

斜面積雪の安定性指標に基づく雪崩警備方法

栗原 靖* 飯倉 茂弘* 鎌田 慈*
 宍戸 真也* 高橋 大介* 河島 克久**

A Method for Precaution against Avalanches Based on Stability Indices of the Slope Snow Cover

Yasushi KURIHARA Shigehiro IIKURA Yasushi KAMATA
 Masaya SHISHIDO Daisuke TAKAHASHI Katsuhisa KAWASHIMA

In order to ensure the safety of train operation in snowy areas, it is essential to establish a method for precaution against avalanches based on stability indices. In this study, we examined the judgment methods for monitoring slopes and patrol period for avalanche hazards. In the following two steps: First, we extracted monitoring slopes, based on the elevation angle, slope angle and vegetation. Secondly, we determined patrol period, based on stability of snow estimated by air temperature and precipitation. The proposed methods are possible to evaluate monitoring slopes and patrol period, irrespective of areas.

キーワード：雪崩，多雪地域，斜面積雪の安定性，融雪，警備方法

1. はじめに

我が国の鉄道は、積雪地域に位置する線区が多数存在するため、雪害の克服が大きな課題となっており、雪崩災害もその一つに挙げられる。雪崩被害を防止・軽減するための対策として、雪崩の発生する危険性が高い斜面（以後、「雪崩警備斜面」）に対して雪崩予防柵や雪崩減勢工を設置する等のハード対策の他、沿線巡回や運転規制等のソフト対策が行われている。ソフト対策は一般的に、定量的な基準に基づいて実施されることが多く、例えば雨や風に対する対策では、雨量、河川水位、風速等の値に基づき実施されている。しかしながら、雪崩の発生は、降積雪量や気温などの気象状況の他、周辺地形等の影響を受けるため、雪崩警備斜面の選定および警備や規制の発令・解除に関しては、雪崩履歴や雪崩発生時の気象履歴等、過去の経験から地域毎に基準を設けて実施している場合が多い。こうした方法は、各地域の特情を反映しており、有用である反面、地域によって雪崩対策や安全に対する考え方に違いが生じる可能性がある。さらに、近年では、現場において雪崩警備に従事してきた経験豊富な技術者の退職が進み、技術継承が大きな課題となっている。

そこで本研究では、本州の多雪地域を対象として、個人の観察能力に依存しない客観的指標に基づいた警備斜面および警備期間（ここでは、警備の準備および体制を整えておく期間）の判定方法について検討を行った。な

お、得られた成果を鉄道の雪崩警備へ適用するためには、地域に関わりなく同一方法で警備斜面および警備期間を判定できること、また判定に用いるデータは容易に入手できることが重要である。このことを踏まえ、本研究では、既往の研究事例や過去の雪崩発生時の斜面積雪の特徴等を調べ、警備斜面および警備期間の判定に有用と考えられる方法または指標を選定するとともに、それらを用いる際の判定基準（しきい値）を見積もった。また、上記の結果に基づいて警備斜面ならびに警備期間の判定フローを作成し、ある対象線区（本州の多雪地域の山間線区）においてその適用性を調べた。

2. 雪崩警備斜面の判定方法

2.1 使用した斜面データ

警備斜面の判定方法を検討するため、積雪期の空中写真から雪崩発生斜面とその近傍の雪崩非発生斜面を抽出し、それぞれの斜面の特徴を整理した。その際、降積雪量や気象状況の地域による違いが斜面の特徴として表れないように、比較的寒冷な東北地域（青森，秋田，岩手県）と比較的温暖な中越地域（新潟県）を選んだ。東北地域の空中写真から雪崩発生斜面185箇所と非発生斜面145箇所（以後、「東北斜面データ」）、中越地域の空中写真から雪崩発生斜面123箇所と非発生斜面123箇所（以後、「中越斜面データ」）をそれぞれ抽出した。抽出された個々の斜面については空中写真判読および地形図判読を行い、植生の特徴（樹幹密度，樹種等）や地形の特徴（斜面傾斜，斜面形状，斜面方位等）を整理した。

