

斜面積雪が雪崩予防柵面をすり抜ける現象の発生条件

Conditions for the Occurrence of Avalanches with the Phenomena of Snow Slides through Support Structures Designed to Prevent Avalanches

松下 拓樹* 松澤 勝** 伊東 靖彦*** 加治屋 安彦****

Hiroki MATSUSHITA, Masaru MATSUZAWA, Yasuhiko ITO, and Yasuhiko KAJIYA

近年、北海道の道路において斜面積雪が雪崩予防柵面をすり抜ける事例(すり抜け現象)が発生している。この報告では、すり抜け現象を伴う雪崩発生の気象条件と積雪特性を明らかにするために、雪崩事例の気象解析とすり抜け現象に関する現地実験を実施した。

気象解析の結果、すり抜け現象は主に乾雪雪崩に伴って発生し、気温が低く降雪強度が大きい場合に発生する傾向にあることがわかった。また、この傾向は現地実験でも確認された。さらに、すり抜け現象を伴う雪崩発生の積雪特性を明らかにするため、気温と降雪強度を指標に斜面積雪の安定度と硬度を理論的に試算した。その結果、すり抜け現象を伴う雪崩は降雪強度が大きい気象条件下で降雪開始から12時間程度で斜面積雪が不安定となって発生したと考えられる。また気温が低いので、積雪硬度が小さく斜面積雪が柵面をすり抜けたと考えられる。

《キーワード：雪崩；道路；雪崩予防柵；すり抜け現象；積雪安定度；積雪硬度》

Hokkaido has recently experienced a number of problems related to avalanches with “slip-through” phenomena, in which snow slides between the crossbeams of support structures designed to prevent avalanches and snow falling onto roads. To ascertain the meteorological conditions that promote the occurrence of such avalanches, this report details data analysis based on past avalanche cases and field testing on the slip-through phenomenon.

The analysis shows that slip-through phenomena tend to occur with dry snow avalanches when the air temperature is -4°C or below and the snowfall intensity is high. The field test also supports these results. In addition, to investigate the snow characteristics found with slip-through phenomena, the stability and hardness of snow on a slope were theoretically evaluated in relation to the air temperature and snowfall intensity at the time of the phenomena. The results indicated that the slip-through phenomena are seen with avalanches that occur when snow stability becomes 2.0 or less about 12 hours after the start of snowfall, and that snow are able to slip through the support structure due to a lack of snow hardness caused by the low temperature conditions.

《Keywords：avalanche；road；supporting structure；slip-through phenomenon；stability index；hardness of snow》

1. はじめに

近年、北海道の道路では斜面積雪が雪崩予防柵をすり抜けて発生する雪崩(以下、すり抜け現象)が多く報告されている¹⁾²⁾。そのため、すり抜け現象を伴う雪崩の対策として、既設の雪崩予防柵に鋼製メッシュパネル等を取り付ける試みがなされている³⁾。

しかし、すり抜け対策工の基本的仕様に定まったものがなく、また鋼製メッシュパネル等によるすり抜け対策の効果に関する具体的評価は十分に行われていない状況にある³⁾⁴⁾。すり抜け対策工の基本的仕様について検討するためには、すり抜け現象を伴う雪崩が発生する気象条件や積雪特性を明らかにする必要がある。

この報告では、すり抜け現象を伴う雪崩の発生気象条件と積雪特性を明らかにするために、北海道の国道における雪崩事例の気象解析とすり抜け現象に関する現地実験を行い、この現象のメカニズムを考察した。

2. 解析および実験の方法

2.1 気象解析

解析に用いた雪崩事例は、過去5年間(2001年4月～2006年3月)の北海道の国道における災害記録から抽出した40事例である。このうちすり抜け現象の判断は、上記災害記録と既存文献¹⁾から行った。ここで言うすり抜け現象は、発生状況を観測または目視して判断されたものではなく、雪崩予防柵の設置されている法面上部に雪崩による積雪破断面があるという事後の状況証拠から判断されたものである。

気象解析には、雪崩発生地点近傍の気象観測所(北海道開発局道路気象テレメータまたは気象庁アメダ

ス)における気温と積雪深の1時間間隔の観測値を用いた。

気象解析にあたり、まず雪崩事例を災害記録の記述から乾雪雪崩と湿雪雪崩に分類した。この分類は、日本雪氷学会⁵⁾によると雪崩発生区の積雪層に液体の水分を含むか含まないかで分けられる。雪崩の分類は、災害記録に雪質の記述がある場合はそれに従った。記述がない場合は気温 0°C 以上で融雪により積雪に水分を含むと考え、雪崩発生前24時間以内の1時間毎の気温が 0°C 以上を含む場合を湿雪雪崩、それ以外を乾雪雪崩と判断した。ただし、雪崩発生斜面の正確な標高が不明な雪崩事例が多いため、今回の解析では気温の標高補正を行っていない。

