

# すり抜け現象を対象とした 雪崩対策技術資料案の作成について

独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム ○伊東 靖彦  
松下 拓樹  
松澤 勝

斜面積雪が雪崩予防柵面をすり抜けて道路に達する現象が発生して問題となっている。この対策として柵面にエキスパンドメタル等を張った雪崩予防柵の設置が行われているが、その設置における考え方を示した技術資料はまとめられていない。そこで、寒地土木研究所では、すり抜け現象のについて調査を行い、その発生機構と対策効果を明らかにした。本稿ではすり抜け現象に関する調査結果とともに、これらを取りまとめて作成する技術資料案について報告する。

キーワード：冬期道路、維持管理、雪崩、雪崩予防柵、すり抜け現象

## 1 はじめに

北海道における冬期の道路交通の安全確保は重要であり、通行止めにつながる雪崩の対策は重要課題として位置づけられる。

現在の雪崩予防柵（以下雪崩柵）は「北海道開発局道路設計要領」<sup>1)</sup>や「2005 除雪・防雪ハンドブック(防雪編)」<sup>2)</sup>に基づき設計されている。しかし、これらの雪崩柵の柵面を積雪がすり抜ける現象が北海道内で発生し問題となっている。近年、この対策として柵面にエキスパンドメタル等のメッシュパネルを張った雪崩柵の設置が行われているが、その設置における考え方を示した技術資料が無いのが現状である。

そこで寒地土木研究所では、新しい知見を取り入れながら主にすり抜け現象を対象とした「北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料」をまとめている。

ここでは、すり抜け現象に関する寒地土木研究所のこれまでの取り組み<sup>3)4)5)6)7)8)9)10)11)</sup>を基にすり抜け現象の発生機構とメッシュパネル取付による対策の効果、および技術資料(案)について報告する。

## 2 すり抜け現象の発生機構

### 2.1 すり抜け現象とは？

本稿でいう“すり抜け現象”とは、斜面積雪が雪崩柵面をすり抜けて流下する現象とする。

このすり抜け現象は、これまでに観測または目視した事例は存在せず、雪崩柵の設置されている法面上部に雪崩の破断面があるという事後の状況証拠から、斜

面積雪が雪崩柵をすり抜けたと判断されている。<sup>12)</sup>

### 2.2 雪崩事例の気象解析による推定

すり抜け現象の発生条件を明らかにするため、過去の雪崩事例からの気象解析を行った。

解析に用いた雪崩事例は、北海道の国道における災害記録5年分（2001年4月～2006年3月）から抽出した41事例である。（図1）

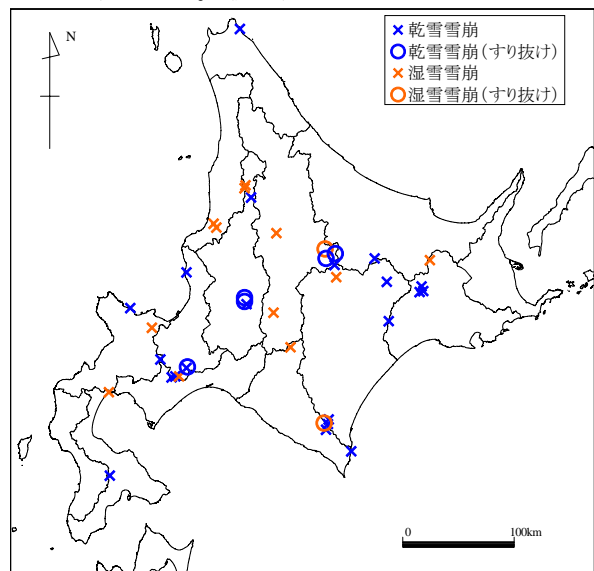


図1 雪崩発生箇所の地域分布

このうちすり抜け現象の判断は、上記災害記録と文献12から行った。解析に用いた気象値は、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時間間隔観測値を用いた。乾雪雪崩と湿雪雪崩の区分は災害記録に記述があればそれに従い、無い場合は雪崩発生前24時間以内の気温に0°C以上を含むものを湿雪雪崩、それ以外を乾雪雪崩とした。ただし正確な標高が不明な雪崩事例も多く、気温の標高補正は行っていない。