* 防災技術研究部 気象防災研究室

** 新潟大学

特集：防災技術

2.2 判定方法の検討

斜面データから得られる雪崩発生・非発生斜面の特徴、および既往の研究事例から雪崩警備斜面を決定するにあたり有用と考えられる方法を検討した。この結果、①見通し角度を用いて発生した雪崩が評価対象地点（ここでは、鉄道構造物）まで到達するか否かを評価する方法と②スコア表を用いて雪崩の発生危険度を評価する方法を選定した。

2.2.1 見通し角度による判定

見通し角度とは、評価対象地点から近傍斜面の上端を見たときの仰角のことを指し、評価対象地点が雪崩の到達範囲内か否かを判断する評価方法¹⁾の一つである。図1に示す通り、見通し角度は現地調査（目視）もしくは地形図判読（水平距離と標高差から算出）によって得ることが可能である。本研究では、東北および中越斜面データから得られた雪崩発生斜面（308斜面）の雪崩痕跡の流路末端から発生区までの最小見通し角度を調べた。その結果、表層雪崩では25.0°、全層雪崩では20.3°という値が得られた。警備斜面の選定に際しては、表層雪崩と全層雪崩の区別を行わないため、評価対象地点からの見通し角度が20°以上の斜面については、雪崩が評価対象地点まで到達する可能性が高いと判断した。

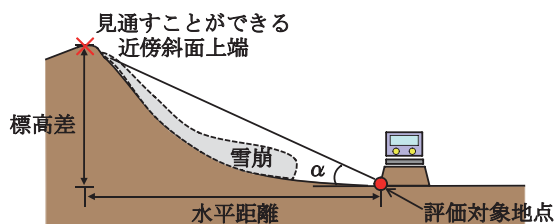


図1 見通し角度αの求め方

2.2.2 雪崩の発生危険度による判定

雪崩が評価対象地点まで到達する可能性のある斜面については、雪崩が発生する危険度をどの程度有しているのかを評価し、警備の要否や優先度を定める必要がある。そこで、本研究では、東北および中越斜面データ（576斜面）から雪崩発生・非発生斜面それぞれの斜面の特徴を調べ、採点方式による評価方法（数量化Ⅱ類分析²⁾・³⁾を用いて各斜面の雪崩危険度を表すこととした。ここでは、斜面の特徴を表す要素（説明変数）として空中写真や地形図から判読できる斜面傾斜、斜面方位、斜面形状（凸形斜面、直線斜面、凹形斜面等）、植生（樹種、樹幹密度、樹高）を選択した。これらの要素について、雪崩の発生・非発生を外的基準（目的変数）として、数量化Ⅱ類分析を行い、スコア表を作成するとともに、各要素の雪崩発生への影響度（レンジ）を調べた。その結果、作成したスコア表の相関比（=級間平方和/全平方和）は0.74、雪崩の発生・非発生の的中率（=全的中数/全サンプル数）は93%となった。また、各要素の影響度の

表1 要素・階級別スコア表

要素	階級	得点	
傾斜	1	$0^\circ < \theta \leq 20^\circ$	-1.6264
	2	$20^\circ < \theta \leq 35^\circ$	-0.3619
	3	$35^\circ < \theta \leq 45^\circ$	0.2826
	4	$45^\circ < \theta$	0.3898
植生	1	裸地・草地	0.7852
	2	樹冠密度 $\leq 30\%$	0.2140
	3	$30\% < \text{樹冠密度} \leq 60\%$	-0.9731
	4	$60\% < \text{樹冠密度}$	-1.1595

