

雪崩予防柵を斜面積雪がすり抜ける現象の発生気象条件について

—大雪湖周辺の事例解析—

松下拓樹、松澤 勝、伊東靖彦、加治屋安彦（土木研究所寒地土木研究所）

1. はじめに

最近、北海道の道路では、多量降雪に伴って発生する雪崩が多く報告されている^{1),2)}。また、斜面積雪が雪崩予防柵をすり抜けて道路に達する事象（以下、すり抜け現象）が多く報告され問題となっている^{3),4)}。すり抜け現象の対策として雪崩予防柵に鋼製の網などを取り付ける工法が多く採用されているが、すり抜ける現象の発生動態や発生時の気象条件および積雪条件などに関して不明な点が多い。そのため対策工法の種類や配置方法等の技術基準に関して調査を行っている状況である^{4),5)}。

本稿では、すり抜け現象を伴う雪崩発生の気象条件を明らかにして、その結果に基づいて、すり抜け現象が発生する積雪性状について考察を行うことを目的とする。

2. 解析事例と解析方法

2. 1 解析事例

解析対象地域は、雪崩事例数の多い大雪湖周辺⁴⁾とした。表1は、1996年度から2005年度の10年間において一般国道39号と273号で通行止めを伴った法面雪崩（以下、単に雪崩とする）である。過去10年間で通行止めを伴う雪崩は7事例あり、全て面発生表層雪崩であった。発生した雪崩は、6事例が乾雪雪崩（6事例）、1事例が積雪に多量の水分を含んだスラッシュ雪崩⁶⁾であった。図1は雪崩発生箇所分布である。この地域の雪崩は同時多発的に発生する特徴がある。

表1より、すり抜け現象を伴う雪崩は4事例あり、このうち乾雪雪崩に伴うものが3事例、スラッシュ雪崩に伴うものが1事例であった。ここでは、乾雪雪崩に伴うすり抜け現象の発生気象条件を明らかにするため、すり抜け現象を伴う3事例（③、⑤、⑦）と伴わない3事例（①、②、⑥）の計6事例について調査した。雪崩発生の気象条件の調査には、図1に示す雪崩発生箇所近傍の気象テレメータ（北海道開発局）による気温、積雪深、風速の1時間間隔の観測データを用いた。事例①のみ天城岩を、それ以外の事例はカルシュナイの観測データを用いた。

表1 大雪湖周辺における雪崩事例 (1996～2005年度)

雪崩No.	発生日	発生時刻 (推定)	雪崩の分類			法勾配	すり抜け 現象
			面発生	乾雪	表層		
①	1997/2/16	19:45	面発生	乾雪	表層	1:0.8	×
②	1999/3/4	10:50	面発生	乾雪	表層	1:1.0	不明
③	2003/1/4	8:00	面発生	乾雪	表層	1:0.7~1.5	○
④	2003/3/23	14:50	面発生	スラッシュ	表層	1:1.0	○
⑤	2004/1/15	8:00	面発生	乾雪	表層	1:0.8~1.5	○
⑥	2005/12/19	18:00	面発生	乾雪	表層	1:0.8~1.5	×
⑦	2005/12/26	9:00	面発生	乾雪	表層	1:0.8~1.5	○

