

国道48号関山峠で多発した雪崩の調査と斜面積雪の安定性評価

阿部 修*・中村一樹*・佐藤研吾*・小杉健二*

Observation of Frequent Avalanches in Sekiyama Pass along Route 48 and Assessment of Snowpack Stability on the Valley Slopes

Osamu ABE, Kazuki NAKAMURA, Kengo SATO, and Kenji KOSUGI

** Shinjo Cryospheric Environment Laboratory, Snow and Ice Research Center,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
oabe@bosai.go.jp*

Abstract

This report summarized observation results for frequently occurring avalanches in a mountain pass and assessed the stability of the snowpack on the slopes. A total of 19 avalanches occurred along Route 48 in the Sekiyama Pass on February 15-17, 2014. During this period, an extratropical cyclone followed by an upper-level cut-off low moved slowly across southern Japan. We started snow pit observations in the Sekiyama Pass three hours after the first occurrence of avalanches, and monitored snowpack stability on the valley slopes until February 24. The snow pit observations confirmed that an extremely weak layer consisting of non-rimed snow crystals was present on the first day, and that the strength of the weak layer increased by a factor of five after three days. In addition, snowpack on the slopes was relatively stable by the last day (February 24).

Keywords: Avalanche, Snowpack stability, Weak layer

1. はじめに

2014年2月中旬、背後に寒冷渦を伴った低気圧が日本列島の南岸をゆっくり通過したことにより、関東甲信地方では記録的な大雪となり(気象庁, 2014)、山梨県内の急斜面ではおびただしい数の雪崩が発生した(上石ら, 2014)。このとき、東北地方の岩手県、宮城県、山形県および福島県でも多数の雪崩が発生した(和泉ら, 2014)。このうち、仙台-山形を結ぶ国道48号の関山峠では、2月15日~17日に大小19個の雪崩が発生した(阿部ら, 2014)。関山峠の雪崩による人的被害は、雪崩に押し出された車が川に転落して2名が低体温症となったが、命に別状はなかった(山形新聞社, 2014)。この地域で短期間に集中して多数の雪崩が発生することは極めて

希であり、過去に遡ると1974年2月9、10日に発生した4件の雪崩災害(和泉, 2014)以降、40年ぶりのことである。本報告では、今回の雪崩発生の第1報を受けて、直ちに現地観測を行い、その後も積雪が安定するまで観測を継続して行ったので、これらの結果の詳細をまとめて報告する。

2. 雪崩の調査

2.1 雪崩の発生状況

雪崩の発生区間と堆積箇所を図1、2に示す。雪崩の中には交通障害にならない崩落程度の小雪崩も含めたが、山形県側が2カ所、宮城県側が17カ所であった。いずれも沢地形をなしており、斜面方位は西-南西であった。後述するように、雪崩の発生

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 新庄雪氷環境実験所



図1 関山峠における雪崩発生区間。×印は最大の雪崩が発生した場所

Fig. 1 Section of avalanche occurrences in Sekiyama Pass. "×" indicates the site of the largest avalanche.