次に、雪が降り始めてから雪崩が発生するまでの期間(降雪期間)の気温、積雪深、降雪深に着目した。1時間毎の積雪深差が正である場合を降雪ありと判断して、降雪期間は降雪の中断が5時間未満であれば一つの降雪期間とした。降雪深は降雪期間における1時間毎の積雪深差の合計とした。また降雪強度は、降雪深を降雪期間で除して求めた。

なお、雪崩40事例中、積雪深の欠測事例が3事例あり、気象解析ではこれらの事例を除いた。

2.2 現地実験

すり抜け現象の発生動態を把握するために2007年12月14日から2008年2月29日までの期間、札幌近郊の中山峠(標高835m)にて現地実験を行った。図-1に示す現地の試験斜面(勾配 37°)に、高さ2.5m、幅2.75mの雪崩予防柵(図-2)4基を斜面の上下2段に設置した。このうち上段の雪崩予防柵Aと下段のBを実験に使用した。

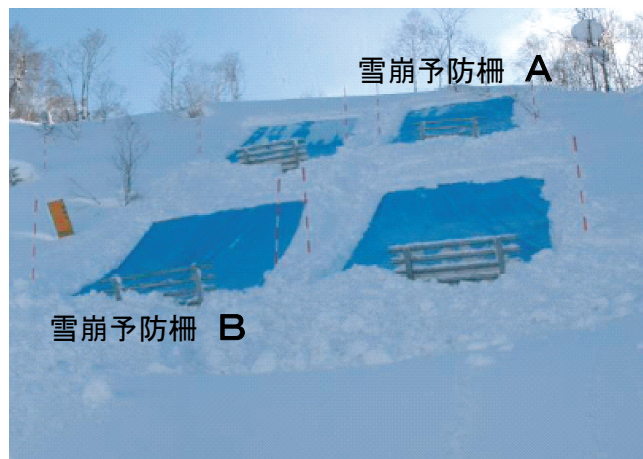


図-1 現地実験の試験斜面

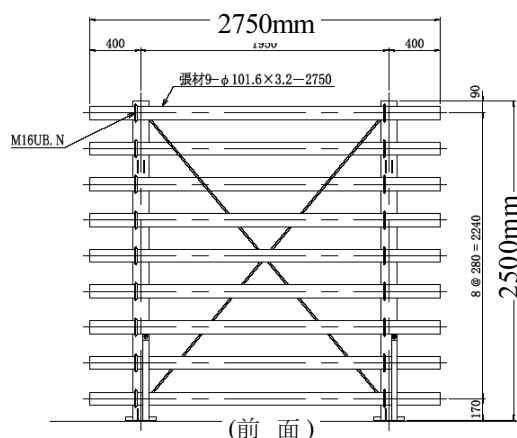


図-2 雪崩予防柵の仕様

積雪上には斜面積雪が動きやすいようにブルーシートを敷設した(図-1)。既往の測定結果によると、ブルーシート上の積雪の剪断強度⁶⁾および剪断凍着力⁷⁾は200～300Pa程度である。これは積雪密度100kg/m³以下の弱層の剪断強度と同程度である⁸⁾。よって、今回の実験でブルーシートを敷設したことは、人工的な弱層による滑り面を形成したことに相当すると考えた。

実験は新雪の状態では斜面積雪が動くようにするため、降雪が予測された時点でブルーシート上の積雪を除去し、動画カメラによって斜面の状況を記録した。この動画記録から雪崩の発生とすり抜け現象の有無を確認し、その回数を集計した。今回の実験におけるすり抜け現象の定義は、流下した雪が雪崩予防柵面を少しでもすり抜けた場合とした。

解析に用いた気温と積雪深は、実験地に近接する寒地土木研究所の気象観測施設における観測値を用いた。なお、降雪期間と降雪強度は2.1気象解析と同様に定義し、算出した。

3. 結果

3.1 北海道における雪崩の傾向

図-3に過去5年間に発生した雪崩の分類を示す。乾雪雪崩が26件(65%)、湿雪雪崩が14件(35%)発生している。このうちすり抜け現象を伴う雪崩は6件発生し、乾雪雪崩に伴うものが5事例、湿雪雪崩に伴うものが1事例であった。この湿雪雪崩は、積雪に大量の水分を含んだ雪が流動するスラッシュ雪崩であ

