

12. 北海道の道路雪崩と雪崩管理

12.1 活動概要

北海道の国道では、いつ、どこで、どのような雪崩が発生したか、できるだけ正確な記録を残す努力が継続されており、実態把握や雪崩対策検討の基礎資料として、活用できるようになってきている。また、道路管理技術委員会関連の技術者が、雪崩発生前後に雪崩発生現場を見られる仕組みも整備されていることから、これまで使われてきている、雪崩対策施設の効果や課題についても明らかになりつつあり、雪崩対策施設改善への基礎資料となる。

雪崩の記録整備が進み、気象条件との関わりを検討できると、雪崩発生前に通行規制で、雪崩の危険を回避することが可能であり、幾つかの国道ではすでに事前規制による道路管理が実現できている。今後も、雪崩の危険が無い道路を目指し、残された課題解決に努めたい。

12.2 北海道で発生した道路雪崩の特徴

北海道で発生した道路雪崩の事例を収集することは、北海道の道路雪崩の実態を把握し、今後の雪崩対策のあり方を検討するための種々の調査解析を行うに際して、極めて重要である。ここでは、平成7年（1995年）以降、道路事務所等で保存されていた雪崩災害にかかる資料を収集し、事例集としてとりまとめた（表12-1）。なお、平成12年には、道路管理技術委員会として雪崩災害調査シートを作成し、現場に配布して発生時の道路雪崩の記録を依頼しているところであり、それらによる情報収集によるところが大きい。また、ここでは、それら雪崩事例とは別に、北海道開発局道路維持課所管の雪崩による通行止めのデータも収集した。

図12-1には、雪崩による通行止め件数の推移を示す。年度毎の違いはあるものの、全体としては1984年以前が比較的多く発生しており、その後1993年頃にかけて減少したが、また、最近になって、コンスタントに発生していることがわかる。

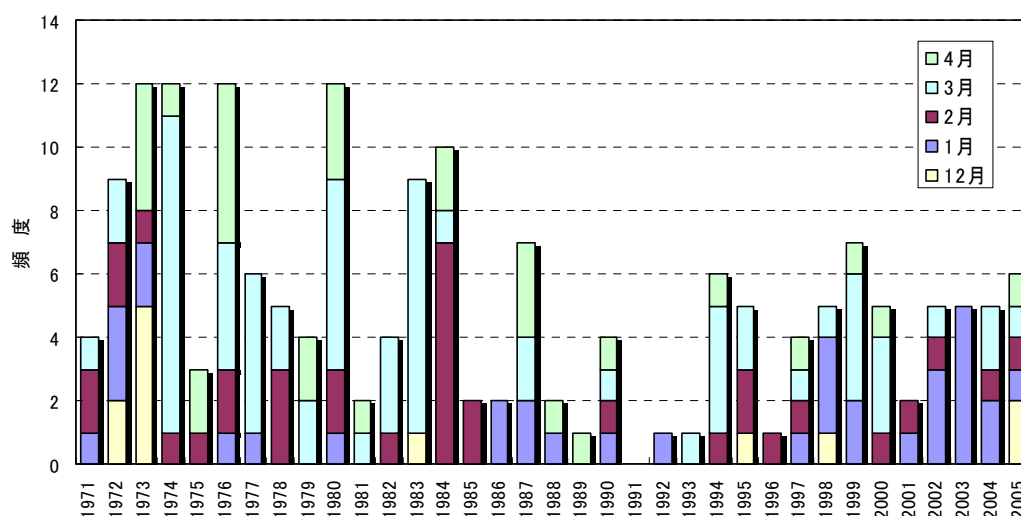


図12-1 雪崩による通行止め件数の推移（1971年～2005年）

※「雪崩」「雪崩のおそれ」などによる通行止め件数を抽出

次に、エリア別の発生状況（図12-2）をみると、太平洋側東部が70件以上となっており、日本海側中部（40件弱）や内陸部（30件弱）の2倍以上ある。次いで道南、日本海側北部と続くが、少ないエリアは太平洋側西部とオホーツク海側であった。同じグラフには代表気象官署の降雪の深さの寒候期合計値の平年値を合わせて示す。一般的に雪崩災害は多雪地域に多く発生すると考えられるが、このグラフを見る限りはそうは言えない。特に最も多い太平洋側東部では太平洋側西部に次いで降雪の深さが少なく、逆に2番目の降雪の深さを記録している日本海側北部では、雪崩件数は10件程度にとどまっている。これは、雪崩の発生機構から考えると全層雪崩は累積降雪量が効くが、最近多いと考えられる新雪による乾雪表層雪崩は短時間の降雪強度が効くなどのことが原因として考えられる。また、降雪の多少が雪崩発生是件数に影響を及ぼすこととは別に、雪崩災害の発生件数には、発生した雪崩を受ける側（道路等）の要因が多く寄与しているため、道路雪崩でいえば、冬期間供用されている道路延長や山岳地域に位置している割合等が、地域によって異なることが原因と考えられる。また気象エリアを7つに分類してそれぞれ1つずつ気象官署を対応させたが、その値がエリア全体の降雪の深さの特性を十分に代表できていない可能性も考えられる。

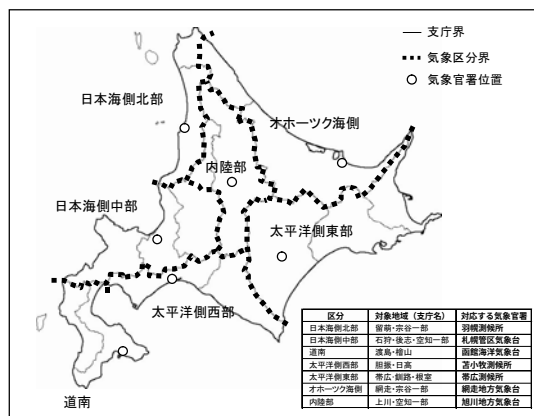
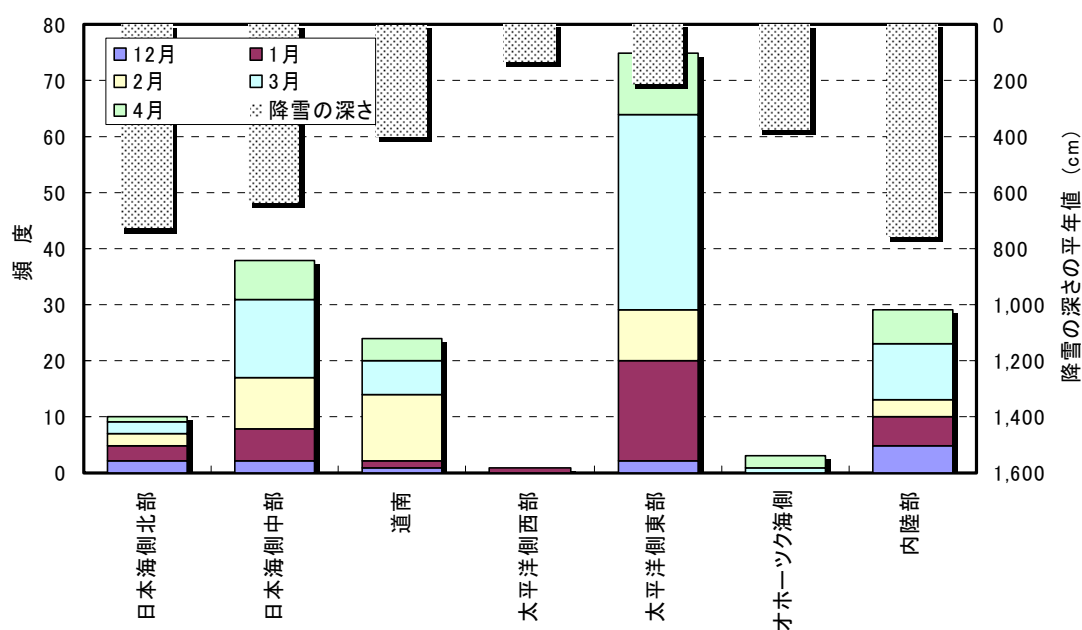