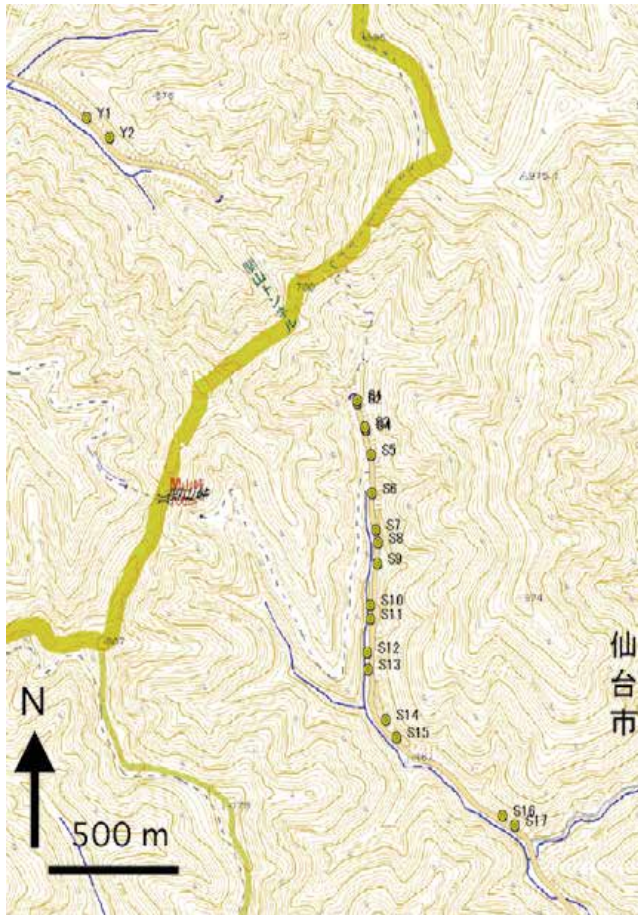


図2 国道48号における雪崩堆積箇所(◎印)

Fig. 2 Avalanche-transported debris observed along Route 48.

区は特定できなかったが、稜線の標高は約850 m、最大傾斜角は約45度であった。最初の発生は2014年2月15日9:55、最後は同17日8:00頃でほぼ2日間にわたり発生した。山形新聞社(2014年2月

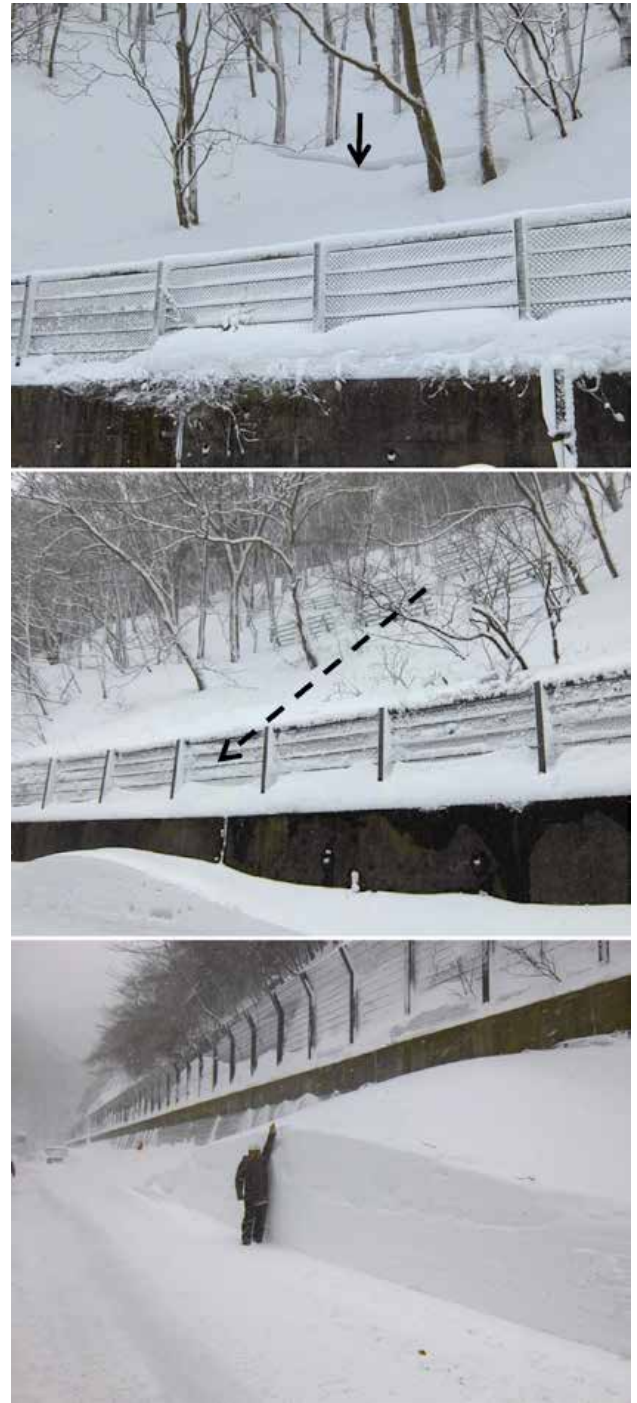


図3 小雪崩の破断面(上, S10), 予防柵(落石防護柵)をすり抜けた雪崩(中, S13), 除雪後の雪崩デブリ(下, S5)(撮影は全て2月15日)

Fig. 3 Crown surface of a small avalanche (top, S10), avalanche through supporting structures (center, S13), and avalanche-transported debris removed by a snow removal machine (bottom, S5). (All pictures were taken on February 15, 2014).

