

雪崩現象の基礎に関する技術資料（案）

平成 22 年 3 月

独立行政法人事木研究所 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いるが、積雪時における雪崩の種類や発生機構、現象把握のための着眼点など、道路雪崩の観察や応急対策のために必要となる基礎的な知識等に関する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、道路雪崩対策に携わる技術者の基礎的な知識の向上のため、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、雪崩現象の基礎的な知識と積雪期における道路付近の雪崩発生の予兆や雪崩対策施設の状況を観察するための着眼点、及び雪崩発生の危険性が高いと考えられる場合における応急対策についてとりまとめたものである。本技術資料（案）が、多くの技術者の中で活用され、道路雪崩対策に大いに役立てられることを期待する。

平成22年3月

目 次

1. はじめに	1-1
1.1 目 的	1-1
1.2 本技術資料の構成	1-2
2. 雪崩の基礎知識.....	2-1
2.1 雪崩の定義と種類	2-1
2.2 雪崩の発生機構	2-5
2.2.1 雪崩の発生機構.....	2-5
2.2.2 雪崩の発生形態とその特徴.....	2-7
2.2.3 雪崩の発生要因.....	2-8
2.3 北海道の国道でみられる道路雪崩の特徴	2-18
2.3.1 わが国の雪崩災害の特徴	2-18
2.3.2 北海道の国道でみられる道路雪崩の特徴	2-19
3. 雪崩現象把握のための着眼点	3-1
3.1 気象状況の把握	3-2
3.2 雪崩現象の観察のための着眼点.....	3-4
3.3 調査時の携帯機材	3-17
4. 応急対策	4-1
4.1 雪崩の危険性軽減のための雪崩発生区内における応急処理	4-2
4.2 雪崩発生区以外における応急処理	4-5

1. はじめに

1.1 目 的

本技術資料は、雪崩現象の基礎的な知識と積雪期における道路付近の雪崩発生の予兆や雪崩対策施設の状況を観察するための着眼点、及び雪崩発生の危険性が高いと考えられる場合における応急対策についてとりまとめたものである。

【解 説】

本技術資料は、雪崩現象の基礎的な知識と積雪期における道路付近の雪崩発生の予兆や雪崩対策施設の状況を観察するための着眼点、及び雪崩発生の危険性が高いと考えられる場合における道路の安全確保のための応急対策についてとりまとめたものである。

本技術資料は、道路管理者などの雪崩対策に携わる技術者を対象とし、雪崩現象に対する基礎的な知識の向上を目的に作成したものである。なお、積雪期における雪崩発生の予兆や雪崩対策施設の状況を観察するための着眼点とは、道路上から判断できる観察内容を対象とした。

1.2 本技術資料の構成

本技術資料の構成は、「はじめに」、「雪崩の基礎知識」、「雪崩現象把握のための着眼点」、「応急対策」の4章からなる。

【解説】

本技術資料は、図 1.2-1 に示す「はじめに」、「雪崩の基礎知識」、「雪崩現象把握のための着眼点」、「応急対策」の4章から構成されている。

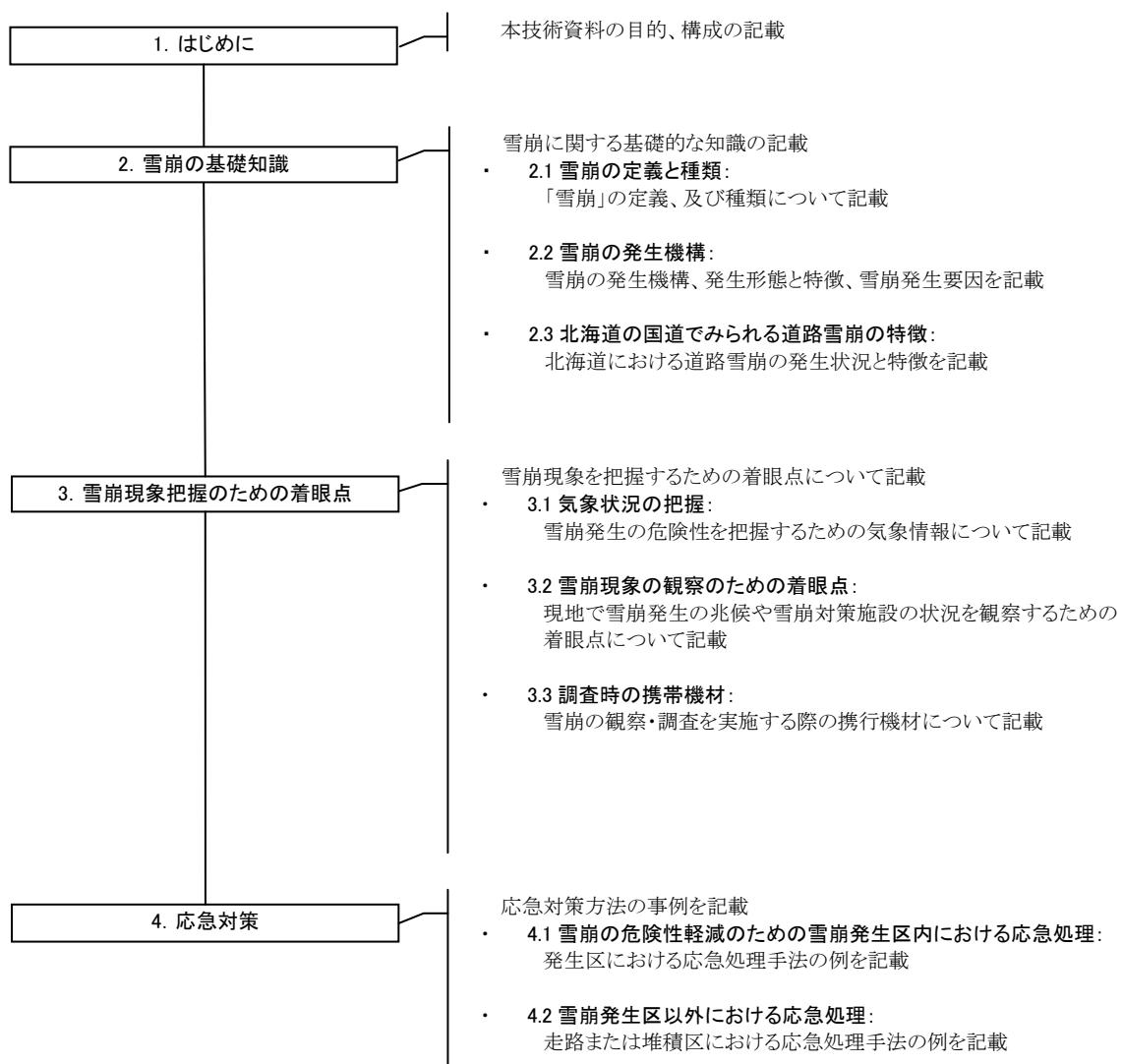


図 1.2-1 本技術資料の構成

2. 雪崩の基礎知識

2.1 雪崩の定義と種類

雪崩とは、斜面に積もった雪が重力の作用によって崩れ落ちる現象である。雪崩は、発生の形から点発生と面発生に、雪崩層の雪質から乾雪と湿雪に、すべり面の位置から表層と全層に区別され、これらを組み合わせた8種類に分類される。

【解説】

雪崩とは、「いったん斜面上に積もった雪が、重力の作用により、肉眼で識別し得るほどの速さで崩れ落ちる自然現象」である^{1),2)}。

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 2.1-1)^{3),4)}。発生区は積雪が破壊し動き始める区域、堆積区は崩れ落ちた雪の運動が停止し運ばれた雪が堆積する区域である⁴⁾。走路は、発生区と堆積区の間にあり雪の堆積がほとんど起こらない区域である。

日本雪氷学会⁵⁾では、雪崩発生時の状況に基づき、表 2.1-1 に示す3つの分類要素(雪崩発生の形、雪崩層の乾湿、すべり面の位置)の組み合わせによって、雪崩を表 2.1-2 に示す8種類に定めている。なお、確認できない要素のある場合には、その要素を省略した名称、例えば乾雪表層雪崩、面発生表層雪崩、表層雪崩、全層雪崩などと呼ばれる⁴⁾。この分類の他に、大量の水を含む雪が流動するスラッシュ雪崩や、鉄道や道路などで角度を一定にして切り取った人工斜面の雪崩(法面雪崩)がある⁵⁾。

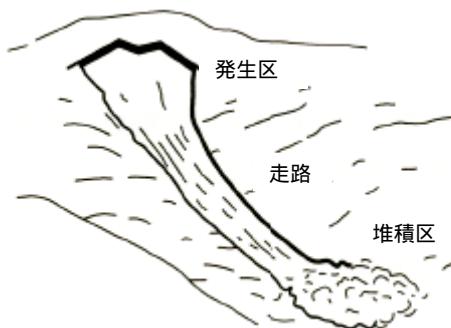


図 2.1-1 典型的な雪崩跡地の区分³⁾

表 2.1-1 雪崩の分類要素と区分名⁵⁾

雪崩分類の要素	区分名	定義
雪崩発生の形	点発生	一点からくさび状に動き出す。一般に小規模。
	面発生	かなり広い面積にわたりいっせいに動き出す。一般に大規模。
雪崩層（始動積雪）の乾湿	乾 雪	発生域の雪崩層（始動積雪）が水気を含まない。
	湿 雪	発生域の雪崩層（始動積雪）が水気を含む。
雪崩層（始動積雪）のすべり面の位置（図 2.1-2 参照）	表 層	すべり面が積雪内部。
	全 層	すべり面が地面。

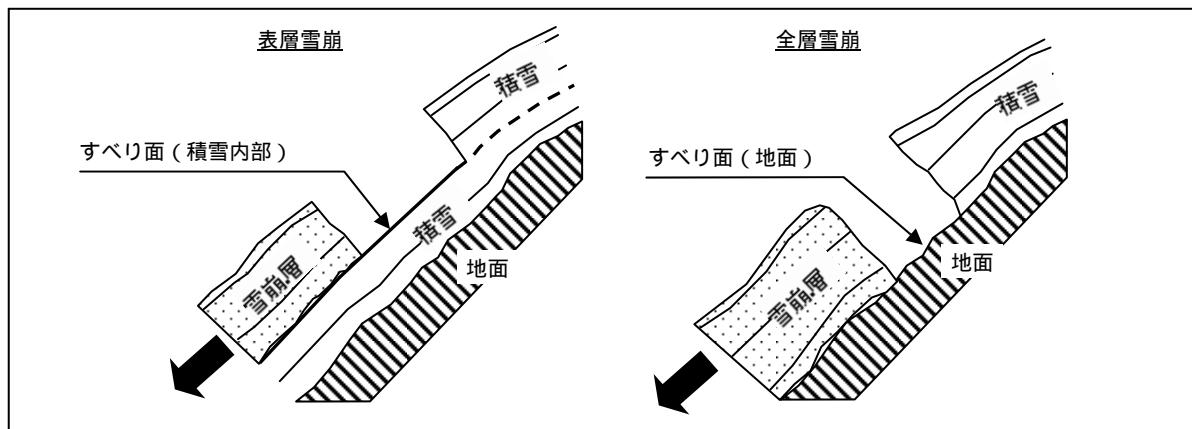


図 2.1-2 表層雪崩と全層雪崩の概要⁶⁾

表 2.1-2 雪崩の分類名称⁵⁾

雪崩発生の形	雪崩層(始動積雪)の乾湿	雪崩層(始動積雪)のすべり面の位置	雪崩の種類
点発生	乾 雪	表層(積雪内部)	① 点発生乾雪表層雪崩 (図 2.1-3)
		全層(地 面)	点発生乾雪全層雪崩
	湿 雪	表層(積雪内部)	点発生湿雪表層雪崩
		全層(地 面)	点発生湿雪全層雪崩
面発生	乾 雪	表層(積雪内部)	⑤ 面発生乾雪表層雪崩 (図 2.1-4)
		全層(地 面)	面発生乾雪全層雪崩
	湿 雪	表層(積雪内部)	面発生湿雪表層雪崩
		全層(地 面)	面発生湿雪全層雪崩 (図 2.1-5)

その他の主な雪崩現象⁵⁾

- ・スラッシュ雪崩：大量の水を含んだ雪が流動する雪崩。同様の現象で大量の水を含んだ雪が主に渓流内を流下するものは雪泥流という
- ・ブロック雪崩：雪底・雪渓等の雪塊の崩落
- ・法面雪崩：鉄道や道路などで角度を一定にして切り取った人工斜面の雪崩



