定すると、崩落した積雪の 3/4 は走路途中や道路脇の防護柵の手前に堆積し、残りの 1/4 が道路に堆積したことになる。

2.4 雪崩の発生要因

(1) 気象データの推移

図 9 は雪崩発生箇所から 7.4 km 離れたところにある、アメダス観測点の大井沢における 2010 年 12 月 1 日～2011 年 3 月 31 日の気象データである。本観測点の標高は 440 m で、雪崩発生箇所の道路の標高とほぼ同じである。また、これより標高の高い雪崩発生区の気温は、気温遞減率 (0.6 °C / 100 m) を考慮すると、大井沢より約 1 °C 低いと推定される。同図によれば、最深積雪 (毎正時の積雪深の日最大値) は、296 cm を記録した 2011 年 2 月 1 日以降減少している。すなわち、最高気温が 0 °C 以上になり融雪が始まったことにより、雪面からしだいにざらめ化が進んでいたことになる。その後、最高気温は一旦は 0 °C 付近まで低下するものの、2 月 16 日から再び + になり、2 月 25 日には 28 mm の降雨があったことなどから、雪崩発生日には積雪層の大半がざらめ雪に変質していたと考えられる。上述したように、2 月 28 日の断面観測では積雪層のほとんどがざらめ雪であったことが確認されている。なお、2010/11 年冬期における大井沢の最大積雪深は 302 cm (起日 2011 年 3 月 17 日) で、この値は 1980 年以降の 31 年間の統計で 6 番目に多かった。

(2) 斜面積雪の堆積状況

上述したように、積雪断面観測を実施した斜面頂部の積雪深は 1.52 m であったが、レーザープロファイラー計測によれば、発生区の平均積雪深は 2.7 m とかなり多かった。山形河川国道事務所によれば、この場所では時々表層雪崩は発生したことはあるが、このような大規模な全層雪崩が発生したのは初めてとのことである。図 10 は雪崩発生の 25 日前の 2011 年 2 月 2 日に撮影された雪崩斜面を含む周辺の斜面の雪面状況である。この日は快晴で日射が斜めから当たり、雪面の凹凸がはっきりと見えている。これによれば、稜線の風下側の一部に雪庇 (矢印) が見られ、特に風上側に樹木等の障害物が無い場所に大きく発達していることがわかる。また、雪崩発生斜面の中腹に小さなコブ (○印) が見られることから、すでにグライドが始まっていたものと推定される。しかし、斜面上部には明瞭なクラックはまだ生じていない。したがって、この段階では積雪はざらめ化が始まっておらず、斜面上の灌木により支持されており、雪崩発生には至らなかったものと推定される。なお、後述するように、前年の冬の同時期の写真では、すでに大きくグライドし、上部は地面が露出していたことが判明している。

(3) 雪質との関連性

望月ら (2011) の報告にあるように、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所 (標高 127 m) における積雪断面観測によれば、2010/11 年冬期は年始から寒冷下で連続的な降雪があったために厚いしまり雪層が形成されていた。したがって、標高が高くしかも日本有数の豪