図1に湿雪と乾雪雪崩、およびすり抜け現象を伴った雪崩の分布を示す。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かった。

一方、すり抜け現象を伴う雪崩は7事例あり、このうち5事例は乾雪雪崩であった。これら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、野塚峠で2件、支笏湖畔で1件あった。

気象解析からは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2)と降雪強度が大きいこと(図3)、風速が弱いこと(図4)が明らかとなった。

図2と図3は、図1に示した雪崩事例について、その気温、降雪深、降雪時間、降雪強度との関係を整理したものである。すり抜け現象の多くは気温が-4°C以下と低くかつ降雪強度2cm/h以上の条件下で発生した雪崩に伴って起きている。

風速については測定高度の地域差が大きいため、発生回数の多い大雪湖周辺の雪崩を抽出し、気温や風速との関係を整理した(図4)。図には梶川<sup>13)</sup>を用いた推定新雪密度も合わせて記した。

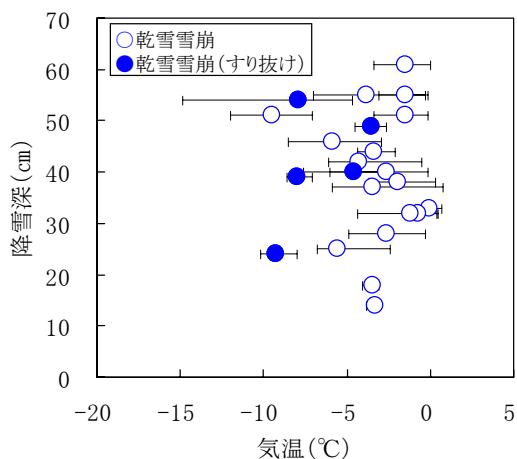


図2 雪崩発生直前の降雪期間における気温と降雪深の関係

(統計期間: 2001年4月~2006年3月)

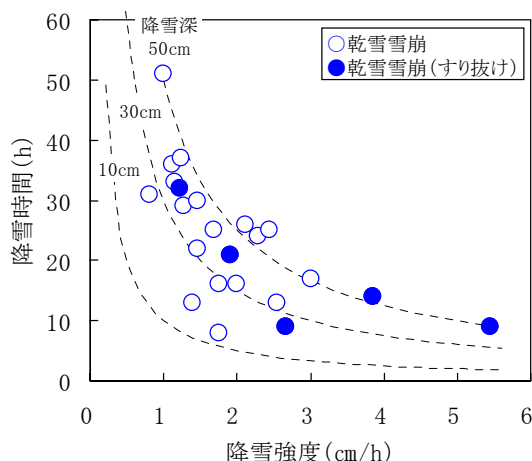


図3 降雪時間と降雪強度の関係

図中の破線は降雪深を示す。

統計期間は図2に同じ。

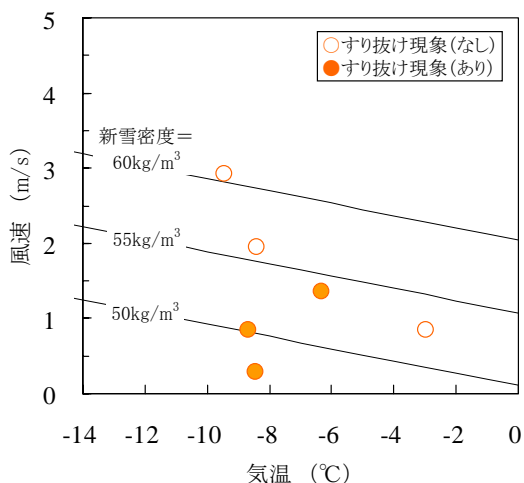


図4 雪崩発生直前の降雪期間における気温と風速および推定新雪密度

図4より、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°C以下と低く、かつ風速2m/s未満の風の弱い降雪状況下で発生している。風が強いほど降雪粒子は破壊されて小さくなり<sup>14)</sup>、新雪密度は大きくなる傾向にある<sup>15)</sup>。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。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<sup>16)</sup>、積雪の強度が十分に大きくなるための時間が長くなる。