20 日) によれば、概略の発生時刻が判明しているのは、2 月 15 日 9:55 ～ 16:10 に 4 件、同 16 日 12:30 ～ 13:30 に 2 件および同 17 日 8:00 に 1 件である。



図 4 最大規模の雪崩 S9 のデブリ (2 月 15 日、図 5 の○印)

Fig. 4 Debris transported by the largest avalanche, S9 (February 15, site ○ in Fig. 5).

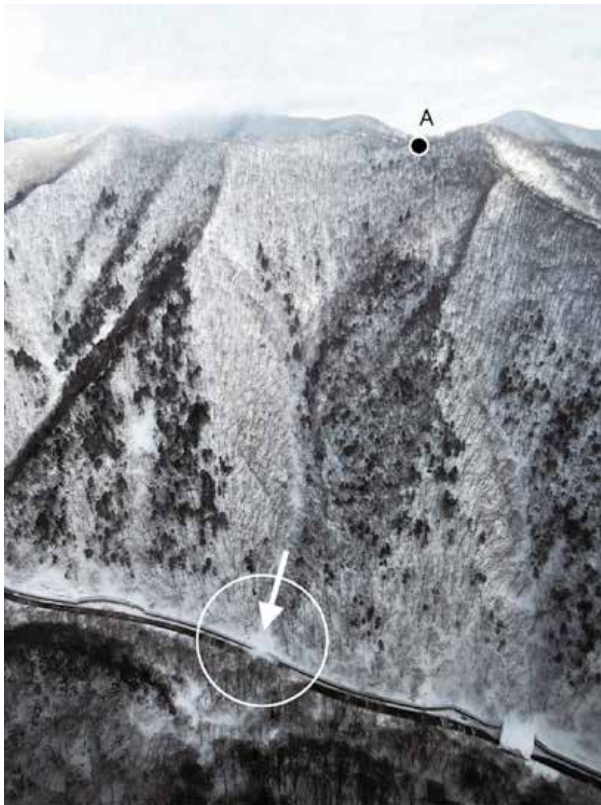


図 5 同雪崩斜面の空中写真 (2 月 19 日)

Fig. 5 Aerial photograph of the slope on which the largest avalanche, S9, occurred (February 19, 2014).

図 3 上 (図 2 の S10, 以降同様に表記) は、道路から撮影した小雪崩の破断面であるが、他の雪崩も同様に表層の積雪のみが崩落したものと推察される。また、これらの雪崩は、北海道で報告された予防柵 (落石防護柵) をすり抜ける雪崩であった (竹内ら, 2005 ; 図 3 中, S13)。このことは当時の崩落した表層部分の雪粒子同士の結合力が極めて弱かったことを意味する。図 4、5 は最大の雪崩 (S9) のデブリとその斜面で、道路側に堆積したデブリは約 $3,000 \text{ m}^3$ と見積もられた。この雪崩は道路脇の防護柵を乗り越え、国道に幅約 20 m、長さ約 30 m、高さ最大約 5 m の規模で堆積した。2 月 18 日に実施した S9 雪崩斜面の現地調査では、表層の新雪が跡形もなく無くなっており、破断面は確認できなかったが、発生区一帯が十分生育した広葉樹林となっていることが確認された。また、2 月 19 日のヘリコプターからの観察では雪崩で折れた樹木は見られなかった (図 5)。