図12-2 雪崩による通行止めの地域別件数（1971年～2005年）

※ 建設部界を跨ぐ区間の通行止めの場合、両開建それぞれ1件とした。

次に、道路雪崩事例を用いて、その特性を明らかにした。表12-1には、ここで用いた1995年以降の雪崩事例一覧を示す。

表12-1 収集した雪崩事例一覧

事例 No		路線	箇所	雪崩の分類			走路	斜面(法面)勾配	発生時 対策工	デブリ量 (m³)	備考
				発生区	乾湿	雪崩層					
1	1995/12/9 15:08	243	美幌峠	面発生	-	全層	自然斜面	30°	なし	33,600	除雪トラック埋没
2	1996/3/22 22:40	243	美幌峠	面発生	乾雪	表層	自然斜面	30°	なし	390	
3	1997/2/16 19:45	39	層雲峡	面発生	-	表層	法面	51°	なし	500	
4	1998/1/19 4:00	236	豊似トンネル	面発生	乾雪	表層	法面	45°	あり	1,050	
5	1998/2/6 2:40	37	小幌	面発生	乾雪	全層	急崖(ネット)	45°	なし	700	
6	1998/3/17 19:05	243	美幌峠	点発生	乾雪	表層	自然斜面	30°	なし	150	
7	1999/1/10 19:00	238	豊岩	面発生	-	全層	法面	40°	あり	1,950	雪崩予防柵が破損
8	1999/1/26 5:10	241	阿寒横断	面発生	-	表層	法面	55°	なし	450	
9	1999/1/28 15:00	241	阿寒横断	面発生	-	表層	沢	-	あり	270	
10	1999/3/4 10:50	39	層雲峡	面発生	-	表層	法面	45°	あり	200	
11	1999/4/16 18:50	40	成島	面発生	湿雪	全層	沢	45°	なし	3,000	
12	2000/3/29 9:00	274	日勝峠	面発生	乾雪	表層	法面	45°, 55°	あり	420	
13	2001/2/1 16:30	453	支笏湖畔	面発生	乾雪	表層	沢	35° ~40°	あり	430	16箇所で発生、一部シェッド施工済
14	2001/3/2	453	支笏湖畔	面発生	湿雪	全層	沢	35° ~40°	あり	-	発生時刻は不明
15	2002/1/21 21:00	276	支笏大橋	面発生	湿雪	表層	法面	-	あり	-	
16	2002/1/21 21:40	453	支笏湖畔	面発生	湿雪	表層	法面	-	あり	-	
17	2003/1/4 8:00	39	石北峠	面発生	乾雪	表層	法面	35°, 47.5°, 55°	あり	620	
18	2003/1/4 8:00	273	三国峠	面発生	乾雪	表層	法面	35°, 55°	あり	40	
19	2003/2/14 7:45	452	三芦トンネル	面発生	乾雪	表層	法面	45°	あり	300	
20	2003/3/23 14:30	39	石北峠	面・点発生	湿雪	表層	法面	51°	あり	320	
21	2004/1/14 5:10	242	陸別	面発生	湿雪	全層	法面	40°	なし	1,080	
22	2004/1/14 8:00	39	石北峠	面発生	乾雪	表層	法面	55°	あり	3,000	
23	2004/1/14 8:30	274	釧勝峠	面発生	乾雪	全層	法面	45°	あり	600	
24	2004/1/14 16:00	274	釧勝峠	面発生	乾雪	全層	法面	45°	あり	385	
25	2004/1/23 13:00	243	美幌峠	面発生	乾雪	表層	自然斜面	40°	なし	975	すべり面に「しもざらめ雪」が見られた
26	2005/1/28 3:10	452	三芦トンネル	面発生	乾雪	表層	法面	45°	あり	500	
27	2005/1/30 23:30	452	三芦トンネル	面発生	乾雪	表層	法面	45°	あり	80	
28	2005/2/19 23:00	453	支笏湖畔	面発生	乾雪	表層	沢	35° ~40°	なし	-	
29	2005/2/20 6:00	276	千歳市美笛	面発生	乾雪	表層	法面	40°	あり	-	
30	2005/2/20 13:00	276	千歳市モラップ	面発生	乾雪	表層	法面	40°	あり	-	
31	2005/3/11 10:15	229	余市町白岩～豊浜	面発生	湿雪	全層	自然斜面	55°	なし	156	
32	2005/3/23 16:30	233	留萌市藤山	面発生	湿雪	全層	法面	27°	なし	608	
33	2005/4/25 14:50	243	美幌峠	面発生	湿雪	全層	自然	40°	なし	150	
34	2005/12/17 19:00	39	石北峠	面発生	乾雪	表層	法面	40° ~45°	なし	-	
35	2005/12/18 14:30	39	石北峠	面発生	乾雪	表層	法面	45°, 51°	なし	-	
36	2005/12/26 9:20	39	石北峠	面発生	乾雪	表層	法面	40°	なし	540	
37	2005/12/26 9:20	273	樹海トンネル	面発生	乾雪	表層	法面	55°	あり	50	
38	2006/1/11 17:10	229	積丹町群来	面発生	乾雪	全層	自然斜面	30°	あり	80	
39	2006/2/14 20:50	236	豊似トンネル	面発生	湿雪	表層	法面	40°	あり	277	
40	2006/3/29 23:00	274	日勝峠	面発生	乾雪	表層	沢	40°	あり	-	

※“-”は不明

※斜面勾配は、法面以外の場合は地形図その他資料からの推定

※デブリ量は、複数箇所の場合は最大

ここでは雪崩事例のうち発生区の雪崩特性を整理した(図12-3)。ほとんどが面発生雪崩であり、雪質としては乾雪が60%以上を占めていた。すべり面では70%近くが積雪層内にすべり面を持つ表層雪崩であった。総合的にみると全体の約60%が面発生乾雪表層雪崩であった。

道路雪崩の発生区(または走路)は、切土のり面、自然斜面(上述の整形法面ではない自然の状態の斜面)、沢地形、落石ネット等を施工している崖に分けられる。図より、最も多いのはのり面で全体の64%を占めている。次いで自然斜面・沢となっており、崖は3%に過ぎない。崖はほとんどの場合その勾配が大きくまたネットを施工しているため、積雪として斜面に堆積しないことが原因と考えられる。

また斜面勾配をみると、半数以上が40~49°の斜面で発生していた。図には、面発生乾雪表層雪崩の発生区の傾斜角の頻度分布(McClung(1993))を示すが、これによると35~39°が約40%を占め、40~44°は約20%で、今回の道路雪崩事例の発生区の特徴とは異なる。

この分布は雪崩が乾雪表層雪崩に限定されていることと、本事例の大部分を占めるのり面雪崩について、切土のり面の代表的な勾配が40°以上に分布しているためであると推察される。逆に、30°以下や50°以上の勾配でも道路雪崩は発生し得るとも言える。

図12-4には、収集した道路雪崩事例を発生斜面に何らかの雪崩対策工の有無で分けたものである。これによると全体の60%の事例で、雪崩対策工が施工されていたことになる。対策工がある事例のうち、雪崩予防柵をすり抜けたと推察される(現象については後述)ものは「すり抜

け有」としている。それ以外の「対策工あり」の事例は、スノーシェッド端部からの流入があったり、雪崩予防柵が破壊されたりしたものである。このように、既設の雪崩対策工が、雪崩から道路を守る機能を発揮していないと思われる事例が多いことから、次章ではその課題について整理する。