このため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く、積雪が雪崩柵をすり抜ける現象が発生すると考えられる。

### 3 メッシュパネル取付がすり抜け現象抑止にもたらす効果

メッシュパネル取付による効果を確認するため、現道の国道で試行された箇所において、堆雪形状を調査した。

#### 3.1 調査概要

調査箇所は、雪崩柵にすり抜け対策が試行されている一般国道39号を対象とした。図5に対策工として樹脂ネットが取り付けられている箇所 (KP=73.9km付近) を示す。図6は鋼製のエキスパンドメタルが取り付けられている箇所 (KP=78.1km) である。対策品の仕様は後段の表1と同様である。

樹脂ネットの取り付け (図7) は、雪崩柵5段のうち上下2段に取り付けた場合と、下側1段にのみ取り付けられた場合で調査を行った。エキスパンドメタルの取り付け (図8) は、全雪崩柵7段のうち、上側3段に取り付けた場合と下側3段に取り付けた場合について、調査を行った。

すり抜け対策工の斜面積雪に対する影響を定量的に把握するため、この2箇所でも雪崩柵周辺の積雪状況を観察し、積雪深の横断測量と積雪断面観測 (積雪層構造、密度、雪温、硬度の鉛直分布) を行った。

調査は、積雪期間中の2006年2月16~18日と3月3~4日の2回実施した。

#### 3.2 調査結果

図7および図8が積雪横断測量の結果である。これらの図より樹脂ネットおよびエキスパンドメタルを取り付けた雪崩柵の上側に積雪が溜まり、対策を施していない雪崩柵では、柵の上下で積雪深に大きな変化はみられなかった。

2段に樹脂ネットを取付けた箇所 (図7左) は斜面全体で積雪の偏在はあまり見られず、1段のみ対策した箇所 (図7右) では下部の柵上部で堆雪が多かった。対策を施していない斜面上部の積雪が下部へ移動したと考えられる。このことから、1段よりも2段に樹脂ネットを取付けた方が斜面積雪の移動を抑えられると考えられる。



図5 調査箇所(樹脂ネット)

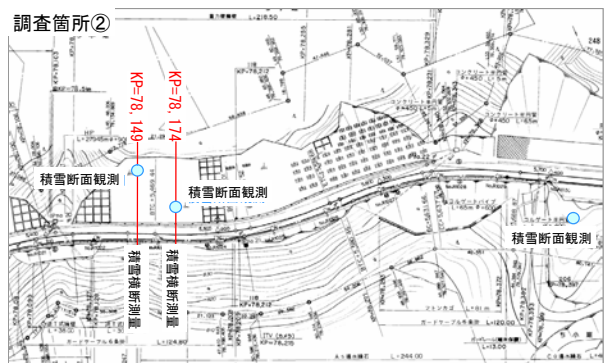


図6 調査箇所(エキスパンドメタル)

