

# 北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料(案)

平成 22 年 3 月

独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所

## ま え が き

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、特殊通行規制区間の箇所数の削減が北海道開発局の業績計画に挙げられるなど、中でも雪崩対策は重要課題として位置づけられている。

現在の雪崩予防柵は「北海道開発局 道路設計要領 第2集 道路付帯施設編」や「2005除雪・防雪ハンドブック(防雪編)」に基づき設計されているが、これらの設計手法や柵自体の構造については、外国や北陸での研究成果を中心に30年以上前にとりまとめられたものである。また、北海道の国道では、雪崩の発生や雪崩のおそれによる通行止めがほぼ毎年発生しており、近年は斜面積雪が雪崩予防柵をすり抜けて道路に達する現象も発生し問題となっている。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とりまとめられていない。

こうした状況を踏まえ、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所では、北海道における道路雪崩対策の設計が適切に為されるように、既存の知見を活用するとともに、北海道内の雪崩対策に関する知見の深い有識者、学識経験者、行政担当者から構成される検討会を立ち上げ、新しい知見を取り入れながら、本技術資料(案)を作成した。

本技術資料(案)は、北海道における雪崩及び雪崩対策の実態と課題、中でも近年報告の多いすり抜け現象を伴う雪崩対策のために必要な技術的事項について記載した。しかしながら、すり抜け現象を伴う雪崩の発生形態や発生条件等については研究途上の事項もある。本技術資料(案)は各種の制約の中で現状として知り得る限りの知見をとりまとめたものであり、今後も技術や知見の蓄積を図り、その他の雪崩対策に関する課題についても内容の充実に努めていく所存である。

平成22年3月

## 目次

<b>1. 総則</b> .....	<b>1-1</b>
1.1 目的.....	1-1
1.2 適用範囲.....	1-2
1.3 本技術資料の構成.....	1-3
<b>2. 北海道における雪崩及び雪崩対策の実態</b> .....	<b>2-1</b>
2.1 道路における雪崩の発生状況と特徴.....	2-1
2.1.1 わが国の雪崩災害の概要と道路雪崩.....	2-1
2.1.2 北海道の国道における雪崩の発生状況と特徴.....	2-2
2.2 北海道における雪崩対策工.....	2-5
2.2.1 雪崩対策工の概要.....	2-5
2.2.2 既存の要領や基準による雪崩対策工の設計手法.....	2-14
2.2.3 北海道の道路における雪崩対策工の施工状況.....	2-22
<b>3. すり抜け現象を伴う雪崩とその対策</b> .....	<b>3-1</b>
3.1 すり抜け現象を伴う雪崩の発生機構.....	3-1
3.1.1 すり抜け現象を伴う雪崩の発生形態.....	3-1
3.1.2 すり抜け現象を伴う雪崩の発生条件.....	3-3
3.2 すり抜け現象を伴う雪崩の対策手法.....	3-6
3.2.1 すり抜け現象を伴う雪崩対策の考え方.....	3-6
3.2.2 対策工の設計方法（案）.....	3-7
<b>4. その他の雪崩対策に関する課題</b> .....	<b>4-1</b>

## 1. 総 則

### 1.1 目 的

本技術資料は、北海道における道路雪崩対策の設計が適切に為されるように、雪崩対策施設の設計に必要な技術的事項についてまとめたものである。

#### 【解 説】

本技術資料は、北海道において発生する道路雪崩対策の設計が適切に為されるために、雪崩対策施設の設計に必要な技術的事項についてまとめたものである。道路雪崩とは、道路に影響を及ぼす雪崩と定義する。

本技術資料においては、既存の技術資料に記載のない雪崩対策に関する課題のうち、北海道で近年報告<sup>1)~3)</sup>が多い斜面積雪が雪崩予防柵をすり抜ける現象を伴う雪崩(2-3p 参照)に着目し、その対策のために必要な技術的事項を記載した。これ以外の課題については、今後の本技術資料の改訂により追加していくこととしたい。なお、本技術資料でいう雪崩予防柵とは、特別に記述がない限り吊柵も含むものとする。

## 1.2 適用範囲

本技術資料は、北海道開発局が整備する一般的な道路の雪崩対策計画・設計に適用し、「北海道開発局 道路設計要領」を補完する技術資料である。

### 【解説】

本技術資料は、北海道の地域特性を考慮した雪崩対策に関する技術資料であり、北海道開発局が整備する一般的な道路の雪崩対策計画・設計に適用し、「北海道開発局 道路設計要領」を補完する技術資料である。

特に既往の設計要領等で対象としていないすり抜け現象を伴う雪崩への対応方針・方策に着目して記述しているが、既往の設計要領等を見直すものではなく、すり抜け現象への対策という点で補完するものである。

雪崩対策施設の計画・設計については、以下に示す関連図書を併せて参照されたい。

- ・「北海道開発局 道路設計要領 第2集 道路付帯施設」<sup>4)</sup>
- ・「2005 除雪・防雪ハンドブック(防雪編)」<sup>5)</sup>
- ・「道路防雪便覧」<sup>6)</sup>
- ・「集落雪崩対策工事技術指針(案)」<sup>7)</sup>

なお、雪崩現象に関する基礎的事項については「雪崩現象の基礎に関する技術資料(案)」<sup>8)</sup>を参照されたい。

### 1.3 本技術資料の構成

本技術資料の構成は、「総則」、「北海道における雪崩及び雪崩対策の実態」、「すり抜け現象を伴う雪崩とその対策」、「その他の雪崩対策に関する課題」の4章からなる。

#### 【解説】

本技術資料の構成は図 1.3-1 に示す通りであり、各章では以下の内容を記述した。

1章の「総則」では、本技術資料の目的と適用範囲および本技術資料の構成を示す。

2章の「北海道における雪崩及び雪崩対策の実態」では、雪崩災害事例のデータに基づきわが国の雪崩災害の概要と北海道の国道における雪崩の発生実態・特徴について示した。またすり抜け現象を伴う雪崩対策の対応方針・方策への理解を深めるために、北海道における雪崩対策工の概要と雪崩予防柵の計画・設計の考え方を整理した。

3章の「すり抜け現象を伴う雪崩とその対策」では、すり抜け現象を伴う雪崩の発生機構とその特徴及びすり抜け現象を伴う雪崩対策に関する基本的な考え方について整理した。

4章の「その他の雪崩対策に関する課題」では、すり抜け現象を伴う雪崩以外の北海道で特徴的な雪崩現象に対する課題について整理した。

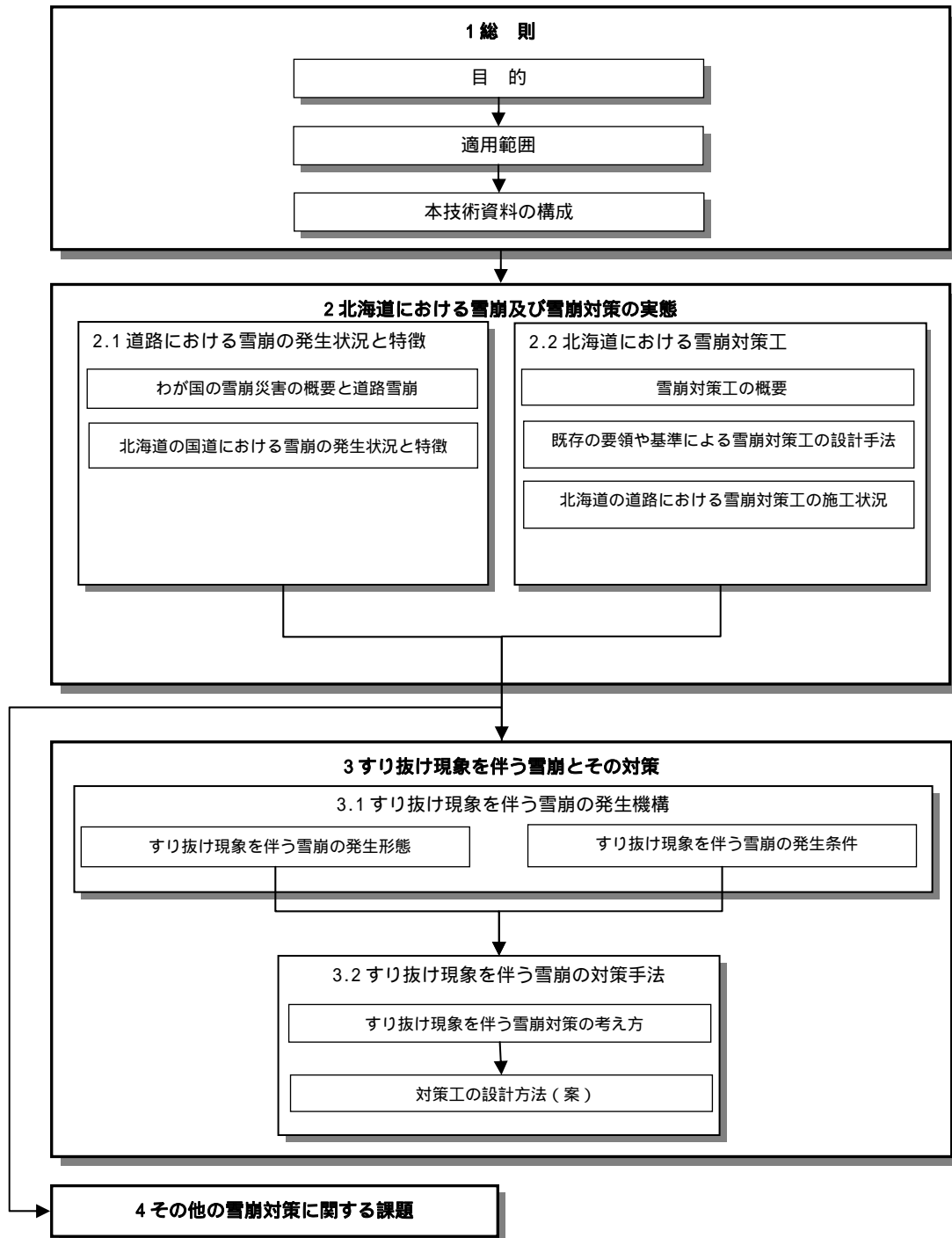


図 1.3-1 本技術資料の構成

## 2. 北海道における雪崩及び雪崩対策の実態

### 2.1 道路における雪崩の発生状況と特徴

#### 2.1.1 わが国の雪崩災害の概要と道路雪崩

わが国の雪崩災害はほぼ毎年発生しており、豪雪年は発生件数が多い。また全雪崩災害発生件数に対する道路雪崩の占める割合は高い。

#### 【解 説】

わが国の雪崩災害はほぼ毎年発生しており、特に豪雪年で発生件数が多い(図 2.1-1)<sup>9)</sup>、<sup>10)</sup>。近年では1996年(平成8年)と2006年(平成18年豪雪)で雪崩発生件数が多い。特に平成18年豪雪では161件の雪崩災害が発生し、そのうち道路における雪崩災害が115件とその割合が高い<sup>10)</sup>。また、1960年頃から全雪崩被害の発生件数に対する道路雪崩の占める割合は高い傾向にある(図 2.1-1)。

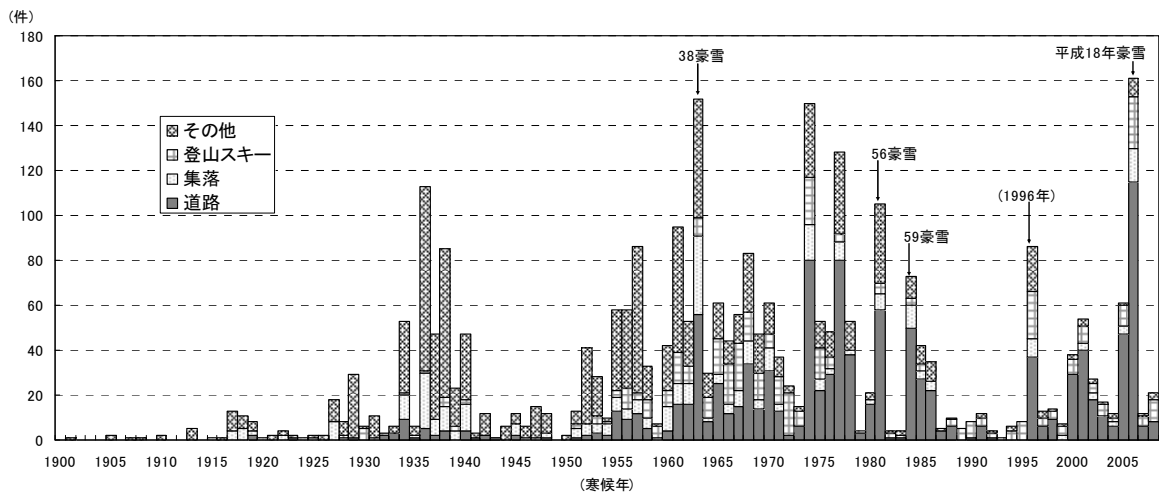


図 2.1-1 全国の雪崩災害の発生状況(1900(明治33年)~2008年(平成20年))