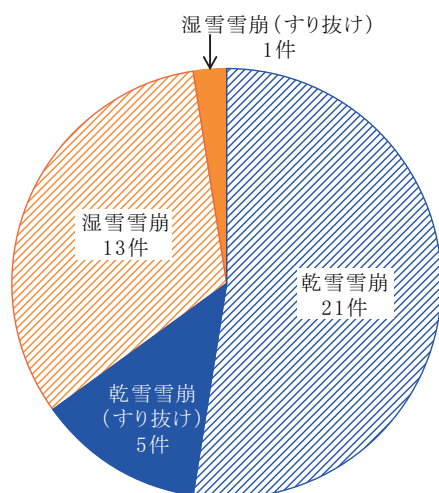


図-3 北海道の国道において発生した雪崩の分類

図中“すり抜け”は、すり抜け現象を伴う雪崩。

(統計期間： 2001年4月～2006年3月)

ると指摘されている⁹⁾。

図-4に雪崩の月別発生件数を示す。乾雪雪崩は1月から2月にかけて多く発生し、湿雪雪崩は主に3月に発生する傾向にある。すり抜け現象を伴う乾雪雪崩も5件中4件が1月に発生し、湿雪雪崩に伴うすり抜け現象は3月に発生している。

図-5に雪崩発生箇所の地域分布を示す。雪崩は山間地域を中心に北海道の広い範囲で発生しており、乾雪雪崩と湿雪雪崩の発生地域に大きな差はみられない。一方、すり抜け現象を伴う雪崩は比較的限られた地域で発生し、大雪湖周辺で3件、三笠地区で2件、支笏湖畔で1件であった。このうち大雪湖周辺と支笏

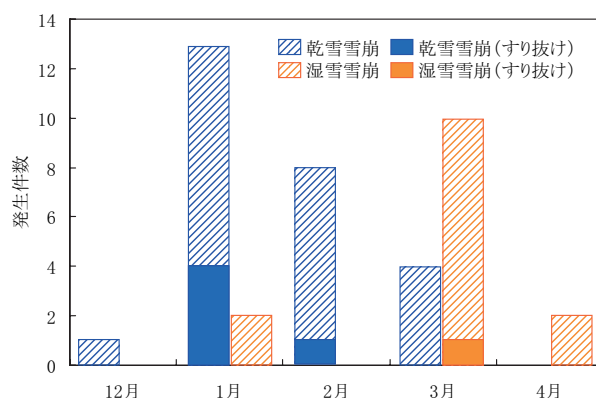


図-4 雪崩の月別発生件数

図中“すり抜け”の意味と統計期間は図-3に同じ。

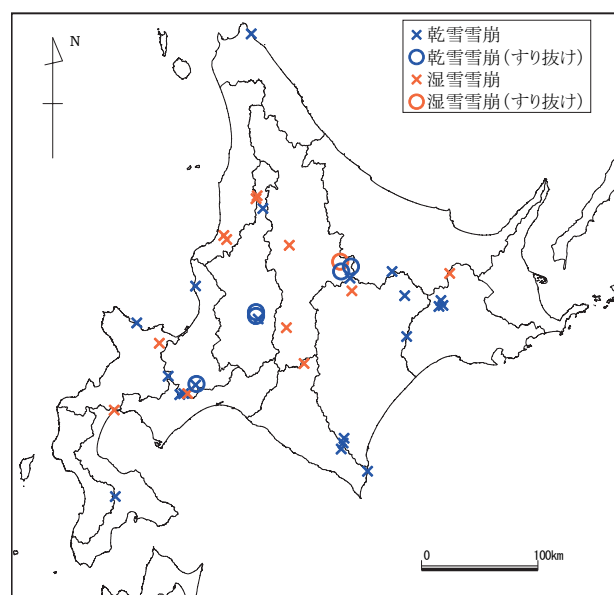


図-5 雪崩発生箇所の地域分布

図中“すり抜け”の意味と統計期間は図-3に同じ。

湖畔は雪崩発生頻度が高く、雪崩が同時に複数箇所が発生する傾向がある。例えば、平成17年2月の支笏湖畔では雪崩がほぼ同時に31箇所が発生した¹⁾。

以上の解析から、すり抜け現象は主に乾雪雪崩に伴って発生するため、以下の気象解析では積雪深の欠測事例を除く乾雪雪崩23事例を対象とした。

3.2 乾雪雪崩に伴うすり抜け現象の発生気象条件

解析に用いた乾雪雪崩23事例は全て降雪期間中または降雪終了直後に発生していた。図-6に、降雪期間の平均気温と降雪深の関係を示す。図中プロットの横スケールは降雪期間中の最高および最低気温を示す。図-6より、雪崩の多くは降雪深が30cm以上の場合に