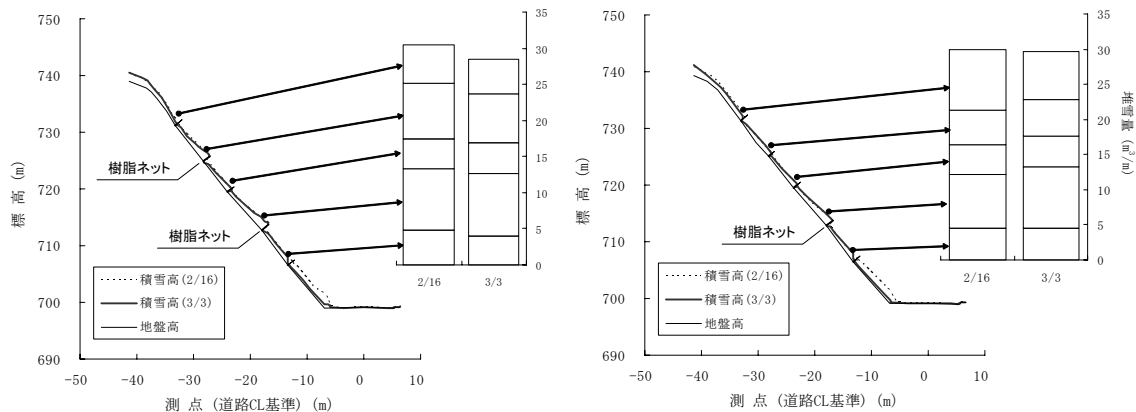


図7 積雪深の断面と雪崩柵の堆雪量(調査箇所1)

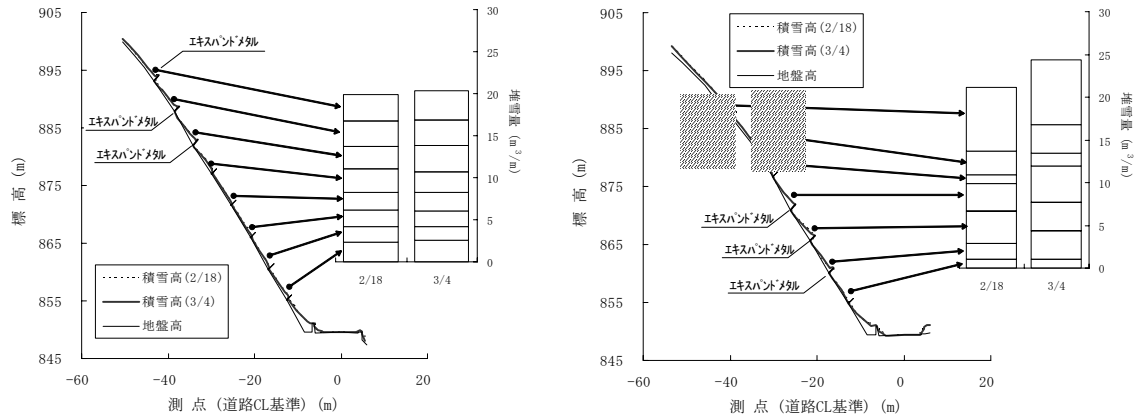


図 8 積雪深の断面と雪崩柵の堆雪量(調査箇所 2)

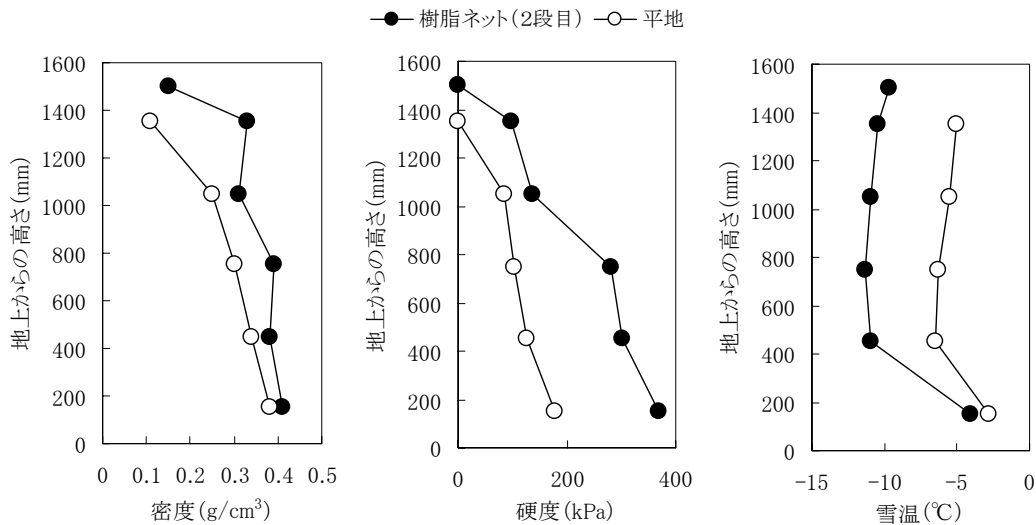


図 9 積雪断面観測結果(2006年3月4日)