1900~1999年は雪センター(2002)<sup>9)</sup>より、2000~2008年は長部ほか(2008)<sup>10)</sup>の集計データを用いて作成。寒候年とは前年秋から当年春までを表す。



## 2.1.2 北海道の国道における雪崩の発生状況と特徴

### (1) 北海道の国道で発生する雪崩の状況

北海道の国道における雪崩の発生及び雪崩のおそれによる通行止めはほぼ毎年発生している。発生形態は乾雪雪崩によるものが多い。また斜面積雪が雪崩予防柵をすり抜けて道路に達する現象も発生している。

#### 【解説】

北海道の国道における雪崩の発生および雪崩のおそれによる通行止めはほぼ毎年発生している(図 2.1-2)。雪崩発生による通行止めは、乾雪雪崩によるものが全体の66%と多く、厳冬期である1~2月に発生することが多い(図 2.1-3)<sup>3)</sup>。一方、湿雪雪崩による通行止めは融雪期にあたる3月に多く発生している(図 2.1-3)。また北海道の国道では、斜面積雪が雪崩予防柵をすり抜けて道路に達する現象が、主に乾雪雪崩に伴って発生している(図 2.1-3)<sup>1), 3), 11)~14)</sup>。

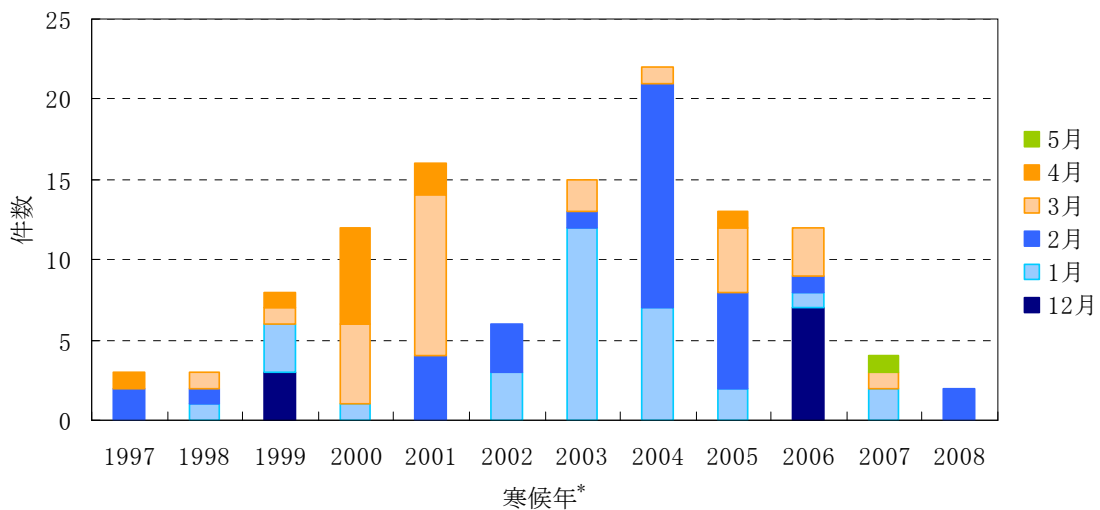


図 2.1-2 北海道の国道における雪崩発生および雪崩のおそれによる通行止め発生件数

\*寒候年とは前年秋から当年春までを表す(統計期間:1996年(平成8年)12月~2008年(平成20年)5月)

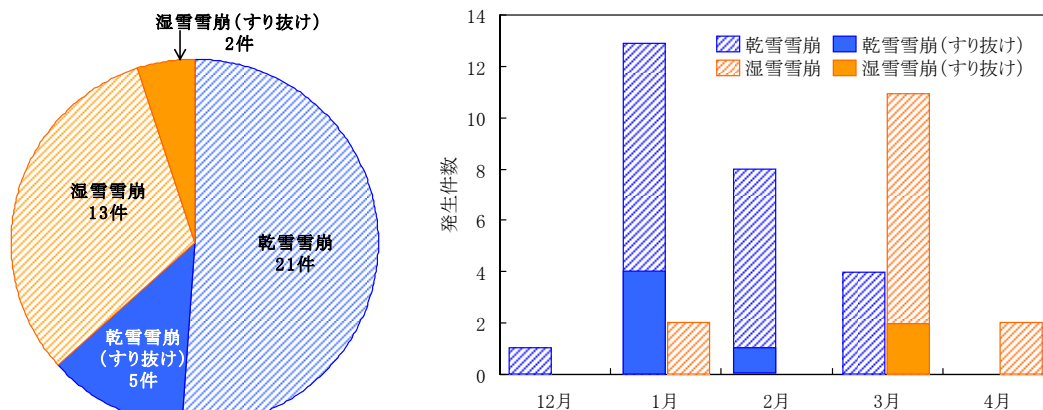


図 2.1-3 北海道の国道において発生した雪崩件数(左)及び月別発生件数(右)<sup>3)</sup>

(統計期間:2001年(平成13年)4月~2006年(平成18年)3月)

## (2) すり抜け現象を伴う道路雪崩の特徴

すり抜け現象を伴う雪崩は、多量の降雪中またはその直後に発生する傾向があり、複数個所で同時に発生することもある。

### 【解説】

これまで北海道の国道における雪崩予防柵を中心とする対策工の整備は、雪崩発生の予防に効果を発揮してきた。また、北海道の厳冬期に降る雪は粘着力が小さく、急斜面では数 cm 積ると間断なく滑り落ちるため大量の雪は積もらないと考えられてきた<sup>1), 11)</sup>。しかし、今まで雪が積もったことのない斜面にも大量の雪が積もり<sup>1), 11), 13)</sup>、これまでに想定していない箇所で新たな現象を伴った雪崩発生の危険性が増している<sup>14)</sup>。その一例が、雪崩予防柵が設置されている斜面で雪崩予防柵を積雪がすり抜けて流下する事例の報告である<sup>1), 3), 11) ~14)</sup>。このすり抜け現象を伴う雪崩とは、既存の雪崩予防柵では雪崩の発生抑止効果が果たせず、雪崩予防柵の支持面（バーの影響範囲（図 2.1-4））を積雪がすり抜ける現象のことであり（図 2.1-5）隣り合う雪崩予防柵の間を雪が抜け落ちる現象を示すものではない。

図 2.1-6 は、すり抜け現象を伴う雪崩の発生事例である。破断面が雪崩予防柵を横断しており、雪崩予防柵が設置されているにもかかわらず、積雪が破断して斜面を流下し道路に達した。

すり抜け現象を伴う雪崩は、多量降雪中またはその直後に発生する傾向にあることが報告されている<sup>1), 3), 11), 12)</sup>。また、すり抜け現象を伴う雪崩は平成 17 年 2 月の支笏湖畔の事例のように、ほぼ同時あるいは順次に同一路線の複数個所で発生することもある<sup>1), 11), 14)</sup>。

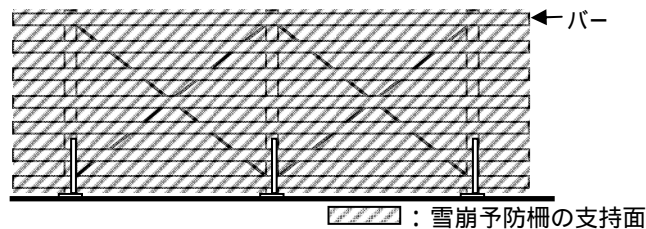


図 2.1-4 雪崩予防柵の支持面(正面図)

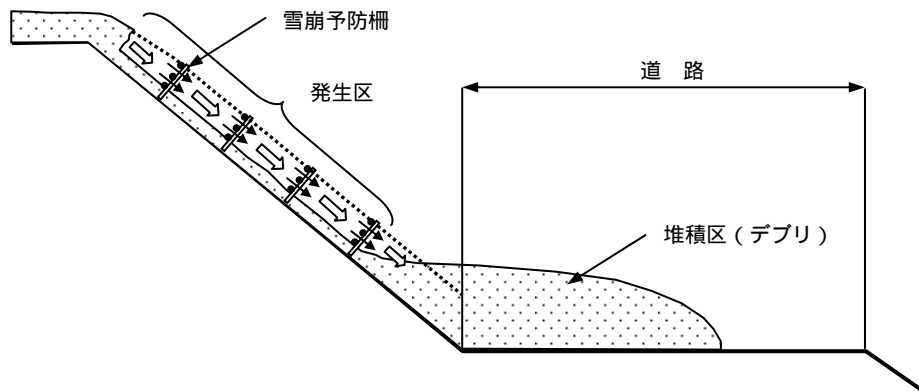


図 2.1-5 すり抜け現象を伴う雪崩の概念図<sup>15)</sup>

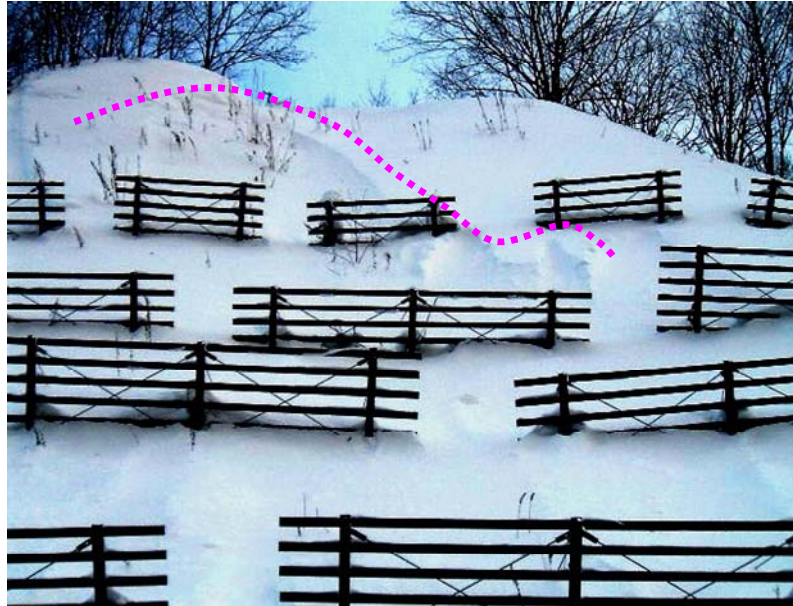


図 2.1-6 すり抜け現象を伴う雪崩の発生事例  
破断面(破線)が、雪崩予防柵を横断している場合

## 2.2 北海道における雪崩対策工

### 2.2.1 雪崩対策工の概要

#### (1) 雪崩対策工の種類

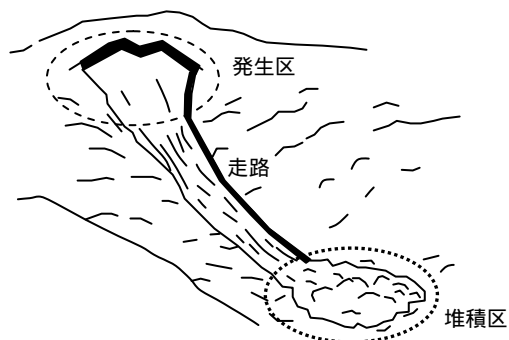
雪崩対策工は、雪崩発生区に設置して雪崩の発生を未然に防止する雪崩予防工と、発生した雪崩を走路もしくは堆積区において対処する雪崩防護工の2種類に分類される。

#### 【解説】

雪崩の発生した形跡は、その形態より一般に発生区・走路・堆積区の3つに区分される(図 2.2-1)<sup>5)</sup>。雪崩対策工は、雪崩発生区に設置して雪崩の発生を未然に防止する雪崩予防工と、発生した雪崩を走路もしくは堆積区において対処する雪崩防護工の2種類に分類される。

図 2.2-2 に雪崩対策工の種類<sup>5)</sup>を、表 2.2-1～表 2.2-3 に主な雪崩対策工とその概要について示す。

雪崩予防工には、斜面積雪のグライド やクリープ による2つの運動を防止することにより雪崩の発生を防止する発生予防工と、雪崩発生の主要な要因 である雪庇の形成を防止する雪庇予防工に区分される。また雪崩防護工には、流下する雪崩の勢力を分割してその力や量の一部を軽減する減勢工、雪崩の流下する方向を変更する誘導工、流下する雪崩が保全対象に到達するのをくい止める阻止工がある。



発生区：雪崩が発生する区域  
走路：雪崩が走行する区域  
堆積区：雪崩の運動が停止し、雪崩によって運ばれた雪が堆積する区域

図 2.2-1 雪崩の発生区, 走路, 堆積区<sup>5)</sup>

グライド：地面での積雪のすべり現象。

クリープ：鉛直方向に働く力(重力)と斜面に平行な方向に働く力によって時間の経過と共に積雪内部でゆっくり起こる変位現象。

雪崩の発生要因には、地形と植生条件による素因と積雪と気象条件による誘因があり、雪崩はこれらの素因と誘因の組合せにより発生する。雪庇は、風によって運ばれた雪が稜線の風下側に堆積して付着しながら庇状に成長するものであり、雪庇が崩落した場合には雪崩を誘発する可能性がある。