2.2 気象状況

図 6 は現地から約 10 km 離れたところにある新川アメダス (標高 265 m, 図 1 参照) における雪崩発生前後 7 日間の気象変化である。積雪深が増加したのは 2 月 14 日 22:00 (同図 *1) からで、最初の雪崩が発生した翌日 10:00 までの時間降雪水量は平均 1.5 mm であった。なお、この時間帯に入る前には無風状態があり、その直後に風向風速が欠測となっているが、強い降雪時には風速 5 m/s 前後の強い東風が吹いていることに注目する必要がある (同図 *2)。それが 15 日 15:00 には北東風となり、その後北から西北西の季節風へと転換している。すなわち、雪崩斜面の方位からわかるように、強い降雪時の稜線付近では雪底や吹き溜まりができやすい条件下にあったことがわかる。なお、17 日 8:00 頃に発生した最後の雪崩は季節風に変わってから発生したものであるが、これは季節風により生じた吹き溜まりが要因となっているものと考えられる。中村ら (2014) は、山形県新庄市において、雪が降り始めた 2 月 14 日の 23:00 頃に雲粒の付着がない降雪結晶を観測している。気象総観場における今回の大雪と雪崩との関連についての考察は中村ら (2014) 等を参照されたい。その後は降雪はあったものの、大雪にはならず、また斜面が南向きだったので、日射による斜面積雪の昇温により安定化に向かった。

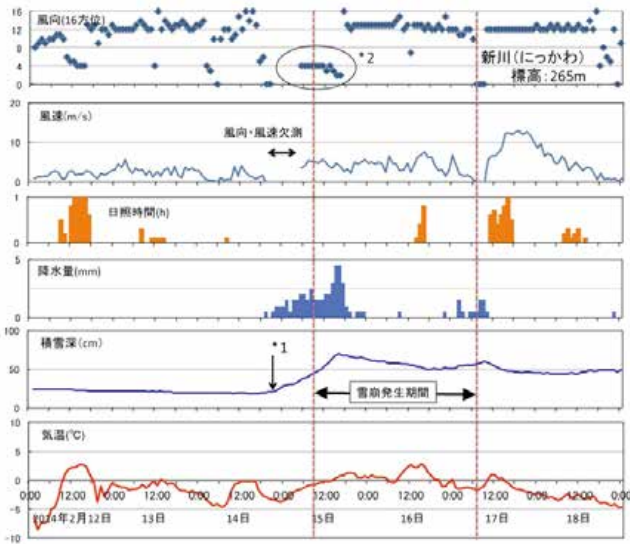


図 6 新川アメダスの気象変化

Fig. 6 Hourly measurements of meteorological conditions at Nikkawa meteorological station.

2.3 積雪断面観測

雪崩発生初日のトンネル県境から約 7 km 西側、標高 280 m の地点にある関山除雪ステーション (図 1 参照) における断面観測結果を図 7 に示す。高さ 84 cm のところに明瞭な弱層が確認された。詳細に見ると、厚さ約 2 cm の弱層が 2 層あり (図 8)、このうち特に下の弱層の強度が小さく、コンプレッションテストでは手首から先で 1 回たたいただけで破壊

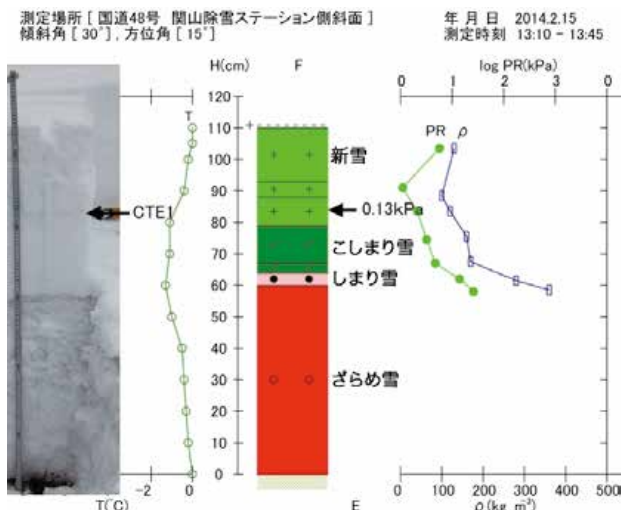


図 7 2 月 15 日の積雪断面観測結果。写真中の矢印はコンプレッションテストで破壊した弱層の位置を表す。

Fig. 7 Results of snow pit observations at Sekiyama station on February 15, 2014. Arrows indicate the weak layer that was broken during the compression test.



図 8 弱層の詳細断面 (スケールは地面からの高さ)

Fig. 8 Thin section of snow layers including the weak layer.