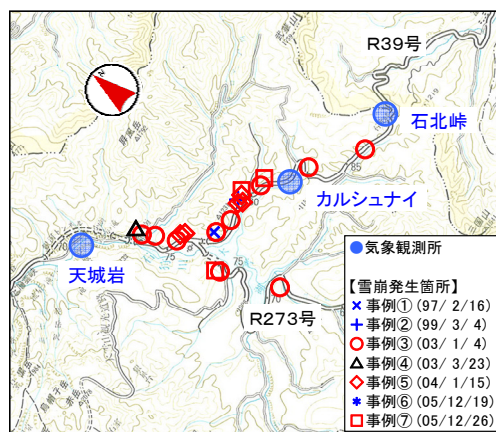


図1 雪崩発生箇所と気象観測所の位置

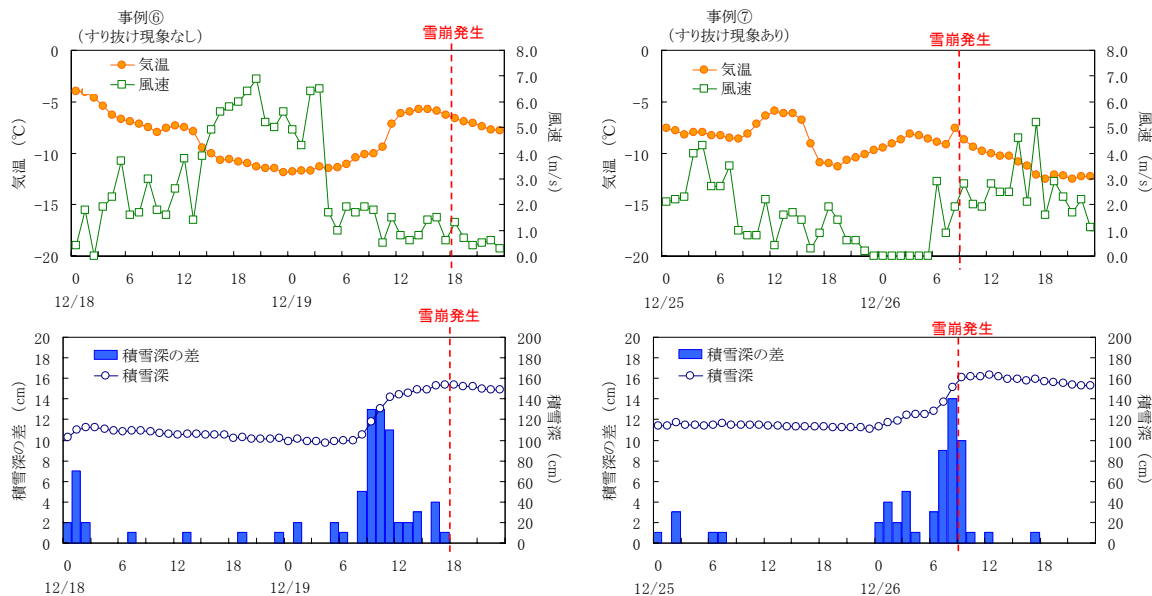


図2 雪崩発生時の気象要素の推移状況の例
(左)すり抜け現象を伴わない事例⑥, (右)すり抜け現象を伴った事例⑦

2. 2 解析方法

図2は、すり抜け現象を伴う事例⑦と伴わない事例⑥の気象状況の比較である。両事例とも雪崩発生前、短時間のうちに積雪深が40~50 cm増加しており、この多量降雪によって雪崩が発生したと考えられる。雪崩発生前の降雪時の気温と風速の状況に着目すると、すり抜け現象を伴わない事例⑥では、気温が-10℃から-5℃まで上昇して1~2 m/sの風を伴っていた。一方、すり抜け現象を伴った事例⑦では、気温が-10℃前後と低いまま推移し、風速0 m/sの無風期間があるなど風の弱い状況であった。

本稿では、上記のような気象状況によって異なる性状をもつ積雪が形成され、これがすり抜け現象の発生に関連すると考えた。すり抜け現象を伴う雪崩の発生気象条件の解析では、降雪開始から雪崩発生までの期間の気象状況に着目した。ここで、降雪期間を1時間ごとの積雪深が増加している期間(積雪深増加の中断が3時間以下)と定義し、降雪量を積雪深差が正の場合の合計値とした。

3. 解析結果

3. 1 降雪期間の気温、降雪量、降雪強度からみた傾向

図3は、降雪開始から雪崩発生までの期間の平均気温と降雪量の関係である。図中の横棒は、期間中の最高気温と最低気温を意味する。すり抜け現象を伴う雪崩は、降雪量30 cm以上、平均気温-5℃以下の場合で発生した。ただし、同じ条件ですり抜け現象を伴わない雪崩の発生も2事例ある。

図4は、降雪時間と平均降雪強度の関係である。降雪強度は、降雪量を降雪時間で除して求めた。すり抜け現象を伴う雪崩のうち2事例は、降雪強度が3 cm/h以上と

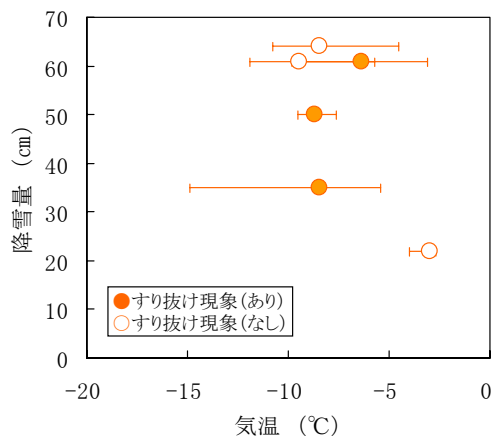


図3 雪崩発生前の降雪時における平均気温と降雪量の関係。図の横棒は最高及び最低気温。

大きく、降雪開始から 10 時間前後の短時間のうちに降雪量 30 cm 以上となり発生した。一方、すり抜け現象を伴う残り 1 事例は、降雪強度が 1 cm/h で 40 時間以上降り続けた後に発生した。