値に着目すると、影響度の大きい方から順に、斜面傾斜（影響度1.9802）、植生（影響度1.7120）、斜面形状（影響度0.7108）、斜面方位（影響度0.3555）となり、斜面傾斜や植生の値に比べて、斜面形状と斜面方位の値が小さいことがわかった。そこで、影響度の高かった斜面傾斜と植生の2要素のみを用いて再度、数量化Ⅱ類分析を行った。この結果から得られた要素別・階級別のスコア表を表1に示す。表中に示す各階級の得点は、雪崩の発生・非発生に与える影響を相対的に示しており、得点が0点より大きいならば発生に寄与、得点が0点未満ならば非発生に寄与することを意味する。すなわち、2つの要素の合計得点（評価得点）が0点以上の斜面については雪崩の発生する可能性があるとして判定できる。また、評価得点が高いほど雪崩の発生危険度が高いことを意味する。2要素で作成したスコア表の相関比は0.70、雪崩の発生・非発生の的中率は92%であり、4要素のスコア表を用いた場合の結果と大きく変わらなかった。実際の鉄道沿線斜面にスコア表を適用させて判定を行う場合、入力要素は入手が容易であること、また推定精度が著しく変わらないのであれば、入力要素は少ない方が望ましい。そこで、表1に示す2要素から作成したスコア表を用いて斜面の雪崩の発生危険度（評価得点）を求めることとした。なお、解析に用いた雪崩斜面の積雪深は概ね1~4mの範囲にあることから、本スコア表は斜面の積雪深が上記範囲にあるときの雪崩の発生危険度を示している。

2.3 警備斜面の判定フロー

警備斜面は、各方法の判定結果に基づき作成した斜面の判定フロー（図2）を用いて決定することとした。ま

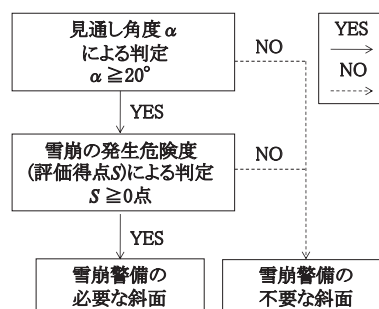


図2 雪崩警備斜面の判定フロー

た、本フローによって雪崩警備が必要だと判定された斜面については、さらに警備期間の判定も行う。

3. 雪崩警備期間の判定方法

3.1 使用した雪崩事例

警備期間を判定するにあたり有用と考えられる判定指標(基準)を検討するため、1990年以降に発行された「雪氷」(雪氷学会誌)、「日本雪氷学会全国大会講演予稿集」,「寒地技術論文・報告集」,および「防災科学技術研究所雪氷防災研究センターHP」に掲載された事例の中から、発生日時、発生場所が明らかな表層雪崩38事例、全層雪崩22事例の合計60事例を抽出し、これらの事例について雪崩発生時の気象状況や斜面積雪の特徴等を調べた。ここでは、本州の多雪地域を対象としていることから、北海道で発生した事例を除いた他、人間(スキーヤー等)が誘発した雪崩事例も除いた。

3.2 判定指標の検討

過去の雪崩事例解析から得られた雪崩発生時の斜面積雪の特徴および既往の研究事例から、雪崩警備期間を設定するにあたり有用と考えられる指標を検討した。この結果、①斜面の積雪深、②積雪安定度指標 SI (表層雪崩の発生に影響する積雪内部の安定性指標)、③融雪量と降雨量(全層雪崩の発生に影響する積雪と地表面との安定性指標)の3つの指標を選定した。各指標の推定方法および雪崩発生時の特徴を以下に述べる。

3.3 各指標の推定方法

警備期間を判定する際に用いる各指標は実測することが望ましいが、現地での測定は危険を伴う。そのため、本研究では、実測によって得られた推定式および既往研究を参考にして、入手が比較的容易な気温と降水量から3.2節に示す①~③の指標を推定する方法を検討した。