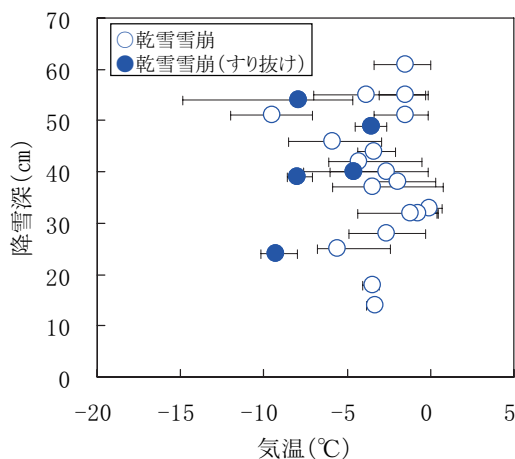


図-6 降雪期間における気温と降雪深の関係
(統計期間： 2001年4月～2006年3月)

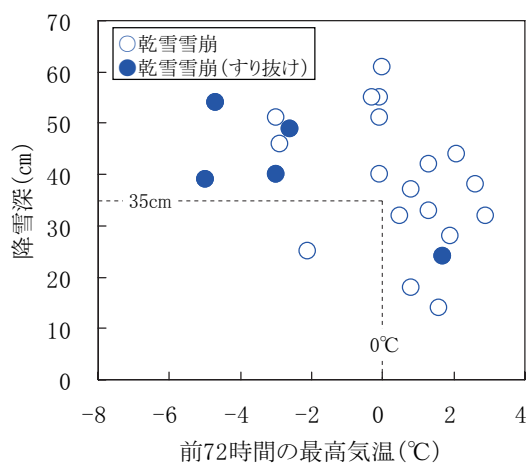


図-7 雪崩発生前72時間の最高気温と降雪深の関係
統計期間は図-6に同じ。

発生している。このうちすり抜け現象を伴う雪崩は、気温 -4°C 以下の比較的気温の低い場合に発生し、さらに1事例を除いて降雪深40cm以上の多量降雪時に発生している。

図-7に、雪崩発生前72時間(3日間)の最高気温と降雪深の関係を示す。雪崩事例の降雪時間は長くて50時間(図-8)である。また、図-7の最高気温は雪崩発生前の降雪期間の気温(図-6)より高い。よって、図-7に示す最高気温は降雪開始前の最高気温と考えられる。図-7より降雪深が35cm以下の場合、雪が降る前に気温 0°C 以上を経験しており、積雪表面付近で融解が起きてざらめ雪層が形成されたと考えられる。ざらめ雪の剪断強度は、新雪やしまり雪に比べ小さいことが知られている¹⁰⁾。このため降雪深35cm以下の比較的少ない降雪量でも雪崩が発生したと考えられ、すり抜け現象を伴う雪崩も1事例ある。一方、降雪深が35cm以上になると降雪開始前の気温に関わらず雪崩が発生している。降雪深の多い場合の雪崩は、上載積雪重量による剪断応力が積雪層の剪断強度を上回って不安定な積雪状態となり、雪崩が発生したと考えられる。このうちすり抜け現象を伴う雪崩4事例は、発生前72時間の期間において -2°C 以下と気温の低い状態が続く中で発生している。

図-8に、降雪時間と降雪強度の関係を示す。これによると雪崩は、10時間程度の短い時間で降雪深30cm以上に達して発生する事例と、降雪強度が 1 cm/h 程度と小さいが降雪時間が30時間以上続いて発生する事例がある。このうちすり抜け現象を伴う雪崩は、降雪

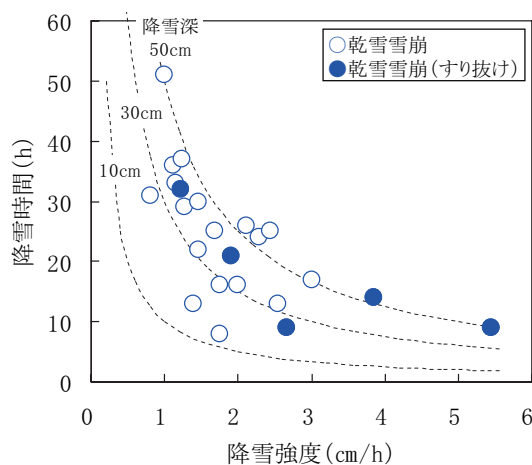


図-8 降雪時間と降雪強度の関係
図中の破線は降雪深を示す。
統計期間は図-6に同じ。

時間が20時間以内と短くかつ降雪強度が2 cm/h以上と大きい場合に多く発生している。

以上の解析から、すり抜け現象が発生するときの特徴として、降雪時の気温が低いこと(図-6)と降雪強度が大きいこと(図-8)があげられる。そこで、気温と降雪強度を指標にすり抜け現象の発生条件を示したのが図-9である。すり抜け現象を伴う場合とそれ以外の雪崩で発生条件に差があり、すり抜け現象の多くは気温が-4℃以下と低くかつ降雪強度2 cm/h以上の条件下で発生した雪崩に伴って起きている。