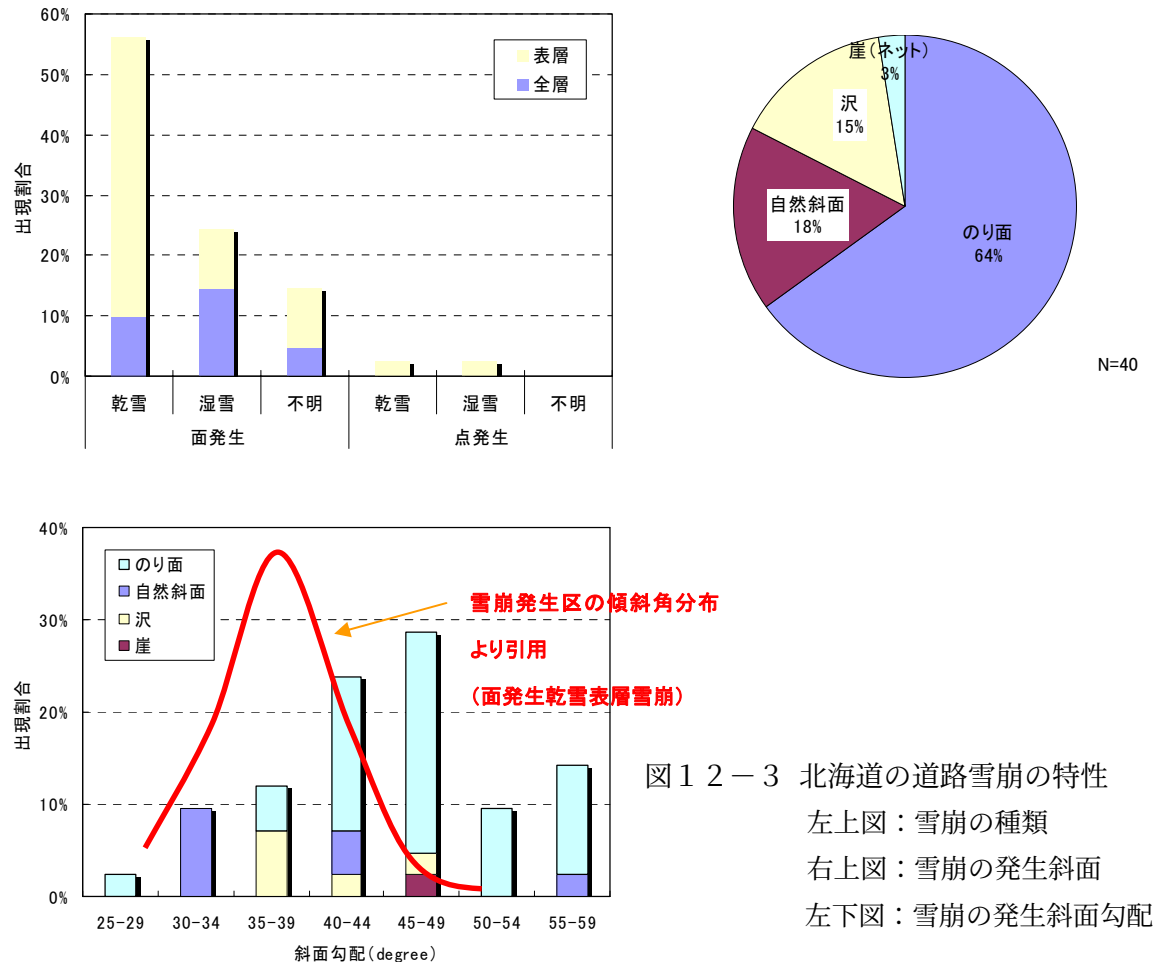


図 1 2 - 3 北海道の道路雪崩の特性
 左上図：雪崩の種類
 右上図：雪崩の発生斜面
 左下図：雪崩の発生斜面勾配

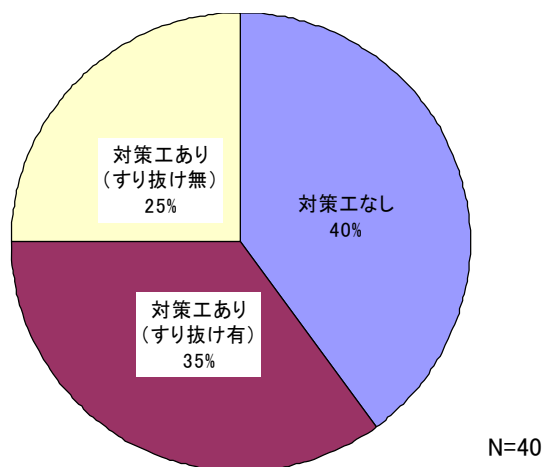


図 1 2 - 4 道路雪崩発生斜面における雪崩対策工の有無
 ※図中「すり抜け」は雪崩予防柵をすり抜けて発生したと推察される事例

12.3 雪崩対策の現状と問題

これまでは、北海道の道路では雪崩による人身事故を含むような重大な事故は発生していない。これは対策工だけでなく管理技術を含めた道路技術者の努力の成果といえる。しかし最近は、すり抜け雪崩など、北海道内の国道雪崩対応調査で初めて議論できるようになった現象もあり、雪崩対策工が十分に機能していない事例が見られる。ここではこれら国道における雪崩対策工箇所の雪崩発生事例の2, 3を紹介する。その他にも経済性や景観との調和など雪崩対策技術には見直しが必要になっている。一般に「災害は進化すると」言われる例の一つであるが、40年以上基本的には変わっていない雪崩対策技術の総体的な見直しの時期が来たともいえる。

12.3.1 雪崩対策工施工箇所における雪崩事例

道路雪崩事例によると60%は何らかの雪崩対策工が施工されている箇所で発生している（図12-4）。これらの負の事例を分析・学習し雪崩対策工を万全のものにする必要がある。対策工施工箇所での道路雪崩の多くは吊柵からすり抜けたすり抜け雪崩である。すり抜け雪崩については次節で述べることとし、ここではその他の事例について紹介する。

（1）防雪容量（スノーシェッド：覆道）

写真12-1はスノーシェッドの坑口を雪崩が塞いだ事例であるが、小規模なものはそれほど珍しくはない。スノーシェッドの長さが不十分なケースと考えられるが、何度か発生した雪崩のデブリや無積雪期に発生した流出土砂がスノーシェッドの屋根に載っていたために、坑口にはみ出す場合もある。車両等の通行時に発生すると危険が大きいため、スノーシェッドの適正な設計とスノーシェッドからはみ出す可能性があるときは、スノーシェッド上の雪処理などの維持管理も必要である。



写真12-1 スノーシェッドをはみ出した雪崩のデブリ（堆雪）

(2) 吊柵最下段から発生する全層雪崩

写真12-2は吊柵の下から発生した全層雪崩である。斜面の雪を支えていた路側の雪が除雪されて抑えを外されたために発生した雪崩である。小規模なため除雪処理で済まされることが多いようであるが、通行車両等があれば大事に至るので軽視することは出来ない。柵が積雪深よりも高く上下の雪の繋がりを切ったために、雪の支持力が失われている。雪と雪の結合力は大きく雪崩の発生を防止する支持力となっている。全層雪崩対策としての吊柵の高さに問題のある事例でもある。



写真12-2 吊柵の下で発生した雪崩から数日後、柵と横並びの位置から発生した雪崩

(3) 土塁・減勢工

沢等を流下する雪崩に対する対策として、土塁や擁壁などの減勢工がある。しかし大規模な雪崩に対しては防雪容量が足りないため写真12-3のようにオーバーフローする事例がある。