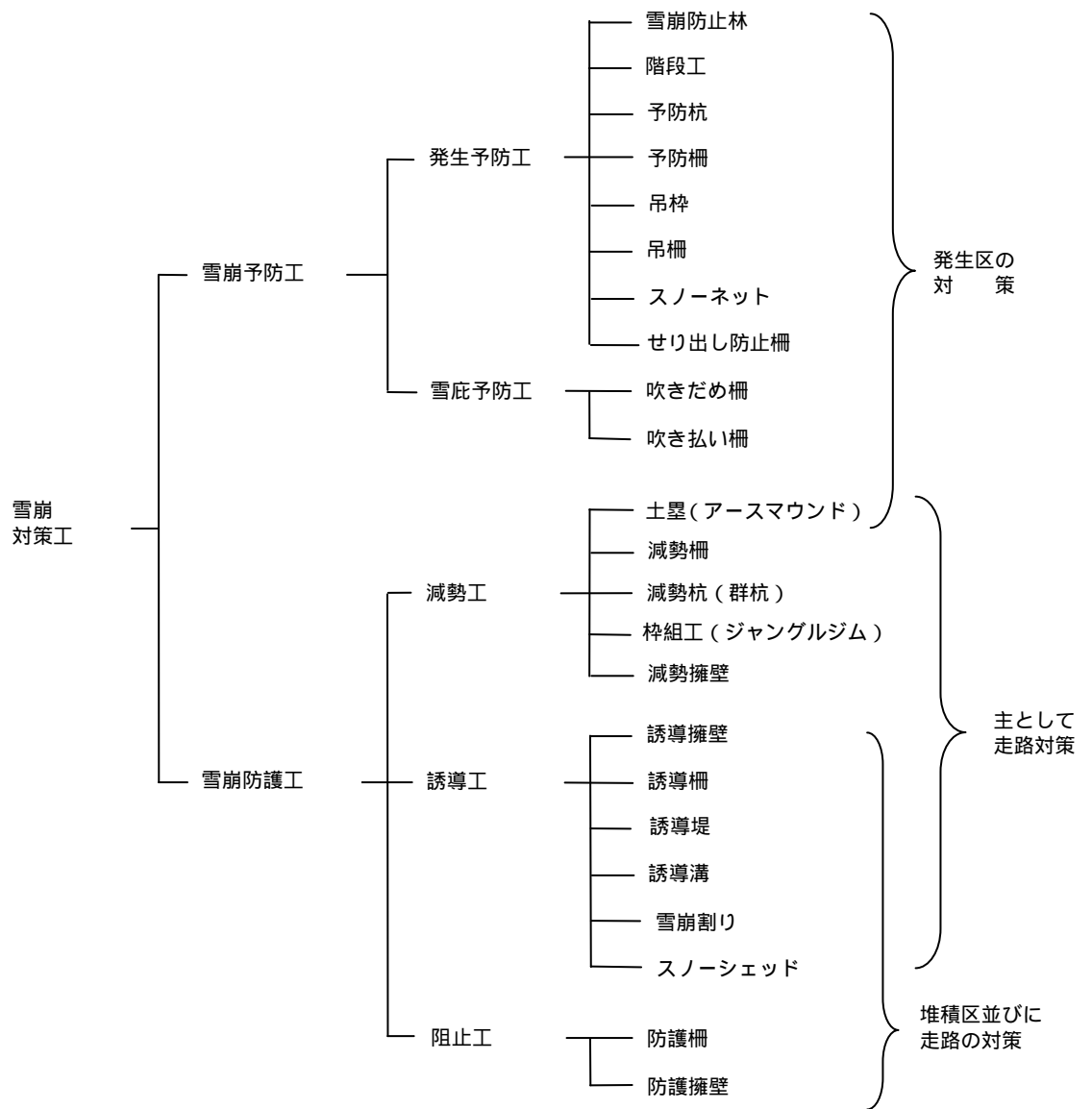


図 2.2-2 雪崩対策工の種類  
 (「2005 除雪・防雪ハンドブック」<sup>5)</sup>の内容を一部修正)

表 2.2-1 主な雪崩対策工とその概要(雪崩発生区)

雪崩対策工	概要	写真
<p>予防柵</p>	<p>柵構造物によって雪崩の発生を未然に防ぐ工法。全層及び表層雪崩対策に用いられる。 発生予防工の中でも設置条件に対する制約が少ない工法である。</p>	
<p>吊 柵</p>	<p>柵構造物によって雪崩の発生を未然に防ぐ工法。全層及び表層雪崩対策に用いられる。 機能的には予防柵と同様であるが、斜面の地盤が悪い場合、急峻な地形などの予防柵の施工が困難な斜面でも用いられることが多い。</p>	
<p>予防杭</p>	<p>植生の雪崩防止機能に着目し、樹木に代わるものとして人工的に杭を設置する工法。全層雪崩対策に用いられる。</p>	

北海道において雪崩予防柵と呼ぶ場合、主に吊柵を意味することが多い。しかし、本技術資料では「2005除雪・防雪ハンドブック」<sup>5)</sup>の記述に従い“吊柵”と“予防柵”を区別して記述する。ただし、本技術資料で“雪崩予防柵”と記載がある場合、特に記述がない限り両方を意味するものとする(1-1p参照)。

表 2.2-2 主な雪崩対策工とその概要(走路)

雪崩対策工	概要	写真
誘導擁壁	<p>走路に設置した擁壁により流下してくる雪崩の進行方向を変化させ、雪崩から保全対象を護る工法。</p>	
誘導柵	<p>走路に設置した柵構造物により流下してくる雪崩の進行方向を変化させ、雪崩から保全対象を護る工法。</p>	
スノーシェッド	<p>道路が雪崩の走路を横切る場合において、道路上に屋根を設置し、雪崩を通過させることを目的とした工法。</p>	
減勢柵	<p>走路に設置した柵構造物で流下してくる雪崩の速度を低減させて、到達距離も短くし、雪崩から保全対象を護る工法。</p>	



表 2.2-3 主な雪崩対策工とその概要(堆積区)

雪崩対策工	概要	写真
<p>防護柵</p>	<p>堆積区に設置した柵構造物で流下してくる雪崩を堰止め、保全対象を防護する工法。</p>	
<p>防護擁壁</p>	<p>堆積区に設置した擁壁で流下してくる雪崩を堰止め、保全対象を防護する工法。</p>	



## ( 2 ) 対策工法の選定

雪崩対策工の選定にあたっては、発生区・走路・堆雪区における地形、土質・地質、雪崩の種類、斜面勾配、斜面長、積雪深を考慮し、最も適切な工法を選定する。

### 【解 説】

雪崩対策工の選定にあたっては、「2005 除雪・防雪ハンドブック」<sup>5)</sup>に従い、各工法の機能を十分に発揮できるように発生区・走路・堆積区における地形、土質・地質、雪崩の種類、斜面勾配、斜面長、積雪深を考慮しなければならない。また各区、各条件に適した工法については、経済性・施工性を検討し、必要に応じて景観を考慮して決定し、最も適切な雪崩対策工を単独もしくは組み合わせて選定する必要がある。

表 2.2-4～表 2.2-6 に主な雪崩対策工の選定方法 を示す。

---

北海道の国道に係わる雪崩予防柵の設計手法については、「北海道開発局道路設計要領 第2章道路防災 2.2 雪崩対策施設」<sup>4)</sup>に示されている。また同要領では、雪崩対策工の計画・調査・設計・施工に関する基本的(原則的)な事柄については、「2005 除雪・防雪ハンドブック」<sup>5)</sup>によるものとされている。

表 2.2-4 発生区における主な雪崩対策工<sup>5)</sup>

要因		雪崩予防工			備考
		予防杭	予防柵	吊柵	
雪崩の種類	全層				表層雪崩は、積雪の上部の層がすべり出すため対策工は限られる
	表層	×			
積雪深	1～4m				予防杭は埋設しても全層雪崩に効果がある。6m以上では、道路などの場合、スノーシェッドを用いるか、トンネルを採用する必要がある。
	4～6m				
	6m以上	×	×	×	
斜面勾配	20°以下				50度(8分)以上の斜面ではコンクリート基礎を設けるのが困難である。予防杭などは勾配が急な場合、効果が減少する。予防柵などの設置の最下層は30度以下になる所まで設けるのが原則である。
	20～30°				
	30～40°				
	40～50°				
	50°以上	×			
地形	凹凸大			×	凹凸とは流水によって刻まれた溝や転石などの突起を指している。沢地形の所は積雪量が多くなるので強固な構造とする必要がある。
	沢地形				
	均一地形				
斜面長	15～50m				予防柵を施工する場合、通常設置間隔は15m程度が多い。吊柵は1列のアンカーから2～3段が多い。
	50～100m				
	100～200m	×		×	
	200m以上	×		×	
土質地質	土				予防杭、予防柵は支持地盤の深い所は一般に適さないが1m以上深い所では、根かせ式の基礎により設置できる(現在、鉛直式の予防柵もある)。地すべり地では斜面に基礎が設置できない吊柵になる。
	吹岩				
	硬岩				
	地すべり	×	×		
摘要		1. 斜面勾配約40°以下 2. 容易に掘削できる程度の基岩 3. 全層雪崩の予防 4. 積雪深3～4m程度以下 5. 凹凸の大きい地形では、予防杭、予防柵が適しているが、予防柵は、千鳥配置または断続配置とする。	1. 斜面勾配約55°以下 2. 容易に掘削できる程度の基盤 3. 全層、表層雪崩の予防 4. 積雪深5～6m程度以下	1. 斜面勾配が急か土質状態が悪く強固な基礎に不適切な斜面 2. 全層、表層雪崩の予防 3. 柵高を積雪深と同じにするので、4m以上は不適切 4. 基礎、アンカーに留意 5. 吊柵、吊柵は3段を超えるとワイヤーロープの径が太くなり現場加工が困難になる。	凡例 採用できる やや問題ある × 不適切である

近年北海道では斜面積雪が柵の支持面をすり抜けて道路に達する現象が報告されている(2-3p参照)

表 2.2-5 走路における主な雪崩対策工<sup>5)</sup>

要因		対策工	誘導工			減勢工	備考		
			誘導擁壁	誘導柵	スノーシェッド	減勢柵			
斜面 勾配	20°以下								
	20～30°					×			
	30～40°					×			
	40～50°					×			
	50°以上	×	×			×			
地形	凹凸大								
	沢地形								
	均一地形								
走路長	～50m								
	50～100m								
	100～1000m								
	1000m以上								
土質 地質	土								
	軟岩								
	硬岩								
	地すべり	×	×	×	×	×			
積雪深	1～4m								
	4～6m	×	×			×			
	6m以上	×	×			×			
雪崩の 種類	全層								
	表層								
雪崩の 規模	大		×				4,000m <sup>3</sup> 以上		
	中						500～4,000m <sup>3</sup>		
	小						500m <sup>3</sup> 以下		
摘要		1.発生した雪崩の進路を変更させる 2.壁、柵に衝突させて少し進路を変更させる 3.走路幅を限定させる目的にも設定する(橋梁を守る、スノーシェッドの設置長)			1.完全な線防護ができる 2.雪崩対策として信頼度が高い 3.他の施設設置が不適当な場所		1.流下してきた雪崩の勢力を弱めて下方に堆積させる 2.斜面勾配が20°以下の場所 3.走路幅の狭い場所に適している		凡例 採用できる やや問題ある × 不適切である

表 2.2-6 堆積区における主な雪崩対策工<sup>5)</sup>

要因		対策工	阻止工		備考
			防護柵	防護擁壁	
斜面勾配	20°以下				20度以下では、阻止工を採用する。
	20～30°				
	30°以上		×	×	
地形	凹凸大				堆積区は地形の影響は少ないが、誘導工は均一地形が望ましい。
	沢地形				
	均一地形				
土質 地質	土				堆積区が地すべりの場合、地すべり対策と合わせて雪崩対策工を検討すべきである。
	軟岩				
	硬岩				
	地すべり		×	×	
積雪深	1～4m				雪崩の層厚によって、堆積量が大きく異なるので要注意
	4～6m				
	6m以上		×	×	
雪崩の種類	全層				表層雪崩と全層雪崩では、堆積区が異なることが多いので要注意
	表層				
雪崩の規模	大		×	×	4,000m <sup>3</sup> 以上
	中				500～4,000m <sup>3</sup>
	小				500m <sup>3</sup> 以下
堆積スペース	大きい				雪崩を堆積させるスペース（ポケット）が必要である。
	小さい		×	×	
摘要		<p>1. 予防施設の設置が困難か他の施設を設置しても、雪崩が到達する場合、これを阻止する</p> <p>2. 強固な基礎地盤が望ましい</p> <p>3. 全層、表層雪崩の防護</p> <p>4. 柵・擁壁の背面の堆積スペース（ポケット）が小さい場合は切土をして容量の拡大を図る。</p> <p>斜面に対して危険が高まる側面がある</p>			<p>凡例</p> <p>採用できる</p> <p>やや問題ある</p> <p>× 不適切である</p>