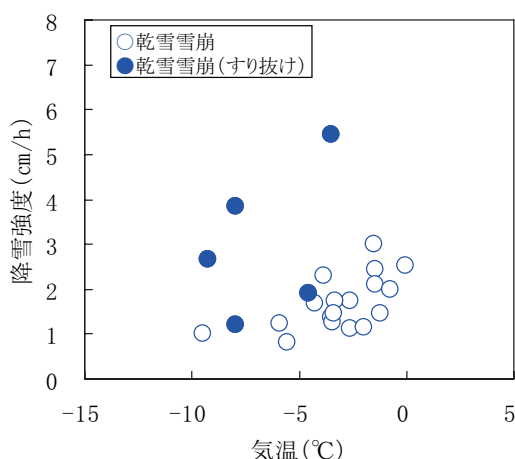


図-9 降雪期間における気温と降雪強度の関係
統計期間は図-6に同じ。

3.3 現地実験によるすり抜け現象の発生動態

現地実験で発生した雪崩25件は、全て乾雪雪崩であった。動画記録から、雪崩の発生に対するすり抜け現象の発生割合を求めると、斜面上段の雪崩予防柵Aで68.4%、斜面下段の雪崩予防柵Bで70.0%であった。

また、すり抜け現象を伴う雪崩に2種類の運動形態がみられた。一つは斜面積雪が破断してその形状を保ちながら流下する場合(図-10、流れ型)、もう一つは斜面積雪が雪煙を上げて一斉に流下する場合(図-11、煙型)である。ただし、実験で発生した雪崩のほとんどは流れ型の雪崩であり、典型的な煙型雪崩は図-11の1事例であった。

図-12に現地実験における雪崩事例の降雪強度と降雪時間の関係を示す。この図より、雪崩の多くは降雪開始から5～20時間後に発生し、降雪強度が1～2 cm/hに集中している。そして、雪崩はブルーシート上に5～40cmの雪が積もった後に発生している。3.2節の雪崩事例(図-8)に比べると、今回の実験ではブルーシートを敷設したことにより降雪開始から

雪崩発生までの時間が短く、降雪強度が小さい条件で雪崩が発生した。

図-13に、この実験における降雪期間の平均気温と降雪強度の関係を示す。図より、平均気温は-5～-15℃であった。この実験で発生した雪崩は、3.2節の雪崩事例(図-9)よりも気温が低い気象条件であった。図-13より、すり抜け現象を伴う雪崩は、すり抜け現象を伴わない雪崩に比べて降雪強度が大きい場合