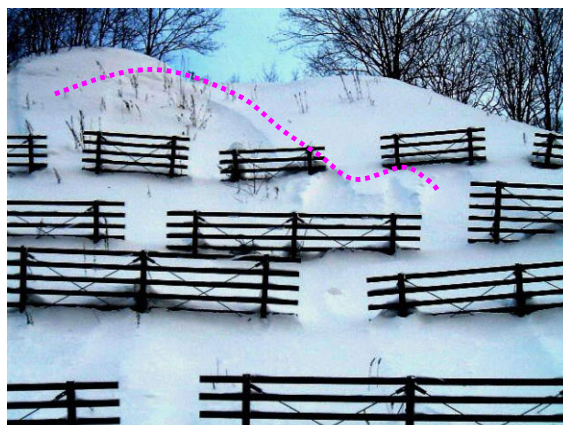
写真12-3 減勢工をオーバーフローした雪崩

12.3.2 すり抜け雪崩（現象について）

写真12-4に雪崩予防柵をすり抜けていると確認された状況を示す。破断面が斜面上部から雪崩予防柵を横切って、斜め下方に凹凸状に走っているのが確認できる（上段）。また予防柵が存在する法面で全層雪崩が発生しているケースがある（下段右）。これはあきらかに、雪崩予防柵を雪崩が通過し（すり抜け）たことを示している。ここでは、このような雪崩を「すり抜け雪崩」ということにするが、あくまでも柵の存在を前提にしたもので、高密度の樹林を抜けて流れる雪崩も同じと考えてよい。面発生乾雪表層雪崩に分類されるが短時間に大量の降雪時に発生する。



破断面が、斜面上部左端から雪崩予防柵を横切って斜め下方に走っているのが確認できる（事例 No.19）



破断面が、斜面上部から雪崩予防柵を横切って斜め下方に凹凸状に走っているのが確認できる（事例 No.17）



斜面上部に破断面が確認される。すべり面と雪崩予防柵の位置関係から、発生した雪崩は雪崩予防柵をすり抜けて流下し、雪崩末尾の積雪ブロックが予防柵に捕捉されたものと推察できる（事例 No.29）



すべり面が整形のり面上であることから、雪崩は雪崩予防柵をすり抜けて崩落したことが推察できる（事例 No.23）

写真12-4 雪崩が抵抗物をすり抜けた痕跡

図12-5に、降り始めからの降雪が11cm以上の事例における、降雪の深さと気温の関係を、すり抜け雪崩の有無で分類したものを示す。30cm以上の降雪の深さですり抜け雪崩が発生していることがわかる。低温時には極小さい数cmの厚さで流下する点発生の表層雪崩（スラフ）が発生するため、一般に急斜面には雪が積もり難い。急斜面に30cm以上の降雪が積もるのは急斜面に積もりやすい雪の結晶形や降り方がありそうである。急斜面に30cm以上の雪が積もるメカニズムを明らかにするためには、結晶形にも言及しなければならない。今後の課題となるが、温度については地上だけでなく雪をつくる雲の中の温度も知る必要がある。いずれにしても急斜面に30cm以上雪が積もることがすり抜け雪崩の主要因であるが、今後はさらに斜面勾配、植生等の要因、雪の物理的性質等によってすり抜け雪崩のメカニズムを明らかにする必要がある。

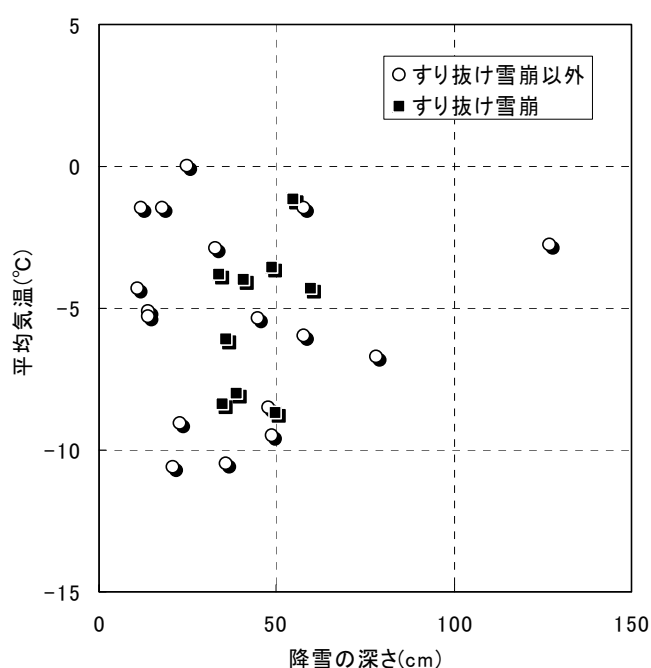


図12-5 近傍道路テレメータにおける道路雪崩時、降雪の深さと平均気温の関係
※全事例中、降り始めからの降雪の深さが11cm以上を抽出

12.3.3 雪崩対策工の課題

道路雪崩対策の対象となるのは、主としてすり抜け雪崩を含む短時間・大量降雪時の面発生乾雪表層・全層雪崩と主に融雪期の全層雪崩（宗谷地方のように笹地斜面では厳冬期にも全層雪崩が発生する）の二つである。対象とする雪崩によって対策も異なるべきであるが、これまでは一律の対策しか行われてこなかった。今後は、対象に合った対策が必要になる。ここではこれまでの雪崩対策工の課題について述べる。

（１）すり抜け雪崩対策

吊柵設置箇所ではすり抜け対策が最重要課題である。現状の吊柵におけるすり抜け対策はエキスパンドメタルや金網のようなメッシュを吊柵に張りつける方法が行われている。これは雪の流れに対する抵抗が小さいからすり抜けけるという見方から、平成10年に初めてすり抜け雪崩が報告された時に提案された流れに対する抵抗係数を大きくする方法である。現在最も多く行われているが、この方法は極小規模の雪崩や吹きだまりをも捕捉するため早期に埋まってしまう問題がある。すり抜け雪崩の発生機構が十分に解明されていない時点での緊急避難的な対策であった。すり抜け雪崩の発生機構の解明を基にした対策工の開発がこれからの課題である。

（２）全層雪崩対策

積雪層が底面で移動するグライドは、全層雪崩の原因になる。吊柵はこのグライドを防止する機能から全層雪崩対策のためのものであり、かつ、発生区の雪崩対策工である。粉体状になった雪を止める機能は無く、すり抜け雪崩は対策の対象ではなかった。グライドは斜面上の雪の低速度の滑りであり、屋根の雪止めのように低い吊柵でも十分な機能がある。全層雪崩で問題になっているものが切土のり面の最下段の吊柵である。吊柵が積雪深より高いために雪の結合による支持力が失われ雪崩を誘発することは前述した。また全層雪崩に限って言えば柵高は低い方がよいことを、実験的に確かめることが望まれる。

これからの雪崩対策は対象とする雪崩は何かを気象・積雪調査等によって明らかにし設計すべきである。そのためにも次に述べる現行のマニュアルの見直しが、今後の雪崩対策の重要な課題となろう。

12.3.4 現行マニュアルの課題整理

現在、北海道の道路において、雪崩対策施設を検討・設計する際に、最も多く用いられている指針は、「除雪・防雪ハンドブック（防雪編）：社団法人日本建設機械化協会ほか、2005」（以降、ハンドブックとする）である。このハンドブックでは、雪崩対策の検討の仕方が記載されている他、各種対策工法に関する設計（設計条件や外力の与え方）に関しても記載されている。

雪崩対策を実施する流れとして、最も一般的なもの、①検討対象斜面の抽出、②雪崩危険度算出（対策必要箇所抽出）、③雪崩対策工の選定、④雪崩対策工設計（施工）ということになる。

①～③までは、ハンドブックにその詳細が記載されており、よく用いられている。①～②を経て対策工が必要とされた斜面に対して、例えば図12-6にあるような考え方で、予防工法なのかあるいは待ち受け方の防護工法なのか選定される。さらに、予防工法であれば、発生区での対策工を、表12-2にあるような選定表で選定することになっている。