図 2.1-3 点発生乾雪表層雪崩の例⁷⁾



図 2.1-4 面発生乾雪表層雪崩の例⁸⁾



図 2.1-5 面発生湿雪全層雪崩の例⁹⁾

2.2 雪崩の発生機構

2.2.1 雪崩の発生機構

雪崩は、斜面に積もった雪の強度や地面との摩擦などの支持力に対し、重力の作用による駆動力が上回ったときに発生する。

【解説】

斜面に積もった雪には、重力の作用により斜面下側方向に落下しようとする力が常に働いている。この力が雪の強度や積雪底面で雪を支える力を上回るときに雪崩が発生する(図 2.2-1)^{2),4)}。重力の作用による力を駆動力、斜面に積もった雪を支える力を支持力とする。駆動力は雪の重量と斜面勾配の正弦に比例する。支持力の主なものは、表層雪崩の場合、積雪を構成する雪粒同士の凝集力や強度、全層雪崩の場合は積雪底面と地面との摩擦抵抗や灌木の引抜抵抗などである^{4),6)}。

駆動力と支持力のバランスが崩れて雪崩が発生する場合には、図 2.2-1 に示す 2 つのケースがある^{4),6)}。

ケース 駆動力が増加して、支持力を上回る場合

ケース 支持力が低下して、駆動力を下回る場合

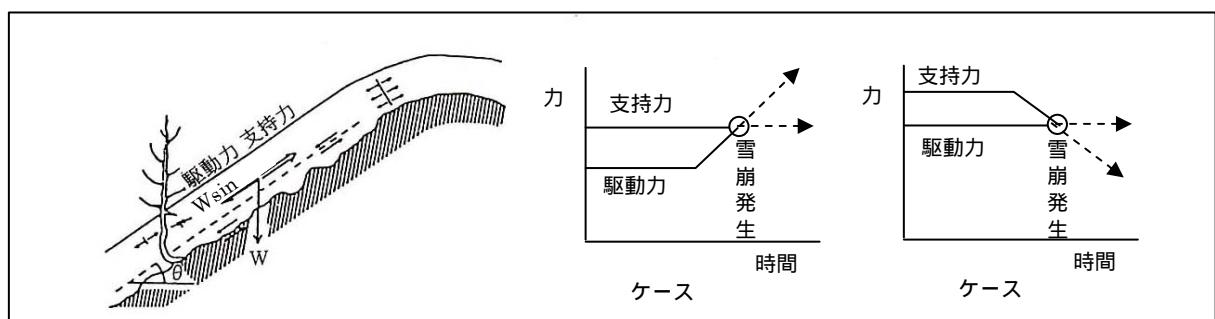


図 2.2-1 雪崩発生の典型的な過程¹⁰⁾

の典型的なケースとして、以下が考えられる^{2),4),6),11),12)}。

積雪内部に強度が小さい層や積雪面に結合の弱い面が形成される場合

積雪内部に相対的に強度の弱い層(弱層、表 2.2-1)や、積雪表面に降雪粒子との結合が弱い面(表 2.2-2)が形成された後、降雪による上載積雪の増加、自然の外力(吹きだまりの形成や雪庇崩落等)などにより駆動力が加えられて雪崩が発生する。

短時間に多量の降雪がある場合

新雪の強度は緩やかに大きくなる。そのため、短時間に多量の降雪がある場合、積雪強度による十分な支持力がないまま上載積雪による駆動力が増大して雪崩が発生する。

また、の典型的なケースとして、以下が考えられる^{2),4),6),11),12)}。

積雪内に融雪水や雨水が浸透する場合

気温の上昇による融雪水や雨水の浸透によって、積雪の強度が小さくなる場合あるいは積雪底面の抵抗力が小さくなる場合に、支持力が低下して雪崩が発生する。

表 2.2-1 弱層の種類と特徴 ^{1), 2), 4), 6), 11), 12)}

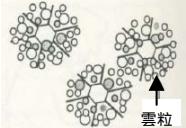
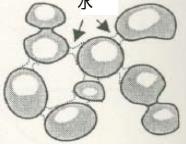
種類	結晶の形状	形成過程
降雪結晶	 雲粒のない平板状結晶	雲粒のない（落下途中で雲粒と衝突して付着することのない）大きな平板状の結晶が無風状態で積もる場合、斜面に平行に結晶が積み重なるため接触点が少なく、比較的長時間その形が保持される。平行に積み重なった平板状の結晶は剪断変形に弱く、容易に破壊する。
あられ	 雲粒	粒径のそろった大粒のあられが単独で積もる場合、積雪内の空隙が多く接触点が少ない。またこの場合、あられ自身はほとんど変形しないため、焼結や圧密の進行が遅い。このため、あられ層は弱層として長時間維持される。
しもざらめ雪	 中空	積雪内で大きな温度勾配がある場合、高温側の雪粒から水蒸気が昇華蒸発し、低温側の雪粒に凝結する。このため、雪粒はしだいに角張った霜の結晶に置き換わり、六角形の板状や柱状、コップ状のしもざらめ雪ができる。この雪は、地表面近くで長時間かかる場合と、雪面近くで短時間に成長する場合がある。 また小さな温度勾配の作用でできた平らな面をもった雪粒は、こしもざらめ雪と呼ばれる。こしもざらめ雪は、クラスト（表 2.2-2）付近でも形成されることがある。
表面霜		放射冷却の強まりにより雪面の温度が急速に低下すると、空気中の水蒸気が雪面に凝結して霜の結晶ができる。これを表面霜という。
ぬれざらめ雪	 水	積雪の融解や雨水の浸透によって、積雪が長時間水を含んでると小さな雪粒が合体し、丸みを帯びた大きな雪粒に変化する。さらに高温や強い日射で雪粒同士の結合部分が選択的に急激に融解すると、雪面に弱いざらめ雪が形成される。降雪によりこれが濡れた状態のまま埋没すると弱層になる。

表 2.2-2 降雪粒子との結合が弱い雪面の種類と特徴 ^{6), 12)}

種類	特徴	形成過程
レイン・クラスト	滑らかな氷面	降雨によって積雪表面が濡れ、その後の気温低下や放射冷却の強まりによって冷やされて積雪表面に氷膜が形成される。すべての斜面で均一に形成される。
ウインド・クラスト	堅い雪面	常時強い風にさらされている雪面には新雪が堆積せず、氷のように滑らかで堅い雪面が露呈する。常時強い風にさらされている箇所で形成される。
サン・クラスト	光沢がある 滑らかな氷面	晴天のもとで形成される。雪面が放射冷却で冷やされ、強い日射により雪面近傍で内部融解が起きると光沢がある氷板が雪面に形成される ¹³⁾ 。

クラストの表面が濡れている場合や凹凸がある場合は、その後の降雪結晶との結合が強まるので弱層とはならない¹²⁾。

2.2.2 雪崩の発生形態とその特徴

雪崩は、表層雪崩や全層雪崩などの発生形態によってその特徴が異なる。

【解説】

一般的に雪崩の到達距離は、雪崩堆積区の末端から発生区を見通した仰角(図 2.2-2)が、表層雪崩では 18° 以上、全層雪崩では 24° 以上となる範囲であることが経験的に知られている^{3), 14)}。

表層雪崩は、積雪内部に形成された支持力の小さい弱層をきっかけとして発生し、弱層より下の雪を残して上の雪のみが流下する。また、弱層がなくても、表層雪崩は積雪の上に多量の新雪が短時間に積もった場合にも発生する。表層雪崩の速度は $70 \sim 80\text{m/s}$ に達することがあり⁶⁾、また表面層が新雪の場合は容易に煙状の流れとなり到達距離も長くなる。特に、面発生乾雪表層雪崩(2-4p、図 2.1-4)は規模が大きく到達距離も長くなることから警戒すべき雪崩である。

一方、全層雪崩は、抵抗の大きい地表面がすべり面となり、雪煙を上げずに流れ下る場合が多い。このため、全層雪崩の速度は早くても 30m/s 以下で⁶⁾、到達距離は伸びない。

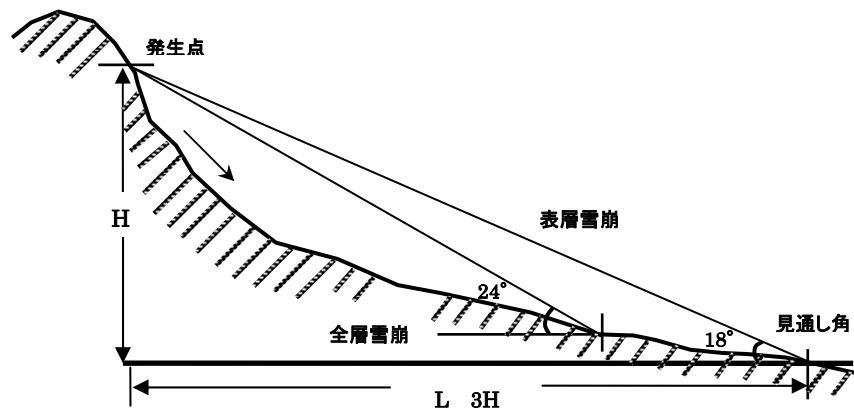


図 2.2-2 雪崩到達の目安³⁾

2.2.3 雪崩の発生要因

雪崩の発生要因には、素因である地形・植生条件と誘因である気象・積雪条件があり、雪崩はこれらの要因の組合せにより発生する。

【解説】

雪崩の発生要因には、素因である地形・植生条件と誘因である気象・積雪条件があり、雪崩はこれらの要因の組合せにより発生する。その他に、衝撃（雪庇の崩壊、樹冠積雪の落下等）や動物の進入（シカ等）、地震により誘発される場合もあり、これらも誘因の一つである。

以下に地形条件、植生条件、気象・積雪条件について説明する。

(1) 地形条件

雪崩の発生事例が多い地形条件は次のとおりである。

- ・ 斜面傾斜が 35° ~ 45°
- ・ 斜面形状は凹形または等齊形

ただし、この条件以外でも雪崩の発生事例はある。

【解説】

雪崩の発生事例が多い発生区の斜面傾斜角は 35° ~ 45° 程度であり^{10),15)}、 30° 以下あるいは 60° 以上の発生は少ない傾向にある¹⁵⁾ (図 2.2-3、図 2.2-4)。ただし、この条件以外でも雪崩の発生事例はあり、植生によっては 30° 以下の勾配でも発生することもある。特に力ヤ地・草地・笹地では緩斜面でも注意が必要となる。また、 60° 以上の急斜面では点発生乾雪表層雪崩の発生が多く (2-3p、図 2.1-3)、多量の積雪にならないうちに落下する場合が多いが、近年急斜面でも多量の積雪となって雪崩が発生する事例^{9),16)}が報告されている。

一方、斜面形状に着目した場合、縦断形 (斜面方向の断面形状)・横断形 (斜面と直行する方向の断面形状) が、凹形または等齊形 (直線形) の地形で雪崩の発生事例が多い (表 2.2-3)¹⁰⁾。

なお、表層雪崩と全層雪崩の発生に関する地形条件上の相違については、明らかではない。

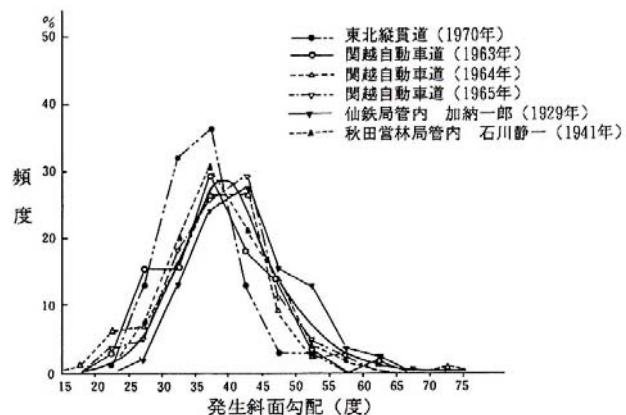


図 2.2-3 わが国の傾斜別雪崩頻度の報告例¹⁷⁾

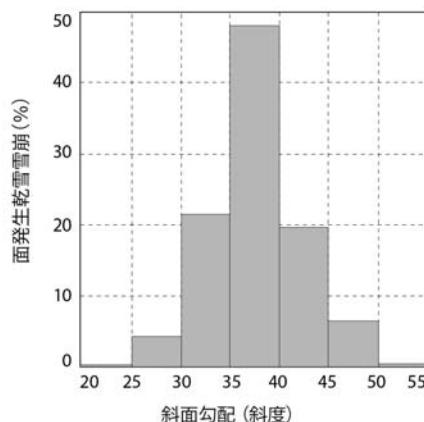


図 2.2-4 発生区の傾斜角(面発生乾雪表層雪崩)¹⁸⁾

縦断形・横断形が等齊形 (直線形) の地形とは切土斜面のような比較的凹凸の少ない平らな地形を示す。

表 2.2-3 縦断形、横断形別雪崩発生頻度調査例¹⁷⁾

縦断形 調査機関	凹	凸	等 齊	複 合
鉄道技術協会	56.0%	2.0%	32.0%	10.0%
鉄道施設協会	53.6	5.9	22.4	18.0
高速道路調査会	3.7	0.0	96.3	0.0
建設省	23.0	15.8	57.5	1.7