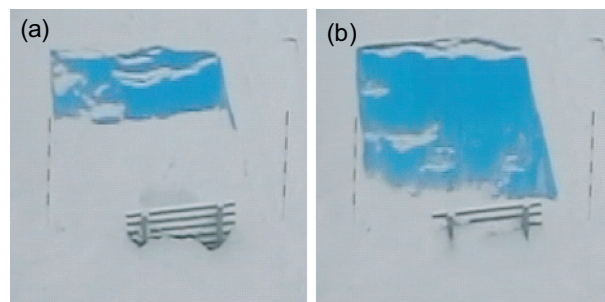


図-10 流れ型の雪崩に伴うすり抜け現象
(a)雪崩発生時、(b)すり抜け現象発生時

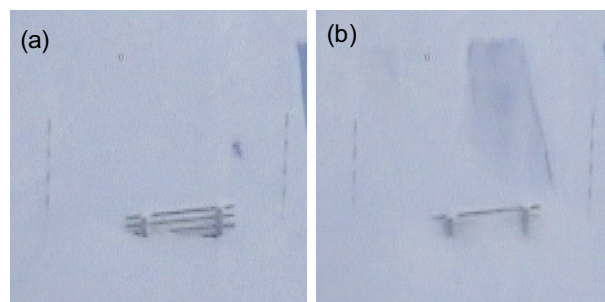


図-11 煙型の雪崩に伴うすり抜け現象
(a)雪崩発生時、(b)すり抜け現象発生時

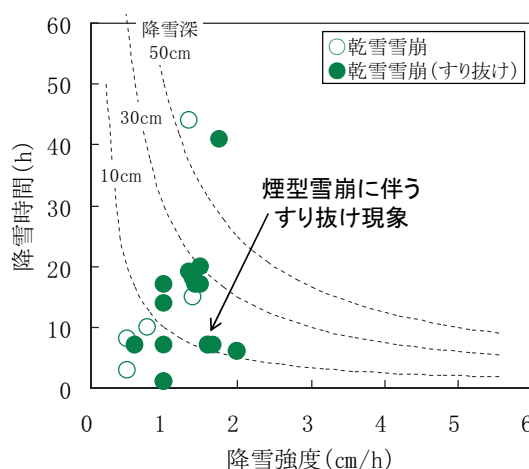
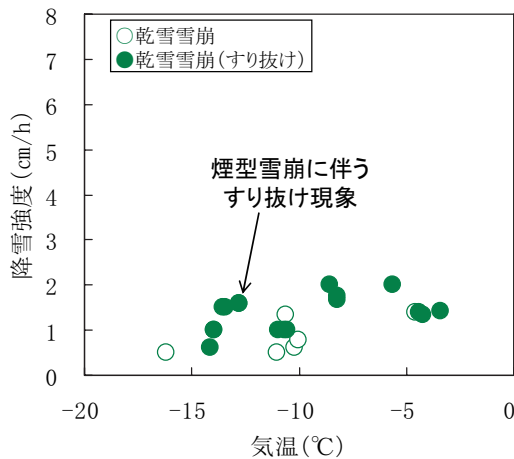


図-12 現地実験による降雪時間と降雪強度の関係
図中の破線は降雪深を示す。



図－13 現地実験による降雪期間の気温と降雪強度の関係

で発生する傾向にある。この傾向は図－9で示した雪崩事例の気象解析の結果と同じである。また、1事例ではあるが、煙型雪崩に伴うすり抜け現象は、気温が低くて降雪強度が比較的大きい場合に発生した。

4. 考察

すり抜け現象の発生条件の把握には、雪崩そのものの発生条件を明らかにすることと、発生した雪崩に伴ってすり抜け現象が起きる積雪特性を明らかにする必要があると考える。以下では、気温と降雪強度を指標とした雪崩の発生条件とすり抜け現象発生時の積雪特性について考察を行う。

4.1 すり抜け現象の発生条件に関する検討方法

雪崩の発生条件を把握するため、斜面積雪の剪断方向の積雪強度と応力の比である積雪安定度 SI ¹¹⁾を用いることとした。

$$SI = \frac{\sigma}{h\rho g \sin \theta \cos \theta} \quad (\text{式－1})$$

ここで、 h は積雪深(m)、 ρ は積雪密度(kg/m^3)、 g は重力加速度(m/s^2)である。 σ は積雪の剪断強度(N/m^2)、 $h\rho g \sin \theta \cos \theta$ は剪断応力(N/m^2)である。積雪安定度 SI が小さいほど雪崩発生の危険性が高い。北海道の道路における雪崩事例について、雪崩発生時の安定度 SI を積雪変質モデルを用いて求めた研究¹²⁾によると、雪崩の発生は積雪安定度 SI が2.5以下の条件で発生する傾向にあり、2.0以下に低下すると雪崩発生数が著しく増加する。

積雪の剪断強度 σ は積雪密度 ρ との関係式から推定することとし、新雪としまり雪に関する以下の式¹¹⁾を用いた。

$$\sigma = 3.10 \times 10^{-4} \rho^{3.08} \quad (\text{式－2})$$

ただし、積雪密度 ρ は圧密によって時間の経過とともに大きくなるので、この圧密過程を考慮した時刻 t (h)における積雪密度 ρ_t (kg/m^3)を剪断強度 σ の推定に用いた。この積雪密度 ρ_t は、次式¹¹⁾から求めた。

$$\rho_t = \left\{ \frac{2Ag}{C} \cdot \cos^2 \theta \cdot t^2 + \rho_0^4 \right\}^{1/4} \quad (\text{式－3})$$

ρ_0 は積もったばかりの初期積雪密度(kg/m^3)、 A は降雪強度($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)である。また C は圧密の進行に関係する係数($\text{N}/\text{m}^2 \cdot \text{s}/(\text{kg}/\text{m}^3)^4$)で、以下に示す雪温 T_s ($^{\circ}\text{C}$)との関係式¹³⁾を用いた。

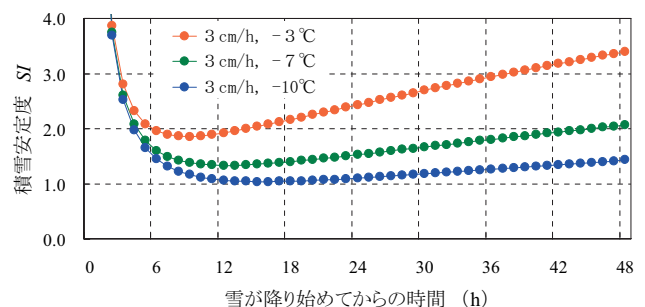
$$C = 0.21 \exp(-0.166 T_s) \quad (\text{式－4})$$