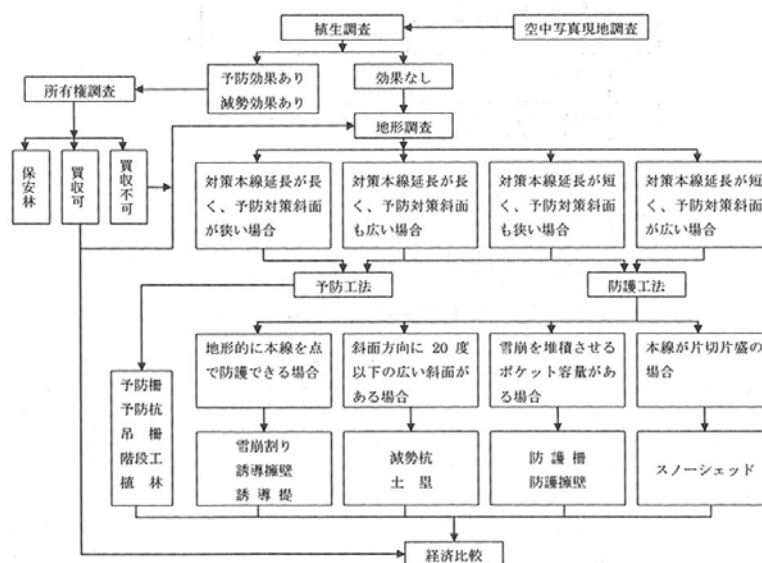


図12-6 雪崩対策工の選定手順

※ハンドブック p126 より引用

雪崩対策実施の流れのうち④雪崩対策工設計に関して、北海道における雪崩対策工のメインは、雪崩予防柵（吊柵）とスノーシェッドであり、雪崩予防柵の設計に関しては「北海道開発局道路設計要領（第2集道路付帯施設）：北海道開発技術センター、平成18年」、スノーシェッドの設計に関しては「PC道路防災構造物マニュアル：北海道土木技術会コンクリート研究委員会、2001年」や「鋼製スノーシェッド標準設計解説書：北陸建設弘済会、昭和62年」で規定されている。両者ともに、設計荷重の考え方や設計条件の与え方は、詳細に示されている。ただし、以下の課題があると考えられる。

（1）スノーシェッドの設計に際して、延長の決定方法が明確ではない

北海道では、大きな雪崩発生区を抱える沢が道路に出会う箇所には、雪崩対策としてスノーシェッドが計画されることがほとんどであるが、その沢に対して、どれほどの延長を確保すればよいのかが示されていない。安全且つ過大設計とならない最適な延長を決定するためには、対象となる雪崩規模の精度良い推定が不可欠である。例えば、発生区と確率積雪深を想定して、本線上のデブリの堆積状況を安全側に推定する方法などが取られているようであるが、現状ではその統一的な推定方法は提示されていない。

(2) 雪崩予防柵の設計指針の適用性

雪崩予防柵の場合には、当該斜面の設計積雪深、斜面特性（斜面方位と地表面粗度）によって、ほぼ一定の設計がされるようになっている（千鳥配置や連続は位置などの決め方には自由度がある）。そのため、切土のり面における小段の効果を考慮する、あるいは前述した「すり抜け雪崩」対策など、臨機応変な対応がしづらいという課題が残っている。そして、どんな場合にも、柵高が設計積雪深以上になるように決定されることになっており、前節で述べたように予防対象となる雪崩の種類への考慮を要する。つまり目的に合致した設計手法として改良の余地がある。

また、北海道独自の設計要領が存在しない防護工法のうち、ポケット（堆雪容量）で処理する防護擁壁や防護柵について、必要な堆雪容量を求めるために必要な雪崩規模の推定の仕方にも、精度良い統一的な手法が必要であると考えられる。

表1 2－2 発生区の対策工の適用表

※ハンドブック p167 より引用

要 因	対策工	雪崩予防柵							備 考
		防止林	階段	予防杭	予防柵	吊 枠	吊 柵	スノーネット	
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、吊枠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、吊枠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	○	○	○	○	○	○	○	階段工や予防柵を施工する場合、通常設置間隔は15m程度が多い。吊枠、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。地すべり地では斜面に基礎が設置できない吊枠か吊柵になる。
	吹 岩	×	○	○	○	○	○	○	
	硬 岩	×	×	○	○	○	○	○	
	地すべり	○	×	×	×	×	○	×	
摘 要		1. 造林は通常階段上に植えるので、階段工が役立つ4m以下の積雪地 2. 樹木は成育が遅いのでその間、他の予防工の併用が必要となることがある。 3. 恒久対策として最も望ましい。	1. 斜面の勾配約30～40°の斜面 2. 容易に掘削できる程度の軟岩程度 3. 全層雪崩の予防 4. 積雪深3～4m程度以下 5. 秋には階段の土砂の堆積を取り除く。	1. 斜面勾配約40°以下 2. 容易に掘削できる程度の基礎 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、千鳥設置または断続設置とする。	1. 斜面勾配約55°以下 2. 容易に掘削できる程度の基礎 3. 全層雪崩の予防 4. 積雪深5～6m程度以下 5. 基礎、アンカーに留意 5. 吊枠・吊柵は3段を越えるとワイヤーロープの径が大きくなり現場加工が困難になる。	1. 同左 2. 全層雪崩の予防 3. 積雪深5～6m程度以下 4. 基礎、アンカーに留意 5. 吊枠・吊柵は3段を越えるとワイヤーロープの径が大きくなり現場加工が困難になる。	1. 同左 2. 全層雪崩の予防 3. 積雪深5～6m程度以下 4. 基礎、アンカーに留意 5. 吊枠・吊柵は3段を越えるとワイヤーロープの径が大きくなり現場加工が困難になる。	1. 急斜面、岩盤に適している。 2. 全層、表層雪崩の予防 3. アンカーに留意 4. ある程度の落石にも対応可能	凡 例 ○ 採用できる △ やや問題あり × 不適当である

12.4 雪崩に対する道路管理基準の導入

北海道の支笏湖周辺及び、層雲峡周辺などでは、過去の雪崩発生事例と気象条件を検討し、雪崩が発生していなくても、気象条件から危険回避のため、事前に通行規制している。

こうした事前規制により、規制中に数千 m^3 の雪を伴う大きな雪崩が発生したこともあり、雪崩による被害の未然防止に貢献している。しかし、雪崩は斜面積雪の破壊現象であり、斜面の規模・性状や植生にも依存し、場所によって異なる雪の量や物性、気象条件の影響も受ける。危険度予測制度の向上には、それらを勘案できるモデルが必要で、モデルの構築には、信頼できる雪の物性・気象資料と、いつ、どこで、どのような雪崩がおきたか、を含む資料が欠かせない。

雨に関しては、規制雨量の概念が広く関係者の間に定着している。雪に関しても、事前規制を、より定量的なものにする努力を続ける必要がある。

12.4.1 雪崩に対する道路管理の現状

北海道の国道の道路管理において、雪崩に関連した通行規制は、以下のように実施されている。

- ① 特殊通行規制区間における、雪崩危険時の全面通行止め
- ② 雪崩発生時の全面通行止・片側交互通行
- ③ 雪崩発生のおそれがある場合の、事前の全面通行止め

①の特殊通行規制区間は、平成18年現在で全道に10箇所あり、当該区間では雪崩などの事象に関して、現地パトロールなどで気象や現地状況からその危険性が判断された場合に、通行止めにする区間である。②に関しては、特殊通行規制区間に限らず、雪崩が発生すれば、更なる雪崩災害の危険性が残っている場合は全面通行止め、あるいは供用に向けた除雪等の作業のために全面通行止めや片側交互通行が実施される。③に関しては、特殊通行規制区間に限らず、過去に雪崩災害が多発し、気象状況等により雪崩発生の危険性がある程度予測される場合は、事務所独自の基準により全面通行止めに行っていることがある。①と②は通常の道路管理の一環であるのでここでは割愛し、③の雪崩に対する事前通行規制について現状の整理を行う。