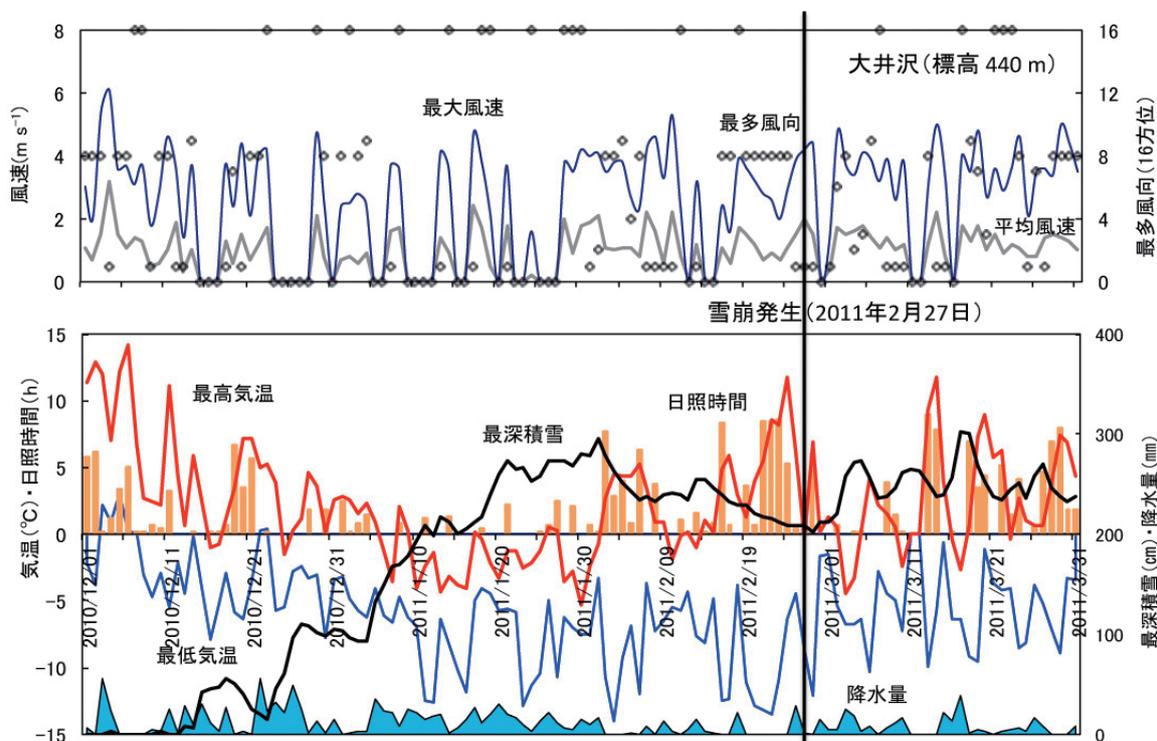


図 9 アメダス観測点大井沢における気象データの推移
Fig. 9 Variations of meteorological data at the Oisawa AMeDAS station.