した (CTE1)。なお、コンプレッションテストは物理的な指標ではないが、シャベルと鋸だけで弱層の位置や相対的な強度を判定するという利便性がある (池田, 2010)。シアーフレームで 3 回測定した剪断強度 SFI の平均は 0.13 kPa と極めて小さかった。この上載荷重 W は 0.263 kPa であったが、2.1 で述べた傾斜角 θ が最大の 45° の斜面でもこれと同様の上載荷重だとすると、その積雪安定度 SI は $1.0 (=SFI/(W \sin \theta \cos \theta))$ となり、極めて不安定な状態にあったことになる。2 月 16 日からは雪崩発生斜面と同じ方位にある関山トンネル宮城県側出口付近の S1 に隣接する安全な斜面において、上の弱層を継続して観測した。図 9, 10 は、2 月 16 日に実施した断面観測結果とコンプレッションテスト後の断面であるが、2 日目でも明瞭な弱層が確認できた。ただし、このときには前日の 2 層の弱層のうち上層が破壊 (CTE2) した。

図 11 は、2 月 16 日における最大雪崩 S9 のデブリの表面付近の深さ 1 m までの断面写真である。雪崩がブロック状に崩落したことを示す隙間が見える。雪温は深いほど低く、深さ 1 m で -2.9°C 、0.05 m で -0.7°C で、全て乾雪であった。また、密度は $181 \sim 266 \text{ kg m}^{-3}$ で、同一日の自然積雪の密度 (図 9 参照) より少し高かった。なお、2 月 15 日に測定した小雪崩のデブリ (図 3 下, S5) の道路面から 2 m (デブリの高さは 2.5 m) までの密度は $230 \sim 310 \text{ kg m}^{-3}$ と高かったが、この理由は完全に破碎された積雪が隙間なく堆積したためである。

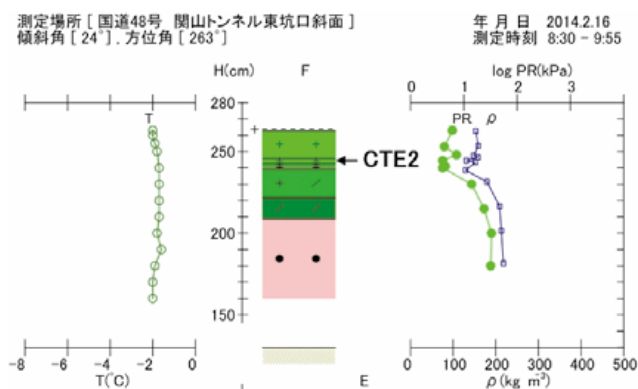


図 9 2 月 16 日の積雪断面観測結果. 図中の矢印はコンプレッションテストで破壊した弱層の位置を表す.

Fig. 9 Results of snow pit observations conducted on February 16, 2014. The arrow indicates the weak layer observed during the compression test.



図 10 コンプレッションテストで検出された弱層

Fig. 10 Weak layer detected by the compression test.



図 11 最大の雪崩 S9 のデブリ表面付近の断面写真

Fig. 11 Photograph of a section of surface debris transported by the largest avalanche, S9.

2.4 雪崩斜面の積雪・植生状況

上述したように、2 月 18 日には S9 雪崩斜面に登坂し、発生区と想定される領域の破断面の確認を試みたが、すでに表層の新雪部分は失われていて、硬いクラスト状のざらめ雪が残っているだけで確認できなかった(図 12)。また、尾根の稜線付近の西側(東風にとって風下側)にも吹き溜まりは確認できなかった(図 5A)。これは、雪崩発生後の強い季節風で削剥された可能性もある。植生は、通常であれば雪崩が発生しないような広葉樹が密集して自生していた。なお、地面には笹が生い茂っていた(図 12)。



図 12 発生区と想定される斜面の積雪・植生状況

Fig. 12 Snow and vegetation conditions on the upper part of the avalanche slope.