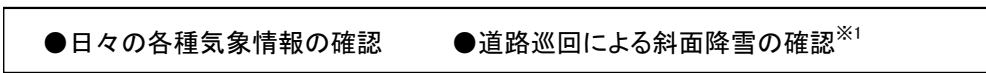
図12-7に、北海道開発局の一事務所で試行的に用いられている、降雪時の雪崩を対象とした道路管理基準を示す（融雪期の全層雪崩用基準もあるが割愛する）。この基準に示すとおり、通行止めに至る過程で、近傍テレメータにおける平地降雪深が20cmに達した場合には、パトロール等を強化するなどの監視体制に入ることになっている。さらに、50cmに達した場合には、通行止めに行っている。また、平地積雪深とは別に、パトロール時に特定法面に設置されている雪尺の値を読み取り、斜面積雪が30cm増加した場合にも通行止めとすることとしており、平地と斜面の積雪を平行して監視していくことが、特徴としてあげられる。解除に際しては、降雪状況をみながら降雪終了後、一定の時間が経過した場合に通行止め解除を可能としているが、安全を見て、担当の道路防災ドクターの見解を確認した上での解除とする。

この基準は、①降積雪の基準値を得る道路テレメータ地点の降雪と雪崩災害発生の相関が高い、②雪崩発生は斜面上の積雪状態に依存し、積雪状態は斜面（のり面）によって局地性があり、道路テレメータの観測データとは異なる場合もある、という2つの前提にたっており、どちらの場合でも、安全側で判断できることを目的にしている。

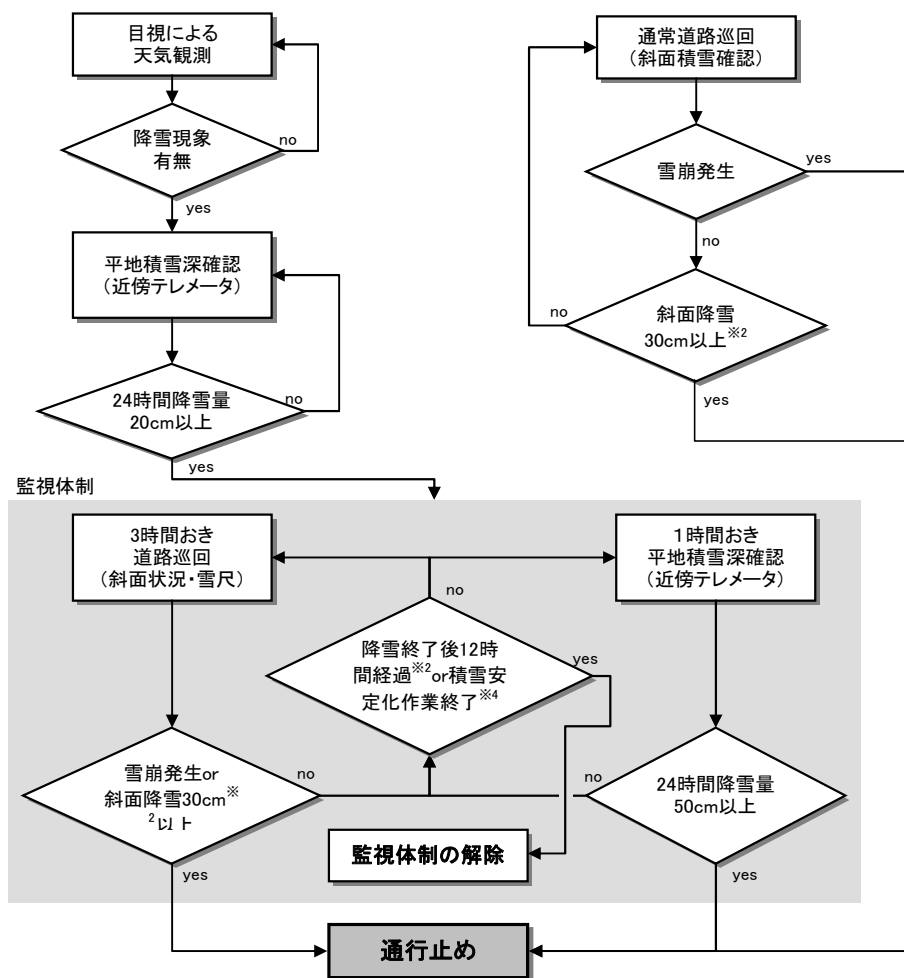
雪崩は局所的な現象であるため、将来的には、対象路線や斜面を選定し、今まで以上に、その局所的な積雪状況を把握するように努める必要がある。

また、本基準運用時には大雪が継続している状態であることが多い。そのような場合は、維持管理に携わる職員・維持業者ともに、繁忙状態にあることが多く斜面積雪を詳細に監視することは難しくなっている。積雪の量と時間変化の精度改善のため斜面積雪の監視は雪尺から人手を要しない自動計測による雪崩管理が望まれる。

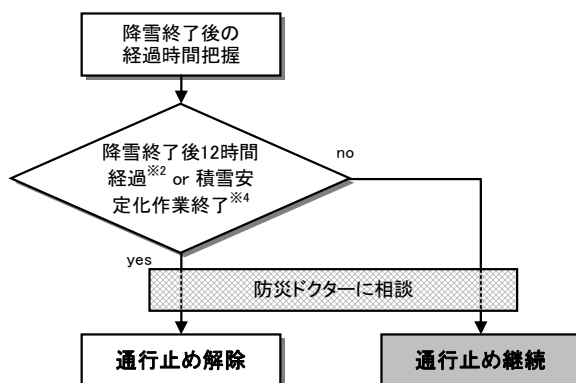
A. 降雪時の雪崩対応



①通行止めの判断基準



②通行止解除の判断基準



※¹ 斜面に設置した雪尺利用
(それぞれの斜面ごとに判断)

※² 斜面降雪は、雪尺読取値の24時間前との
差分とする。
通常巡回の場合、前日の雪尺読取値との
差分とする。

※³ 平地積雪深(近傍テレメータ)において降雪
終了後、「6時間降雪なし」が続いた場合、
リセット(降雪終了)とする。

※⁴ 積雪安定化作業とは、「雪踏み」や重機に
よる積雪除去等によって、雪崩の危険性が
ないようにすることを言う。

図12-7 管理基準(案)

12.4.2 新しい基準を用いた通行規制の可能性

前項で整理した管理基準は、降積雪の値を監視や規制の基準とするものであるが、多様な雪崩全てに対応可能なわけではない。多様な雪崩に対応でき、場所を選ばず雪崩危険度を判定するには、より物理的なプロセスを考慮して、気象状況や予測を用いた管理基準を検討することが望ましい。ここでは、雪崩に対する積雪安定度（SI）が道路管理に適用できるか検討を行う。

（1）積雪変質モデルを用いた雪崩の発生危険度（SI）の算出

雪崩の発生危険度を表す指標のひとつに、積雪層のせん断強度とそこに作用するせん断応力の比である積雪安定度 SI（STABILITY INDEX）がある。SI は、せん断強度を σ 、上載積雪荷重を W 、斜面傾斜を θ とおくと、次式で与えられる。つまり上載荷重によるせん断応力とせん断強度の比であり、理論的には、1 以下であれば積雪が破壊され雪崩が発生することになる。

$$SI = \frac{\sigma}{W \sin \theta} \quad (1)$$

アメリカやヨーロッパでの雪崩の統計結果から、一般に SI が 4 以下になると、表層雪崩の危険性が大きいとされる。またカナダのロジャース峠では $SI < 1.5$ を道路管理の基準として用いている。

SI を求めるためには、気象データ等から積雪に関する値を求める必要がある。ここでは、1 次元の積雪変質モデルである『SNOWPACK』を用いた。このモデルはスイスアルプスでの雪崩予報を目的に、スイス国立雪・雪崩研究所において開発されたものである。

一方、式（1）の積雪せん断強度 σ は、密度と雪質の関数として表せることが知られている。積雪変質モデルにより雪質と密度分布が計算されると、実験式を用いることで、積雪内各層でのせん断強度が求められる。この結果を上載荷重と対象地点の斜度から得られる「せん断応力」と比較することにより、式（1）から SI つまり雪崩発生危険度の推定が可能となる。