横断形 調査機関	凹	凸	等 齊	複 合
鉄道技術協会	51.0%	0.0%	49.0%	0.0%
鉄道施設協会	54.0	5.0	25.4	15.6
高速道路調査会	23.1	0.6	73.8	2.5
建設省	48.3	21.7	26.7	3.8
林業試験場	39.0	22.8	12.2	26.0

(2) 植生条件

植生による全層雪崩の抑止効果は、樹高が高いほど及び樹冠疎密度が大きいほど高くなる。ただし表層雪崩の場合は、樹林帯でも積雪が深くなると抑止効果は低くなる。一方、笹や芝などの長い草が密生している斜面では全層雪崩が発生しやすい。

【解説】

植生条件としては樹高と樹冠疎密度（樹冠によって地表が覆われている割合）が特に雪崩の発生と関連がある¹⁰⁾（図 2.2-5）。樹冠疎密度の一般的目安として、樹間から山頂が良く見通せる場合は表層雪崩阻止効果が期待できない¹⁵⁾。特に沢筋に沿って立木の見られない地形では雪崩の常襲路になっている事が多い¹⁵⁾。また、全層雪崩の発生防止に必要な立木密度の検討結果を表 2.2-4 に示す¹⁹⁾。

植生による斜面積雪の安定化が期待できるのは高木である。高木が密生していれば樹木が雪に埋没することなく雪崩阻止を期待できる。低木・中木の場合は密生していても、積雪の深さによっては樹木が雪に埋没する事もありうるため、表層雪崩については樹林帯であっても雪崩抑制効果は低くなる¹⁵⁾（図 2.2-6）。ただし、全層雪崩に対しては常緑樹の枝が積雪内にある場合はアンカーとして斜面積雪の移動を抑制する効果がある¹²⁾。

一方、同じ傾斜角で同じ積雪深であっても、笹や芝等の長い草が密生している斜面ではグライドが起こりやすく全層雪崩が発生しやすい。長い草は、根雪当初の降雪により容易に倒伏し、滑らかな抵抗の少ない斜面を形成するためである。この他、直径が細く倒れやすい灌木斜面も危険な斜面とされている⁴⁾。

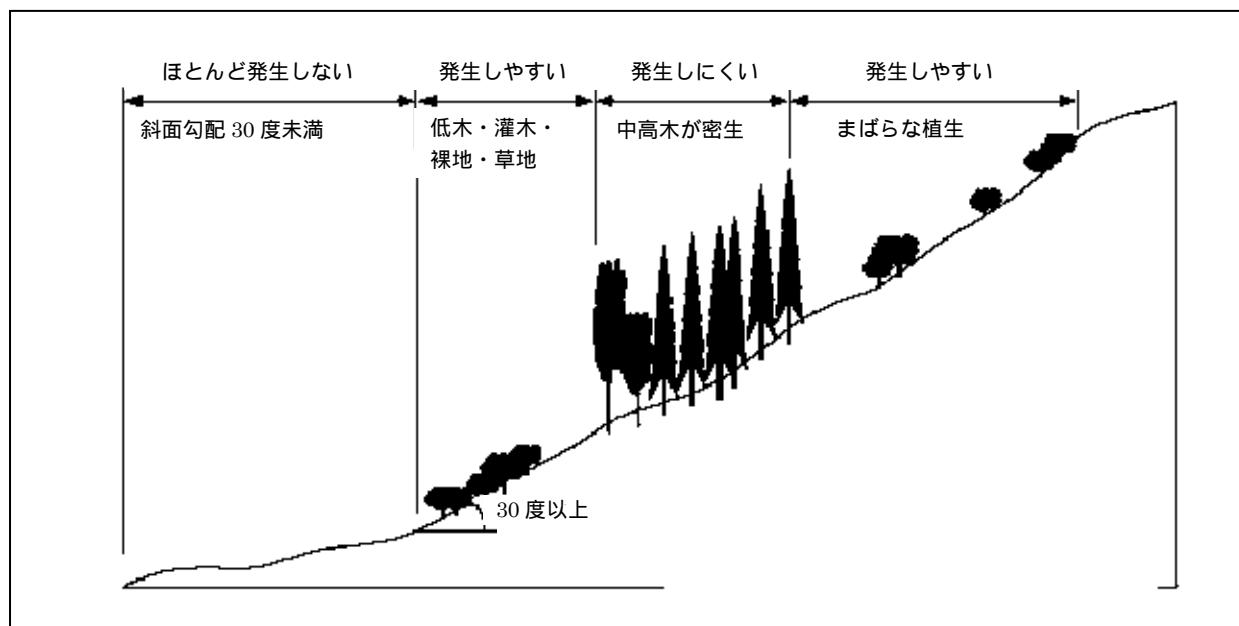


図 2.2-5 雪崩発生の植生条件²⁰⁾

表 2.2-4 全層雪崩の発生防止に必要な立木密度²¹⁾

傾 斜	全層雪崩
35 度	630 本/ha ($I=4.0\text{m}$)
40 度	1,250 本/ha ($I=2.8\text{m}$)
45 度	1,880 本/ha ($I=2.3\text{m}$)

I : 立木間隔

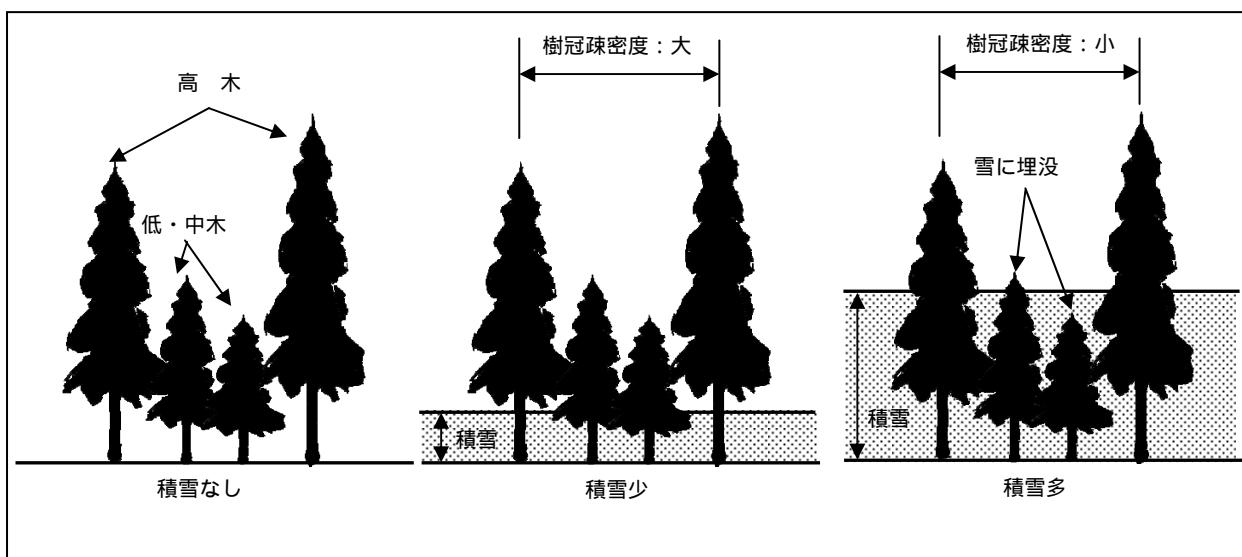


図 2.2-6 樹高と積雪の関係³⁾

(積雪が多くなると低木や中木の一部が雪に埋没してしまい、樹冠疎密度が小さくなる。この結果、表層雪崩が発生しやすくなる¹⁾)

北海道では、笹で覆われた斜面で全層雪崩が多く発生している^{8), 22), 23)}。観測の結果^{22), 23)}、笹地斜面では以下に示す過程により全層雪崩が発生することが示されている(図 2.2-7)。なお笹地斜面ではグライドの盛んな融雪期だけでなく厳冬期においても乾雪全層雪崩が発生する危険性がある。

笹地斜面上に雪が積もると、その重みによって多くの笹は地面に倒伏する。しかし、いくらかの笹は倒伏せず、その後の降雪によって積雪内部に閉じ込められる。

地面に倒伏した笹は、地面の土や石、小さな凹凸など積雪の滑りにとって抵抗となる種々の要因をおおい隠す。そのため、笹地斜面が積雪に及ぼす抵抗は積雪内部の笹と地面に倒伏した笹となる。

積雪が斜面を滑り始めると、積雪の内部に入り込んだ笹は、積雪のグライド量に等しい長さだけ積雪より抜け出し、その分、地面に倒伏する。したがって、積雪のグライド量が笹の長さより大きくなる領域では、大多数の笹が地面に倒伏することになる。

斜面上方で積雪の中に笹の混入した領域と、その下方の大多数の笹が地面に倒伏した領域との境界付近にクラックが発生し、大多数の笹が地面に倒伏した領域の積雪が流下し全層雪崩となる。

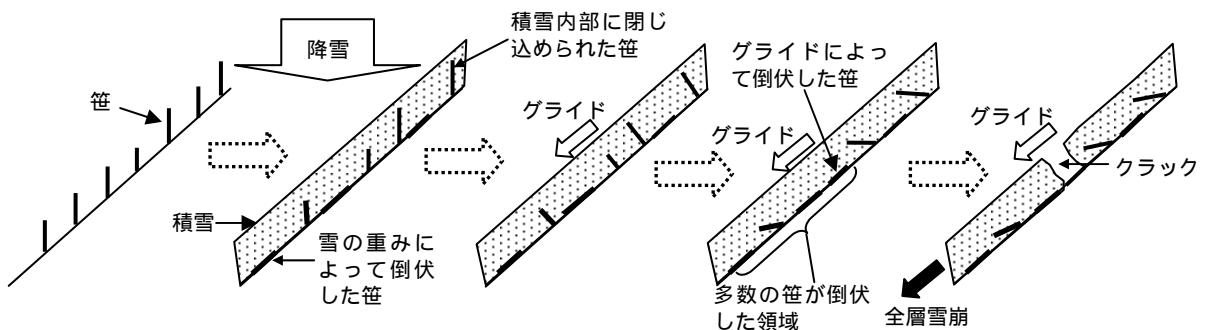


図 2.2-7 笹地斜面における全層雪崩発生までの過程

以上のように笹地斜面では全層雪崩が発生する危険性が高い。

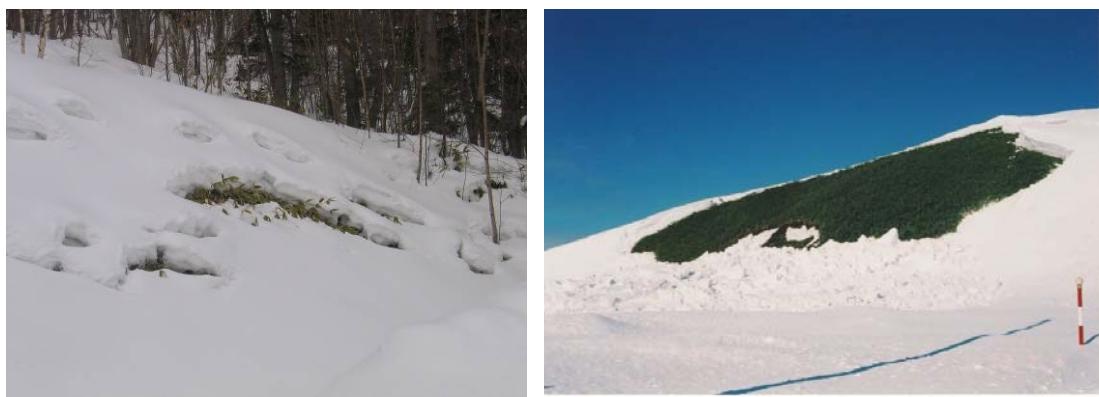


写真 2.2-1 笹地斜面で発生したクラック(左)と全層雪崩(右)

(3) 気象・積雪条件

乾雪雪崩は、積雪内部に弱層や降雪粒子との結合の弱い面がある場合、及び短時間に多量の降雪があった場合に発生しやすい。また湿雪雪崩は、融雪が進む気温の上昇やまとまった降雨の後に発生しやすい。また災害を伴う雪崩の場合は、積雪深が1m以上の場合が多い。

【解説】

雪崩の発生機構は非常に複雑であり、特に弱層は様々な気象条件および積雪条件下で形成される。これらの詳細な気象条件や積雪条件の解説は雪崩に関する専門書^{1), 2), 4), 11), 12)}を参照することとし、ここでは2.2.1で示した典型的な雪崩発生の事例について、その気象状況の特徴について説明する。