3.3.1 積雪深の推定

積雪深は、降水量と気温の2つの気象要素から降雪量(ここでは、気温2℃未満で観測された降水量と定義する)を求め、これに上載荷重による圧密量、および融雪量を考慮することで求めた(図3)。具体的には、式(1)に示す通り、積雪各層の質量(降雪量と融雪量が関与)と密度(圧密量が関与)から各層の厚さが求まるため、全積雪層の厚さの合計値から積雪深を求めた。なお、ここでは、初雪が観測された日の午前0時を t_0 とし、その後、 Δt (24時間)ごとの時刻を $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_{n-1}, t_n$ と定義する。また、時刻 t_{i-1} から t_i までに積もった雪の層を i 層と定義した。

$$H(t_n) = \sum_{i=0}^n h_i(t_n) = \sum_{i=0}^n w_i(t_n) / \rho_i(t_n) \quad (1)$$

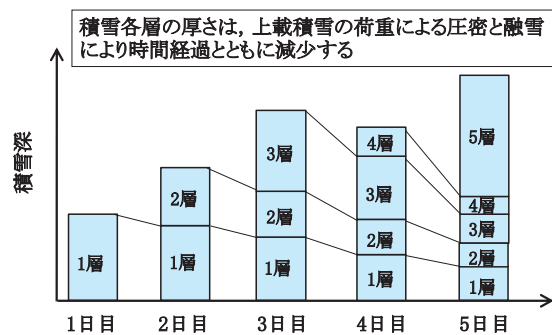


図3 積雪深の推定方法の概念図

ここで、 $H(t_n)$ は時刻 t_n における積雪深、 $h_i(t_n)$ は時刻 t_n における積雪層 i の層厚、 $w_i(t_n)$ は時刻 t_n における積雪層 i の質量、 $\rho_i(t_n)$ は時刻 t_n における積雪層 i の密度である。

密度 $\rho_i(t_n)$ については、既往の研究成果⁴⁾を参考にし、粘性圧縮理論(粘性係数と密度の関係)を用いて推定することとした。ただし、上記文献によると、積雪層の取り得る密度領域は $50 \sim 550 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ と幅広く、粘性係数を一つの密度関数で表せられないことが明らかになっている。そこで、密度 $\rho_i(t_{n-1})$ が $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 以下の場合には式(2)を、 $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ を上回る場合には式(3)を用いて推定することとした。なお、積雪表層の密度 $\rho_n(t_n)$ は、降雪時の気温から推定した⁵⁾。

$\rho_i(t_{n-1}) \leq 200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ の場合

$$\rho_i(t_n) = [\{\rho_i(t_{n-1})\}^a + a \cdot Q_i(t_{n-1}, t_n) / C_1]^{1/a} \quad (2)$$

$\rho_i(t_{n-1}) > 200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ の場合

$$\rho_i(t_n) = \rho_i(t_{n-1}) [1 + 1/C_2 \cdot Q_i(t_{n-1}, t_n) \cdot \exp\{-k\rho_i(t_{n-1})\}] \quad (3)$$

式(2)、式(3)の a, k, C_1, C_2 は観測等から得られた係数、 $Q_i(t_{n-1}, t_n)$ は時刻 t_{n-1} から t_n までに積雪層 i に作用した積算荷重であり、式(4)で与えることができる。

$$Q_i(t_{n-1}, t_n) = 9.81 \left[\sum_{i=1}^n w_i(t_n) - \frac{1}{2} \{w_i(t_n) + p(t_n)\} \right] \Delta t \quad (4)$$

$w_i(t_n)$ については、日降水量 $p(t_n)$ とディグリー・デー法⁶⁾から推定した日融雪量 $m(t_n)$ から求めることができ、日融雪量 $m(t_n)$ は、式(5)から推定した。

$$m(t_n) = \frac{f}{2} (T_{db} + T_{dt}) \quad (5)$$

ここで、 T_{db} は日融雪量を評価する前日の日平均気温、 T_{dt} は日融雪量を評価する当日の日平均気温、 f は観測から得られた係数である。以上のように、積雪深は、式(1)~(5)を用いることで、気温と降水量から推定可能である。