上記のプロセスに従って、24 時間の降水量が 20mm から 60mm、気温は -20°C から 0°C の場合について、斜面の角度をパラメータとして雪崩の発生危険度をあらわす図表を作成した。図 12-8 は降雪時の気温が -5°C の結果で、横軸を 24 時間の降水量、縦軸を斜面の傾斜角にとった SI を示す。図中には、前に整理した北海道の道路雪崩について、道路気象テレメータの情報等を用いて SI との対応を示した。降雪深もしくは積雪深が記録されている際は、密度が 100kgm^{-3} であると仮定して降水量に換算した。図 12-8 によれば、雪崩の発生は SI が 2.5 以下の条件ではじまり、2.0 以下となると著しく増加するようすが確認できる。

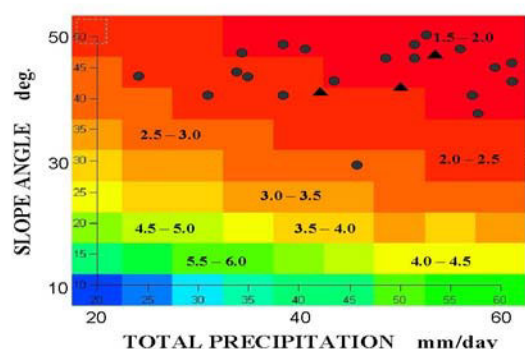


図 12-8 SI と道路雪崩発生事例

雪崩発生は降雪時の気温が -5°C 程度の場合が多かったため、計算は気温 -5°C を、○。△は 0°C 付近で降雪と雪崩の発生があったケース。

一方、図12-9には、 -5°C の下で降雪が24時間継続した後、気温が 0°C に上昇して24時間経過した時点のSIを示した。SIはすべて4以上を示し、積雪の安定化が急速に進み雪崩発生の危険が解消されたことがわかる。

積雪安定化の進行は、SIの時間変化を示した図12-10からも明瞭である。計算は、4時間の降水量が20mm、斜面の傾斜が35度、気温は降雪前後とも 0°C で経過したという条件の下で行われた。降雪の開始から約14時間後に表面から20cm 弱の深さに現われた不安定な領域は、降雪が終了した約8時間後には解消している。

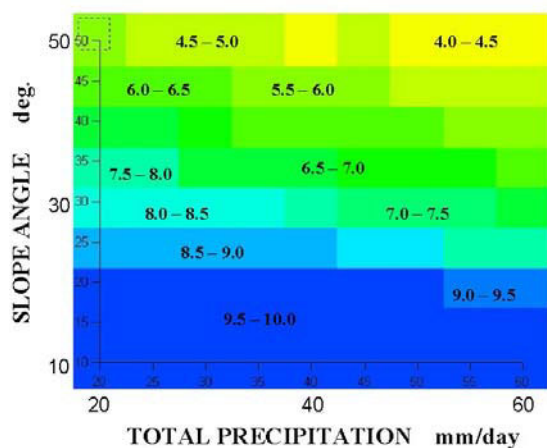


図12-9 SI分布図

降雪が1日継続(-5°C)した後、気温が上昇(0°C)して24時間経過した時点のSI

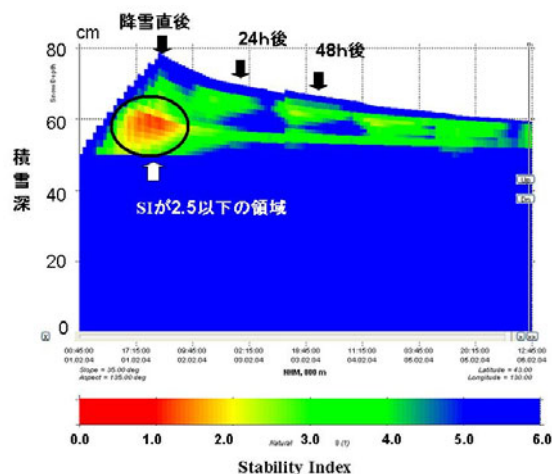


図12-10 SIの時間変化

24時間の降水量が20mm、斜面の傾斜が35度、気温は降雪前後とも 0°C で経過した場合

次に、積雪変質モデルやSIの計算結果の妥当性を評価する目的で、算出された積雪安定度SIと実際の雪崩発生事例との対応状況について事例解析を行う。2002年11月26日から2003年1月31日までの釧北峠において、斜面の傾斜角が38度の場合の積雪安定度SIの時系列を図12-11に示した。

さらに図中のSIの経時変化のうち雪崩が発生した1月4日前後を拡大して図12-12に示す。積雪中のSIの最小値は、1月4日11時に1.5以下となり、その領域は14時に30cm以上に達した(図12-12参照)。その後、積雪はしだいに安定化に向かうが、気温が -10°C と低温で経過したこともあって、全層でSIの値が1.5以上となったのは8日早朝の2時であった。現地での正確な雪崩発生時刻は確認されていないが、図12-12に示すように、11時以降にSIが1.5以下となり雪崩発生危険度が著しく高まったという計算結果はほぼ妥当であると考えられる。しかしその後の積雪安定化の傾向については現地で確認されたものはない。

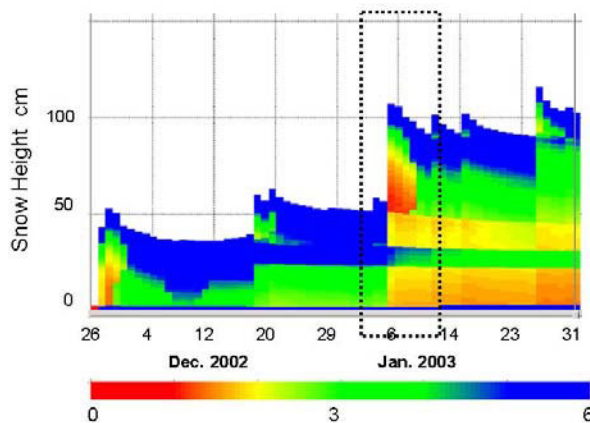


図 1 2 - 1 1 積雪安定度 SI の変化 (1)

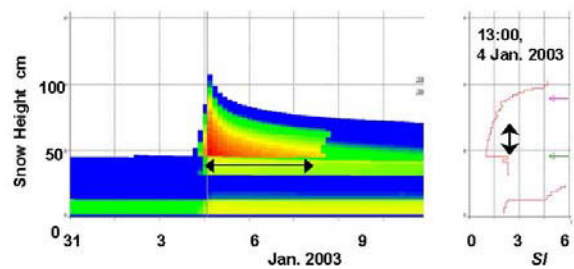


図 1 2 - 1 2 積雪安定度 SI の変化 (2)

釧北峠で雪崩が発生した1月4日前後(左図の点線部分)を拡大表示したもの。右図は1月4日13時におけるSIの鉛直分布で、矢印の範囲で1.5以下となった。

(2) 積雪変質モデルによる計算結果と現地観測の比較

図 1 2 - 1 2 で示されたような経時変化がどの程度実際の現象に対応しているかについては、綿密な観測結果との対比が不可欠となる。そこで、大量の降雪が予想された期間に、対象地点の気象データ、密度、温度、積雪層の厚さ等の変化を、雪の降り始めから数日程度にわたって連続的に測定し、モデルとの比較検討を行った。観測は2006年12月24日から25日(札幌市中央区中島公園)で行われたが、降雪が続いていた24日10時20分から翌日の23時にかけて実施した5回の積雪断面観測結果と、ここから直線距離で約2.5km離れた札幌管区気象台の気象データをSNOWPACKに入力して求めた積雪構造を図 1 2 - 1 3 に示す。地点の相違を反映して最大5cm程度の積雪深の相違はあるが、観測とモデル出力に見る積雪構造とその時間変化は概ね良く一致している。