3. 斜面積雪の安定性評価

道路の開通に向けて、積雪安定度を追跡するために、その後も継続して安定度の観測を行った。その結果を表 1 に示す。2 月 18 日には CTE7 で、剪断強度 SFI は初日の約 5 倍の 0.78 kPa となっていた。なお、このときの上載荷重 W は 0.48 kPa で、2.3 で求めた方法と同様に、傾斜角 θ が 45° における積雪安定度 SI を求めると、それは 3.3 となり発生日の 3 倍以上となっていた。さらに、2 月 24 日には CTM11 となり、その後の強い降雪もなかったことから、この一帯の斜面積雪は安定したものと判断した。なお、表 1 の 4 は標高 1,100 m のえぼしスキー場での観測結果であるが、断面構造は関山トンネル宮城県側のものと同様で、やはり明瞭な弱層が観測されたので、ここに加えた。

4. 過去の雪崩災害

和泉(2014)によれば、1974年2月9日13:00頃～10日9:00頃にも同様に関山トンネルから宮城県側に0.7～1.4 kmの地点で続けて雪崩が発生したという記録がある(表2)。このときの天気図(山形新聞社, 1974)をみると、発達した南岸低気圧が今回とほとんど同じ経路を通過していた(図13)。ただし、このときには最初の雪崩は低気圧が日本列島を通過して冬型になってから発生していた。今回は低気圧の移動速度が小さく通過中に雪崩が発生し始めていること、当時に比べて樹木が確実に成長したこと、および雪崩対策が格段に向上した中で発生したことが大きく異なる。

5. まとめ

今回の雪崩が降雪結晶の弱層が要因となったことから、遠藤(2000)の提案した新雪雪崩の発生条件との比較を試みた。発生区の傾斜角を 45° とすると、時間降雪水量が 2 mm h^{-1} または時間降雪深が 4 cm h^{-1} の場合は、積もりははじめから7～8時間後に発生するとされている。しかし、新川のデータでは14日22:00～15日16:00の平均時間降雪水量は 1.5 mm h^{-1} (平均時間降雪深 3 cm h^{-1})であり、上の条件ほど強い降雪ではなかった。しかし、それでも雪崩が発生したということは、この間に特に剪断強度の小さい弱層が形成されたためと推測される。なお、今回の南岸低気圧による東北地方の降雪分布では、

表1 コンプレッションテストおよびシアーフレームテストによる斜面積雪の安定度評価

Table 1 Assessment of snowpack stability using compression tests and/or shear frame tests on the slopes.

#	測定終了日時	測定場所	標高 (m)	コンプレッションテスト	せん断強度 (kPa)
1	2014/2/15 13:45	関山除雪ステーション	280	CTE1	0.13
2	2014/2/16 9:55	関山トンネル宮城県側	550	CTE3	
3	2014/2/18 14:00	関山トンネル宮城県側	550	CTE7	0.74
4	2014/2/21 12:30	えぼしスキー場	1100	CTM11	
5	2014/2/24 12:10	関山トンネル宮城県側	550	CTM11	

表2 1974年2月9、10日の雪崩災害のリスト(和泉, 2014)

Table 2 List of incidence of avalanches in Sekiyama Pass in 1974 (Izumi, 2014).

発生日時	被災箇所	被害概要	引用資料
日 時間	資料記載 固有名称		代表資料名
1974年2月9日 13:00	宮城県 宮城町 R48 関山トンネル付近 (2ヶ所) (現仙台市) 国道48号	トンネルから1.2と1.3km宮城県側で雪崩があり、国道が全面通行止め。	河北新報
1974年2月9日 14:00	宮城県 宮城町作並 R48 関山トンネル付近 (仙台市) 国道48号	トンネルから300m宮城県側で雪崩があり、国道が全面通行止め。	山形新聞
1974年2月10日 9:00	宮城県 宮城町作並 R48 関山トンネル付近 (現仙台市) 国道48号	トンネルから700m宮城県側で雪崩があり、長さ約20m幅4m高さ1.5mの雪が道路を埋没し、15:50頃ようやく除雪開通した。	山形新聞



図13 1974年の関山峠における雪崩多発時の天気図(山形新聞社, 1974)

Fig. 13 Weather charts for the avalanche occurrences on February 8-10, 1974 (Yamagata Newspaper Co. Ltd., 1974).