## 2.2.2 既存の要領や基準による雪崩対策工の設計手法

### (1) 雪崩対策工の設計の考え方

「北海道開発局 道路設計要領」および「2005 除雪・防雪ハンドブック」の既存の基準において、雪崩対策工の設計は、それぞれの目的の相違から以下の荷重に対して組み合わせを考慮し、安全が確保できるよう施設を設計設置するものとされている。

雪崩予防工（雪崩予防柵）

死荷重およびクリープとグライドにより発生する斜面雪圧

雪崩防護工

死荷重、斜面雪圧に加え、雪崩衝撃力や雪塊衝撃力等、衝突時に発生する荷重

#### 【解説】

表 2.2-7、表 2.2-8 は雪崩予防工の一つである雪崩予防柵と、雪崩防護工の荷重の組み合わせについて示したものである。設計にあたっては対策施設の目的と効果、及び荷重条件を十分に整理して検討を行う必要がある。

表 2.2-7 雪崩予防柵における荷重の組み合わせ<sup>7)</sup>

状態	荷重	
	死荷重	斜面雪圧
積雪時	○	○

表 2.2-8 雪崩防護工における荷重の組み合わせ<sup>7)</sup>

状態	荷重					
	死荷重	雪崩衝撃荷重	斜面雪圧	雪塊衝撃力	沈降力	温度変化の影響 <sup>***</sup>
雪崩堆積時	○		○		○	○
雪崩衝突時	○	○	○		○	○
雪塊衝突時	○			○		

物体に働く力の大きさや向きが時間に関係なく一定な荷重の事。ここでは構造物自体の荷重を示す。

温度変化の影響は、不静定構造系（構造体を支えるのに最低限以上の支点をもつ構造物）の場合に考慮し、静定構造系（構造体を支えるのに最低限の支点しか持たない構造物）は特に考慮する必要はない<sup>7)</sup>。

## (2) 雪崩予防柵の設計手法

雪崩予防柵の配置・設計にあたっては、「北海道開発局 道路設計要領」に従い、下記の事項を検討することとされている。

- 1) 設置位置
- 2) 配置
- 3) 柵間隔及び列間隔
- 4) 構造及び使用材料
- 5) 荷重

### 【解説】

北海道の国道に関わる発生予防工の設計手法については、「北海道開発局 道路設計要領 第2章道路防災 2.2 雪崩対策施設」<sup>4)</sup>において雪崩予防柵が示されている。また同要領では、雪崩対策工の計画・調査・設計・施工に関する基本的な事柄については「2005 除雪・防雪ハンドブック」<sup>5)</sup>によるものとされている。さらにこのハンドブックでは、吊柵の基本的な設計・配置は予防柵に準ずると記述されている。ここではこれらの資料に基づいた雪崩予防柵の設計手法について示す。

#### 1) 設置位置

雪崩予防柵は雪崩の発生区域に設置する。

##### 最上段の柵

最上段の柵は、雪崩発生区域最上端の破断線が柵の背圧領域（雪崩予防柵が受け持つことができる斜面雪圧の範囲で、列間隔  $L$  (2-16p 参照)の最大値に相当)に入るようにする(図 2.2-3)<sup>4)</sup>。

##### 最下段の柵

最下段の柵は、斜面勾配が  $30^\circ$  以下になるところまで設置する(図 2.2-3)。ただし最下段の柵は、除雪の2次堆雪を考慮し直高 5m 以上の位置とする<sup>4)</sup>。

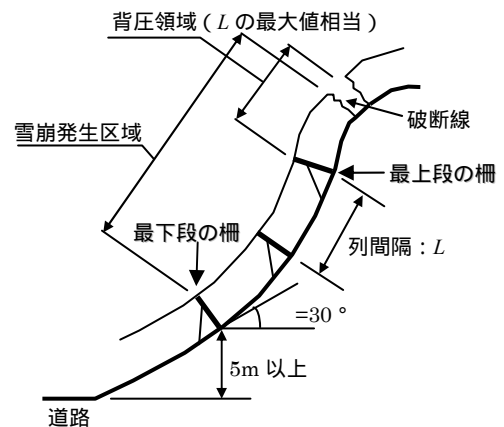


図 2.2-3 雪崩発生域と背圧領域

#### 2) 配置

雪崩予防柵の配置の種類には図 2.2-4 に示す 4 種類がある。

各配置は、地形との整合性、設計の標準化、経済性を考慮して断続配置、千鳥配置のいずれかとし、等高線に平行に配列する<sup>4)</sup>。

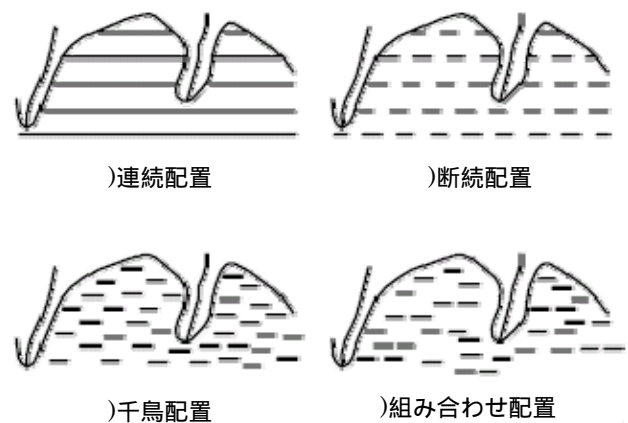


図 2.2-4 雪崩予防柵の配置方法<sup>5)</sup>

3) 柵間隔及び列間隔

雪崩予防柵の柵と柵の水平間隔は雪の抜け落ち等を考慮し 1.0m を標準とする<sup>4)</sup> (図 2.2-5)。

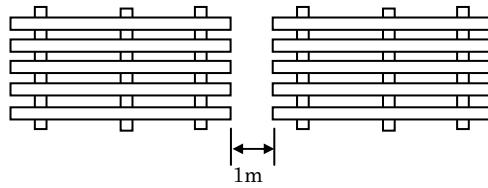


図 2.2-5 雪崩予防柵の柵間隔

雪崩予防柵の列間隔  $L$  (図 2.2-6) は表 2.2-9 に示す値以下とする。なお列間隔  $L$  は次式より算定される。

$$L = f_L \times H_s$$

$$f_L = \frac{2 \tan \alpha}{(\tan \alpha - \tan \beta)}$$

- $L$  : 列間隔(m)       $H_s$  : 設計積雪深(m)
- $\alpha$  : 斜面勾配(°)       $f_L$  : 距離係数
- $\beta$  : 雪と地面の摩擦角( $\tan \beta = 0.5$ ; 安全側の値)

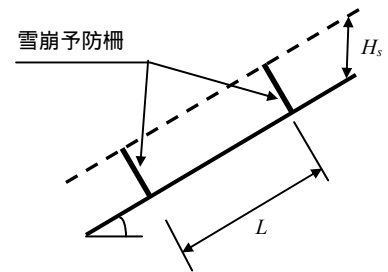


図 2.2-6 列間隔  $L$ <sup>4)</sup>

表 2.2-9 列間隔  $L$  (m)<sup>4)</sup> の計算例

$H_s$ (m) \ (\alpha)	30	35	40	45
2.0	30	14	10	8
2.5	37	17	12	10
3.0	45	21	15	12
3.5	52	24	17	14
4.0	60	28	20	16

$\alpha$  : 斜面勾配  $H_s$  : 設計積雪深

#### 4) 構造及び使用材料

##### 柵 高

雪崩予防柵の高さ  $D_s$  は、設置される地域での設計積雪深  $H_s$  に基づいて決定される(図 2.2-7)。柵の高さ  $D_s$  が設計積雪深  $H_s$  より小さい場合、全層雪崩に対する効果が減少することはないが表層雪崩に対する危険性がある。また柵上部を超えた雪の層が下部斜面の柵とつながった場合には、柵最上部のバーに不測の沈降力がかかることがある。

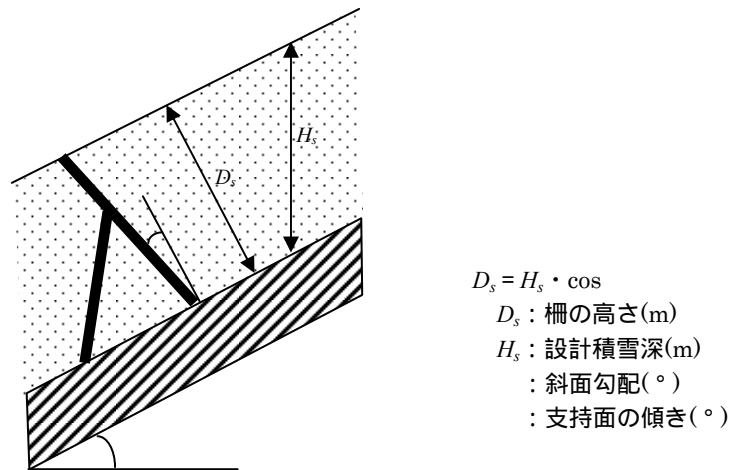


図 2.2-7 雪崩予防柵の高さ  $D_s$

##### 柵幅(柵の長さ)

雪崩予防柵の柵幅は、現地状況を考慮して決定する。なお、鋼製雪崩予防柵は設計の標準化を考慮し、2.75m(自然斜面)と5.50m(整地斜面)を標準とし、2.75mは2柱式、5.50mは3柱式とする(図 2.2-8)。

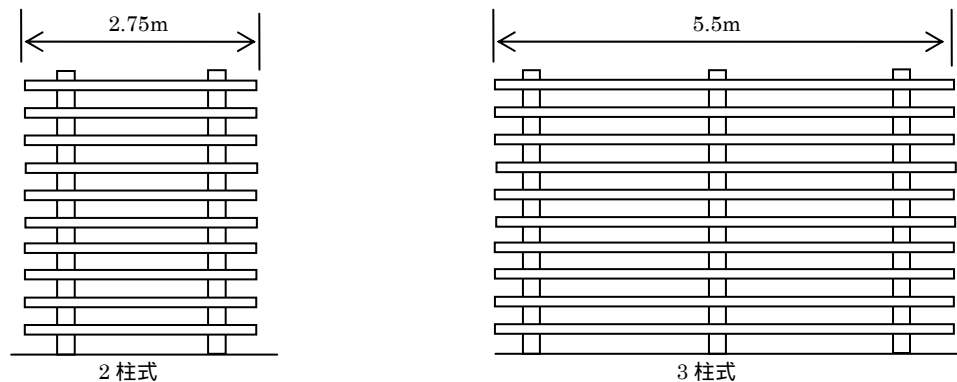


図 2.2-8 雪崩予防柵の柵幅と主柱の本数(鋼製雪崩予防柵の場合)

##### 支持面の傾き

雪崩予防柵の支持面の傾きは設計の標準化を考慮し、斜面勾配が  $30 \sim 35^{\circ}$  の場合は  $15^{\circ}$ 、斜面勾配が  $40 \sim 45^{\circ}$  の場合は  $10^{\circ}$  の2種類とする。吊柵の場合は斜面に直角とする。

##### 基礎

雪崩予防柵の場合、基礎工は無筋コンクリート構造とし、主柱と支柱連続基礎を原則とする。吊柵の場合はアンカー方式を原則とする。



使用材料（鋼製雪崩予防柵）

鋼製雪崩予防柵の使用材料は、主柱・支柱・バーには H 型鋼または軽量形鋼・構造用鋼管・角鋼管などの鋼材が用いられるが、表 2.2-10 を標準とする。

表 2.2-10 材料の規格<sup>4)</sup>

部材	材料	材質
主柱	H 型鋼	SS400
支柱	H 型鋼	SS400
バー	丸型鋼管	STKR400
結合ボルト	B・N	SS400 相当品

「北海道開発局 道路設計要領」<sup>4)</sup>では支持バーと記しているが、ここではバーと表記した

### 5) 荷重

雪崩予防柵の設計にあたり、積雪に関する以下の荷重を考慮する必要がある。これらの荷重は、主柱及び支柱、基礎（アンカー）やワイヤーの設計において考慮される。バーの設計では、これらの荷重に割増をかけ、さらに付加荷重を考慮する。

- i) 斜面雪圧
- ii) スノープリズム荷重
- iii) 辺縁効果荷重

主柱及び支柱

)斜面雪圧

雪崩予防柵を設計する場合は、斜面に平行な雪圧  $S_n$  と垂直な雪圧  $S_q$  が同時に作用するものとし（図 2.2-9）、これらは次式で求める<sup>4)</sup>。

$$S_n = \quad \cdot H_s^2$$

$S_n$  : 雪圧の斜面に平行な成分(kN/m)

$H_s$  : 設計積雪深(m)

: 表 2.2-11 による係数

$$S_q = \quad \cdot H_s^2$$

$S_q$  : 雪圧の斜面に垂直な成分(kN/m)