新雪の場合、雪温 T_s は気温に等しいと仮定できる。

一方、すり抜け現象が発生するときの積雪特性として、積雪粒子間の結合力が小さい状態であることが考えられる。つまり、雪崩が発生したときに個々の積雪粒子が容易に引き離されることで雪が柵面をすり抜けると考えられる。このような積雪特性を表す物理量として積雪の硬度 H (N/m^2)が考えられる。積雪硬度 H は、次に示す式－5¹⁴⁾に圧密を考慮した積雪密度 ρ_t を入れて計算した。

$$H = 1.31 \times 10^{-5} \rho_t^4 \quad (\text{式－5})$$

以上、降雪強度 A と雪温 T_s (= 気温)を入力条件として、式－1～式－4から積雪安定度 SI を求め、式－3～式－5から積雪硬度 H を計算した。積雪安定度 SI と積雪硬度 H の計算にあたり、斜面勾配 θ は剪断応力(式－1の $\sin \theta \cos \theta$)が最大となる 45° とした。



図－14 積雪安定度 SI の計算結果の例
降雪強度 3 cm/h で気温 -3°C 、 -7°C 、 -10°C の場合の結果。

また、積雪の初期密度 ρ_0 は大雪湖周辺におけるすり抜け現象発生時の新雪密度の推定値¹⁵⁾を参考に 50kg/m^3 とした。積雪安定度 SI と積雪硬度 H の計算は、最下層の積雪層について行った。このように計算された積雪安定度 SI の時系列を図-14に示す。図-14は、降雪強度 3cm/h の条件で気温を -3°C 、 -7°C 、 -10°C に変えた場合の計算結果である。積雪安定度 SI が最も小さくなるのは、 -3°C の場合は降雪開始から8時間後、 -7°C の場合は12時間後、 -10°C では16時間後である。すり抜け現象の多くが発生する降雪開始から20時間以内の期間は、特に積雪安定度 SI が小さく雪崩が発生しやすい状況にある。

4.2 すり抜け現象の発生条件

図-15は、気温と降雪強度を指標にした積雪安定度 SI と積雪硬度 H の計算結果を示したものである。計算では、すり抜け現象が比較的短時間の降雪で発生する傾向にあることから、降雪開始から12時間後の値を求めた。これに合わせて気象解析(図-9)と現地実験(図-13)の雪崩事例うち、降雪開始から雪崩発生までの時間が12時間前後(6～18時間)である事例を抽出して図-15にプロットした。

図-15より、雪崩は積雪安定度 SI が2.5以下のときに多く発生している。このうちすり抜け現象を伴う雪崩が発生する気象条件(気温が低く降雪強度が大きい条件)は、降雪開始から12時間で積雪の安定度 SI が2.0以下となる条件に相当し、それ以外の雪崩とを分ける

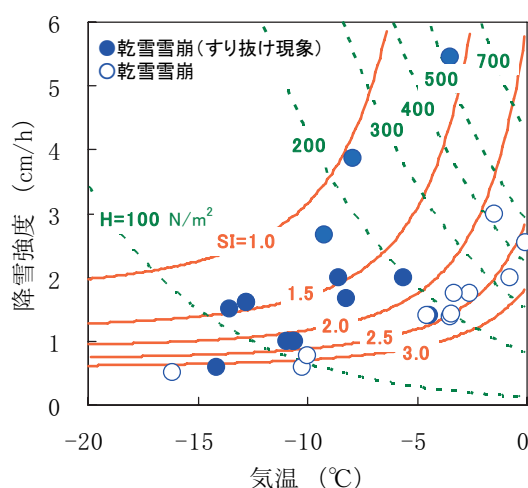


図-15 雪崩発生気象条件と積雪の安定度 SI 及び硬度 H の関係

積雪安定度 SI と硬度 H は降雪開始から12時間後の計算結果。雪崩事例は、図-9と図-13の雪崩のうち降雪期間が6～18時間の事例。

条件になっている。

また、図-15に示す積雪硬度 H は、気温が低いほど小さく、気温が同じであれば降雪強度が大きいと硬度も大きくなる。図-15より、すり抜け現象を伴う雪崩は1事例を除き積雪硬度 H が約 250N/m^2 以下のときに発生している。