積雪内部に強度が小さい層や積雪面に結合が弱い面が形成される場合

厳冬期に多く発生する典型的な乾雪表層雪崩に関連する代表的な弱層や降雪粒子との結合の弱い雪面は、次の気象条件下で形成されると考えられている。

しもざらめ雪： 旧雪の上に数cmの新雪が積もった後、日射により旧雪が暖められて、夜間の放射冷却で雪面が急速に冷やされる場合、雪の中に大きな温度差が生じる。このとき暖かい雪粒子から蒸発した水蒸気が、冷たい雪粒子に凝結して霜の結晶が形成される（図2.2-8）。これをしもざらめ雪（表面しもざらめ雪）と呼ぶ。新雪は一晩でしもざらめ雪に変化し、その後の降雪により埋没すると弱層となる。



図 2.2-8 しもざらめ雪が形成されやすい気象状況(典型例)⁴⁾

表面霜：夜間の放射冷却の強まりにより雪面の温度が急激に低下し、空気中の水蒸気が雪面に凝結して形成される（図 2.2-9）。表面霜のできる条件は、放射冷却で表面温度が低下すること、空気中の湿度が高いこと、弱い風が吹いていることの 3 条件である⁴⁾。一晩で大きな結晶ができ、その後の降雪により埋没すると弱層となる。

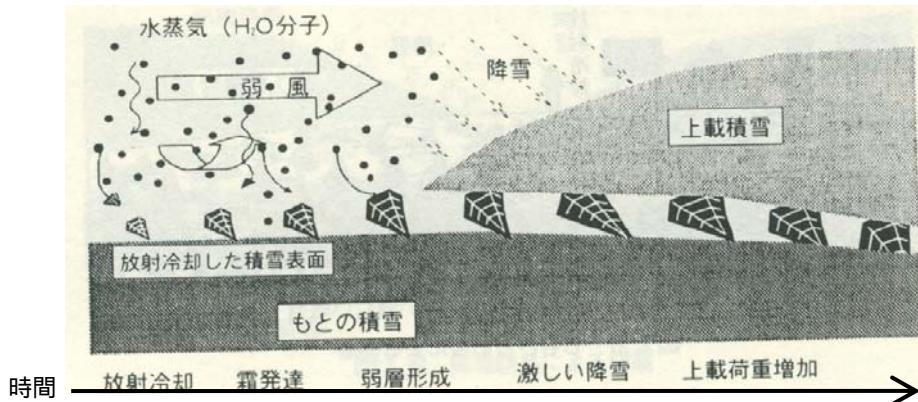


図 2.2-9 表面霜が形成されやすい気象状況(典型例)⁴⁾

ぬれざらめ雪：気温上昇や強い日射により積雪表面付近の雪粒子が急激に融解すること、融雪水や降雨が浸透し長時間ぬれ雪の状態が続くことにより、ぬれざらめ雪が形成される。この雪が濡れた状態のまま、その後の降雪により埋没すると弱層になる。

サン・クラスト：晴天のもとで形成される。雪面が放射冷却で冷やされ、強い日射により雪面近傍で内部融解が起きると光沢がある氷板が雪面に形成される¹³⁾。サン・クラストの形成後、周辺にこしもざらめ雪*が成長する場合がある。その上に降雪がある場合、氷膜と雪粒子の結合力が弱いため雪崩が発生する場合がある。ただし、氷膜が濡れた状態で降雪があった場合は、逆に結合の強い層が形成される。

短時間に多量の降雪がある場合

積もったばかりの新雪の強度は緩やかに大きくなるため、短期間の多量降雪によって積雪深が急激に増加する場合、積雪内に弱層がなくとも乾雪表層雪崩が発生する場合がある。特に、降雪時の気温が低い場合にこのタイプの雪崩は発生しやすい。斜面積雪の安定に関する理論的な計算結果²⁴⁾によると、勾配が 45° の斜面で時間降雪深 4cm/h (時間降水量 2mm/h) の雪が降り続くと約 8 時間後に雪崩が発生する危険性が高まる。

* こしもざらめ雪：積雪層内に温度勾配があると、高温側の雪粒から水蒸気が昇華蒸発し、低温側の雪粒に凝結する。この霜の結晶をこしもざらめ雪と呼び、よく発達した結晶をしもざらめ雪(表 2.2-1)と呼ぶ^{4),5)}。

積雪内に融雪水や雨水が浸透する場合

春先の融雪期に多く発生する典型的な湿雪雪崩がこのパターンで発生し、気温の上昇やまとまった降雨の後に発生しやすい。

浸透する水が、積雪内の不透過性の層あるいは細かい雪粒等のスponジのように水を吸収する層の上で溜まる場合は、湿雪表層雪崩となる¹²⁾。一方、浸透する水が、すでに脆くなっている雪粒の結合を融解し、積雪層全体に行きわたる場合、あるいはクラックから浸透して地表面付近に水が溜まる場合に湿雪全層雪崩が発生しやすくなる¹²⁾。

一方、雪崩災害発生時の積雪深を調査した事例(図 2.2-10)²⁵⁾では、災害の発生する雪崩は積雪深が1m以上の場合が多い。ただし、樹木がない芝斜面などでは、積雪深が1m未満でも雪崩が発生する可能性がある。図 2.2-10 を雪崩の種類から見た場合、全層雪崩は積雪深が3mまでの発生件数が多いが、表層雪崩では逆に3m以上でも、発生している割合が高い¹⁰⁾。

また、豪雪年であった1981年(昭和56年)と平年の場合を比較した事例(表 2.2-5)では、豪雪年の方が表層雪崩の割合が高い。

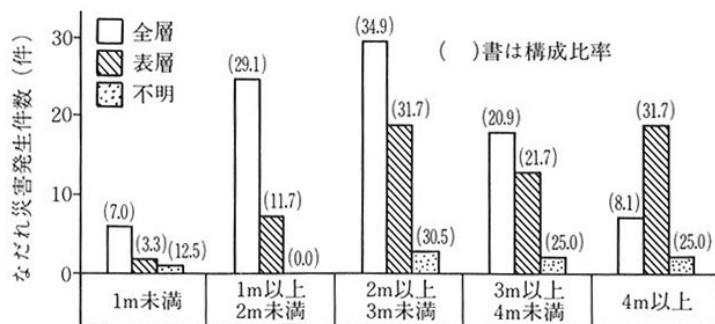


図 2.2-10 積雪深と雪崩災害発生件数²⁵⁾

表 2.2-5 平年と豪雪年における表層雪崩と全層雪崩の発生割合¹⁰⁾

統計年	総件数	表層雪崩	全層雪崩	不明
平年 1978, 79, 80 (S.53, 54, 55)	1,613	21.6%	76.3%	2.0%
豪雪年 1981(S.56)	950	40.8%	58.8%	0.3%

2.3 北海道の国道でみられる道路雪崩の特徴

2.3.1 わが国の雪崩災害の特徴

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 2.3-1)^{26),27)}。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²⁷⁾。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が高い傾向にある(図 2.3-1)。

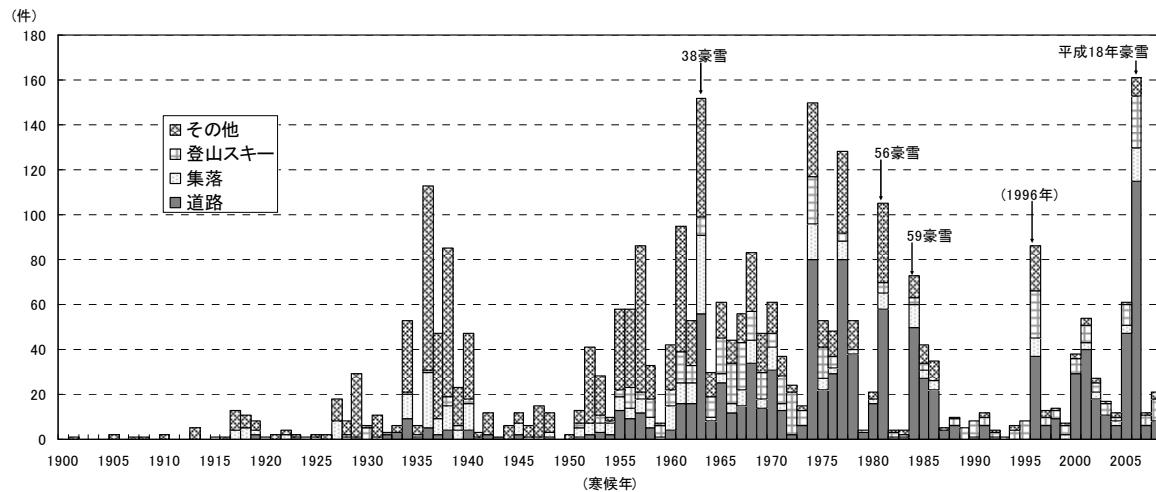


図 2.3-1 全国の雪崩災害の発生状況(1900(明治33年)～2008(平成20年))

1900～1999年は雪センター(2002)²⁶⁾より、2000～2008年は長部ほか(2008)²⁷⁾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

2.3.2 北海道の国道でみられる道路雪崩の特徴

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 2.3-2）。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 2.3-3）²⁸⁾。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 2.3-3），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 2.3-3）^{7), 9), 16), 28) ~ 31)}。このような雪崩をすり抜け現象を伴う雪崩と呼ぶ。

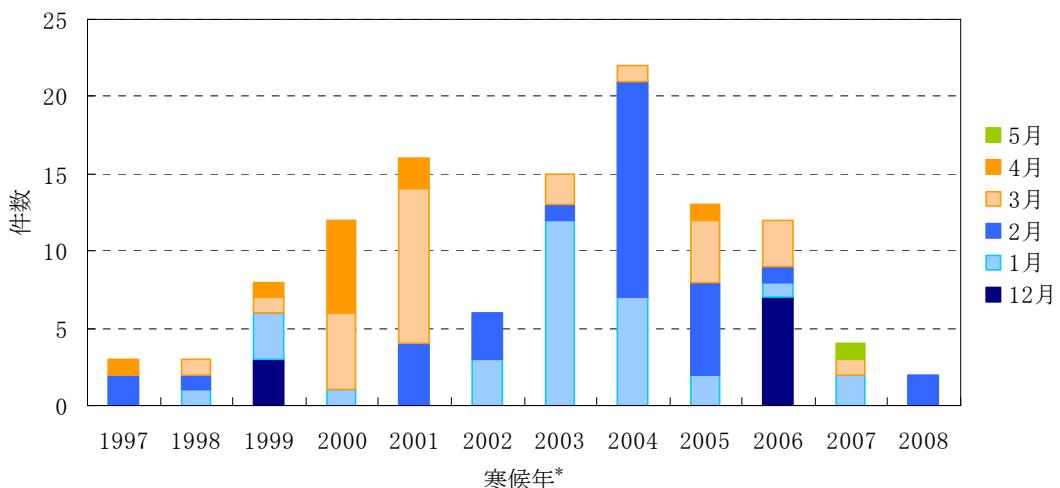


図 2.3-2 北海道の雪崩発生および雪崩の恐れによる月別通行止め発生件数

*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）

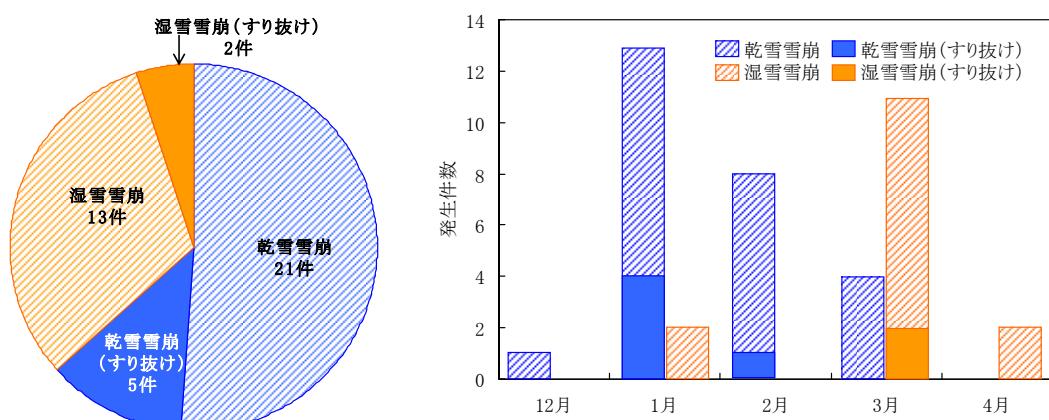


図 2.3-3 北海道の国道において発生した雪崩件数(左)及び月別発生件数(右)²⁸⁾

(統計期間:2001 年(平成 13 年)4 月 ~ 2006 年(平成 18 年)3 月)

3. 雪崩現象把握のための着眼点

雪崩発生の危険性を把握するためには、雪崩の発生要因となる地形・植生条件、気象・積雪条件に着目する。

【解説】

雪崩の発生要因には、素因である地形・植生条件と、誘因である気象・積雪条件がある（2.2.3 参照）。このため、雪崩発生の危険性を把握するためには、対象地域の地形・植生条件、気象条件に着目することが重要となる。