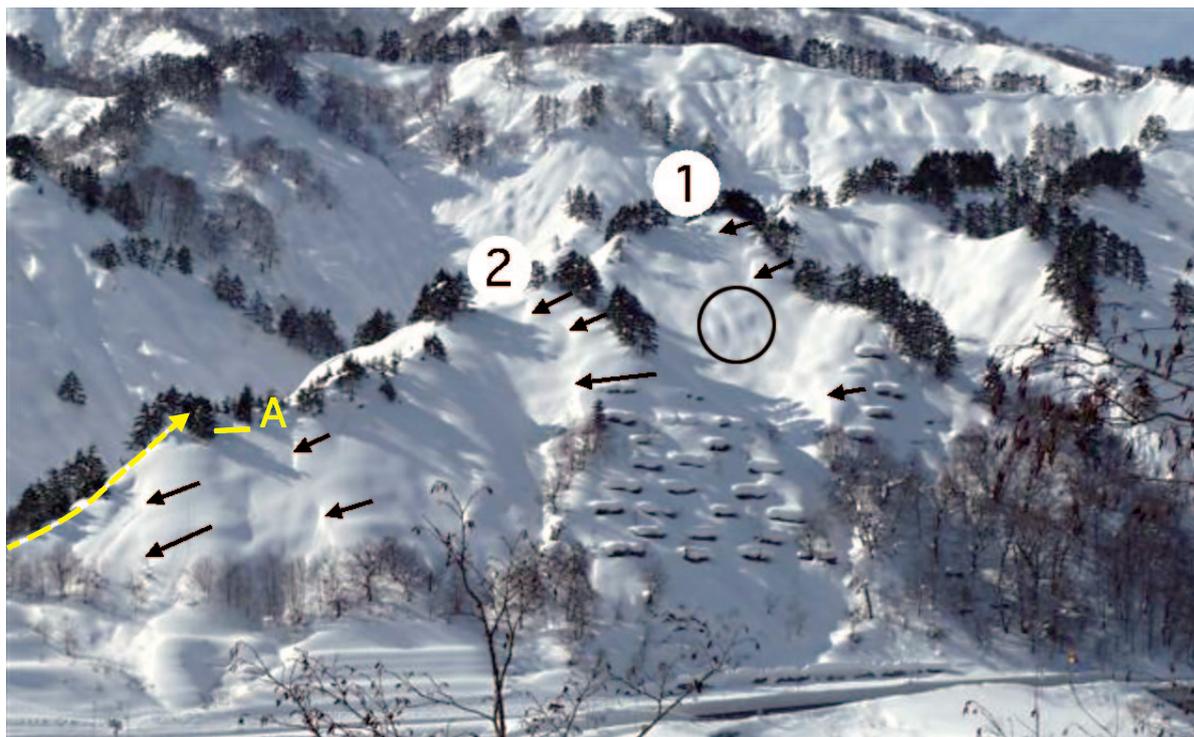


図10 2011年2月2日における斜面積雪の堆積状況(撮影：阿部孝幸)．①は雪崩発生斜面，②は雪崩の発生が懸念された代表斜面．矢印は雪庇，○印はコブを表す．Aは3月2日の調査でクラックが観測された場所
 Fig. 10 Accumulation pattern of snow cover on slopes (by Takayuki Abe). ①: the avalanche slope, ②: its neighboring slope where another avalanche might occur. Arrow: snow cornice, ○: snow lump produced by snow gliding, A: observation point of cracks on Mar. 2, 2011.

雪地帯を通る国道112号沿線ではさらに厚いしまり雪層が形成されていたと推定される。図11は、大井沢の気象データに基づいて、同斜面の雪質変化を積雪変質モデルSNOWPACK(平島ら, 2008)で算出したものである。これによれば、1月から2月中旬にかけて厚いしまり雪層が形成され、その後雪崩発生直前になって急速にざらめ化が進んだことがわかる。厚いしまり雪が形成される過程で表層雪崩が発生しなかったのは、降雪が続いた1月中の最高気温が0℃未満の真冬日となっており(図9参照)、弱層が形成されなかったためと考えられる。上述したように、2010/11年冬期における大井沢の最大積雪深は、過去6番目で、飛び抜けて多くなかったことから判断すると、今回の雪崩発生に至った要因は積雪量そのものよりも、その変質過程にあったというべきであろう。

以上のことから、2010/11年冬期は、表層雪崩が発生することの無い強固な斜面積雪が形成され、それが暖気の到来により短い期間で積雪の大半がざらめ化したことで、全層雪崩の発生に至ったものと推察される。この理由は、1) ざらめ雪はしまり雪に比べて引張強度が著しく弱く(荘田, 1968; 中村, 1986)、ざらめ化に伴い斜面頂部の積雪がその下方にある積雪を支える引張力が低下すること、また 2) 積雪底面の剪断剥離強度が低下すること(中俣, 1980)、さらに 3) 灌木と積雪層の摩擦力が低下すること、

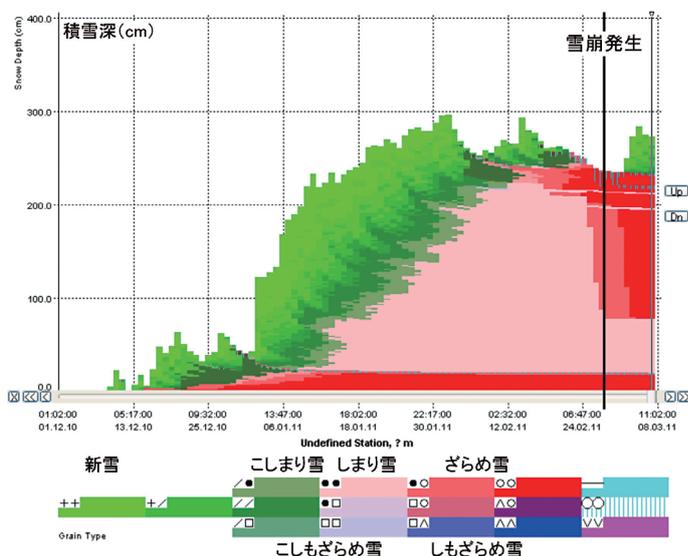


図11 大井沢の気象データを用いて積雪変質モデルにより計算した2010年12月1日から2011年3月8日までの雪崩斜面における雪質変化

Fig. 11 Variation of grain types at the avalanche slope simulated by SNOWPACK model using meteorological data of the Oisawa AMeDAS station from Dec.1, 2010 to Mar.8, 2011.