3.3.2 表層雪崩に対する積雪安定度指標 SI の推定

表層雪崩は、積雪内部で破壊が生じ、積雪の表層部が滑り落ちる現象である(図4)。積雪各層における雪崩の発生危険度を表わす指標として積雪安定度指標 SI があ

特集：防災技術

る。これは、式(6)に示す通り、斜面積雪の各層のせん断強度 SFI (支持力) とせん断応力 τ (駆動力) との釣り合いを示す値であり、値が小さいほど破壊が起こりやすい状況にある。

$$\text{積雪安定度指標 } SI = \frac{\text{せん断強度 } SFI}{\text{せん断応力 } \tau} \quad (6)$$

積雪各層のせん断応力 τ は、ある積雪層 (ここでは、 j 層とする) 上の雪が斜面下方へ滑り出そうとする力であり、式(7)によって算出することができる。

$$\tau = \sum_{i=j}^n w_i(t_n) \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (7)$$

式(7)の θ は斜面傾斜である。一方、支持力であるせん断強度 SFI は、表層雪崩が起りやすい気象条件下 (気温が低く、激しい降雪時) で積った積雪については、積雪密度とせん断強度 SFI の間に比較的高い相関関係があり、対象となる層の密度から式(8)を使って求めることができる^{7), 8)}。

$$SFI = B \cdot \rho_i(t_n)^m \quad (8)$$

ここで、 m, B は観測から得られた係数であり、密度 $\rho_i(t_n)$ については、3.3.1項と同様、粘性圧縮理論を用いて推定した。以上のように、積雪安定度指標 SI は、式(7)と式(8)を組み合わせることで、気温と降水量、および斜面の傾斜から推定可能である。なお、積雪安定度指標 SI については、積雪各層について算出することとした。

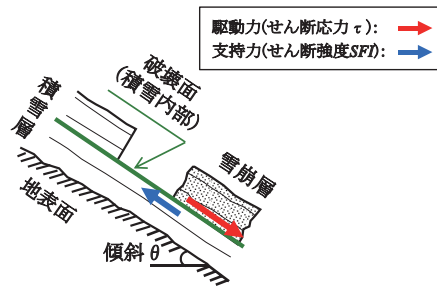


図4 表層雪崩の発生形態

3.3.3 全層雪崩に対する融雪量、降雨量の推定

全層雪崩は、地表面上に積もった積雪全層が滑り落ちる現象であり、地表面でのゆっくりとした積雪の滑动 (グライド) の結果として発生する (図5)。融雪の進行や降雨により積雪底面の含水率が増加すると、積雪底面に水膜が形成されるため、グライドが促進され、全層雪崩が起こりやすくなると考えられている⁹⁾。

日融雪量 $m(t_n)$ については、ディグリー・デー法を用いて式(5)から推定した。降雨量については、雪崩発生前の気象状況を調べ、気温と降水量から判定した。本研究では、気温 2°C 以上で観測された降水を降雨と見なした。以上のように、融雪量、降雨量についても気温と降

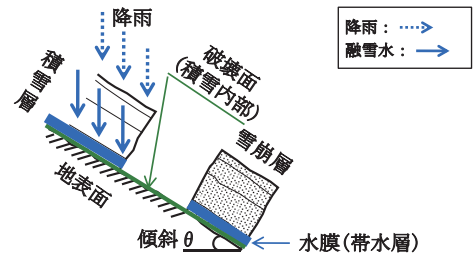


図5 全層雪崩の発生形態

水量から推定可能である。

3.4 雪崩発生時の各指標の特徴

3.4.1 雪崩発生時の積雪深の特徴

雪崩発生時の積雪深の特徴を調べるため、文献を調べた結果、約半数の事例については雪崩発生時の積雪深の値が記載されていなかった。そこで、雪崩発生時の積雪深が記載されていない事例については、先述した推定方法 (3.3.1項) から積雪深を求めた。雪崩発生時の積雪深を整理した結果 (図6)、表層雪崩および全層雪崩の発生時の最小積雪深は、それぞれ 0.82m 、 0.69m であり、本研究では、積雪深が 0.7m 以上になると、雪崩の発生する可能性が高まると判断した。