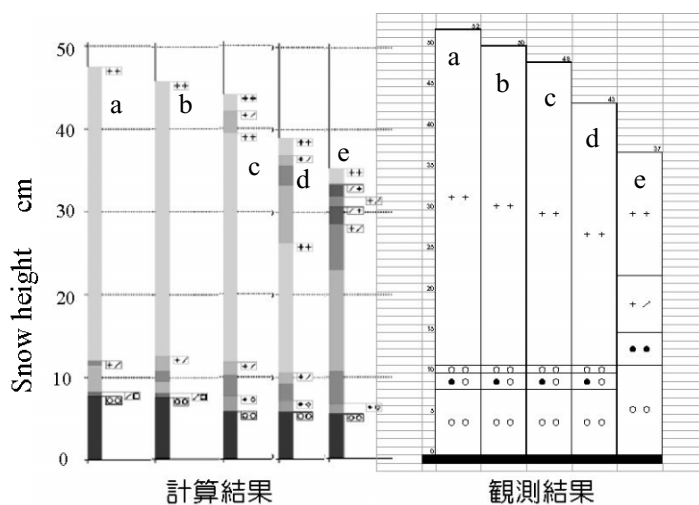


図 1 2 - 1 3 積雪断面観測と SNOWPACK を用いた積雪構造の計算結果の比較

a 23日10:20、b 23日14:45、c 23日18:50、d 24日6:20、e 24日23:00

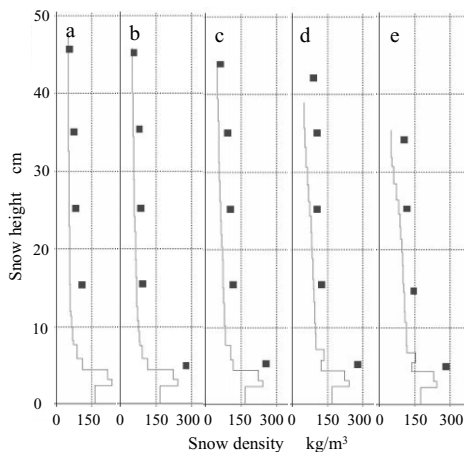


図 12-14 積雪断面観測と SNOWPACK で求められた積雪密度の比較
 ■：結果、実線：計算結果、
 図中の a～e は図 12-13 と同じ

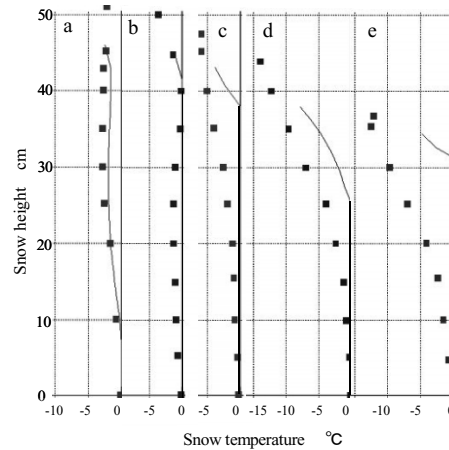


図 12-15 積雪断面観測と SNOWPACK で求められた積雪温度の比較
 ■：観測結果、実線：計算結果、図中の a～e は図 12-13 と同じ

同様の比較を積雪密度と積雪温度について行った結果を図 12-14 と図 12-15 に示す。計算で求められた密度は、積雪下層でやや小さめになる傾向が見られる。この相違は降雪時を含めた積雪当初から全体的に認められ、積雪の初期の圧密過程の計算について詳細な検討を要する点が指摘される。ただし密度が 200kg/m^3 以下の場合は、密度の差が積雪のせん断強度、ひいては積雪安定度に与える影響は小さい。

一方、積雪の温度は 2 3 日 14 時 45 分までは観測値と計算結果が良く一致しているが、その後は計算値の方が 0°C の層厚が大きい。図中の e ではその傾向は更に顕著となる。積雪の温度上昇は変質速度を高め、早期の安定化に寄与するため、積雪安定度を過大評価、つまり雪崩発生危険度を過小評価する危険性があるため、現状の精度では道路管理に活用することは難しい。

(3) 通行規制における積雪安定度 (SI) の適用の可能性

積雪安定度 SI を用いた雪崩発生危険度評価とその実用化の可能性について、「雪崩発生危険度評価図」の作成、過去の雪崩発生例との比較検討、さらには詳細に実施された野外観測結果と計算結果の比較を通して議論した。過去の雪崩発生事例は、SI が 2.5 以下の条件に対応し、2.0 以下となると発生数が著しく増加することがわかった (図 12-8, 10, 12 参照)。また経時変化も含めた計算結果が綿密に実施された観測結果と比較的高い精度で一致した場合もある。上記の結果は、SI を用いた雪崩発生危険度評価の妥当性を支持するものであるが、観測と計算の比較例は 1 例のみにとどまっており、より多くの詳細な気象と積雪観測データの取得と、それに基づいたモデルの精度向上が不可欠である。

また積雪安定度 SI の値と雪崩発生危険度の対応についてもより詳細な検討が必要となる。欧米では、一般に SI が 4 以下になると表層雪崩発生の危険性が大きいとされるのに対し、カナダのロジャース峠では $\text{SI} < 1.5$ が道路管理の基準として用いられている。今回の釧北峠での事例解析では $\text{SI} < 1.5$ が雪崩発生の臨界値となることが示唆されたが、図 12-10 からは $1.5 < \text{SI} < 2.0$ の領域で多数の雪崩が発生していることも確認された。SI による雪崩危険度評価を道路管理で実用化するにあたっては、こうした点の厳密な評価のほか、積雪が安定化に向かい雪崩発生危険度が減少する傾向の SI の精度検証、さらには通行止めを含めた道路管理に対する SI の取り込み方を検討することが、今後の大きな課題となる。

12.4.3 斜面積雪深の監視の必要性

これまで、道路気象テレメータによる雪氷・気象資料が雪崩危険度を判定する資料として使われてきた。道路気象テレメータは、ある程度その地域を代表する気象要素を観測するため、平地に設置されている。一方、雪崩が発生する斜面では、傾きが大きいほど積雪層にかかる、斜面に直角な分圧が減り圧密されにくく、平地積雪より強度が弱いことが多い。

このため、幾つかの場所では、雪尺が設置され道路パトロールなどで、平地とは条件が違う斜面上の積雪状況を知るための目視観測が行われている。斜面上では、風の影響も平地より複雑に斜面積雪に影響する。

今後、従来行われている降積雪の監視による道路管理の信頼度を上げるため、あるいはSIによる道路管理を可能にするために、雪崩の危険性が高い斜面に特化した、斜面積雪の正確な把握が必要になると思われる。

近年、小型で、従来より安価な積雪深計が開発されている。風による再輸送で吹きだまりが出来やすい場所などでは、そうした計器を使うことで、より詳細に積雪深の変化を把握でき、雪崩危険度判定精度を改善する事が期待できる。

12.5 今後の課題

過去の、道路に関連する雪崩記録と気象条件から、雪崩発生前に雪崩の影響を避ける道路管理が、まだ限られた場所ではあるものの、できつつある。今後、道路気象観測と雪崩危険度判定指標の信頼度を向上させ、より適切な判断ができるようにすることが、今後の課題の一つである。

道路管理者の協力により、地道な雪崩記録の充実に加え、雪崩発生前後の現場を、雪を専門とする研究者や技術者が観察できるようになり、初めて雪が構造物をすり抜ける現象と雪崩の関係も現象の解明が進められている。一連の検討結果を発展させ、雪崩対策施設を改良する際のマニュアルにつながるガイドライン作成が今後のもう一つの課題である。こうした取り組みは、雪崩現象への理解を深める点でも貢献できるはずである。

レーザープロファイラーなどの新たな技術の完成度にも、眼を配りつつ雪崩対策を充実させたい。