図 3 と図 4 より、すり抜け現象を伴う雪崩は、降雪時の気温が比較的低く、かつ降雪強度が大きい気象条件下で発生する傾向にある。

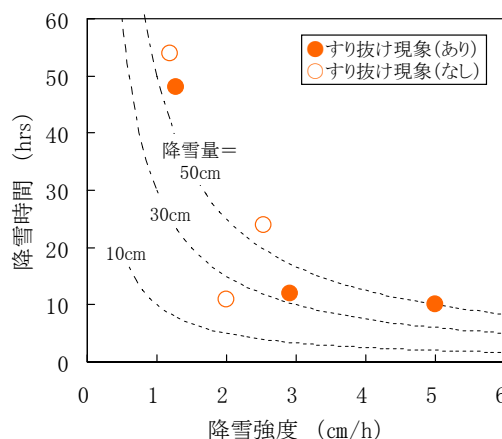


図4 雪崩発生前の降雪強度と降雪時間の関係。

3. 2 降雪期間の気温と風速からみた傾向

図 5 は、降雪期間の平均気温と平均風速の関係である。すり抜け現象を伴う雪崩は、他の乾雪雪崩に比べて、気温が $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下と低くかつ風速 2 m/s 未満の風の弱い降雪状況下で発生している。図 5 の等値線は新雪密度であり、梶川ら(2004)⁷⁾による推定式(雲粒付樹枝、降水強度 1 mm/h の場合)を用いて計算した。図 5 より、低温および弱風の条件下では新雪密度が小さくなる傾向にある。

図 6 は、降雪量と新雪の剪断強度の関係である。剪断強度の推定は、降雪時の平均気温と平均風速から求めた新雪密度 ρ をもとに、山野井・遠藤(2002)⁸⁾の関係式を用いて行った。図 6 より、雪崩の発生は、剪断強度が小さいほど少ない降雪量で起きる傾向にある。また、すり抜け現象を伴う雪崩は、他の雪崩事例に比べて剪断強度が小さい積雪性状で発生したと考えられる。

4. 考察

以上の解析結果から、すり抜け現象は、特に気温が低く風の弱い降雪状況下で起きる雪崩に伴って発生する傾向にある(3.2節)。この気象状況下で積もる雪の性状について考察を行う。

まず新雪密度の風速依存性に関して、風が強いほど降雪粒子は破壊されて小さくなり⁹⁾、新雪密度は大きくなる傾向にある¹⁰⁾。よって弱風下では、降雪粒子があまり破壊されずに積もるため低密度の雪が形成されやすいと考えられる。また低温下では、圧密の進行が遅く積雪密度の増加速度がゆっくりであり¹¹⁾、積雪の強度が十分に大きくなるための時間が長いと考えられ