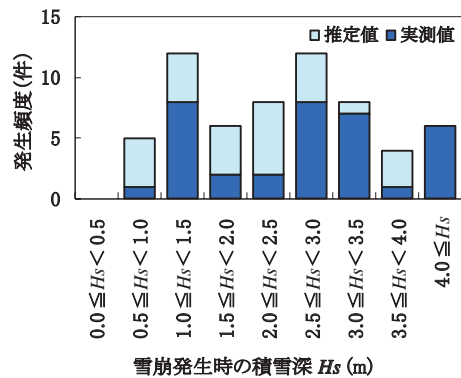


図6 雪崩発生時における積雪深 H_s の階級別発生頻度

3.4.2 表層雪崩発生時の積雪安定度指標 SI の特徴

表層雪崩発生時の積雪安定度 SI に着目したところ、文献に積雪安定度 SI が記載された事例は無かったため、全ての事例について、先述した推定方法 (3.3.2項) から求めた。図7に表層雪崩 (38事例) 発生時の積雪安定度指標 SI を示す。図中の値は、雪崩発生日に得られた積雪安定度指標 SI の最小値である。推定結果に着目すると、全体の90%以上の事例 (35事例) は、積雪安定度指標 SI が 2.5 未満のときに発生していることがわかった。

なお、積雪安定度指標 SI が 1.0 を超える場合は、せん断応力に比べてせん断強度の方が大きいことを意味するが、雪崩発生時の積雪安定度指標 SI に着目すると、ほとんどの事例は、積雪安定度指標 SI が 1.0 より大きいとき

に発生している。この理由として、①計算に反映されない地形の凹凸や植生の影響、②式中の値を推定するときの誤差、③吹き溜りや雪庇の影響、等が挙げられる。実際に、積雪安定度指標 SI が 2.5 以上のときに発生した 3 事例のうち、1 事例は文献情報から雪庇の崩落が発生の主要因であることがわかった。その他の 2 事例についても文献情報から吹き溜り等の局所的な降積雪状況が影響していることがわかったが、これらの要素は計算に反映されておらず、降雪量を過小評価したために雪崩発生時の積雪安定度指標 SI が大きくなったと考えられる。以上の結果から、本研究では、積雪安定度指標 SI が 2.5 未満になると、表層雪崩の発生する可能性が高まると判断した。

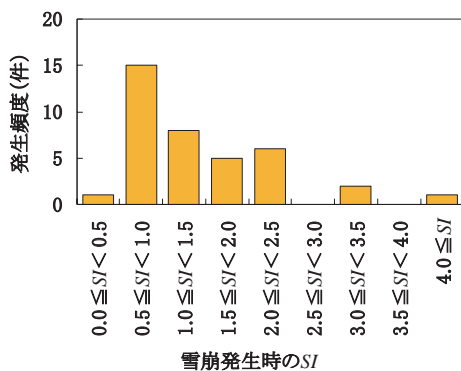


図7 雪崩発生時における積雪安定度 SI の階級別発生頻度

3.4.3 全層雪崩発生時の融雪量、降雨量の特徴

全層雪崩発生時の気象状況を調べた結果、ほとんどの事例で雪崩の発生当日もしくは直前の数日間に気温が上昇している他、一部の事例では降雨が観測されていた。ここでは、雪崩発生前3日間の積算融雪量に着目したところ、全事例の85%以上(19事例)は、3日間の積算融雪量が5mm以上のときに発生していることがわかった(図8)。これらの結果から、3日間の積算融雪量が5mm以上のとき、また降雨も融雪水と同様に地表面へ供給する水量を増加させ、積雪が滑りやすくなることが想定されるため、降雨が観測されたときには全層雪崩の発生す