図 12 斜面頂部付近に観測されたクラック(左：地面まで達しているクラック，場所は図 10 中の A 地点，右：斜面途中に見られた新雪に隠された小クラック)
 Fig. 12 Cracks reached the ground at point A shown in Fig. 10 around the top of slope (left) and small cracks covered by fresh snow at the middle (right).

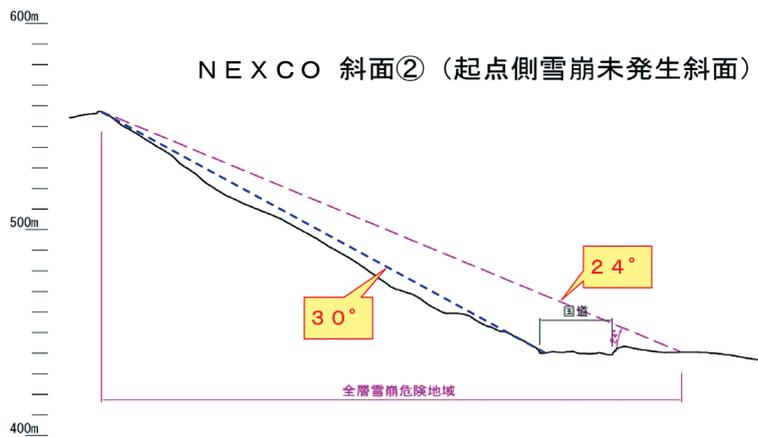


図 13 斜面②の縦断図(計測：新庄河川事務所)
 Fig. 13 Vertical section along the slope ②(obtained by Shinjo River Office).

が挙げられ、これらにより斜面積雪全体の支持力が低下するためである。なお、上石ら(2007)は積雪底面の剪断剥離強度が含水率の増加によっても減少することを明らかにしているが、雪崩発生翌日の断面観測からも積雪底面はぬれざらめ雪になっていたことが確認されている。

3. 周辺の斜面積雪の安定性評価

今回の雪崩の発生要因が、2月に入ってから最高気温が0℃以上になり雪面からざらめ化が進行したことにより、斜面積雪の支持力が低下し発生に至ったと推測したことは上で述べた。その後、3月の本格的な融雪期に入ると、支持力はさらに低下することが想定され、周辺の斜面の中で最も規模の大きな斜面②からの全層雪崩の発生が懸念された。そこで3月2日、斜面東側のルート(図10左側の点線)から斜面②への登攀を試みたが、途中多数のク

ラック(図12)が観測されたので、一帯の斜面積雪が不安定になっていると判断し、断念した。

2月23日のレーザープロファイラー計測によると、この斜面の頂部付近の傾斜角は33°と斜面①に比べて緩く、割合平滑な形状となっている(図13)。また、国道を基準にした斜面規模で見ると、斜面①の比高差155mに比べて、斜面②のそれは117mと小規模である。また、図7の積雪深分布からは、斜面①の平均積雪深2.7mに比べ、斜面②では1.6mとかなり少ないことが判明した。しかし、見通し角24°で斜面頂部から全層雪崩が発生すれば、高速道路のランプおよび国道に到達する恐れがあり、後述するように、万一の発生に備えて土嚢を設置した。