図-15で示した計算結果は、斜面勾配 $\theta=45^\circ$ 、初期密度 $\rho_0=50\text{kg/m}^3$ の条件で降雪から12時間後の平均的な状態を示している。実際の雪崩発生時の積雪安定度 SI は、斜面勾配や新雪密度、雪質など様々な要因が複雑に影響すると考えられる。しかし、図-15からわかることは、すり抜け現象を伴う雪崩は降雪強度が大きい気象条件下で、降雪から12時間程度で斜面積雪が不安定となって発生し(第一条件)、このとき気温が低いために積雪硬度が小さく(第二条件)、積雪粒子間の結合力が小さいので斜面積雪が柵面をすり抜けると考えられる。

5. おわりに

本報告では、斜面積雪が雪崩予防柵面をすり抜ける現象の発生気象条件と積雪特性を明らかにするために、雪崩発生事例の気象解析とすり抜け現象に関する現地実験を行った。

気象解析の結果、すり抜け現象は主に乾雪雪崩に伴って発生し、気温が低く降雪強度が大きい場合に発生する傾向がわかった。この傾向は現地実験でも確認された。さらにすり抜け現象を伴う雪崩の発生条件を明らかにするため、気温と降雪強度を指標に斜面積雪の安定度と硬度を理論的に試算した。その結果、すり抜け現象を伴う雪崩は降雪強度が大きい気象条件下で降雪開始から12時間程度で斜面積雪が不安定となって発生したと考えられる。また気温が低いので積雪硬度が小さく斜面積雪が柵面をすり抜けたと考えられる。

今回の実験で得られた結果は一冬の実験であり、さらに異なる気象条件や斜面条件で実験を行う必要がある。また、自然条件下におけるすり抜け現象の発生動態を把握することも必要と考えている。今後も実験および現地観測を継続してすり抜け現象の発生動態に関するデータを蓄積していき、すり抜け現象の対策工法について具体的な検討を行っていくつもりである。

参考文献

- 1) 竹内政夫、大槻政哉、山田知充、石本敬志：北海道の道路雪崩と現場対応、日本雪工学会誌、Vol.21、pp.202-211、2005.
- 2) 竹内政夫、大槻政哉、山田知充：樹木や柵をすり抜ける新雪雪崩、寒地技術論文・報告集、Vol.21、pp.768-771、2005.
- 3) 松下拓樹、松澤勝、伊東靖彦、三好達夫、加治屋安彦、大槻政哉：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、Vol.22、pp.351-356、2006.
- 4) 松沢勝、三好達夫、伊東靖彦、加治屋安彦、西村浩一、大槻政哉：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、第25号、pp.17-20、2006.
- 5) 日本雪氷学会：日本雪氷学会雪崩分類、雪氷、60巻、pp.437-444、1998.
- 6) 上石勲、平島寛行、山口悟、佐藤篤司、町田敬：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、Vol.23、pp.181-185、2007.
- 7) 佐藤威、小杉健二、根本征樹、阿部修、望月重人：ブルーシートで覆われた屋根からの雪の滑落現象について(2)滑落条件、寒地技術論文・報告集、Vol.22、pp.324-329、2006.
- 8) Jamieson, B. and Johnston, C. D. : Evaluation of the shear frame test for weak snowpack layers, Annals of Glaciology, Vol.32, pp.59-69, 2001.
- 9) 石本敬志：私信、2007.
- 10) 山野井克己、遠藤八十一：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巻、pp.443-451、2002.
- 11) 遠藤八十一：降雪強度による乾雪表層雪崩の発生予測、雪氷、55巻、pp.113-120、1993.
- 12) 西村浩一、平島寛行、Lehning, M.、石本敬志、河見博文：雪崩発生危険度指標図の作成、寒地技術論文・報告集、Vol. 21、pp.244-248、2005.
- 13) Abe, O. : Creep experiments and numerical simulations of very light artificial snowpacks, Annals of Glaciology, Vol.32, pp.39-43, 2001.
- 14) 竹内由香里、納口恭明、河島克久、和泉薫：デジタル式荷重測定器を利用した積雪の硬度測定、雪氷、63巻、pp.441-449、2001.
- 15) 松下拓樹、松澤勝、伊東靖彦、加治屋安彦：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－、北海道の雪氷、第26号、pp.91-94p、2007.



松下 拓樹*
Hiroki MATSUSHITA

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
研究員
博士(理学)
気象予報士



松澤 勝**
Masaru MATSUZAWA

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
上席研究員
博士(工学)
技術士(建設)
気象予報士
(前 雪氷チーム
総括主任研究員)



伊東 靖彦***
Yasuhiko ITO

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
主任研究員
技術士(建設)



加治屋 安彦****
Yasuhiko KAJIYA

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ長
博士(工学)
技術士(建設)
(前 雪氷チーム
上席研究員)