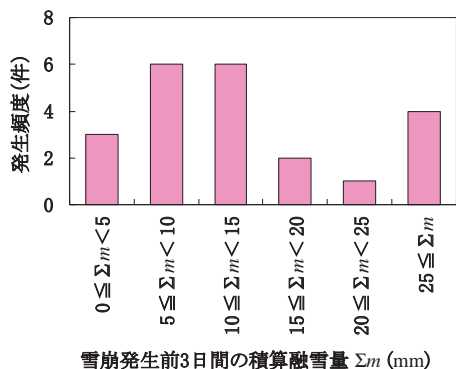


図8 雪崩発生前3日間の積算融雪量 Σm の階級別発生頻度

る可能性が高まると判断した。

3.5 雪崩警備期間の判定フロー

警備開始日は、各指標の判定結果に基づき作成した警備期間の判定フロー(図9, 図10)を用いて決定することとした。警備解除日については、積雪深の値がしきい値(0.7m)を下回った日とした。

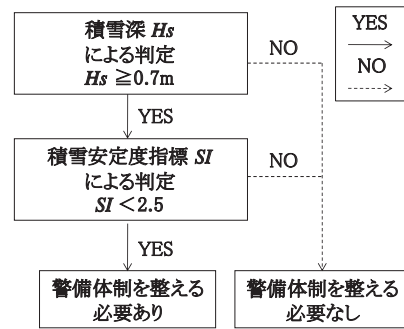


図9 表層雪崩に対する警備期間の判定フロー

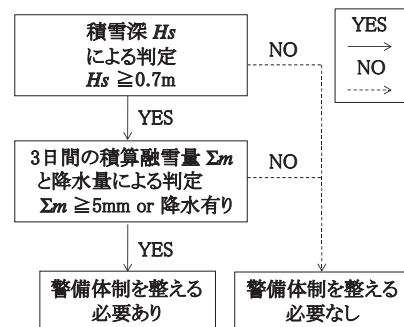


図10 全層雪崩に対する警備期間の判定フロー

4. 鉄道の雪崩警備への適用

鉄道の雪崩警備に対する本警備方法の適用性を調べるため、検討対象とした鉄道線区(本州の多雪地域の山間線区)に本警備方法を用いて警備斜面および警備期間を判定した。ここでは、代表事例として、対象線区内で最も雪崩の発生危険度の高い斜面(以後、「代表斜面」)における2005/06冬期の警備期間を示す。なお、代表斜面の斜面傾斜は 53.9° 、植生は灌木林である。指標となる積雪深、積雪安定度、および3日間の積算融雪量は、北東へ約7km離れたアメダス観測点のデータ(気温と降水量)を用いて推定したものであり、図9, 図10に示す判定フローを代表斜面に適用させた結果、表層雪崩に対する警備期間は、12月3日~5月14日、全層雪崩に対する警備期間は、2月22日~5月14日となった(図11)。この期間内に、対象線区内の斜面では雪崩が発生していないものの、新聞情報等から、表層雪崩に対する警備期間の初旬から中旬にかけて代表斜面近傍(鉄道用地外)において4件の表層雪崩が発生(図11中の×印)したこ

特集：防災技術

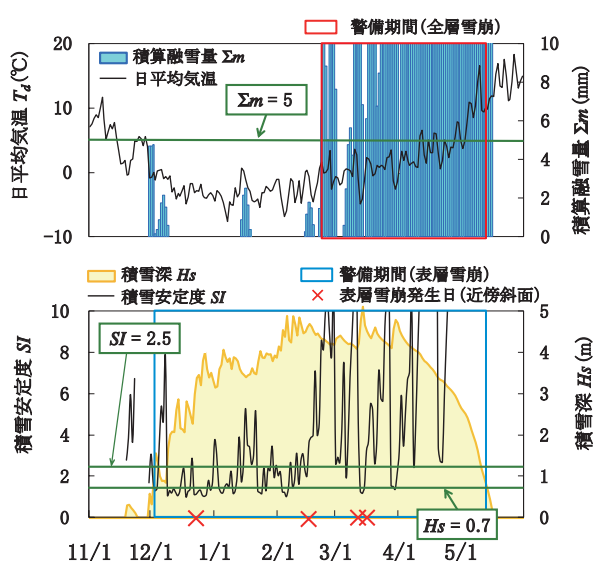


図 11 2005/06 冬期における雪崩警備期間

とを確認した。発生斜面の詳細が不明なため、雪崩が発生した各斜面の積雪安定度指標を推定することはできなかったが、これらの雪崩が発生した日の「代表斜面」の積雪安定度指標は1.2～2.0であり、いずれの雪崩も積雪安定度指標が小さいときに発生したものと考えられる。