: 表 2.2-12 による係数

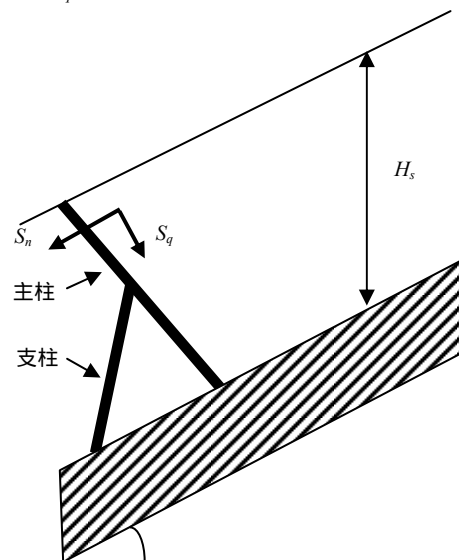


図 2.2-9 予防柵に作用する斜面雪圧<sup>4)</sup>

表 2.2-11 雪圧係数  $\alpha$ <sup>4)</sup>

積雪の平均単位体積重量が 3.5kN/m<sup>3</sup> の場合

グライド係数 $N$ 斜面勾配： (°)	1.2	1.3	1.6	1.8	2.0	2.4	2.6	3.2
30	1.45	1.57	1.93	2.17	2.42	2.90	3.14	3.86
35	1.58	1.71	2.10	2.36	2.63	3.15	3.41	4.20
40	1.64	1.77	2.18	2.46	2.73	3.28	3.55	4.37
45	1.68	1.82	2.24	2.52	2.80	3.36	3.64	4.48

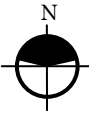

グライド係数は、表 2.2-13 に示す値を標準とする<sup>4)</sup>。

表 2.2-12 雪圧係数  $\beta$ <sup>4)</sup>

積雪の平均単位体積重量が 3.5kN/m<sup>3</sup> の場合

斜面勾配： (°)	
30	0.88
35	0.79
40	0.68
45	0.59

表 2.2-13 グライド係数  $N$ <sup>4)</sup>

地表の状態	グライド係数 $N$	
	 北向斜面	 南向斜面
玉石 (30 cm 以上) の斜面、大岩の凹凸面	1.2	1.3
礫 (30 cm 以下) の斜面、丈 1m 以上の灌木地、50 cm 以上の凹凸地面	1.6	1.8
小さい灌木地、50 cm 以下の凹凸地面、草地	2.0	2.4
平滑岩盤、葉の長い草地、湿地	2.6	3.2

)スノープリズム荷重

スノープリズムとは、図 2.2-10 に示す斜面に垂直な線と支持面によって形成される領域のことであり、支持面を傾けた場合に考慮すべきものである。スノープリズム荷重は、次式により算出する<sup>4)</sup>。ただし斜面に対して垂直に設置した場合（吊柵の場合）には、スノープリズム荷重を考慮しない<sup>5)</sup>。

$$G_n = g \cdot H_s^2$$

$G_n$  : スノープリズム荷重の斜面に平行な成分(kN/m)

$g$  : 表 2.2-14 による係数

$$G_q = g \cdot H_s^2$$

$G_q$  : スノープリズム荷重の斜面に垂直な成分(kN/m)

$g$  : 表 2.2-15 による係数

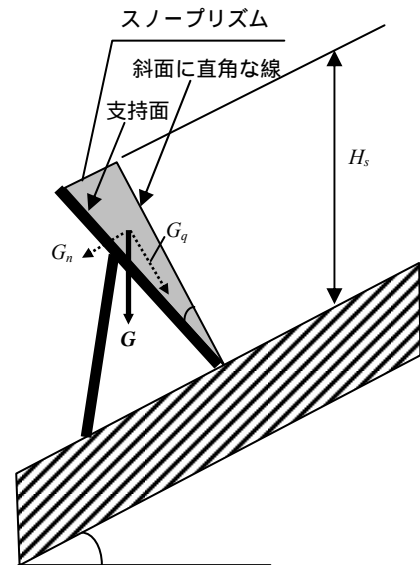


図 2.2-10 スノープリズム

表 2.2-14 係数  $\alpha_g$ <sup>4)</sup>

支持面の傾き： (°)	10	15
斜面勾配： (°)		
30	0.12	0.18
35	0.12	0.18
40	0.12	0.18
45	0.11	0.17

表 2.2-15 係数  $\beta_g$ <sup>4)</sup>

支持面の傾き： (°)	10	15
斜面勾配： (°)		
30	0.20	0.30
35	0.17	0.26
40	0.14	0.21
45	0.11	0.17

) 辺縁効果荷重

雪崩予防柵の端部では辺縁効果による荷重を考慮する。辺縁効果による荷重  $S_r$  は、次式により算出する。なお  $f_r$  は、グライド係数  $N$  に基づき決定する (表 2.2-13)。

$$S_r = f_r \times S_n$$

$S_r$  : 辺縁効果荷重(kN/m)     $f_r$  : 辺縁効果係数 (表 2.2-16)

$S_n$  : 雪圧の斜面に平行な成分(kN/m) (2-18p 参照)

表 2.2-16 辺縁効果係数  $f_r$  <sup>4)</sup>

グライド係数 $N$	1.2	1.3	1.6	1.8	2.0	2.4	2.6	3.2
$f_r$	0.85	0.88	0.98	1.05	1.11	1.24	1.31	1.50

なお、辺縁効果荷重の作用範囲は柵端より 30 cm (柵間隔 1.0m に対応) とする (図 2.2-11) <sup>4)</sup>。

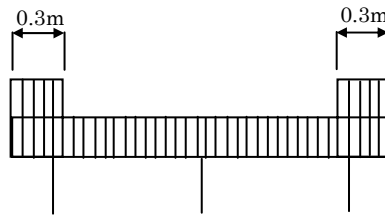


図 2.2-11 辺縁効果荷重の作用範囲 <sup>4)</sup>

バー

バーの設計では、融雪時の雪の密度増加を考慮し、斜面雪圧、スノープリズム荷重、辺縁効果荷重を 30% 割増する。また、沈降力による付加荷重として、柵面全体に斜面雪圧とスノープリズム荷重の 25% を加える。よって、バーの設計荷重は下記を標準とする <sup>4)</sup>。

- ・ 斜面雪圧およびスノープリズム荷重は 62.5% 増とする。
- ・ 辺縁効果荷重は 30% 増とする。

### 2.2.3 北海道の道路における雪崩対策工の施工状況

北海道の道路雪崩対策において、雪崩予防工としては吊柵、雪崩防護工としてはスノーシェットの整備が主体である。

#### 【解説】

北海道の道路雪崩対策において、雪崩予防工としては吊柵、雪崩防護工としてはスノーシェットの整備が主体である<sup>16)</sup>。

北海道において広く採用されている標準的な吊柵の正面図および側面図を図 2.2-12 に示す。

吊柵はコンクリート基礎方式の予防柵に比べて、地盤の悪い箇所でも施工でき現地条件の適用範囲が広く、天候の影響をあまり受けることなく施工作業が可能という利点がある。また、寒冷な北海道では、温暖な地域と比べグライドによる雪圧が一般的に小さく、吊柵で所要の強度を十分に得られる。これら設計・施工に関する観点から吊柵が有利となり、北海道において広く採用されているものと考えられる。

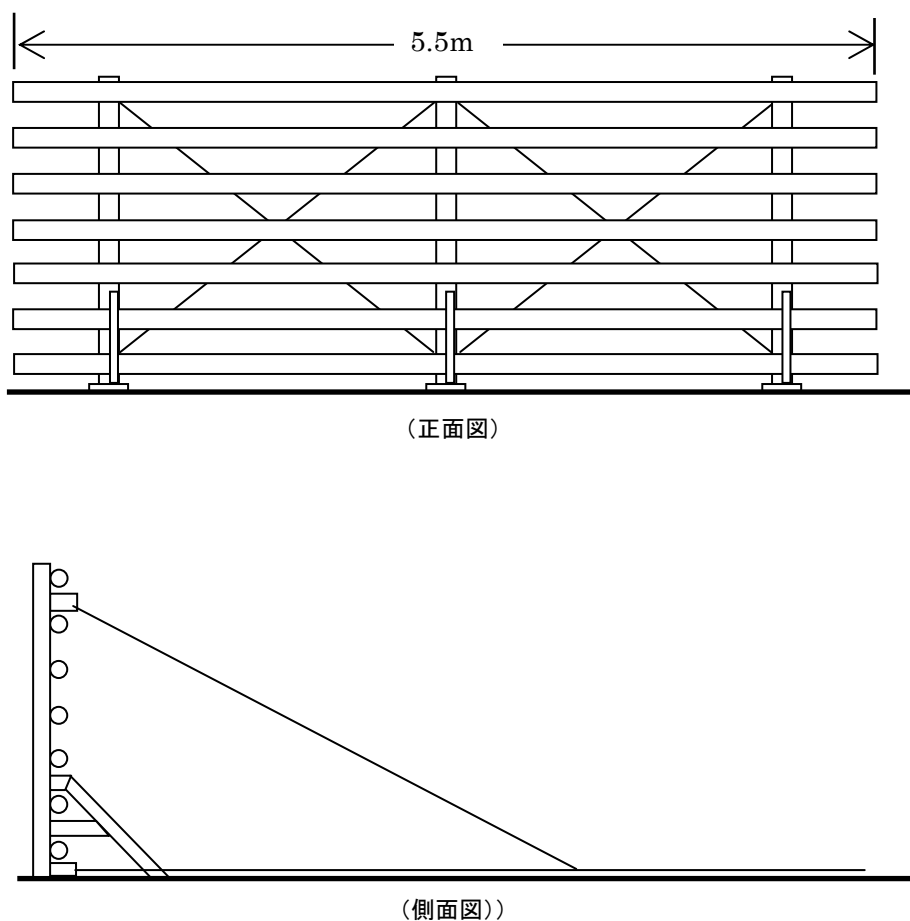


図 2.2-12 吊柵の一般的構造

### 3. すり抜け現象を伴う雪崩とその対策

#### 3.1 すり抜け現象を伴う雪崩の発生機構

##### 3.1.1 すり抜け現象を伴う雪崩の発生形態

すり抜け現象を伴う雪崩には次の2つの発生形態が考えられる。

雪崩予防柵の設置箇所付近で積雪の移動が起こり、雪崩予防柵のバーの間を積雪がすり抜けるケース

斜面上部より流下した雪崩が新雪を取り込みながら流動化して、雪崩予防柵のバーの間をすり抜けるケース

本技術資料では、ケース 1 のすり抜け現象を対象とした対策の考え方について記述する。

#### 【解説】

雪崩発生後の調査事例<sup>15), 17)</sup>による雪崩の破断面と雪崩予防柵の位置関係、及びすり抜け現象に関する現地実験<sup>18)~20)</sup>による結果から、すり抜け現象を伴う雪崩の発生形態として表 3.1-1 および図 3.1-1 に示す2つのケースが考えられる。

ケース 1 は、雪崩予防柵の設置箇所付近で積雪の移動が起こり、雪崩予防柵のバーの間をすり抜けて流下する場合(図 3.1-1 上)である。この場合、これまでの雪崩予防柵設計の考え方(2章を参照)に基づいて雪崩予防柵を配置したが、雪崩予防柵付近の積雪移動が要因となってすり抜け現象が発生したものと考えられる。そのため、雪崩予防柵の支持面への簡単な工夫によってすり抜け現象の発生を抑止することが可能と考えられる。

一方、ケース 2 は、斜面上部より発生した雪崩が、新雪を取り込みながら流動化して雪崩予防柵のバーの間をすり抜けて流下する場合(図 3.1-1 下)である。元来、雪崩予防柵は発生区の対策であり、このような雪崩に対する効果(すなわち防護工として)を期待されるものではない。このケースは、地形条件や植生状況が施工当時と変わった場合に発生することが想定される。よって、通常の道路において、これまでの雪崩予防柵設計の考え方(2章を参照)に基づいて雪崩予防柵が配置されていれば、その発生の可能性は極めて低いと考えられる。

よって、本技術資料では、2章で述べた雪崩予防柵設計の考え方に基づいて雪崩予防柵が配置されていることを前提に、道路において発生するすり抜け現象を伴う雪崩について、ケース 1 に対する対策の考え方について記述する。

表 3.1-1 すり抜け現象を伴う雪崩の発生形態

ケース	現象
	雪崩予防柵の設置箇所付近で積雪の移動が起こり、雪崩予防柵のバーの間をすり抜けて流下する（図 3.1-1 上）。
	斜面上部より発生した雪崩が、新雪を取り込みながら流動化して雪崩予防柵のバーの間をすり抜けて流下する（図 3.1-1 下）。