一般に地形と積雪状況から雪崩の発生危険度を判断することが行われている。例えば、全層雪崩を対象とした場合、逆三角形(すり鉢状)になっている地形では、斜面

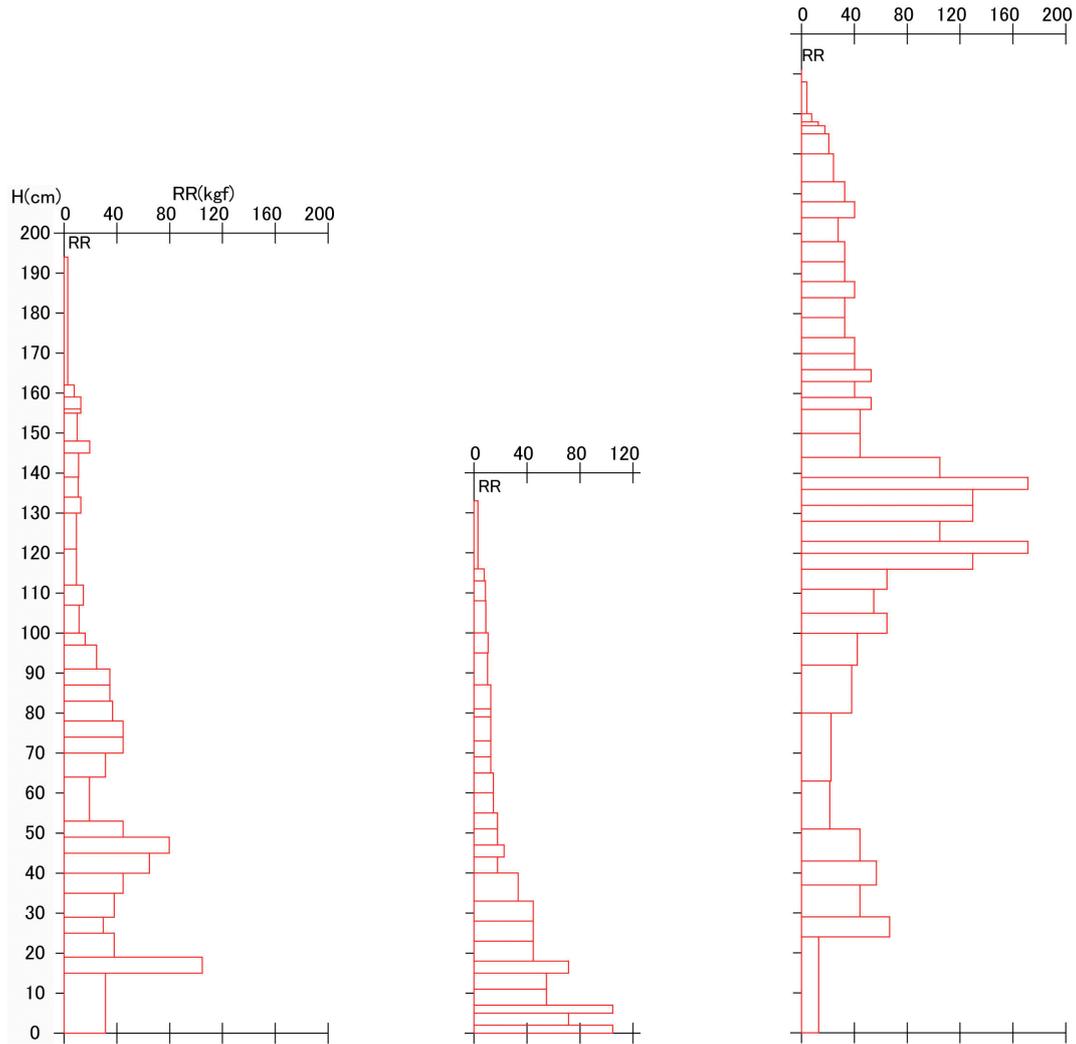


図14 異なる地点におけるラム硬度(RR)(左:平地, 中:中腹, 右:谷底部)
 Fig. 14 Ram hardness observed at the plane (left), middle (middle) and bottom (right) of the slope.

積雪がグライドにより底部で収斂し割合安定していることが知られている(町田, 2007)。これを確認するために、2011年4月22日、斜面②において谷中腹と底部およびその下の平地でラム硬度を測定した(図14)。ラム硬度は雪面から積雪層の硬度、いいかえれば強度を容易に測定することが出来る。これによれば、谷底部では平地、中腹に比べて積雪が深くラム硬度も大きくなっていることがわかる。このことから、谷底部の深くしかも強度の大きな積雪の存在は、それより上方の積雪を支える条件を備えており、全層雪崩の発生を抑える作用があるといえる。ただし、この仮定は積雪底部における摩擦係数によって変わると考えられ(中俣, 1962)、これについては今後の研究課題である。

図15は、前年の2009/10年冬期における同斜面の融雪状況の推移を捉えたものである(撮影者:阿部孝幸)。これによれば、斜面①、②共に積雪は、融雪末期(図15.4, 15.5)においても崩落することなく逆三角形の形状を保ったまま残っていることがわかる。なお、2009/10年冬期の