本章では、雪崩発生の危険性を把握するための気象情報と、現地で雪崩発生の兆候や雪崩対策施設の状況を観察するための着眼点について整理した。なお本章では道路等から判断できる観察内容について記載した。

3.1 気象状況の把握

気象情報は、雪崩発生の危険性を把握するうえで有用であり、対象地域の積雪状況と雪崩の特徴を踏まえて収集を行う。

【解説】

雪崩の発生に関する主な気象要素は乾雪雪崩と湿雪雪崩で異なる。ここでは乾雪雪崩と湿雪雪崩の発生時における特徴的な気象状況を述べる（詳細は2-15～2-17p参照）。

典型的な乾雪雪崩は、積雪深が短時間のうちに急激に増加したときに発生しやすい。また、乾雪雪崩は雪庇の崩落や吹きだまりが誘因となって発生する危険があることから、雪庇の形成や吹きだまりの形成に寄与する風向風速を把握することも重要となる。

一方、春先の融雪期に多く発生する典型的な湿雪雪崩は、気温の上昇による融雪水や雨水が積雪内に浸透することで発生しやすくなるため、降水量も把握すべき気象要素の一つとなる。

上記の他、北海道で確認されているすり抜け現象を伴う雪崩は、降雪強度が大きくて連続降雪量が多い場合で、降雪時の気温が低くかつ降雪時に無風か風が弱い気象条件下で発生する傾向にある^{28),31)}。これとは別に強風下で吹きだまりが形成される気象条件下でも発生することがある。したがって、すり抜け現象に関する気象情報を把握しておくことも、雪崩発生の危険性を判断するうえで重要となる。

なお、雪崩発生の危険性に関する判断基準は地域特性により異なる。例えば、気象庁が発表する「なだれ注意報（表3.1-1）」の判断基準も地域によって異なっている。したがって、雪崩発生の危険性に関して把握すべき気象情報の判断基準は、地域の積雪状況と過去の雪崩の特徴を踏まえて設定することが重要となる。

雪崩発生の危険性を把握するための留意すべき気象情報を表3.1-2に示す。

表3.1-1 各地域における「なだれ注意報」発令基準³²⁾

道・県	支庁名	発令基準
北海道 (平成20年5月28日現在)	宗谷支庁	24時間降雪の深さ30cm以上 積雪の深さ50cm以上で、日平均気温5以上
	上川、留萌支庁	"
	石狩、空知、後志支庁	"
	網走支庁	"
	釧路、根室、十勝支庁	"
	胆振、日高支庁	24時間降雪の深さ30cm以上 積雪の深さ40cm以上で、日平均気温5以上
	渡島、檜山支庁	24時間降雪の深さ30cm以上 積雪の深さ50cm以上で、日平均気温5以上
青森県(平成20年6月24日現在)		山沿いで24時間降雪の深さが40cm以上 積雪が50cm以上で、日平均気温5以上日の日が継続
福島県(平成20年7月1日現在)		24時間降雪の深さ40cm以上 積雪が50cm以上で、日平均気温3以上日の日が継続
新潟県(平成20年6月30日現在)		降雪の深さが50cm以上で気温の変化が大きい場合 積雪が50cm以上で最高気温が8以上になるか、日降水量20mm以上の降雨がある場合

累計降雪量を降雪時間で除した値

表 3.1-2 留意すべき気象情報¹⁵⁾

気象情報	乾雪雪崩	湿雪雪崩
天 気	○	◎
気 温	◎	◎
積雪深	◎	○
降雪量	◎	
降水量		◎
風 速	◎	
風 向	◎	

○:必要な情報

◎:特に重要な情報

3.2 雪崩現象の観察のための着眼点

雪崩の発生状況や雪崩の前兆現象を現地で適切に把握するために、下記の状況に着目する。

- 1)積雪斜面の状況 2)植生状況 3)雪崩対策施設の状況

【解説】

雪崩現象の把握のため、表 3.2-1 に示す雪崩の発生状況や雪崩の前兆現象に関連する積雪斜面状況、植生状況、および雪崩対策施設の状況に注意する。特に、雪崩発生の危険性が高まっている場合には、雪崩発生の有無や雪庇の状態、クラック拡大状況などの積雪斜面状況を重点的に注意する。なお、これらの着眼点は道路等から判断できる観察内容についてまとめたものである。

以下に、それぞれの着眼点の概要について示す。

表 3.2-1 雪崩現象の観察のための着眼点³³⁾

項目	点検内容	確認場所	表層雪崩	全層雪崩
1)積雪斜面の状況	雪崩が発生していないか。 雪崩が発生している場合、道路に到達していないか。	斜面全体		
	雪庇が発達しており、今にも落ちそうな状態でないか。	稜線付近		
	スノーボールが頻繁に発生していないか。	斜面全体		
	クラック（雪割れ目）は発生していないか。	斜面全体		
	雪しづちは発生していないか。	斜面全体		
	積雪により地形の凹凸がなくなり、積雪表面が平滑化していないか。	斜面全体		
	吹きだまりができるないか。	斜面全体		
2)植生状況	積雪深に対して雪上樹高は十分か。	斜面全体		
	雪崩による被災はあるか。	斜面全体		
	樹木の着雪・冠雪が肥大化していないか。	斜面全体		
3)雪崩対策施設の状況	雪崩発生区より上部斜面で雪崩が発生していないか。	設置範囲		
	すり抜け現象を伴う雪崩が発生していないか。	設置範囲		
	スノーシェッド出入り口部において雪崩の漏れ出しがないか。	設置範囲		
	雪崩防護擁壁の堆雪ポケットに十分な余裕があるか。	設置範囲		
	巻きだれが成長し、今にも落ちそうな状態でないか。	設置範囲		
	最下段の雪崩予防柵の下部斜面で雪崩が発生していないか。	設置範囲		

(一部加筆・修正) : 雪崩発生の要因または発生の目安

1) 積雪斜面状況

雪崩の発生状況

小規模な表層雪崩の発生は、今後の新たな積雪により大規模な雪崩発生につながる可能性が高く注意が必要となる。特に、過去に雪崩が発生した場所に注意する。

雪庇の形成

雪庇は図 3.2-1 に示すように、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。雪庇が発達すると、自然にもしくは衝撃などにより崩落し、そのとき積雪内部に弱層（表 2.2-1）や積雪粒子間の結合の弱い面（表 2.2-2）がある場合、雪崩を誘発する可能性がある³⁴⁾。また雪庇そのものが雪塊となって道路に達する場合がある。雪庇の崩落や雪庇下部で誘発される雪崩は、しばしば晴天時の日中における加熱時に発生している¹⁸⁾。以上を踏まえ、雪庇の形成状況に注意する。

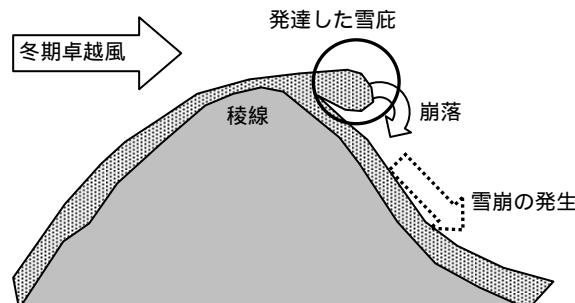


図 3.2-1 雪庇の形成³⁵⁾



写真 3.2-1 雪庇の形成例

スノーボールの発生

スノーボールとは、雪庇や樹木の着雪・冠雪、せり出した雪の一部が崩落して、斜面を転がり落ちて玉状の雪塊となったものである（図 3.2-2）。積雪内部に弱層（表 2.2-1）や積雪粒子間の結合の弱い面（表 2.2-2）がある場合、スノーボールが誘因となって雪崩が発生する可能性が考えられる。また、スノーボールを雪崩の前兆現象とする文献^{15),33),35)}もみられる。よって、スノーボールが頻繁に発生していないかその状況に注意する。

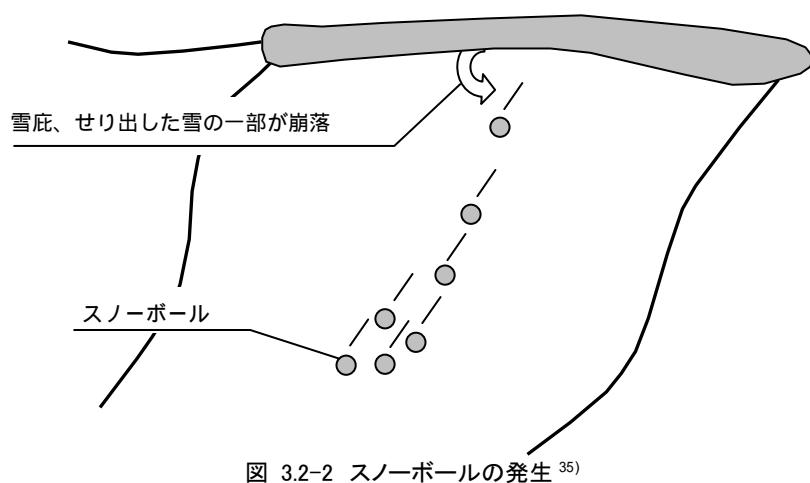


図 3.2-2 スノーボールの発生³⁵⁾



写真 3.2-2 スノーボールの発生例

クラック（雪割れ目）の発生

斜面積雪のクラック（雪割れ目）の存在は、積雪が既にすべり始め、グライドが発生している状況を示している³³⁾ことから、クラックの存在に注意する。クラックの発生がただちに雪崩の発生につながるものではないが、雪崩発生の前兆現象の一つである。積雪表面で確認できるクラックの幅や大きさは、地表面で生じているクラックの幅や大きさより小さく見える場合がある³⁾（図 3.2-3）。

斜面積雪の一日の移動量が 10~20 cm 以上あるとクラックが発生し、一日の移動量が 1~2 m 以上になると雪崩が発生するという報告もある³⁾。また笹地斜面の場合は全層雪崩が発生する危険性が高いので、無積雪期に植生状況を確認しておくことも有用となる。灌木斜面でのグライド速度と雪崩の発生との関係を表 3.2-2 に示す。

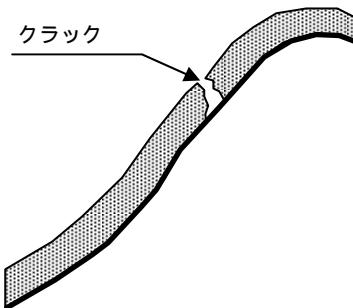


図 3.2-3 クラックの断面³⁵⁾

表 3.2-2 灌木斜面におけるグライド速度と雪崩発生の危険度³⁶⁾

グライド速度	雪崩発生時間	危険度
1 cm / 分	10 分間	危険
1 cm / 時	10 時間	注意
1 cm / 日		安全



写真 3.2-3 クラックの形成事例

雪しわの発生

雪しわとは積雪表面に発生するこぶ状のしわのことをいい(図 3.2-4)。クラック発生後に斜面積雪の移動量が大きい場合に生じる現象である¹⁵⁾。雪しわの発生は、雪崩発生の危険性が高い状態になっていることを示していることから、雪崩発生の前兆現象としてその形成に注意する。特に雪しわに亀裂が入る状態になると雪崩発生の危険性が高い³⁷⁾。

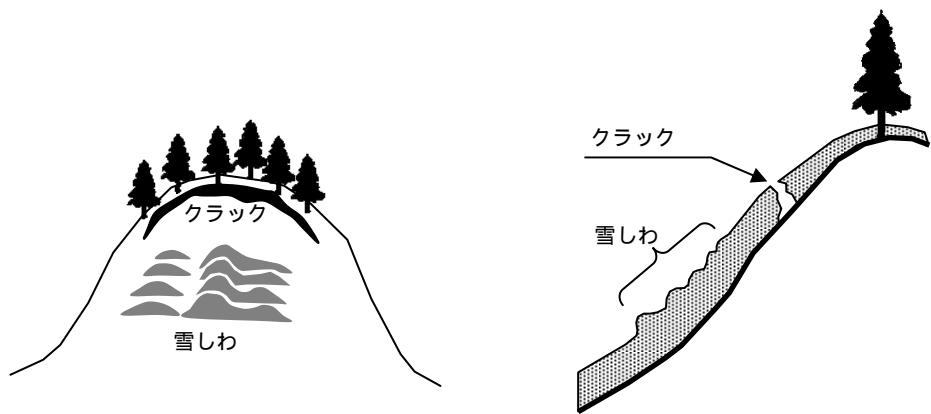


図 3.2-4 雪しわの形成³⁵⁾



写真 3.2-4 雪しわの形成事例

平滑化した斜面の形成

斜面に新雪が積もると、斜面の凹凸が次第になくなり平滑化する（図 3.2-5）³⁵⁾。平滑化した斜面に新たな積雪が生じた場合、この表面がすべり面となり、雪崩発生の危険性が高まることから平滑した斜面の形成に注意する。