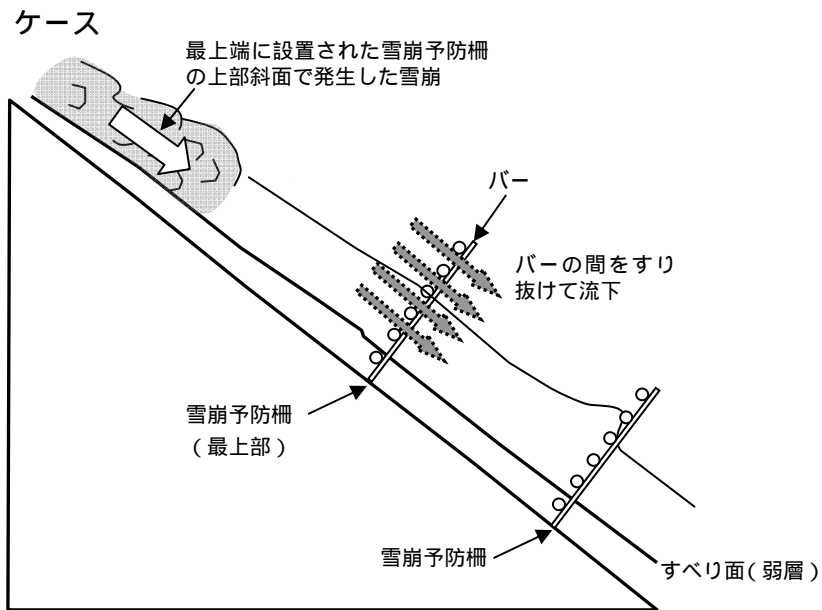
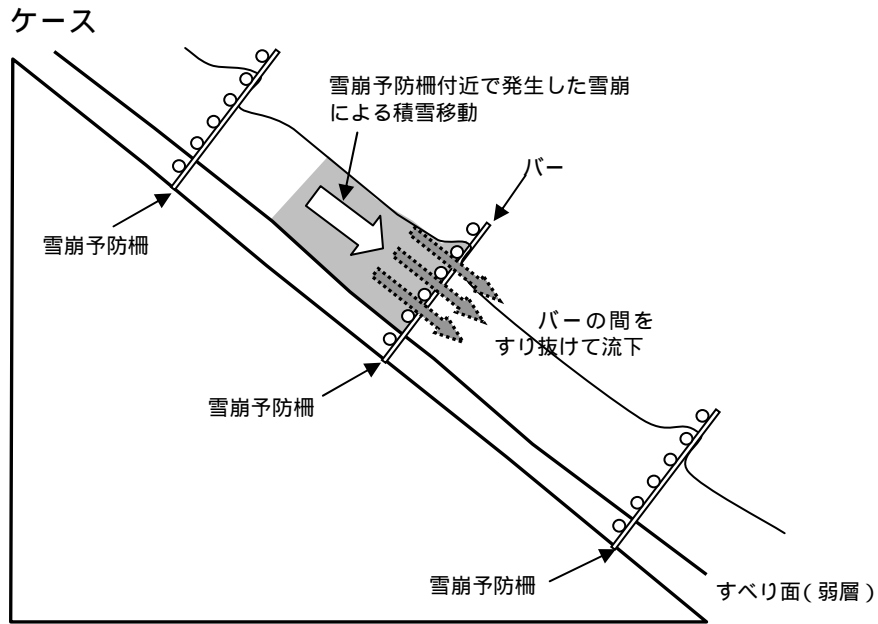


図 3.1-1 すり抜け現象を伴う雪崩の発生形態イメージ<sup>18)</sup>

### 3.1.2 すり抜け現象を伴う雪崩の発生条件

#### (1) すり抜け現象を伴う雪崩発生時の気象条件

すり抜け現象を伴う雪崩は以下の気象条件 ~ が重なった場合と、の気象状況のときに発生する傾向がみられる。

降雪強度が大きく、かつ連続降雪量が多い場合

降雪時の気温が低い場合

降雪時に無風か風が弱い場合

または

吹きだまりが急激に形成されるような強風の場合

#### 【解説】

これまでに発生したすり抜け現象を伴う雪崩事例について、雪崩発生箇所近傍の気象観測データを用いた解析によると<sup>3), 12)</sup>、以下に示す気象条件が重なった場合に、すり抜け現象が発生する傾向がある(図 3.1-2、図 3.1-3)。

降雪強度が大きく(例えば平均降雪強度 2cm/h 以上)かつ連続降雪量が多い(例えば 30cm 以上)場合

降雪期間を通じて気温が低い(例えば平均気温が-4 以下)場合

降雪期間を通じて無風か風が弱い(例えば平均風速が 2m/s 以下)の場合

ただし、解析事例数が少ないことから、ここに示す気象条件以外での発生の可能性も考えられる。例えば、強風下で発達する吹きだまりが要因となって、すり抜け現象を伴う雪崩が発生した例もある<sup>21)</sup>。

吹きだまりが急激に形成されるような強風の場合

以上のすり抜け現象を伴う雪崩発生時の気象条件は、すり抜け現象を伴う雪崩対策が必要な箇所を検討する際(3-6p 参照)の参考となるものである。

---

降雪期間とは、雪が降り始めてから雪崩が発生するまでの期間である。



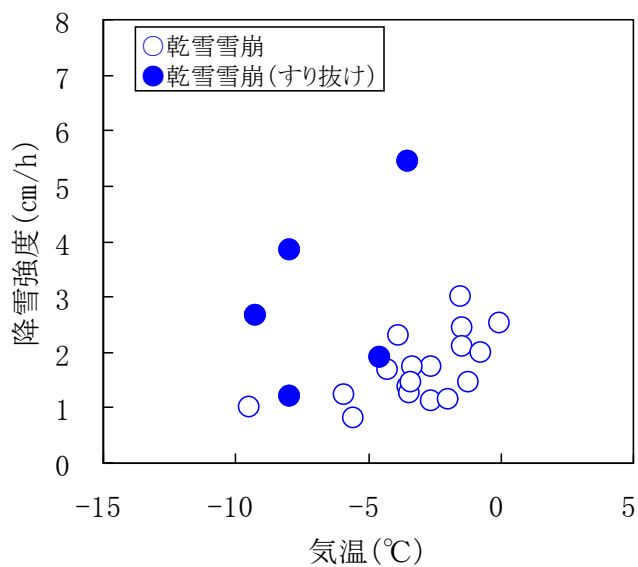


図 3.1-2 降雪期間における平均気温と降雪強度の関係  
北海道の国道における乾雪雪崩 23 事例を対象<sup>3)</sup>

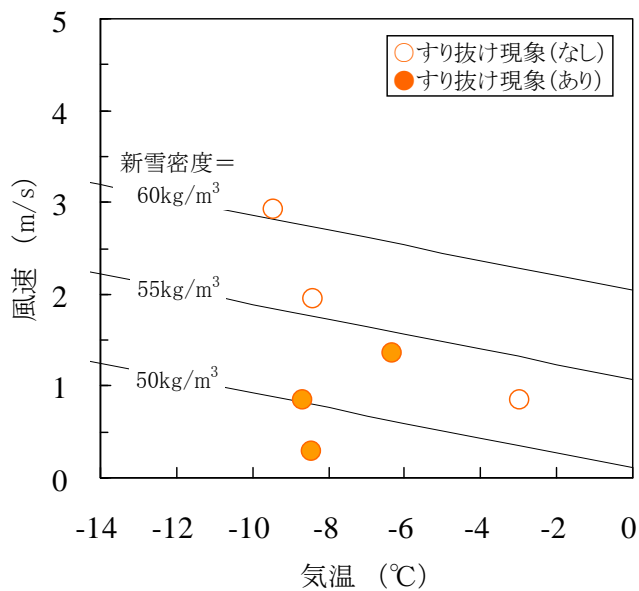


図 3.1-3 降雪期間における平均気温と平均風速及び新雪密度の関係  
大雪湖周辺の乾雪雪崩 6 事例を対象<sup>12)</sup>

## ( 2 ) すり抜け現象を伴う雪崩発生 の 地形条件

すり抜け現象を伴う雪崩は斜面勾配の急な斜面で発生している事例が多い。

### 【 解 説 】

現在すり抜け現象を伴う雪崩の発生が確認されているのは、大雪湖周辺、三笠地区、支笏湖畔、野塚峠、積丹、釧勝峠などの地域である<sup>1), 3), 11), 22)</sup>。このうち大雪湖周辺と支笏湖畔では、これまで数事例が発生し、同時に複数個所で発生する事例もある<sup>1)</sup>。

国道 39 号及び 273 号の大雪湖周辺における通行止めを伴った雪崩 7 事例<sup>17)</sup>のうち、すり抜け現象を伴う雪崩 4 事例は、法面 (人工斜面) の勾配が 0.8 ~ 1.5 割 ( 35 ~ 50 ° ) の箇所が発生している。特に、最近これまで雪の積もることが無かった急斜面に大量の雪が短時間で積もるようになったことが指摘されている<sup>13)</sup>。また、すり抜け現象は上記より勾配が緩い斜面での発生事例はないが、発生する可能性を否定するものではない。

なお、すり抜け現象を伴う雪崩発生 の 地形条件は法面勾配の他に斜面の向きなども関係すると思われるが、現時点ではこれらの要素とすり抜け現象を伴う雪崩の関係は明らかになっていない。

以上のすり抜け現象を伴う雪崩発生 の 地形条件は、すり抜け現象を伴う雪崩対策が必要な箇所を検討する際 ( 3-6p 参照 ) の参考となるものである。

## 3.2 すり抜け現象を伴う雪崩の対策手法

### 3.2.1 すり抜け現象を伴う雪崩対策の考え方

すり抜け現象を伴う雪崩対策は以下の3点について検討する。

- (1) すり抜け現象を伴う雪崩を発生させないための雪崩予防柵の支持面における対策
- (2) すり抜け現象を伴う雪崩対策工の施設配置
- (3) すり抜け現象を伴う雪崩の対策が必要な箇所

#### 【解説】

本技術資料で扱うすり抜け現象を伴う雪崩対策とは、すり抜け現象の発生を防止するための対策であり、雪崩予防柵の設計の考え方に基づいて、すり抜け現象の対策を行う。

すり抜け現象を伴う雪崩対策は、以下の3点について検討する。

- (1) すり抜け現象を発生させないための雪崩予防柵の支持面における対策

すり抜け現象を伴う雪崩を発生させないための雪崩予防柵支持面に対するすり抜け対策工を検討する。

- (2) すり抜け現象を伴う雪崩対策工の施設配置

すり抜け現象を伴う雪崩を発生させないための効果的なすり抜け対策工の施設配置について検討する。

- (3) すり抜け現象を伴う雪崩対策が必要となる箇所

すり抜け現象を伴う雪崩の対策が必要となる箇所について検討することが望ましい。

なお、すり抜け現象を伴う雪崩が発生する気象条件や地形条件についてまだ不明な点があるため<sup>3), 12)</sup>、現時点においてすり抜け現象を伴う雪崩対策を実施すべき対象箇所の明確な基準を示すことは難しい。このためすり抜け現象を伴う雪崩対策を必要とする箇所は、主としてすり抜け現象が確認された斜面と考える。また、その周辺斜面については、すり抜け現象発生の気象条件(3-3p)や地形条件(3-5p)を参考にするとともに専門家の意見を聞きながら検討することが望ましい。

### 3.2.2 対策工の設計方法（案）

#### （１）支持面材への対策

##### １）対策工法

すり抜け現象を伴う雪崩対策工は、雪崩予防柵の支持面にネット工を施工することが有効である。

#### 【解 説】

すり抜け現象を伴う雪崩対策として、北海道の一部では、エキスパンドメタル等を雪崩予防柵の支持面に取り付けるネット工が施工されている。これまでにネット工が施工された箇所でのすり抜け現象を伴う雪崩発生は確認されていない。また、自然積雪を用いた雪崩実験<sup>19), 23)</sup>ではエキスパンドメタルと樹脂ネットを予防柵の支持面に取り付けることで、すり抜け現象の発生を防止する効果が確認されている。したがって、すり抜け現象を伴う雪崩の防止には雪崩予防柵の支持面に対してエキスパンドメタルや樹脂ネットなどのネット工を施工することが有効であると考えられる。

このことから本技術資料では、すり抜け現象を伴う雪崩対策工として、雪崩予防柵の支持面にネット工を施工する方法を対象とする（写真 3.2-1）。対策工は主としてすり抜け現象が確認された斜面で行うため、ネット工は既設の雪崩予防柵に施工することが望ましい。なおネットを用いた対策の他に、支持面材（バー）の変更やバー間隔を狭める方法も考えられるが<sup>24)</sup>、現在のところ事例や実験等がなされていない。また本技術資料の記述は別の手法の活用を否定するものではない。