斜面①で雪崩が発生しなかったのは、図15.1からわかるように、2010年2月11日には斜面上部の地面が露出していることから、斜面積雪がグライドによりずり落ちてすでに安定した状態になっていたためである。前述したように、2010/11年冬期は、寒冷と多雪により大量の積雪が斜面に取り付いており、不安定要素を残したまま融雪期を迎え、雪崩の発生に至ったものと考えられる。

4. 雪崩安全対策

今回の雪崩発生後の安全対策では、数回にわたる現地調査、雪崩発生直前の航空レーザープロファイラー計測による積雪深分布、および昨冬と同斜面の一連の積雪状況の推移に基づいて、筆者ら雪崩専門家を含めた検討会が開催され、道路管理者である国土交通省東北地方整備局山形河川国道事務所および東日本高速道路株式会社東北支社山形管理事務所においては次のような措置がとられた。



図 15.1 斜面積雪の堆積状況（撮影：2010 年 2 月 11 日，阿部孝幸）
Fig. 15.1 Accumulation pattern of snow cover on the slopes (Feb. 11, 2010 by Takayuki Abe).



図 15.2 斜面積雪の堆積状況（撮影：2010 年 2 月 24 日，阿部孝幸）
Fig. 15.2 Accumulation pattern of snow cover on the slopes (Feb. 24, 2010 by Takayuki Abe).



図 15.3 斜面積雪の堆積状況（撮影：2010 年 3 月 9 日，阿部孝幸）
Fig. 15.3 Accumulation pattern of snow cover on the slopes (Mar. 9, 2010 by Takayuki Abe).



図 15.4 斜面積雪の堆積状況 (撮影：2010年4月2日，阿部孝幸)
Fig. 15.4 Accumulation pattern of snow cover on the slopes (Apr. 2, 2010 by Takayuki Abe).



図 15.5 斜面積雪の堆積状況 (撮影：2010年4月19日，阿部孝幸)
Fig. 15.5 Accumulation pattern of snow cover on the slopes (Apr. 19, 2010 by Takayuki Abe).



図 15.6 斜面積雪の堆積状況 (撮影：2010年5月4日，阿部孝幸)
Fig. 15.6 Accumulation pattern of snow cover on the slopes (May 4, 2010 by Takayuki Abe).

4.1 雪崩発生斜面の安全性確保

2月27日の雪崩発生により全面通行止めとなったが、直ちに埋没車を確認しつつ除雪が行われ、当日17:30に終了した。雪崩が発生した斜面には一部積雪が残っていたが(図4左側)、傾斜が緩くはぼ安定していると判断された。ただし、発生区の上部にはまだ雪庇が残っており、これがブロック状に崩落する危険性が考えられた。しかし、雪崩発生後の斜面にはそれまで倒伏していた灌木が立ち上がっており(図4参照)、たとえ雪庇が崩落してもその灌木で勢いが低下し、道路まで到達することは無いと判断された。そこで、2月28日から3月5日にかけて高さ3mの雪堤を設置した(図8参照)。雪堤は、現地の積雪自体を用いるので応急措置としてよく用いられる工法である(町田, 2007; 石井ら: 2010)。なお、雪堤の上流側は除雪し、上から雪庇が崩落した場合の堆積容量を確保した。また、3月2日に雪崩監視センサーおよび警報装置を設置し、あらかじめ雪庇の崩落を察知できるようにした。

4.2 隣接斜面の安全性確保

隣接斜面の雪崩発生が懸念され、発生した場合には道路まで到達することが想定されたので、3月3日より高速道路月山ICのランプ部に1,200袋の土嚢による誘導堤を設置し、3月5日完了した。これを受けて、3月6日8:00国道112号を開放した。ただし、常時監視が不可能となる19:00から翌朝6:00までの夜間は通行止めとした。その後、3月17日、18日の現地調査により斜面積雪が安定化したという判断から、3月22日に夜間通行止めを解除した。一方、高速道路においては、同日土嚢の一部撤去を開始し、3月26日に西川～月山間の下り車線の通行止めを解除した。ただし、この時点での積雪深が270cmと斜面に多量に残っていたことから、安全を最優先し斜面側のランプは閉鎖を継続した。その後、融雪が進行したことにより、4月26日に全ての土嚢を撤去し、約2か月間にわたる交通規制を全て終了した。