エキスバンドメタル取付け箇所の調査結果(図 8)より、上部3段にエキスバンドメタルを施工した場合よりも、下部3段に施工した場合の方が斜面全体の堆雪量が約1割多かった。上部3段にエキスバンドメタルを取り付けた場合、取付箇所より下部の斜面積雪のほとんどが斜面下方に移動したと考えられる。

これら積雪深の横断測量結果から、すり抜け対策工の設置により柵上部への堆雪が多くなり、すり抜け対策工の効果が確認されたこと、一部に対策工を設けると堆雪の偏在が見られ、全て柵に対策を施すことが適当であるといえる。

また、図 9に平地と樹脂ネット対策柵の斜面上側の積雪内密度、硬度、雪温の鉛直プロファイルを示す。図からは、柵上側の密度と硬度が全体的に高い傾向にあるが確認できる。一般的に斜面積雪密度は平地積雪密度より小さくなる傾向にある<sup>17)</sup>が、メッシュパネルによって堆雪した雪が大気に接することで温度の変化を受け、平地よりも積雪の変質と圧密が進んだと考えられる。

密度と硬度が高い積雪状態になれば積雪の剪断強度が

強くなり、積雪が自然破壊して雪崩柵をすり抜けて雪崩が発生する可能性は低くなると考えられる。

## 4 雪崩発生実験による対策効果の検証

### 4.1 概要

メッシュパネル取付によるすり抜け現象の対策効果を検証するため、2007年12月14日から2008年2月29日まで札幌近郊の中山峠(標高 835m)にて雪崩発生実験を行った。

写真 1に示す現地実験斜面(勾配 37°)に高さ 2.5 m、幅 2.75 m の雪崩柵を 4 基(A~D)設置し、積雪上にブルーシート(#3000; 幅 5.4 m、長さ 9.0 m)を敷設した。既存研究<sup>18)19)</sup>によるとブルーシートとしまり雪との剪断強度や凍着力は 200~300 Pa 程度で、これは密度 100 kg/m<sup>3</sup>以下の弱層の剪断強度と同程度である<sup>20)</sup>。よってブルーシートの敷設は、人工的な弱層による滑り面を形成したことに相当する。

斜面の状況は動画で記録し、気温と積雪深は隣接する寒地土木研究所の気象観測施設の観測値を用いた。

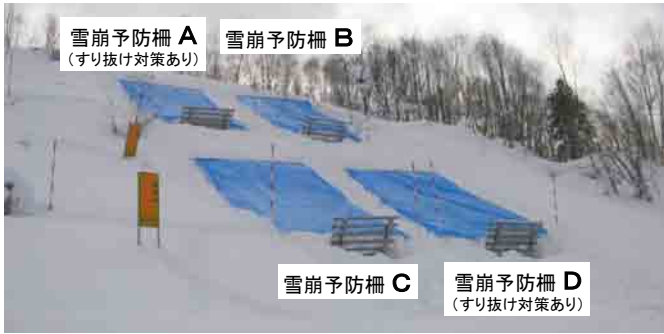


写真 1 現地実験斜面

表 1 対策品の仕様

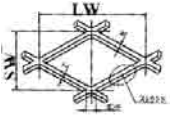
| 対策品                                 | 仕様  |
|-------------------------------------|---|
| エキスパンドメタル<br>(XS 62)<br>(12/14～2/8) | (SW) 34mm ×<br>(LW) 76.2mm<br> |
| 樹脂ネット<br>(2/9～2/29)                 | 25mm × 22mm   |