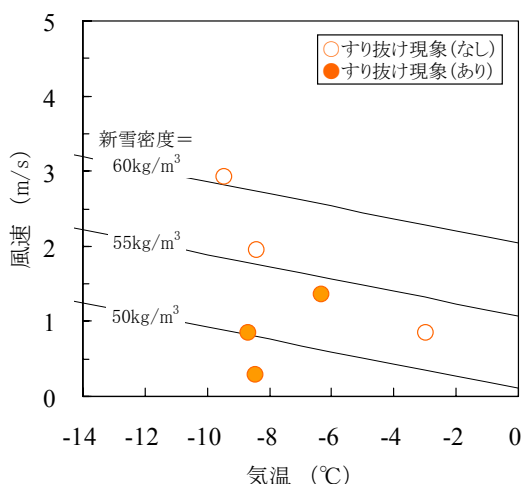


図5 雪崩発生前の降雪時における平均気温と平均風速、新雪密度の関係。新雪密度は、梶川ら(2004)⁷⁾の推定式から計算。

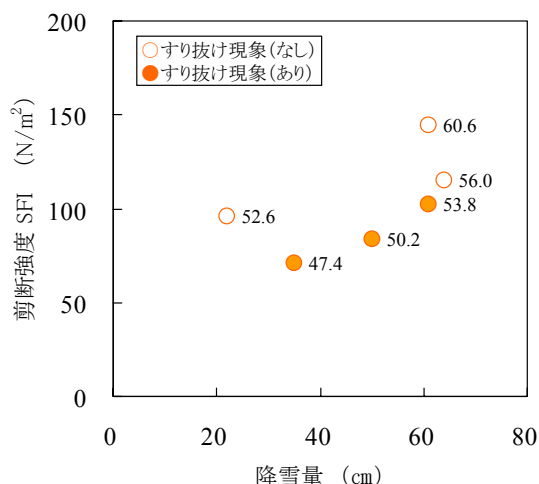


図6 雪崩発生前の降雪量と新雪の剪断強度の関係。数値は新雪密度で梶川ら(2004)⁷⁾の推定式より、剪断強度は山野井・遠藤(2002)⁸⁾の関係式から求めた。

る。このことから、気温が低く風の弱い状況で多量に積もった雪は、十分な強度増加を得る前に上載積雪荷重による剪断応力が剪断強度を上回り、雪崩発生に至るものと考えられる。さらに、短時間に多量に積もった新雪であることから積雪粒子間の焼結等による結合力が弱いため、積雪が雪崩予防柵をすり抜ける現象が発生すると考えられる。

5. おわりに

本稿では、雪崩予防柵を斜面積雪がすり抜ける現象の発生気象条件を明らかにするため、北海道大雪湖周辺で通行止めを伴った乾雪雪崩 6 事例（すり抜け現象 3 事例を含む）について、近傍気象観測データを用いた解析を行った。解析の結果、すり抜け現象を伴う雪崩は、低温下かつ弱風下の気象条件で積もった雪により発生していた。このことから、すり抜け現象は、弱風下で降雪粒子があまり破壊されずに積もった低密度の雪が、低温のため圧密の進行が遅く十分な強度増加が得られない場合に起きると考えられる。

すり抜け現象の動態把握のためには、本稿で示したすり抜け現象に関わる積雪性状について観測や実験により確認を行うとともに、他地域におけるすり抜け現象の特徴を合わせた調査を実施する必要がある。また、すり抜け現象は、斜面勾配や降雪時風向に対する斜面方位、植生など、気象条件の他に雪崩発生に関与すると考えられる要素は多い。これについては今後の課題としたい。

参考文献

- 1)竹内政夫, 大槻政哉, 山田知充, 石本敬志, 2006: 北海道における最近の道路雪崩とその対応. *ゆき*, 63, 77-84p.
- 2)大槻政哉, 和泉薫, 河島克久, 竹内政夫, 2004: 北海道十勝地方における道路雪崩の特徴. *寒地技術論文・報告集*, 20, 680-683p.
- 3)竹内政夫, 大槻政哉, 山田知充, 2005: 樹木や柵をすり抜ける新雪雪崩. *寒地技術論文・報告集*, 21, 768-771p.
- 4)松下拓樹, 松澤勝, 伊東靖彦, 三好達夫, 加治屋安彦, 大槻政哉, 2006: 雪崩予防柵をすり抜ける法面雪崩の対策—北海道大雪湖周辺における調査事例—. *寒地技術論文・報告集*, 22, 351-356p.
- 5)松沢勝, 三好達夫, 伊東靖彦, 加治屋安彦, 西村浩一, 大槻政哉, 2006: 屋外スロープを用いた雪崩予防柵に関する実験. *北海道の雪氷*, 25, 17-20p.
- 6)石本敬志, 2007: 私信.
- 7)梶川正弘, 後藤博, 金谷晃誠, 菊池勝弘, 2004: 気象要素を考慮した新積雪密度の推定式. *雪氷*, 66, 561-565p.
- 8)山野井克己, 遠藤八十一, 2002: 積雪におけるせん断強度の密度および含水率依存性. *雪氷*, 64, 443-451p.
- 9)Sato, T., K. Kosugi, S. Mochizuki, and M. Nemoto, 2007: Wind speed dependences of fracture and accumulation of snowflakes on snow surface. *Cold Regions Sci. Technol.*, 49, in press.
- 10)和泉薫, 1984: 新潟における日降雪の雪密度と電気伝導度. *新潟大学積雪地域災害研究センター一年報*, 6, 103-109p.
- 11)Abe, O., 2001: Creep experiments and numerical simulations of very light artificial snowpacks. *Annals of Glaciology*, 32, 39-43p.