写真 3.2-1 ネット工による支持面材への対策例  
エキスパンドメタル(XS62)を取り付けた例

## 2) 対策工の材料、設置位置、設置方法

支持面材にネット工を施工する場合は、以下の点に留意する。

### 使用材料

使用材料は施工実績や実験結果を参考に選定する。

### 設置位置

すり抜け現象を伴う雪崩対策工は雪崩予防柵の斜面上側に設置することを基本とし、積雪の抜け落ちを最小限とするため柵の支持面に施工する。

### 設置方法

すり抜け現象を伴う雪崩対策工を雪崩予防柵に設置する際には、斜面雪圧による影響を小さくするために柵の支持面とネット工が一体となるようにする。

## 【解説】

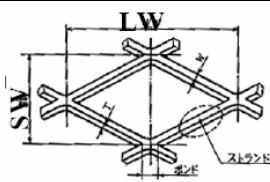
以下では、支持面材へのすり抜け対策として、ネット工の使用材料・設置位置・設置方法について示す。

### 使用材料

使用材料は想定される最大の斜面雪圧を考慮して選定することが望ましいが、ネット等に作用する最大荷重がすり抜け時に発生するかは不明である。このことから、使用材料はこれまでの施工実績や実験結果を参考に選定するとともに経済性、環境、施工性及び耐久性に配慮することが望ましい。

表 3.2-1 はネット工としての施工実績のある材料及び実験を行った材料を示したものである。これらの施工箇所ではこれまでにすり抜け現象を伴う雪崩の発生は確認されていない。また、雪崩予防柵に作用する斜面雪圧の計測結果<sup>25)</sup>より、ネット工の施工が雪崩予防柵の設計手法に影響を与えないことが確認されている。

表 3.2-1 使用材料の一覧

材料	仕様(メッシュ寸法)	施工実績	実験
エキスパンドメタル(XS-62)	SW = 34mm × LW = 76.2mm		
エキスパンドメタル(XS-42)	SW = 22mm × LW = 50.8mm		
エキスパンドメタル(XS-32)	SW = 12mm × LW = 30.5mm		
エキスパンドメタル(XG-23)	SW = 36mm × LW = 101.6mm		
ひし形金網(溶接金網)	目合い(縦) × 目合い(横) 50mm × 50mm		
樹脂ネット	目合い(縦) × 目合い(横) 25mm × 22mm		

: 施工実績あり<sup>26)~33)</sup>、もしくは実験<sup>17),19),23)</sup>に使用された材料

### 設置位置

すり抜け現象を伴う雪崩対策としてエキスパンドメタル等のネット工を雪崩予防柵の背面(下側)に設置した場合には、斜面雪圧や上流から流下してきた雪崩により剥がれ落ちる可能性もあり得る。したがって、ネット工は柵の上側に設置することが望ましい。ネット工は、予防柵支持面からの積雪の抜け落ちを最小限とするため支持面全体に施工している事例が多い(図 3.2-1)。また、ネット工によって柵が埋まるほど支持面に雪が溜まる場合や、斜面上下の積雪を分断する場合(4-2p 参照)は、ネット工を支持面の一部に施工する方法も提案されている<sup>24)</sup>。

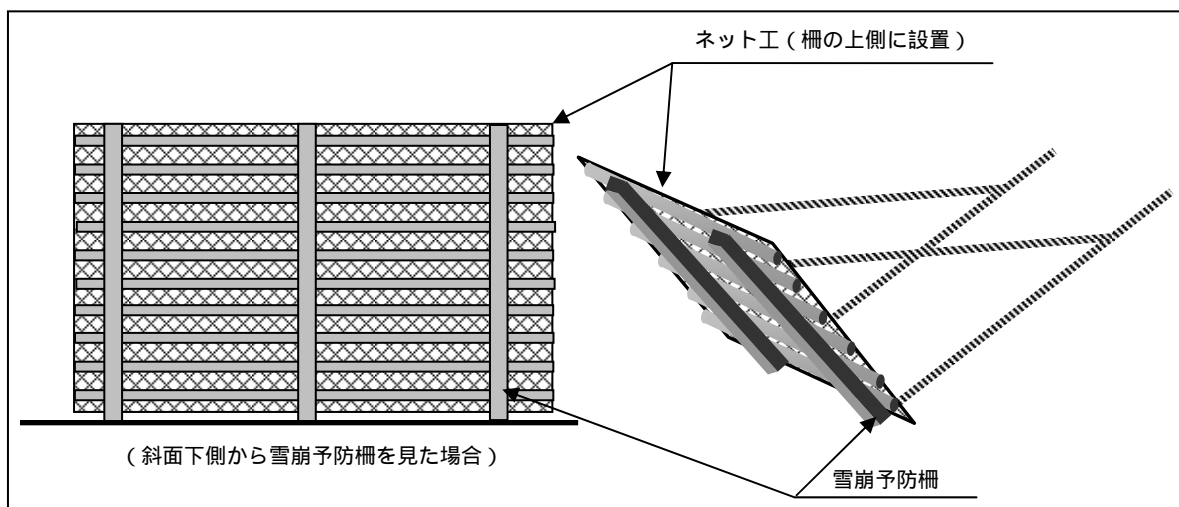


図 3.2-1 すり抜け現象を伴う雪崩対策施設のイメージ  
(ネット工を雪崩予防柵に設置)

### 設置方法

すり抜け現象を伴う雪崩対策工を雪崩予防柵に設置する際には斜面雪圧による影響を小さくするために、支持面とネット工が一体となるように設置する。特に、ネットの緩みや支持面材からのみ出しはネット工の破損だけでなく、雪崩予防柵の損傷にも影響を及ぼすことから十分に注意する必要がある(図 3.2-2)。

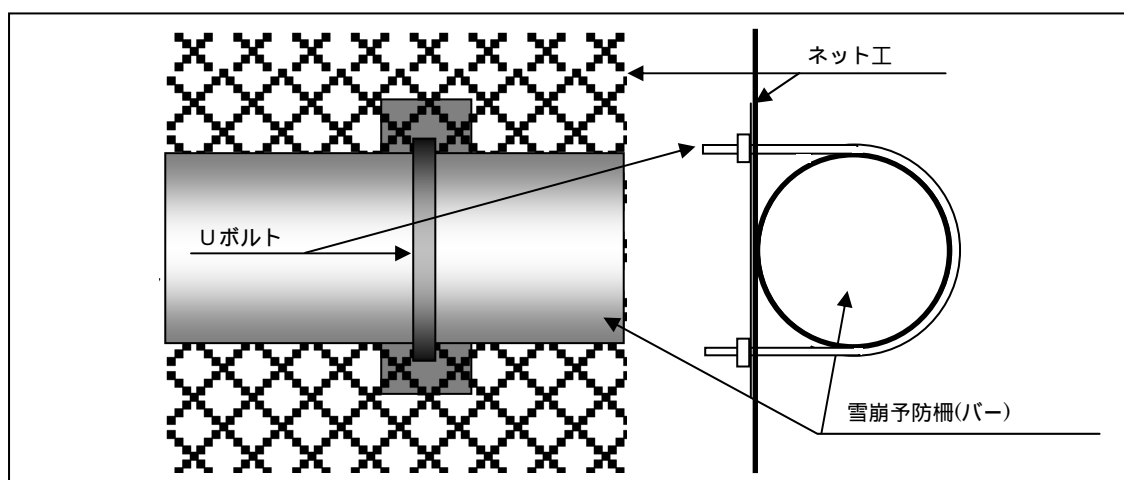


図 3.2-2 すり抜け現象を伴う雪崩対策工の設置方法例  
(ネット工を雪崩予防柵に設置)

(2) すり抜け現象を伴う雪崩対策工の施設配置

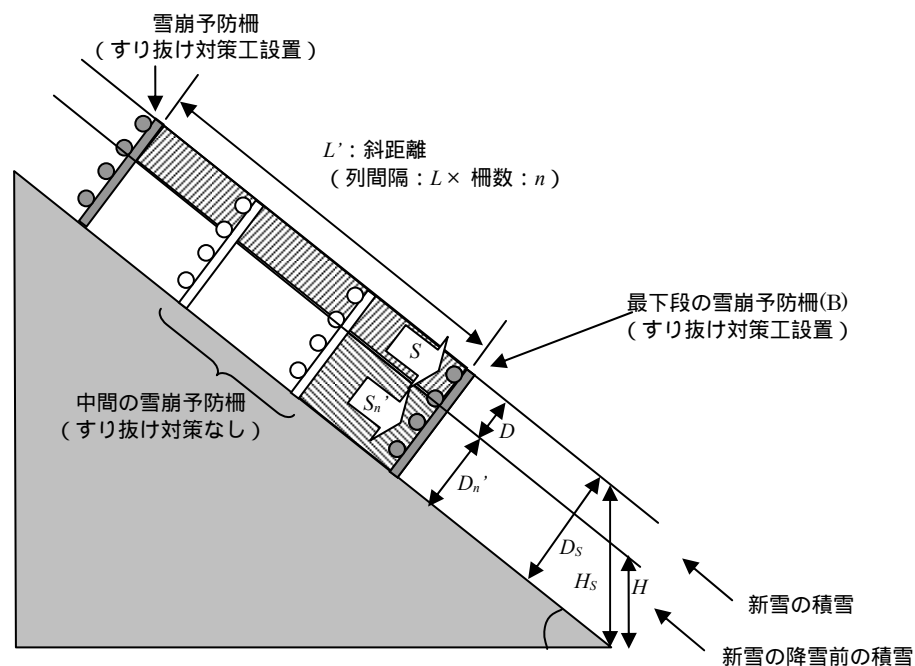
すり抜け現象を伴う雪崩対策工は、最下段の雪崩予防柵に設置することを基本とする。またそれより斜面上方の雪崩予防柵における対策工の設置は、その背後にある積雪の状況を踏まえて検討する。

【解説】

全ての雪崩予防柵にすり抜け対策工を設置することは、すり抜け現象を伴う雪崩を防止する上で有効であるが経済的負担が大きい。そのため雪崩予防柵の背後にある積雪の荷重を踏まえて、適切なすり抜け対策施設の設置間隔を設定する必要がある。

最下段の雪崩予防柵をすり抜けた場合、道路に到達する可能性がある。このことから最下段の雪崩予防柵には、すり抜け対策工を設置することを基本とする<sup>19)</sup>。

それより斜面上方の雪崩予防柵における対策工の設置については、すり抜け対策を施した雪崩予防柵にかかる雪圧を考慮して、すり抜け対策の設置の必要性の有無を検討する。なお、積雪の圧縮強度や剪断強度を用いて、支持面でのすり抜け現象の発生危険度で評価した事例<sup>15), 20)</sup>もある。しかし、すり抜け対策工を施した雪崩予防柵の支持面では、すり抜け現象が発生しないと見なせることから、ここでは中間の雪崩予防柵の対策について、単純に設計雪圧との比較で検討する方法を示す。



$H_s$ : 設計積雪深(m),  $D_s$ : 柵の高さ(m),  $H$ : 新雪の降雪前の積雪深さ(m),  $\theta$ : 斜面勾配( $^\circ$ ),  
 $D$ : 新雪の積雪深(斜面に直角の深さ)(m),  $D_n'$ : 新雪の降雪前の積雪深(斜面に直角の深さ)(m),  
 $S_n'$ : 積雪(新雪の降雪前)の雪圧の斜面に平行な成分(kN/m),  $S$ : 新雪の雪圧の斜面に平行な成分(kN/m)

図 3.2-3 すり抜け現象を伴う雪崩対策を実施する雪崩予防柵の配置計画例

すり抜け現象を伴う雪崩は、多量降雪時の新雪によって発生することから、降雪開始前の時点では雪崩予防柵は雪に埋まっていないと考えられる。すり抜け現象が発生したときの降雪深の最大値が概ね  $0.5\text{m}^{3),12)}$ であることを参考に、新雪の降雪前の積雪深を  $H=H_s - 0.5(\text{m})$  とする。ここですり抜け現象が発生する臨界状態を考える。すり抜け対策を施工していない雪崩予防柵は新雪層を支えていないものとする。このとき、下側に設置した雪崩予防柵(B)にかかる力は、積雪深  $H$  の積雪により与えられる雪圧  $S_n'$  と新雪層による雪圧  $S$  との和と考えることができる(図 3.2-3)。この値が、雪崩予防柵(B)の設計雪圧  $S_n$  を超えないようにする必要がある。安全率を  $\eta$  とすると、 $\eta > 1$  のとき安全と判断できる。なお最上段付近では、すり抜け対策を施した柵同士の斜距離  $L'$  内に破断面が入るよう考慮する。

$$\eta = \frac{S_n}{S_n' + S}$$

ここで、

$$S_n = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot H_s^2 \cdot K \cdot N, \quad S_n' = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot H^2 \cdot K \cdot N, \quad S = \rho_s \cdot g \cdot D \cdot L' \cdot \sin \theta$$

$\rho$ : 設計上の積雪密度(=0.35 t/m<sup>3</sup>)、 $g$ : 重力加速度 (=9.8 m/s<sup>2</sup>)、 $K$ : クリープ係数、 $N$ : グライド係数  
 $\rho_s$ : 新雪層の密度(t/m<sup>3</sup>)、 $D$ : 新雪層の厚さ(m)、  
 $L'$ : すり抜け対策を施した柵同士の斜距離(=列間隔  $L \times$  柵数  $n$ )(m)