写真 2 エクスパンドパネルを取り付けた雪崩柵

すり抜け対策の有無による斜面積雪挙動の違いを把握するため、雪崩柵AとDに表 1 のエキスパンドパネル (XS62 (JIS規格G3351)) を取り付け、これを2月9日に樹脂ネット (25mm×22mm) に取り替えた。写真 2は、今回の実験で使用したエキスパンドパネルを取り付けた雪崩柵である。実験では、新雪の状態で自然に雪崩を発生させるため降雪が予測される前にブルーシート上の積雪を除去した。その後、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、実験期間中の発生回数を集計した。

#### 4.2 すり抜け現象の発生割合

表 2は、動画記録から集計した、実験期間中の雪崩発生数に対するすり抜け現象の発生割合である。無対策の雪崩柵BとCのすり抜け現象の発生割合は、66.7

～71.4%であった。ここで、エキスパンドパネルの取付け期間 (12/14～2/8) と樹脂ネットの取付け期間 (2/9～2/29) で無対策である雪崩柵BとCのすり抜け現象の発生割合に差がみられないので、実験期間中はすり抜け現象の発生条件としては同じであったと考えられる。

表 2 自然発生雪崩に対するすり抜け現象の発生割合

| 期間                  |       | 12/14-2/8 | 2/9-2/29 |
|---------------------|-------|-----------|----------|
| 対策無し                | 雪崩柵 B | 66.7%     | 71.4%    |
|                     | 雪崩柵 C | 71.4%     | 66.7%    |
| 対策あり<br>(エキスパンドパネル) | 雪崩柵 A | 0%        |          |
|                     | 雪崩柵 D | 6.7%      |          |
| 対策あり<br>(樹脂ネット)     | 雪崩柵 A |           | 0%       |
|                     | 雪崩柵 C |           | 0%       |

その上で、エキスパンドパネルと樹脂ネットを取り付けた場合のすり抜け現象の発生割合を比較すると、雪崩柵 A では両者ともにすり抜け現象の発生割合が 0.0%であった。一方、雪崩柵 D にエキスパンドパネルを取り付けた場合のすり抜け現象の発生割合は 6.7%であり、すり抜け現象が 1 件発生した。ただし、この事例でエキスパンドパネル面をすり抜けた雪の量はわずかであった。よって、今回の実験条件では、対策なしの場合では雪崩の約 70%ですり抜け現象を伴うが、対策ありの場合では顕著なすり抜け現象は発生しないといえる。

以上の結果から、メッシュパネル取付によってすり抜け現象を防止する効果が期待できることが明らかとなった。

## 5 まとめ

### 5.1 すり抜け現象の発生機構について

- ・ すり抜け現象を伴う雪崩は、比較的限られた地域で発生する。
- ・ すり抜け現象は、主に乾雪雪崩に伴って発生する。
- ・ すり抜け現象の発生は、気温が低く、風が弱く、降雪強度が大きい気象下で発生する傾向にある。

### 5.2 すり抜け対策の効果について

- ・ メッシュパネル取付により雪崩柵の斜面上部側に雪が堆積し、斜面積雪の移動を抑えると考えられる。
- ・ メッシュパネル取付により硬くしまった雪が形成される傾向にあり、柵付近の積雪が自然破壊して発生するすり抜け現象の発生を抑制すると考えられる。
- ・ メッシュパネル取付により流下した雪のすり抜けを防止する効果があることも確認された。
- ・ 数ある雪崩柵の一部(たとえば最下段のみ)に取り付けることは、堆雪の偏在を招くため、全ての柵に取り付けることが望ましい。

## 6 雪崩対策技術資料の作成について

すり抜け現象に対する対策としてのメッシュパネル等の取付工法について、本文では述べてきた。

これらの内容については、体系的に「北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料(案)」として取りまとめる予定である。

