

## 短時間多量降雪に伴う雪崩の特徴

松下 拓樹・高橋 渉（寒地土研）

### 1. はじめに

冬期道路の雪崩対策には、予防柵などの施設による対策と通行規制などの管理による対策がある。管理による対策のうち、降雪に伴う雪崩発生の可能性判断は、積雪深や降雪深(例えば、24 時間降雪深)に着目して行われる。しかし、短い時間の集中的な多量降雪に伴い発生する雪崩は、普段は発生しにくい樹林内や予防柵がある斜面でも発生する傾向があり、24 時間降雪深では短時間多量降雪に伴う雪崩発生判断を行うことは難しい(松下 2019)。また、雪崩発生のタイミングに関する調査は数多く行われているが、降雪が止んだ後、雪崩発生の可能性がいつ低くなるのかなど通行止め解除の判断に資する検討はほとんど行われていない。

本稿では、短時間多量降雪に伴う雪崩を対象に、その発生条件と降雪後の特徴に関するこれまでの調査結果を整理した。

### 2. 解析方法

雪崩発生のしやすさの指標として、斜面積雪の安定度  $SI$  を考える。 $SI$  は、斜面積雪のせん断方向の応力と強度の比であり、西村ほか(2006)によると、 $SI \leq 2.5$  になると雪崩の発生がみられはじめ、 $SI \leq 2.0$  になると発生数が著しく増加する。安定度  $SI$  の計算にあたり、せん断応力は積雪密度と積雪深に基づく斜面積雪の質量から求め、せん断強度は積雪密度との関係式から求めた。ただし、積雪密度は、その自重による圧密により時間の経過とともに大きくなる。この積雪

密度の時間変化は、時間降雪深と降雪時の気温( $\approx$ 雪温)を入力条件として、積雪の圧縮粘性理論(例えば、遠藤 1993; 遠藤ほか 2004)に基づいて計算した。また、積雪の脆弱性の指標として、積雪硬度を密度との関係式から求めた。以上の詳しい計算方法は、松下(2019)や松下・高橋(2020)を参照していただきたい。

### 3. 結果

#### 3.1 斜面積雪安定度の時間変化の特徴

図 1 は、斜面積雪の安定度  $SI$  の時間変化の計算例である。降雪期間は 12 時間で、降雪深の合計値は時間降雪深 3cm/h で 36cm、5cm/h で 60cm になる。 $SI$  は、雪の降り始めから急激に低下し、2.5 以下になるまでの時間は、時間降雪深 3cm/h の場合より 5cm/h の場合の方が短く、強い降雪の場合に斜面積雪が早く不安定化して雪崩発生の可能性が高まるといえる。

一方、気温による  $SI$  の違いに着目すると、時間降雪深が同じ場合、降り始めから  $SI$  が 2.5 以下になる時間の気温による差は小さいが、降雪が止んで、 $SI$  が回復する過程では、気温による差が大きく、降雪時の気温が低いほど安定化に要する時間が長い。つまり、降雪に伴う雪崩発生には、気温( $\approx$ 雪温)も大きく影響する。

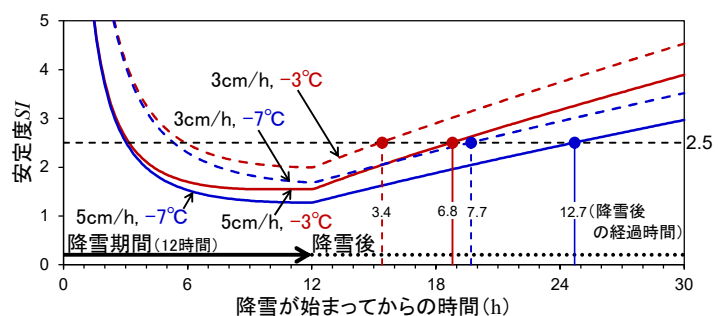


図 1 : 斜面積雪の安定度  $SI$  の時間変化の計算例

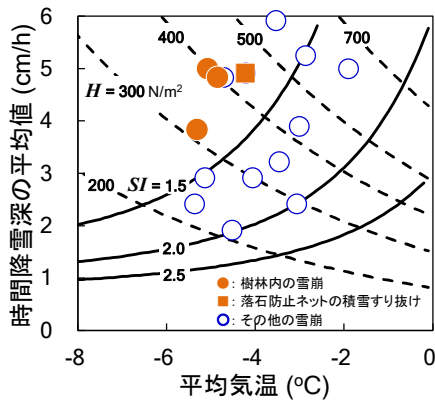


図 2：雪崩発生と 12 時間の平均時間降雪深と平均気温の関係(松下(2019)の図を改変)。2014 年 2 月関東甲信地方の大雪時における雪崩発生箇所近傍の気象庁アメダスの観測データによる。実線は安定度  $SI$ 、破線は積雪硬度  $H$  の計算値。