新川と現地の降雪量の相違はさほど大きくないと想定される。今後は時間ごとの降雪深をさらに詳細に検討する必要がある。また、降雪結晶といえども様々な種類があり、降雪種ごとに剪断強度の増加速度が異なると考えられることから、これらについても基礎的なデータを整備する必要がある。

今回の調査から、極めてまれではあるが、甚大な被害をもたらす雪崩が存在することが判明したことから、今後の対応としては、可能な限りハード対策を実施する一方、時間的な理由などで対処できない場合は現地に近い場所での気象・積雪観測を実施し、ある一定基準を設けたソフト的な対応（例えば通行止め）を行う必要がある、このためには、気象予報と連動した雪崩予報の高精度化が急務である。

謝辞

国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所並びに同山形河川国道事務所にはヘリコプターに同乗する機会を与えられるなど、調査に際して全面的なご協力をいただいた。また、雪崩発生区の現地調査に際しては月山朝日ガイド協会の奥山悌二会長に案内していただいた。以上を記して謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 阿部 修・中村一樹・佐藤研吾・小杉健二(2014) : 国道 48 号関山峠の雪崩災害. 2014 年 2 月 14-16 日の関東甲信地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究, 科学研究費補助金研究成果報告書, 135-138.
- 2) 遠藤八十一(2000) : 雪崩の分類と発生機構. 雪崩と吹雪, 基礎雪氷学講座Ⅲ, 前野紀一・福田正己編, 13-51, 古今書院.
- 3) 気象庁(2014) : 関東甲信地方に記録的な大雪をもたらした低気圧. 天気, **61-4**, p.24.
- 4) 池田慎二(2010) : 雪崩斜面における積雪安定性評価と弱層テスト. 積雪観測ガイドブック, 日本雪氷学会編, 79-96, 朝倉書店.
- 5) 和泉 薫(2014) : 日本の雪崩災害データベース. (http://www.nhdr.niigata-u.ac.jp/nadare_db/index.html)
- 6) 和泉 薫・河島克久・伊豫部勉・松元高峰(2014) : 2014 年 2 月中旬の大雪による雪崩災害の発生状況と特徴. 2014 年 2 月 14-16 日の関東甲信地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究, 科学研究費補助金研究成果報告書, 111-118.
- 7) 上石 勲・中村一樹・安達 聖・山下克也(2014) : 2014 年 2 月の南岸低気圧の降雪による雪崩被害と関連する大雪災害. 2014 年 2 月 14-16 日の関東甲信地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究, 科学研究費補助金研究成果報告書, 119-125.
- 8) 中村一樹・上石 勲・阿部 修(2014) : 2014 年 2 月の低気圧の降雪による雪崩の特徴. 日本雪工学会誌, **30-2**, 106-113.
- 9) 竹内政夫・大槻政哉・山田知充(2005) : 樹林や柵をすり抜ける新雪雪崩. 寒地技術論文・報告集, **21**, 768-771.
- 10) 山形新聞社(1974) : 山形新聞(発行 1974 年 2 月 9 日, 10 日, 11 日).
- 11) 山形新聞社(2014) : 山形新聞(発行 2014 年 2 月 16 日). 第 46204 号.
(2015 年 9 月 28 日原稿受付,
2015 年 10 月 29 日改稿受付,
2015 年 10 月 29 日原稿受理)

要 旨

国道48号関山峠において2014年2月15日～17日に大小19個の雪崩が発生した。今回は最初の雪崩発生から3時間後に現地観測を開始し、その後約10日間にわたって継続的に積雪断面観測や斜面状況の調査を行った。このため、極めて不安定な斜面積雪状態からほぼ完全に安定化するまでの経過が追跡できた。一連の雪崩は、表層の低密度の積雪が落葉樹林帯や防雪柵をすり抜けて崩落した面発生乾雪表層雪崩であり、弱層は2月14日夜から15日早朝に形成された降雪結晶からなるものと判断した。この弱層の剪断強度は発生初日の2月15日には0.13 kPaと極めて小さかったが、測定場所は少し離れているものの3日後の2月18日には約5倍に増加していた。関山峠では1974年2月9日～10日にも同様に雪崩が多発した記録がある。雪崩予防施設が整備された現在においても、極めてまれではあるが甚大な被害をもたらす雪崩が起こり得ることが判明した。

キーワード：雪崩，積雪安定度，弱層