さらに常時強い風にさらされると、氷のように滑らかで堅い雪面が露呈してウインド・クラストを形成する⁶⁾。また、レイン・クラストやサン・クラストなどの氷膜によって雪面が平滑化した場合も、その後の新たな降雪があるとき、これらがすべり面となって雪崩が発生する危険性がある¹²⁾。サン・クラストは南または西向き斜面で形成される傾向にあり、レイン・クラストは降雨後あらゆる方位の斜面に形成される¹²⁾。

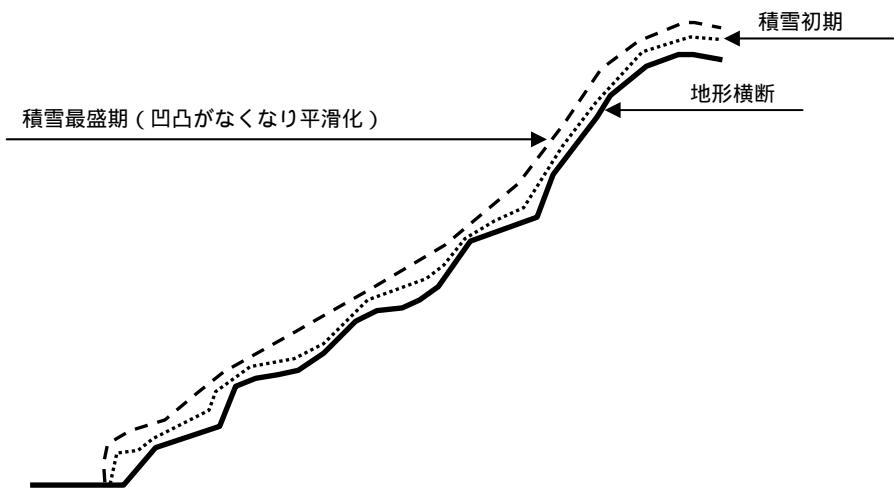


図 3.2-5 斜面積雪の平滑化³⁵⁾

吹きだまりの形成

斜面上の吹きだまりは、尾根を超えた風などによって運ばれた雪が堆雪することで形成される（図 3.2-6）。吹きだまりが斜面上に形成されると、積雪深が大きくなることにより積雪荷重が増加する。積雪内部に弱層（表 2.2-1）や積雪粒子間の結合の弱い面（表 2.2-2）がある場合、吹きだまりの形成により斜面積雪の安定度が低下することから、雪崩発生の危険性が高くなる³³⁾。また吹きだまりは、雪崩予防柵に形成される事例もある。よって、吹きだまりの形成状況に注意する。

吹きだまり形成の確認は積雪期に実施するが、無積雪時において地形状況を把握しておくことも、吹きだまりの形成状況を把握するためには有用となる。なお、吹きだまり形成の可能性が高い凹型の斜面については、特に注意が必要である。

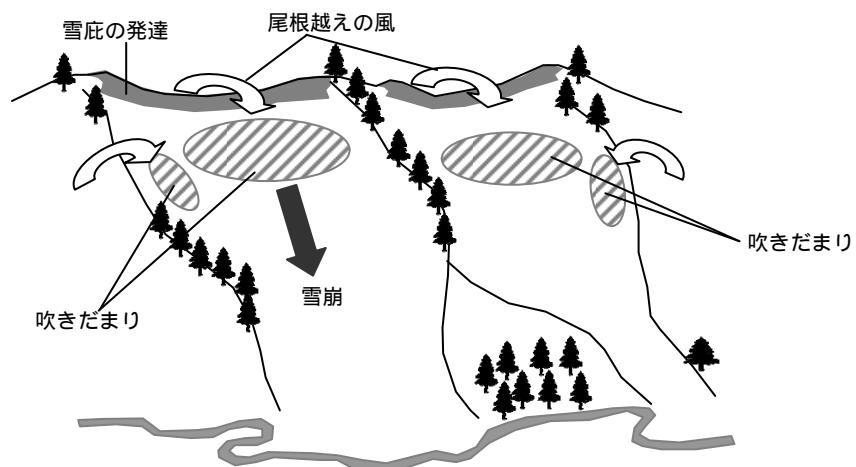


図 3.2-6 吹きだまりの形成模式図³⁵⁾

2) 植生状況

積雪深に対する雪上樹高

植生による斜面積雪の安定化が期待できるのは高木であり、高木が密生していれば樹木が雪に埋没することなく雪崩発生の抑制を期待できる。ただし、低木・中木が多くを占めている場合は積雪が多くなると低木や中木の一部が雪に埋没してしまい、樹冠疎密度（2.2.3（2）参照）が小さくなるために、表層雪崩が発生しやすくなる³⁾。したがって、積雪深に対する雪上樹高について注意する。一方、常緑樹などの枝が積雪中にある場合は、アンカーとして斜面積雪の移動を抑制する効果がある¹²⁾。

雪崩による樹木の被災

植生の良好な場所においても、雪崩により樹木が折れたり倒れたりして、樹冠疎密度が小さくなかった場合は、被災箇所が新たな雪崩の発生域となる危険性が高くなる（図 3.2-7）。このことから、雪崩が発生し樹木の被害が確認できた斜面は、被害箇所から新たな雪崩発生の兆候（表 3.2-1 に示す積雪斜面の状況）が見られないうちに注意する。雪崩による樹木の被害とは、木がなくなっていたり倒れていたり、あるいは谷側の枝がまだ残っているものの山側の枝葉がもぎ取られている木の存在である¹²⁾。

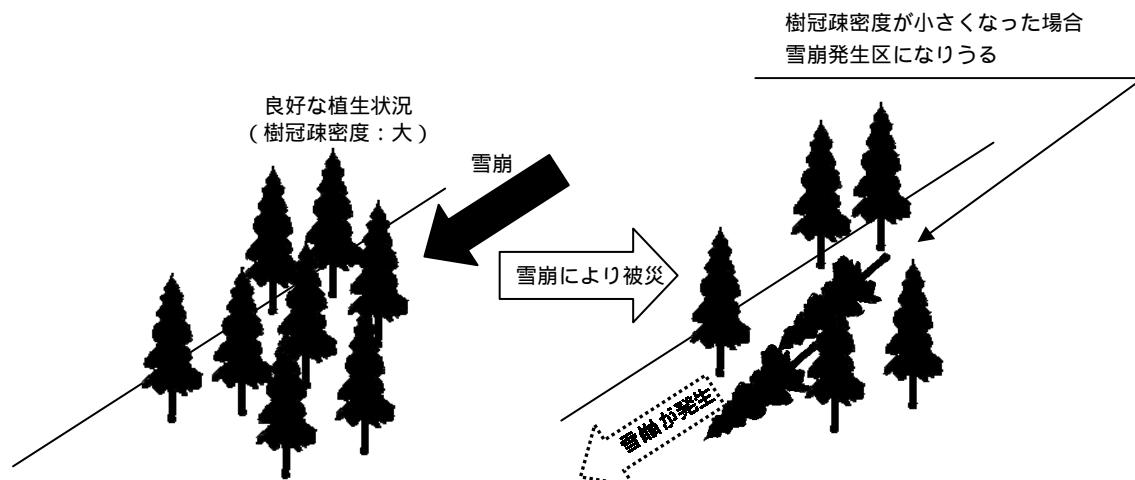


図 3.2-7 雪崩による樹木の被害(イメージ)

樹木の着雪・冠雪

樹木に雪が着雪または冠雪した場合には、これらが強風や自重等によって斜面に崩落する（図 3.2-8）。このとき積雪内部に弱層（表 2.2-1）や積雪粒子間の結合の弱い面（表 2.2-2）がある場合、着雪や冠雪の崩落が誘因となり、雪崩が発生することがあるため³³⁾、樹木への着雪および冠雪状況に注意する。

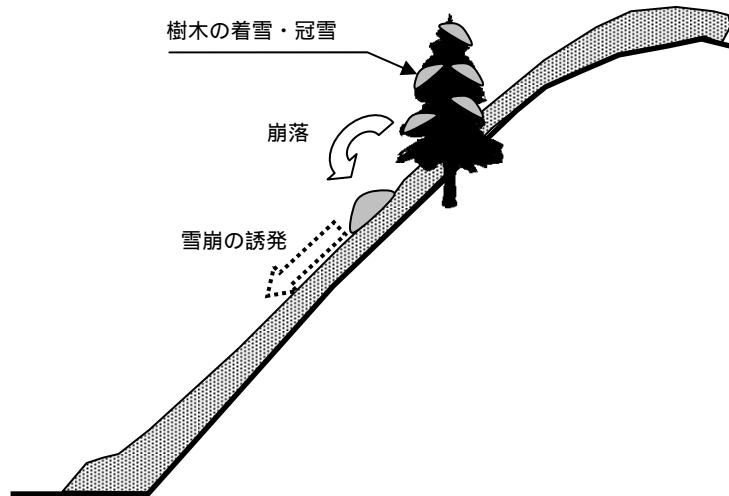


図 3.2-8 樹木の着雪・冠雪の崩落³⁵⁾



写真 3.2-5 樹木の着雪・冠雪形成事例

3) 雪崩対策施設の状況

【雪崩対策施設に対する雪崩の有無を確認】

雪崩発生区より上部斜面から雪崩の発生

雪崩予防柵は雪崩の発生を防止することを目的とした施設であり、雪崩予防柵周辺では雪崩が発生していないことが前提となるが、雪崩予防柵周辺における雪崩発生の有無に注意する。着目点は、雪崩予防柵の上部、雪崩予防柵間となる。さらに、雪崩が発生している場合には、施設が損壊していないか注意する。

すり抜け現象を伴う雪崩の発生

すり抜け現象を伴う雪崩とは、雪崩予防柵の発生抑止機能が果たせず、雪崩予防柵面を積雪が通過した雪崩である（図 3.2-9、写真 3.2-6）。雪崩の観察・調査において、雪崩予防柵が設置されている斜面を雪崩が通過していないか注意する。雪崩が発生している場合には、施設が損壊していないか注意する。

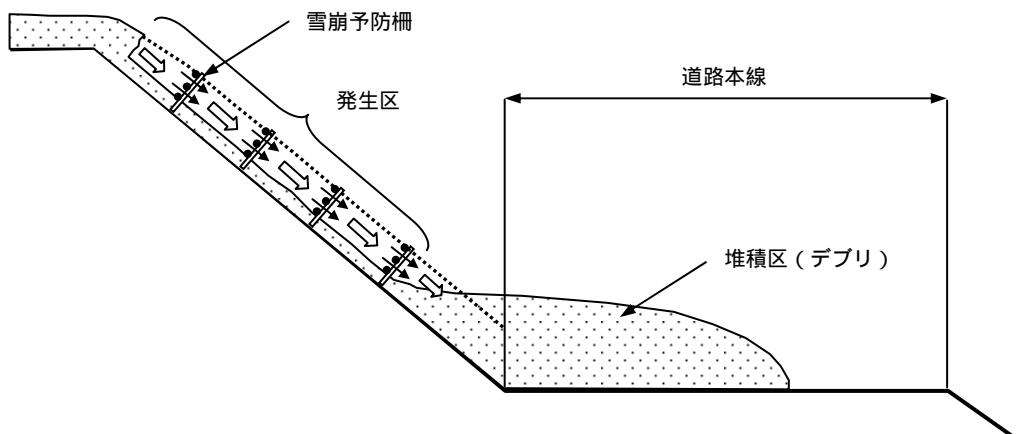


図 3.2-9 雪崩予防柵をすり抜けて流下する雪崩のイメージ

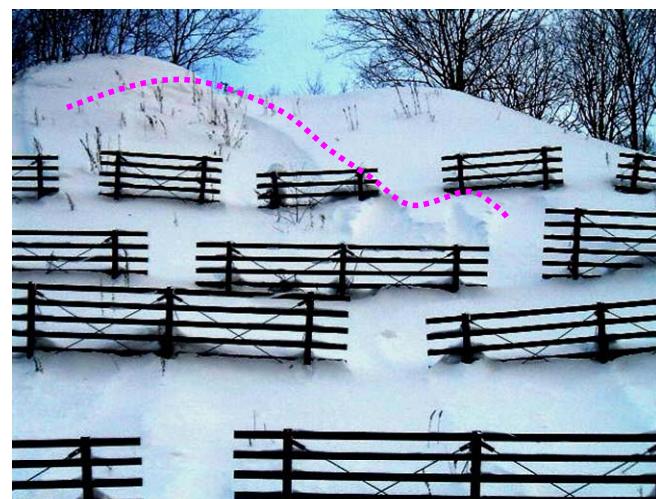


写真 3.2-6 雪崩予防柵を斜面積雪がすり抜けた現象の例

図中の破線は、積雪破断面の位置を示す

スノーシェッド出入り口部での雪崩の漏れ出し

スノーシェッドは、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構造物である³⁾。しかし、樹木の伐採による植生状況の変化により雪崩発生区が拡大した場合や雪崩走路の地形条件が施工当時と変わった場合等には、必要となるスノーシェッドの長さが不足し、流下した雪崩が屋根を通過せずスノーシェッドの出入り口部に漏れ出してくる可能性がある（図 3.2-10）。またスノーシェッドの上に樹木や岩石が堆積し、そこに雪崩が流下すると雪崩が分流して道路に漏れ出す場合がある。したがって、スノーシェッド出入り口部に雪崩の漏れ出しがないかに注意する。