### 3.2 雪崩発生条件の特徴

1 章で述べた短時間多量降雪に伴う雪崩の特徴(特に樹林内の雪崩発生条件)は、降雪期間全体の降雪深ではなく、12 時間の降雪深と気温に着目すると明確になる(松下 2019)。図 2 は、降雪期間の中で 12 時間降雪深が最大となったときの平均時間降雪深と平均気温の関係で、実線は安定度  $SI$ 、破線は積雪硬度の計算値である。

図 2 より、雪崩は 12 時間の降雪によって  $SI \leq 2.0$  となる条件で発生した。樹林内で発生した雪崩(●)は、その他の雪崩(○)に比べて、時間降雪深が約 4cm/h 以上の強い降雪下で  $SI \leq 1.5$  となって発生したと考えられる。また、降雪時の気温が  $-4^{\circ}\text{C}$  以下と低く、積雪硬度は  $400\text{N/m}^2$  以下と推定された。よって、強い降雪に伴い短時間に不安定な積雪が斜面に形成されたことに加え、降雪時の気温が低く積雪硬度が小さい脆弱な積雪が形成されたことから、樹林内でも雪崩が発生したと考えられる。

### 3.3 降雪後の斜面積雪の安定化の特徴

図 3 は、降雪が止んでから  $SI$  が 2.5 以上になるまでの時間を、時間降雪深 1~9 cm/h、降雪時の気温  $-3 \sim -9^{\circ}\text{C}$  の条件で計

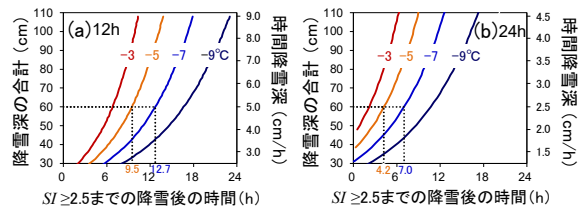


図 3：降雪後に安定度  $SI$  が 2.5 以上となるまでの時間の計算結果。降雪期間が (a)12 時間と (b)24 時間の場合。

算した結果である。図より、時間降雪深が大きく降雪深の合計値が大きいほど、また気温が低いほど斜面積雪の安定化に要する時間は長い。

降雪期間が 12 時間の場合(図 3a)と 24 時間の場合(図 3b)を比較すると、例えば、12 時間に 60cm の雪が積もった場合(図 3a)、気温  $-5 \sim -7^{\circ}\text{C}$  では、 $SI$  が 2.5 以上となるまでに降雪後 9.5~12.7 時間が必要である。一方、同じ 60cm でも、24 時間かけて積もった場合(図 3b)は、降雪後 4.2~7.0 時間で  $SI$  が 2.5 以上となる。つまり、短時間多量降雪によって積もった斜面積雪は、安定化して雪崩発生の可能性が低くなるまでに長い時間が必要となる。

## 4. まとめ

短時間多量降雪に伴う雪崩の特徴(特に樹林内の雪崩発生条件)は、12 時間の降雪深と気温に着目することで明確になることを示した。普段は発生しにくい樹林内で雪崩が発生すると、思わぬ被害に結びつく可能性があり注意が必要である。また、降雪後、短時間多量降雪により形成された斜面積雪は、安定度の回復に時間がかかり、より長い時間、雪崩に対する警戒が必要になることを示した。ただし、本稿の結果は、降雪に伴う一般的な雪崩を対象としており、積雪内部に弱層が形成される場合は別の検討が必要である。

### 主な文献：

松下, 2019: 気象研究ノート, 241, 426-435.  
松下・高橋, 2020: 雪氷研究大会, P2-11.