なお、列間隔  $L$  の算出は 2-16p を参照、グライド係数  $N$  は表 2.2-13(2-19p) に示す値をとる。またクリープ係数  $K$  については、表 3.2-2 から値を求める。最終的には、柵の上部に雪圧  $S(\text{kN/m})$ 、柵の下部に雪圧  $S_n'(\text{kN/m})$  を与えて、部材の強度計算を行って判断する。

表 3.2-2 クリープ係数  $K^4)$   
積雪密度 =0.35 t/m<sup>3</sup> の場合

斜面勾配 (°)	30	35	40	45
$K$	0.69	0.75	0.78	0.80

<計算例> 法面勾配 =45°、グライド係数  $N=2.4$  の斜面の場合。

新雪層の密度  $\rho_s=0.1 \text{ t/m}^3$ 、 $D=0.35 \text{ m}$  (法面勾配 =45° の場合、新雪の深さ 0.5m に相当) と仮定すると、表 3.2-3 の結果を得る。即ち、設計積雪深  $H_s=3.0\text{m}$  の場合、最大で 2 基おきにすり抜け対策を施すことで対処が可能である。

表 3.2-3 安全率の試算例

$H_s(\text{m})$	$L(\text{m})$	1 基おき施工( $n=2$ )		2 基おき施工( $n=3$ )		3 基おき施工( $n=4$ )	
		$L'(\text{m})$	$\eta$	$L'(\text{m})$	$\eta$	$L'(\text{m})$	$\eta$
3	12	24	1.12	36	1.01	48	0.92



#### 4. その他の雪崩対策に関する課題

北海道の雪崩対策では、すり抜け現象以外に次の ~ が課題となっている。

最下段の柵の下部斜面から発生する雪崩

融雪期において勾配が小さい斜面で起きる全層雪崩

雪崩予防柵上部に形成される巻きだれの崩落

##### 【解 説】

3章で示したすり抜け現象以外の課題として、最下段の柵の下部斜面から発生する全層雪崩<sup>24)</sup>、勾配が小さな斜面で雪崩予防柵や小段が設置されていない場合に発生する融雪期の全層雪崩がある<sup>13), 24)</sup>。その他、雪崩予防柵上部に形成される巻きだれの問題が報告されている<sup>24), 34)</sup>。

以下では、すり抜け現象を伴う雪崩以外の課題に対して説明し、課題解決のための方策について現在考えられることを整理した。これらの課題に対する考え方は、今後の本技術資料の改訂により追加していくこととしたい。

## 最下段の柵の下部斜面から発生する雪崩

最下段の雪崩予防柵の下部斜面から雪崩が発生する場合、大規模な雪崩に至る可能性は低いものの崩れた雪が道路にはみ出すことにより交通に支障をきたす可能性が高い(図 4-1)。

この現象は、雪崩予防柵下部斜面の積雪の支持力が駆動力よりも小さいために発生する。最下段の柵の下部斜面における積雪の支持力が小さくなる理由として、柵(ネット工含む、3-6p 参照)によって斜面上下の積雪が分断されることに原因があるとの報告<sup>24)</sup>があり、また除雪によって路側に堆積した雪を取り除くことが考えられる。一方、駆動力が上回る理由としてロータリー車で斜面に雪を積み上げることが考えられる。しかし、その発生メカニズムについてはまだ定量的に把握されていない。

最下段の雪崩予防柵の下部斜面からの雪崩発生を防止、もしくは低減するためには最下段の雪崩予防柵下部の斜面積雪の移動を抑制することが重要である。このための雪崩対策として、除雪の2次堆積空間に影響しない対策施設を斜面脚部まで設置することなどが考えられる。

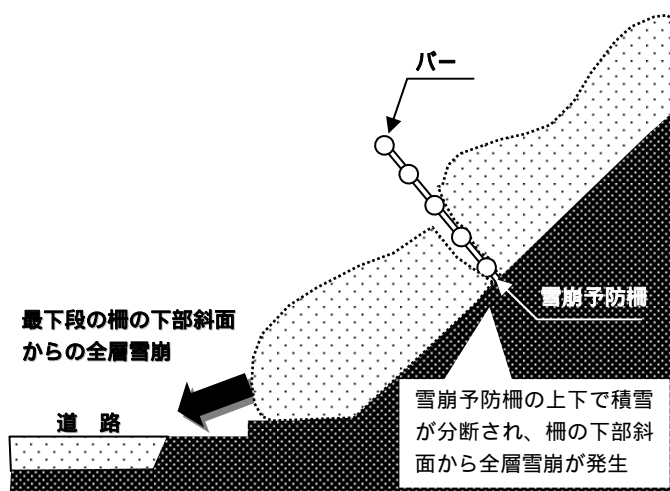


図 4-1 最下段の雪崩予防柵から発生する全層雪崩<sup>24)</sup>

## 融雪期において勾配が比較的小さい斜面で起きる全層雪崩

一般に規模の大きい切土法面は、全層雪崩を防ぐための階段工法と同じ構造の小段(ステップ)や雪崩予防柵が設けられていることが多いが、勾配が小さいために小段や雪崩予防柵が設けられていない箇所でも全層雪崩が発生した事例がある<sup>13)</sup>。

この融雪期において勾配が小さい斜面で起きる全層雪崩については、雪崩対策に関する既存の要領等<sup>4)~6)</sup>により対応可能であるものと考えられる。

### 雪崩予防柵上部に形成される巻きだれの崩落

雪崩予防柵の上部に巻きだれが形成される場合がある。発達した巻きだれは、尾根に形成された雪庇と同様に崩れ落ちることにより雪塊が道路に到達するだけでなく、雪崩を誘発する可能性がある（図 4-2）。雪崩予防柵の上部に形成される巻きだれが大きく発達するのは、雪崩予防柵付近の積雪がクリープによって柵上にせり出して形成される場合や冠雪が発達する場合があると考えられる<sup>34)</sup>。

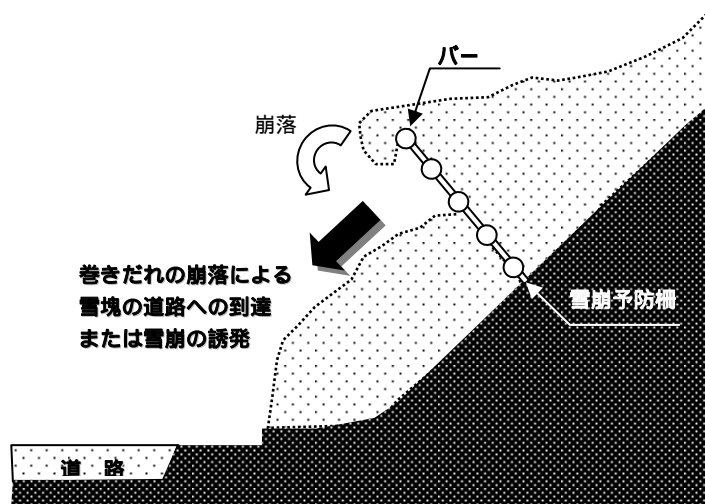


図 4-2 雪崩予防柵に発生する巻きだれによる雪崩の誘発

## 【謝辞】

本技術資料(案)の作成にあたり、北海道の地域特性を考慮した雪崩対策検討ワーキング委員及び幹事の皆様には、丁寧なご指導と貴重なご意見をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

## 【参考資料】

- 1) 竹内政夫,大槻政哉,山田知充,石本敬志(2005):北海道の道路雪崩と現場対応,雪工学会誌,21,202-211
- 2) 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,21,768-771
- 3) 松下拓樹,松澤 勝,伊東靖彦,加治屋安彦(2008):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,665,10-17
- 4) 北海道開発局(2008):北海道開発局 道路設計要領 第2集 道路付帯施設,北海道開発局
- 5) 社団法人日本建設機械化協会,社団法人雪センター(2005):2005 除雪・防雪ハンドブック,社団法人日本建設機械化協会,社団法人雪センター,417pp
- 6) 社団法人日本道路協会(1990):道路防雪便覧,丸善株式会社,383pp
- 7) 社団法人雪センター(1996):集落雪崩対策工事技術指針(案) 本編,社団法人雪センター,170pp
- 8) 独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所(2010):雪崩現象の基礎に関する技術資料(案),寒地土木研究所,46pp
- 9) 社団法人雪センター(2000):雪崩災害事例集(1618年~1999年3月),社団法人雪センター,262pp
- 10) 長部友和,和泉 薫,河島克久(2008):2007-08 冬期の雪崩災害の発生状況とその特徴,雪氷北信越,28,62
- 11) 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,63,77-83
- 12) 松下拓樹,松澤 勝,伊東靖彦,加治屋安彦(2007):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,26,91-94
- 13) 竹内政夫(2008):北海道における雪崩との関わりと最近の道路雪崩,北の交差点,22,15-20
- 14) 竹内政夫(2004):異常気象と雪崩の異変,北の交差点,15,18-21
- 15) 北海道開発局旭川開発建設部上川道路維持事業所(2006):平成17年度 一般国道39号上川町雪崩予防柵配置資料作成 報告書
- 16) 加治屋安彦,西村浩一,三木雅之,秋田谷英次,石本敬志(2008):北海道の道路雪崩対策の経緯と今後に向けて,北の交差点,22,2-7
- 17) 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,22,351-356
- 18) 松澤 勝,三好達夫,伊東靖彦,加治屋安彦,西村浩一,大槻政哉(2006):野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,25,17-20
- 19) 松下拓樹,松澤 勝,伊東靖彦,上田真代,加治屋安彦(2008):斜面積雪が雪崩予防柵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(2008・東京)講演要旨集,155

- 20) 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, 388-392
- 21) 竹内政夫(2009): 雪崩の被害を未然に防ぐための道路管理, 北の交差点, 24, 20-24
- 22) 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, 680-683
- 23) 松下拓樹, 松澤 勝, 伊東靖彦, 上田真代(2009): すり抜け現象を伴う雪崩の積雪特性と対策効果, 第 21 回ゆきみらい研究発表会論文集(CD-ROM)
- 24) 金田安弘, 竹内政夫(2008): 新しい雪崩予防柵の提案 ~ 雪崩予防柵が抱える課題とその対応策について ~, 北海道の雪氷, 27, 25-28
- 25) 松下拓樹, 松澤 勝, 加治屋安彦(2008): 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)
- 26) 北海道開発局札幌開発建設部:平成 17 年度施工 一般国道 276 号千歳市支笏湖雪崩予防柵設置工事設計図
- 27) 北海道開発局旭川開発建設部:平成 16 年度施工 一般国道 39 号上川町層雲峡大学平雪崩予防柵設置工事設計図
- 28) 北海道開発局帯広開発建設部:一般国道 236 号広尾町野塚峠雪崩防止柵設置工事 設計図
- 29) 北海道開発局帯広開発建設部:一般国道 236 号広尾町早ヶ瀬トンネル坑口雪崩対策工事 設計図
- 30) 北海道開発局帯広開発建設部足寄道路事業所:平成 18 年度 一般国道 273 号上士幌町黒石平雪崩防止柵設置工事設計図
- 31) 北海道開発局帯広開発建設部足寄道路事業所:平成 18 年度 一般国道 273 号上士幌町三股雪崩防止柵設置工事設計図
- 32) 北海道開発局帯広開発建設部足寄道路事業所:平成 18 年度 一般国道 273 号上士幌町幌加雪崩防止柵設置工事設計図
- 33) 北海道開発局札幌開発建設部:平成 18 年度施工 一般国道 276 号千歳市美笛雪崩予防柵補修工事設計図
- 34) 竹内政夫, 小林昭彦(2008): 雪崩予防柵にできる雪庇と柵高, 北海道の雪氷, 27, 21-24

## 北海道の地域特性を考慮した雪崩対策検討ワーキング

### 1) 委員 (順不同)

	氏 名	所 属
委員(座長)	西村 浩一	名古屋大学 教授
委員	尾関 俊浩	北海道教育大学 札幌校 准教授
委員	竹内 政夫	NPO 法人雪氷ネットワーク 理事
委員	日下部 毅明	北海道開発局 建設部 道路維持課 道路防災対策官
委員	見延 勲英	北海道道路管理技術センター 常務理事
委員	松澤 勝	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

### 2) 幹事 (順不同)

	氏 名	所 属
幹事長	中村 浩	寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム 総括主任研究員
幹事	河上 聖典	北海道開発局 建設部 道路維持課 開発専門官
幹事	榊原 仁志	北海道開発局 建設部 道路維持課 維持第1係長
幹事	長谷 淳二 (玉田 隆志)	北海道開発局 建設部 道路維持課 道路防災対策官付 防災第2係長
幹事	蒲澤 英範 (掛田 浩司)	北海道開発局 建設部 道路建設課 改良係長
幹事	鈴木 勝美	北海道道路管理技術センター 企画部長
幹事	伊東 靖彦	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

( ) は前任者

北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料（案）

平成 22 年 3 月作成

<問い合わせ先>

独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム

TEL 011-841-1746