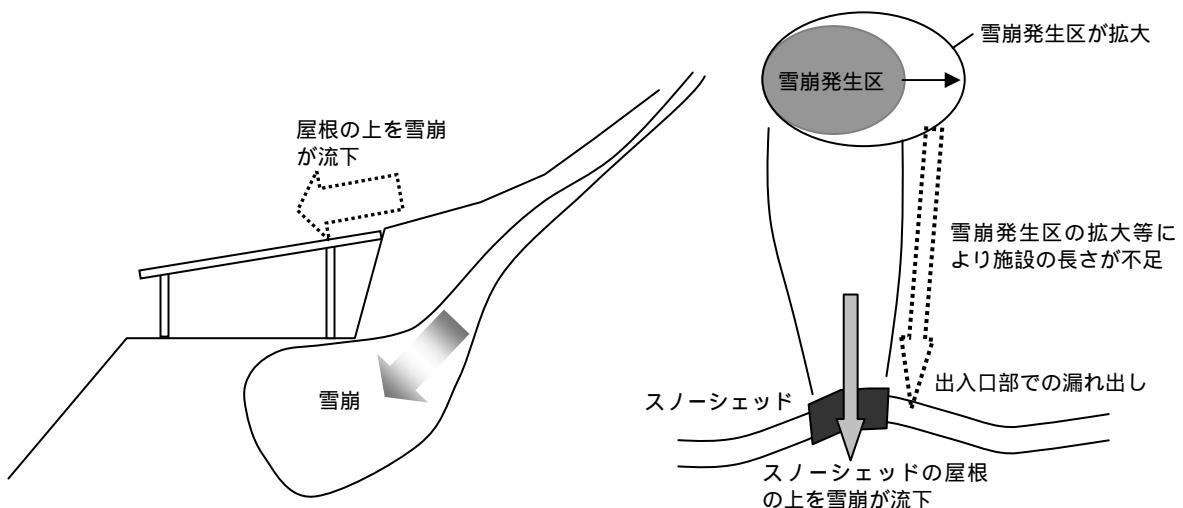


図 3.2-10 スノーシェッド出入り口部における雪崩の漏れ出し(イメージ)

雪崩防護擁壁の堆雪ポケット

雪崩防護擁壁は、発生した雪崩を雪崩防護擁壁の背後に堆雪させて、道路等への雪崩の流下を防止する施設である。このため雪崩の観察・調査では、雪崩防護擁壁の堆雪ポケットに十分な余裕があるか注意する。堆雪ポケットに余裕がない場合には、流下してきた雪崩が擁壁を乗り越えて道路に到達する可能性がある³³⁾（図 3.2-11）。

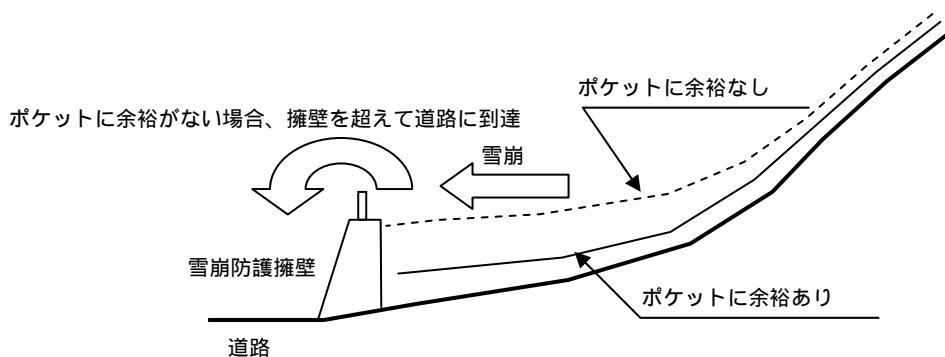


図 3.2-11 雪崩防護擁壁の堆雪ポケット容量の確認(イメージ)

【雪崩対策施設に対する雪崩の有無と雪崩の予兆の確認】

巻きだれの成長

巻きだれは、雪崩予防柵や小段、その他の斜面構造物、転石などの上端に積雪がせり出すことによって形成される。巻きだれが崩落した場合には雪塊が本線に到達するだけでなく、雪庇が崩落したときと同様に雪崩を引き起こす可能性があることから（図 3.2-12）その形成状況に注意する。

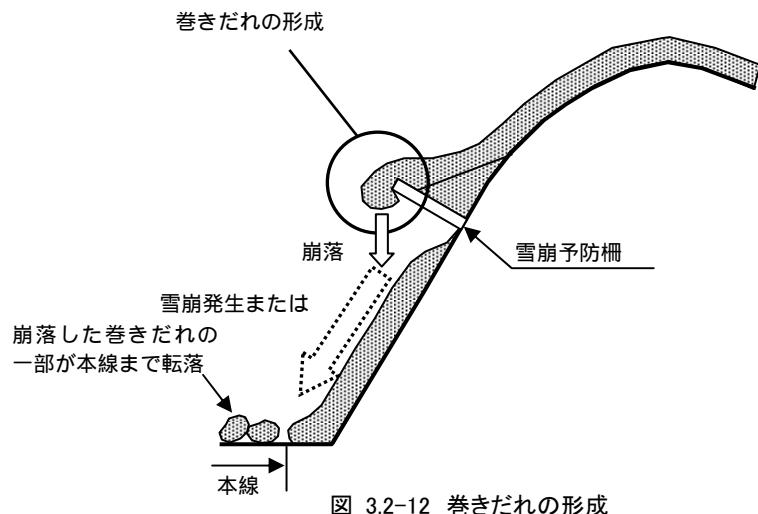


図 3.2-12 巷きだれの形成



写真 3.2-7 巷きだれの形成事例

（提供：竹内政夫氏）

最下段の雪崩予防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していないか注意する。また、最下段の雪崩予防柵とその下部斜面積雪との間に空隙がある場合（図 3.2-13）には、その広がりに着目する。

なお雪崩予防柵最下段の下部斜面から発生する雪崩は、除雪によって路側に堆積していた雪を取り除くことおよびロータリー車で斜面に雪を積み上げることが要因となる可能性が考えられる。

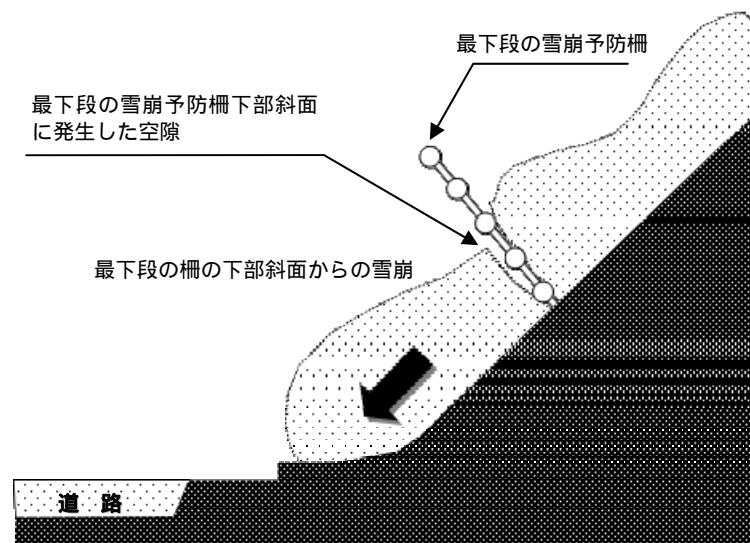


図 3.2-13 最下段の雪崩予防柵から発生する雪崩 ³⁸⁾

3.3 調査時の携帯機材

雪崩の観察・調査を実施する際には、調査員の安全確保と効率的な調査を行うために必要な資機材を携行することが望ましい。

【解説】

雪崩の観察・調査は、常に雪崩に遭遇する危険が伴う。そのため応急措置を講ずる必要性が生じることを想定して、表 3.3-1 に掲げる資機材を適宜携行することが望ましい。このうち、ビーコン（雪崩ビーコン）は、電波の発信・受信を行う無線機であり、雪崩による埋没者の場所を特定するためのものである。ゾンデ棒は、雪面から雪の中に刺し込んで、人や物に当たった感触をもとに埋没者を探す細長い棒である。

表 3.3-1 携行する資機材

名 称	資 機 材	目的
図面	地形図 (1/25000) 道路図 (1/50000・地点票入り)	雪崩が発生している場合や雪崩発生の予兆が確認できた場合に、当該箇所の位置を特定するために使用する。
記録・測定器具	巻尺、ポール、 スタッフ、カメラ、双眼鏡	雪崩が発生している場合に、雪崩の規模を測定・記録するために使用する。
照明器具	サーチライト、懐中電灯	夜間など目視で斜面状況を確認できない場合に使用する
救出用備品	ゾンデ棒、スコップ、ザイル	雪崩に巻き込まれた車両・人がいた場合の救出に使用する。
装着携行品	ビーコン	雪崩に巻き込まれた場合、埋没者の位置特定に使用する。
通信器具	携帯（衛星）電話、無線機	雪崩が発生している場合や雪崩発生の予兆が確認できた場合など、事務所に緊急の連絡を行う場合に使用する。
関係書類等	道路防災カルテ 等	雪崩に関する既存の調査資料を確認する。



写真 3.3-1 携行する主要な資機材

4. 応急対策

雪崩発生の危険性が高い場合における道路の安全確保のための応急対策には下記に示す2つがある。

- 1) 通行止めの実施
- 2) 雪崩の危険性軽減のための応急対策

雪崩の危険性軽減のための応急対策には、雪崩発生区内で実施する処理と発生区外で実施する処理がある。

【解 説】

雪崩発生の危険性が高い場合、道路の安全確保のために実施する項目として、1)通行止めの実施、2)雪崩の危険性軽減のための応急対策の2つがあり、両者を組み合わせることもある。本章では、2)雪崩の危険性軽減のための応急対策の具体例を示し、応急対策を実施する際の参考資料とすることを目的とする。

4.1 雪崩の危険性軽減のための雪崩発生区内における応急処理

雪崩の危険性軽減のための応急対策は、発生区における応急処理が主体となる。発生区における応急処理には、機械や人力、火薬を用いて斜面の積雪を処理する方法がある。

【解説】

雪崩の危険性軽減のための応急対策は、発生区における応急処理が主体となる。発生区における応急処理には、図 4.1-1 に示すとおり、機械、人力、火薬を用いる方法がある³⁾。以下にこれらの応急処理方法の概要を示す。

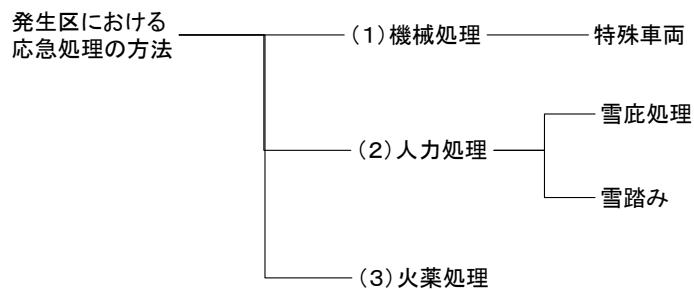


図 4.1-1 発生区における応急処理方法³⁾

(1) 機械処理

機械処理は、バックホウ、トラッククレーン等の特殊車両を用いて、斜面積雪や雪庇等を落下させたり、搔き落としたりして、斜面積雪の安定化を図るものである。機械処理は火薬処理と比較し小規模な斜面において実施されている³⁾。表 4.1-1 にこれらの応急処理方法の概要を示す。

表 4.1-1 機械処理の種類と方法³⁾

方 法		処理方法
バックホウによる方法		法面の積雪又は法肩や土留め擁壁上端の雪庇や巻きだれを搔き落とす。
ワイヤーロープ 方式	トラッククレーン 利用による方法	トラッククレーン車の本体とブーム先端に弓や弦のように取り付けたワイヤーロープを雪庇や巻きだれの背後にまわしたままトラッククレーン車を道路に沿って移動させ雪庇等を切断し滑落させる。ただし、道路標識等の施設が作業の障害となる。
	ブルドーザー利用 による方法	路肩場に固定したワイヤーロープをブルドーザーで引っ張りながら道路に沿って移動し、雪庇や巻きだれを切断し落とさせる。
バックホウ付き除雪トラックによる 方法		除雪トラック上部にバックホウの回転部を備え付けた構造の処理車で、法面の積雪又は法肩や土留め擁壁上端の雪庇や巻きだれを搔き落とす。