5. まとめ

2011年2月27日全層雪崩が発生し、国道112号(通称月山道路)が全面通行止めとなった。筆者らは、直ちに雪崩現地調査と積雪断面観測を実施した。また、雪崩発生直前のレーザープロファイラー計測による積雪深分布データが得られていたので、雪崩発生斜面およびそれに隣接する斜面の積雪状況を把握するとともに、詳しい斜面形状が判明したことにより、雪崩の到達地点を推定した。さらに同斜面の昨年における積雪状況の連続写真により、今冬と比較しつつ、融雪期における斜面積雪の安定性について判断を下した。このように、今回は多様なデータに基づいて斜面安定性を判断することにより、より確実な雪崩対策を施すことが可能となったのである。

謝辞

本調査は国土交通省東北地方整備局 山形河川国道事務所および東日本高速道路株式会社 東北支社山形管理事務所の依頼によるものである。ここに記した雪崩安全対策は両機関の資料に基づくものである。気象データについては気象庁のアメダス観測点大井沢のものを利用した。データ整理は益子沙織さんによるものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 花岡正明・阿部 剛・菅原誠人・阿部 修・根本征樹・小川紀一郎・藤井紀綱・白杵伸浩・佐野寿聡・柏原佳明(2011): 雪崩発生直前の航空レーザープロファイラ計測データを用いた雪崩斜面解析－国道112号月山IC付近の雪崩災害事例. 砂防学会研究発表会概要集, 214-215.
- 2) 平島寛行・上石 勲・阿部 修・岩本勉之・本吉弘岐・佐藤篤司・Michael Lehning(2008): モデルを用いた雪崩発生危険度のリアルタイム予測. 寒地技術論文・報告集, 24, 158-161.
- 3) 石井靖雄・花岡正明・伊藤陽一・富樫香流・中野剛士・松澤 勝・中村 浩・松下拓樹・坂瀬 修(2010): 豪雪時における雪崩斜面の点検と応急対策事例. 土木研究所資料, 4167, 108pp.
- 4) 上石 勲・平島寛行・山口 悟・佐藤篤司・町田 敬(2007): 崩壊斜面ならびに法面における雪崩発生状況と予測手法の検討. 寒地技術論文・報告集, 23, 181-185.
- 5) 町田 誠(2007): 雪崩危険斜面の判定・雪崩管理の実態. 雪崩対策の基礎技術, 東京, 社団法人日本雪氷学会, 45-54.
- 6) 望月重人・阿部 修・佐藤 威・根本征樹・小杉健二(2011): 平成23年の豪雪における新庄の積雪について. 防災科学技術研究所主要災害調査, No.47, 53-56.
- 7) 中俣三郎(1962): 斜面雪圧 - 群杭の雪崩防止効果 -. 鉄道技術研究報告, 322, 1-56.
- 8) 中俣三郎(1980): 雪崩予知の研究. 新潟大学積雪地域災害研究センター研究報告, 2, 81-98.
- 9) 中村 勉(1986): 雪崩とその災害対策. 雪氷防災, 東京, 白亜書房, 403-448.
- 10) 日本雪氷学会(1998): 日本雪氷学会雪崩分類. 雪氷, 60, 5, 437-444.
- 11) 荘田幹夫(1968): 雪の力学的性質. 防雪工学ハンドブック, 東京, 日本建設機械化協会, 12-25.
- 12) 高橋喜平(1960): 雪崩に関するシンポジウム講演と討論[2]雪崩の被害. 雪氷, 22, 1, 7-9.
- 13) 山形新聞社(2011): 山形新聞. 2011年2月28日朝刊. (2011年9月30日原稿受付, 2011年11月8日改稿受付, 2011年11月8日原稿受理)

要 旨

国道112号は、我が国有数の豪雪地帯である月山の麓を通過する幹線道路である。この道路が2011年2月27日、月山インターチェンジにおいて発生した雪崩により通行止めとなった。幸い、埋没した車は無かった。2010/11年冬期は平年より寒冷で大雪であった。今回は、雪崩の安全性を判定するために、積雪断面観測結果、航空レーザープロファイラー計測による積雪深分布および前年における同斜面の融雪状況の写真を参考にすることができた。本報告は、雪崩の調査結果と雪崩危険度の軽減対策について述べたものである。

キーワード：雪崩調査，雪崩対策，国道112号