現在、その構成や本文の検討を行うとともに、技術的事項については専門家や行政担当者を交えた雪崩対策検討ワーキングにおいて検討を行っている。

表3 雪崩対策技術資料の全体構成案

| 章立て                   | 想定する内容  |
|-----------------------|---|
| 1. 総則                 | 定義、適用範囲等  |
| 2. 北海道における雪崩及び雪崩対策の実態 | 道路における雪崩の発生状況と特徴<br>北海道における雪崩対策工の実態<br>雪崩対策工の概要<br>北海道における雪崩対策の課題整理 |
| 3. すり抜け現象を伴う雪崩とその対策   | すり抜け現象を伴う雪崩の発生機構<br>すり抜け現象を伴う雪崩の対策必要箇所<br>すり抜け現象を伴う雪崩の対策手法          |
| 4. その他の対策に関する課題       | 今後の方針   |

### 参考文献

- 北海道開発局:北海道開発局道路設計要領, 2008  
[http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z\\_doro/download/download.html](http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/download/download.html)
- (社)日本建設機械化協会・(社)雪センター:除雪・防雪ハンドブック 2005(防雪編), 2005
- 松下拓樹, 松澤勝, 伊東靖彦, 上田真代: すり抜け現象を伴う雪崩の積雪特性と対策効果. ゆきみらい研究発表会論文集, (印刷中), 2009
- 松下拓樹, 松澤勝, 伊東靖彦, 大槻政哉, 齋藤佳彦, 2008: 雪崩予防柵をすり抜ける斜面積雪の特性に関する一考察. 寒地技術論文・報告集, 24, 388-392p
- 松下拓樹, 松澤勝, 伊東靖彦, 加治屋安彦: 斜面積雪が雪崩予防柵面をすり抜ける現象の発生条件. 寒地土木研究所月報, 665, pp10-17, 2008
- 松下拓樹, 松澤勝, 加治屋安彦: すり抜け現象を伴う雪崩の発生条件と対策について. 第51回(平成19年度)北海道開発局技術研究発表会 発表論文集(CD-ROM), ふゆ-10(道), 2008
- 松下拓樹, 松澤勝, 伊東靖彦: 雪崩予防柵をすり抜ける法面雪崩の対策について -北海道大雪湖周辺における調査事例-. 第50回(平成18年度)北海道開発局技術研究発表会 発表論文集(CD-ROM), ふ-11, 2007
- 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, 26, 91-94p. 2007
- 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, 22, pp351-356, 2006
- 松下拓樹, 松澤勝, 伊東靖彦, 上田真代, 加治屋安彦: 斜面積雪が雪崩予防柵面をすり抜ける現象に関する実験-発生動態と対策効果について-. 雪氷研究大会講演要旨集, 155p, 2008
- 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, 25, pp17-20, 2006
- 竹内政夫, 大槻政哉, 山田知充, 石本敬志: 北海道における最近の道路雪崩とその対応. ゆき, 63, pp77-84, 2006
- 梶川正弘, 後藤博, 金谷晃誠, 菊池勝弘: 気象要素を考慮した新積雪密度の推定式. 雪氷, 66, pp561-565, 2004
- Sato, T., K. Kosugi, S. Mochizuki, and M. Nemoto: Wind speed dependences of fracture and accumulation of snowflakes on snow surface. *Cold Regions Sci. Technol.*, 51, pp229-239, 2008
- 和泉薫: 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年報, 6, pp103-109, 1984
- Abe, O.: Creep experiments and numerical simulations of very light artificial snowpacks. *Annals of Glaciology*, 32, pp39-43, 2001
- Endo, Y., Y. Kominami and S. Niwano: Dependence of new-snow density on slope angle. *Annals of Glaciology*, 26, pp14-18, 1998
- 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.
- 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, pp181-185, 2007.
- Amieson, B. and Johnston, C. D.: Evaluation of the shear frame test for weak snowpack layers, *Annals of Glaciology*, Vol. 32, pp59-69, 2001