(2) 人力処理

人力による処理は、斜面の積雪を踏み固めたり、小規模な巻きだれや雪庇をスコップ等を用いて切り落としたり搔き落としたりする方法である。これは主に機械力を用いることができない箇所を対象としている。作業は、積雪が比較的安定した時期を選んで少人数のグループにより進められる。また、斜面上の積雪を小段状に踏み固め、雪崩発生を抑制する方法もある³⁾。

表 4.1-2 に人力処理の種類と方法を示し、以下ではそのうち雪庇処理と雪踏みについて説明する。

表 4.1-2 人力処理の種類と方法³⁾

方 法		処理方法
1)雪庇処理	スコップによる搔き落とし 切り落とし	尾根・法肩・防雪小段・土留め擁壁の上端や小段等の雪庇や巻きだれを、スコップにより搔き落としたり切り落としたりする。
	ワイヤーロープによる切断	法肩上に固定したワイヤーロープを人力で引っ張って道路方向に移動し、雪庇や巻きだれを切断して滑落させる。
	トラッククレーン (高所作業車)の利用	作業員が自力で上れないような急な法面などで、トラッククレーンのブームから吊り下げたゴンドラや高所作業車を用いて、法肩の雪庇や巻きだれを除く。
2)雪踏み		比較的小規模な斜面や法面で、積雪を小段状に踏み固めて安定化させ、雪崩発生を抑制する。

1) 雪庇処理

雪庇の処理は図 4.1-2 のように切り落とした面を 45° 程度の緩やかな角度に仕上げる必要がある¹⁵⁾。直角に切ってしまうと雪庇が形成しやすくなる。また、処理して落とした雪で雪崩を誘発しないように雪塊を小さくして落とすよう注意が必要である¹⁵⁾。

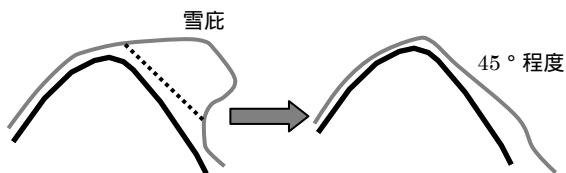


図 4.1-2 雪庇処理の方法¹⁵⁾

2) 雪踏み

雪踏みとは、斜面積雪の安定化を図るため図 4.1-3 のように、人力によって斜面積雪を階段状に細かく踏み固める方法である。クラックを処理する場合は割れ目に雪を入れ、斜面上下の積雪を繋げる様にして踏み固める範囲を広くとる。

雪踏みは、斜面上部から下部へ横方向に行うこととし、雪崩に巻き込まれないよう注意を払うとともに¹⁵⁾、人員の安全確保に努める必要がある。

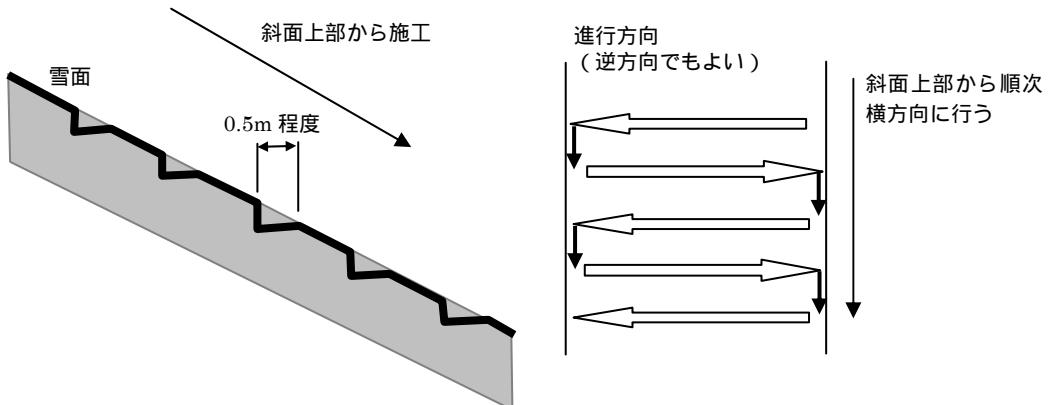


図 4.1-3 雪踏みの方法¹⁵⁾

(3) 火薬処理

火薬処理は斜面積雪内に直接火薬を装填・爆発させ、人工的に雪崩を起こし処理するものである^{3), 15)}。雪崩の発生する面積が大きく、人力による積雪の切り取りが困難な場合に行われる³⁾。

4.2 雪崩発生区以外における応急処理

雪崩発生区以外における応急処理として、雪を用いて走路に誘導堤または堆積区に防護堤を構築する方法がある。

【解説】

雪崩発生区以外における応急的な対策として、雪を使って走路に誘導堤を構築する方法（図 4.2-1）と堆積区に防護堤を構築する方法（図 4.2-2）がある¹⁵⁾。これらを以下では雪堤という。この方法により、雪崩から道路や走行車両等の安全を確保するものである。

ただし、雪堤を構築する場所には、流下した雪崩を堆雪、もしくは施設を構築するための空間が存在していることが不可欠である。また雪崩の衝撃力に耐えうる必要があるが、現在のところ雪堤の高さや幅に関する十分な知見が得られていない。なお、この対策の実施にあたっては、工事により雪崩を誘発しないよう十分な注意が必要となる。

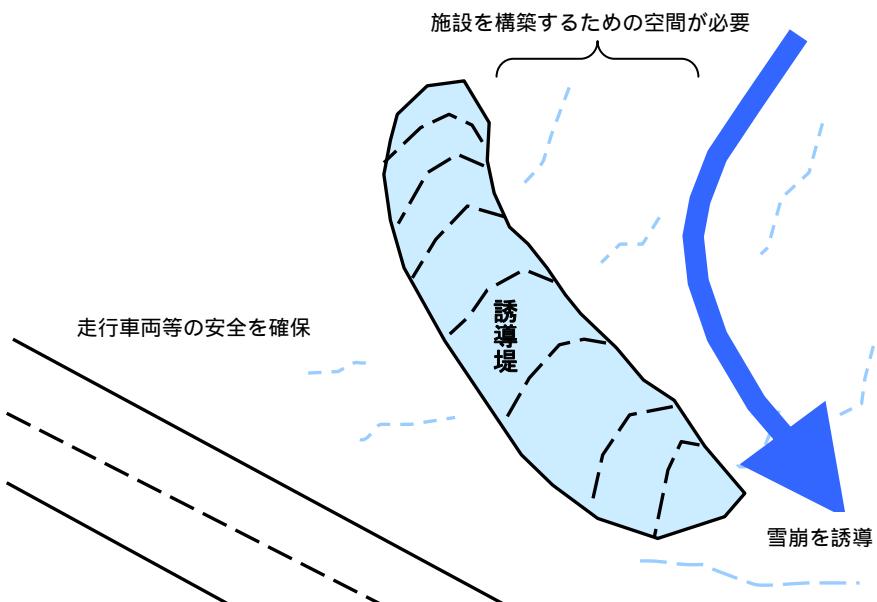


図 4.2-1 雪による雪崩誘導堤³³⁾

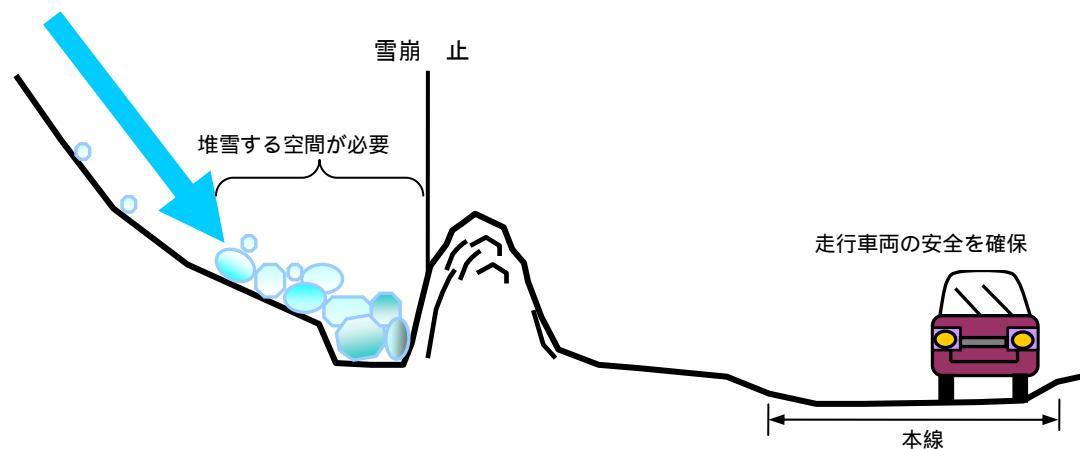


図 4.2-2 雪による雪崩防護堤³³⁾



写真 4.2-1 雪による雪崩防護堤の構 例

【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。また、第3章「雪崩現象把握のための着眼点」執筆にあたり、国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所の「雪崩巡視の手引き(案)」および「雪崩パトロール手帳」に記載されている多くの知見を参考にさせていただきました。ここに記して感謝申し上げます。

【参考資料】

- 1) 秋田谷英次(2005)：雪崩の定義と分類，雪と氷の事典，朝倉書店，199-203
- 2) 西村浩一編(1998)：雪崩，気象研究ノート，190，193pp
- 3) 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
- 4) 遠藤八十一，秋田谷英次(2000)：雪崩の分類と発生機構，雪崩と吹雪，古今書院，13-81
- 5) 日本雪氷学会(1998)：日本雪氷学会 積雪・雪崩分類，雪氷，60，419-444
- 6) 清水 弘(1979)：なだれ，融雪・なだれ特集，気象研究ノート，136，63-123
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 遠藤八十一(2005)：雪崩発生のしくみ，雪と氷の事典，朝倉書店，205-215
- 12) ブルース・トレンパー(2004)：雪崩リスクマネジメント，山と渓谷社，278pp
- 13) 尾関俊浩(1997)：サン・クラストの形成機構，雪氷，59，387-395
- 14) 日本雪氷学会(1990)：雪氷辞典，古今書院，196pp
- 15) 町田 誠(2007)：雪崩危険斜面の判定・雪崩管理の実態，雪崩対策の基礎技術 2007，日本雪氷学会，45-54
- 16) 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
- 17) 財団法人高速道路調査会(1975)：防雪施設に関する調査研究報告書(日本道路公団委託)，財団法人高速道路調査会，199pp
- 18) デビット・マックラング、ピーター・シアラー著、日本雪崩ネットワーク訳(2007)：雪崩ハンドブック，東京新聞出版局，342pp
- 19) 社団法人日本建設機械化協会(1988)：新編防雪工学ハンドブック，社団法人建設機械化協会，527pp
- 20) 国土交通省砂防部保全課(2006)：雪崩についての解説，国土交通省砂防部保全課，<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h17nadare/kaisetsu.pdf#search='雪崩についての解説'> (平成22年2月3日時点)
- 21) 石川政幸，佐藤正平，川口利次(1969)：雪崩防止林の立木密度，雪氷，31，14-18
- 22) 遠藤八十一，秋田谷英次(1978)：笹地斜面における積雪のグライド機構，低温科学，A35，91-104
- 23) 遠藤八十一(1981)：笹地斜面における積雪のグライド機構，低温科学，A39，81-89

- 24) 遠藤八十一(1993)：降雪強度による乾雪表層雪崩の発生予測，雪氷，55，113-120
- 25) 建設省河川局(1983)：なだれ防災対策調査報告書，国土交通省河川局，200pp
- 26) 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
- 27) 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
- 28) 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
- 29) 竹内政夫(2004)：異常気象と雪崩の異変，北の交差点，15，18-21
- 30) 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
- 31) 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
- 32) 気象庁(2008)：警報・注意報発表基準一覧表，気象庁，<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kijun/index.html> (平成22年2月3日時点)
- 33) 国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所(2005)：雪崩巡視の手引き(案)，長岡国道事務所，86pp
- 34) 上石 熱(1998)：雪崩制御，雪崩，気象研究ノート，190，161-178
- 35) 国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所(2005)：雪崩パトロール手帳，長岡国道事務所，82pp
- 36) 納口恭明，山田穰，五十嵐高志(1986)：全層なだれにいたるグライドの加速のモデル，国立防災科学技術センター研究報告，38，169-180
- 37) 北海道雪崩事故防止研究会編(2002)：決定版 雪崩学，山と渓谷社，350pp
- 38) 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

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 黙英	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	榎原 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

雪崩現象の基礎に関する技術資料（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