各指標の推定精度の向上や局所的な地形の影響（吹き溜り、雪底の成長等）を反映した評価方法の検討等の課題は残るが、本警備方法を用いることで、客観的な基準によって警備開始日と解除日を決定できることがわかった。

5. まとめ

本研究では、本州の多雪地域の山間線区を対象として客観的指標に基づいて雪崩警備斜面および警備期間を判定する方法を検討した。本研究で得られた主な成果を以下にまとめる。

- (1) 警備斜面を客観的指標に基づき判定する方法として、見通し角度および雪崩の発生危険度を判定基準に用いた警備斜面判定フローを提案した。なお、判定に必要な情報は、地形図および空中写真から入手可能である。
- (2) 警備期間を客観的指標に基づき判定する方法として、斜面の積雪深、積雪層内の安定性（積雪安定度指標）および積雪と地表面との間の安定性（融雪量、降雨

量）を判定指標に用いた警備期間判定フローを提案した。なお、各判定指標は統計的手法および積雪の物性を考慮した経験式を用いることで、入手が比較的容易な気温と降水量データから推定する方法を考案した。

- (3) 本方法の鉄道の雪崩警備への適用性を検討するため、モデル線区の警備の開始と終了を判定し、周辺の雪崩履歴と照らし合わせた結果、表層雪崩に対する警備期間内に近傍斜面で4件の表層雪崩が発生しており、本方法の妥当性を確認することができた。

雪崩の発生には、本方法で指標とした斜面積雪の安定性が強く影響しているものの、場所によっては吹き溜りや雪底が形成され、これらが雪崩の発生に影響を及ぼすことがある。今後は各指標の推定精度の向上を図るとともに局所的な地形の影響（吹き溜り、雪底の成長等）や雪崩対策工等の有効性を考慮した評価方法の検討を進め、これらの成果を判定基準に含めていきたいと考えている。

文献

- 1) 池谷浩, 吉松弘行, 南哲行, 寺田秀樹, 大野宏之: 砂防・地すべり・がけ崩れ・雪崩防止工事ポケットブック, 山海堂, pp.311-333, 2001
- 2) 倉島収: なだれ発生斜面の発生危険度の判定基準モデルについて, 交通工学, Vol.20, No.2, pp.9-23, 1985
- 3) 柳井晴夫, 岩坪秀一: 複雑さに挑む科学, 講談社, pp.202-252, 1981
- 4) 遠藤八十一, 小南裕志, 山野井克己, 竹内由香里, 村上茂樹, 庭野昭二: 降水量データから積雪深と密度を推定する方法, 雪氷, Vol.66, No.1, pp.17-25, 2004
- 5) 梶川正弘: 新積雪の密度と降雪粒子の結晶形との関係, 雪氷, Vol.51, No.3, pp.178-183, 1989
- 6) 河島克久・飯倉茂弘・杉山友康・遠藤徹・藤井俊茂: 鉄道防災に適用可能な日融雪量の簡易推定方法, 雪氷, Vol.64, No.6, pp.605-615, 2002
- 7) 遠藤八十一: 降雪強度による乾雪表層雪崩の発生予測, 雪氷, Vol.55, No.2, pp.113-120, 1993
- 8) Watanabe, Z.: The influence of snow quality on the breaking strength, Science Reports of the Fukushima University, vol.27, pp.27-35, 1977.
- 9) 西村浩一: 雪崩, 気象研究ノート, vol.190, pp.3-17, 1998