

雪崩発生 の簡易判断手法 ～気象観測データを活用した雪崩発生条件～

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 ○松下拓樹, 櫻井俊光, 吉井昭博, 西村敦史

1. はじめに

冬期の道路交通等における安全性確保において、雪崩等の自然災害のリスクを軽減するための管理は重要である。災害リスク軽減のためには、対象となる事象の発生条件の明確化や予測に関する情報が必要である。しかし、様々な要因により複雑な過程を経て発生する雪崩の発生条件を一義的に決めることは難しく、災害現場等において雪崩発生の可能性を判断することは今なお大きな課題となっている。このような背景の中、著者らは、道路管理者や維持管理従事者が比較的容易に雪崩の発生判断ができる支援手法を検討しており、特に入手が容易な既存の気象観測データを活用した雪崩発生条件の提示を試みている。本稿では、これまでの検討結果を報告する。

2. 雪崩発生判断手法(発生条件)について

雪崩の発生機構は、積雪の乾湿や弱層の有無等により様々であり、特に気温が低く水分を含まない積雪が崩れる乾雪雪崩と降雨等の水分を含む積雪が崩れる湿雪雪崩では大きく異なる。よって、雪崩の発生条件を検討する場合は、雪崩の種類別に行うことが望ましい。以下では、北海道の道路において発生割合が高い雪崩(金田ら, 2017)と、広域に被害を及ぼした最近の雪崩事例を対象にした発生条件の検討結果を示す。

2.1 降雪による雪崩(乾雪雪崩)の発生条件

北海道において典型的な雪崩の一つが、降雪に伴い発生する乾雪雪崩である。この発生条件について、斜面積雪のせん断方向に作用する応力と積雪強度の比を斜面積雪の安定度 SI として、その降雪に伴う時間変化を積雪の粘性圧縮理論に基づいて計算した。その結果の例が図1で、図中プロットは 2014 年 2 月の関東甲信地方を中心にした大雪時の雪崩事例である(松下ら, 2018)。この図より、降雪中の平均気温と平均降雪強度(または 12 時間降雪量)から斜面積雪の安定度 SI を推定することが可能であり、安定度 SI が 2.5 以下で雪崩の発生が見られるようになり、さらに低下して 1.5 以下になると普段は発生しにくい樹林帯での雪崩発生や雪崩予防柵を斜面積雪がすり抜けて道路に到達する事象(松下ら, 2008)が発生することがわかる。

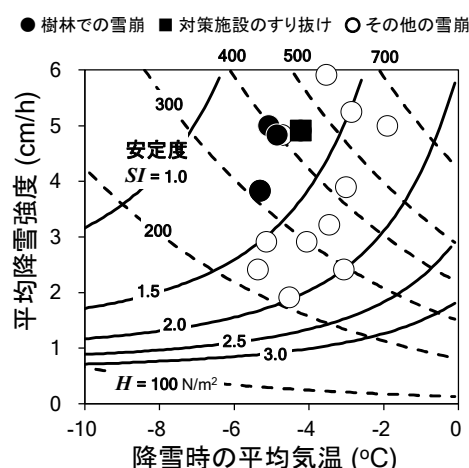


図1 降雪時の雪崩発生条件(縦軸:12時間の平均降雪強度, 横軸:平均気温, SI :安定度)

2.2 降雪が止んだ後の雪崩(乾雪雪崩)の発生条件

雪崩発生の可能性があるときに実施される道路の通行止めにおいて、雪崩発生のタイミングに関する調査(例えば2.1)は数多く行われてきたが、降雪が止んだ後、雪崩の発生する可能性がいつどの程度低くなるのか等、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。そこで、上述の安定度 SI の時間変化の計算を降雪が止んだ後も拡張し、降雪が止んで斜面積雪の安定度 SI が 2.5 以上に回復して雪崩発生の可能性が低くなるまでに要する時間を検討した(松下ら, 2022)。図2は結果の一例で、降雪時の平均気温が -5°C の場合である。この図から、累計降雪量と降雪時間、平均気温を判断要素に、降雪が止んでから斜面積雪が安定するまでの時間の目安を把握することができる。

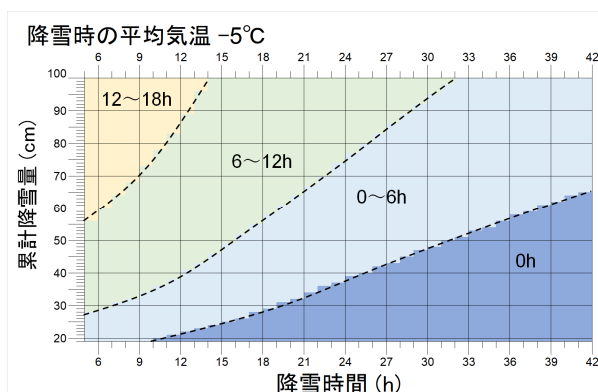


図2 降雪終了後の雪崩発生条件(気温 -5°C の例, 降雪が止んでから安定度 SI が 2.5 以上に回復するまでの時間を 6 時間ごとに色分けで示す)

2.3 降雪結晶弱層による雪崩(乾雪雪崩)の発生条件

2021 年 3 月 2 日、北海道の国道に接する斜面等の複数箇所ですべて同時に雪崩が発生した。これらの雪崩は、雲

粒付着の少ない降雪結晶からなる脆弱な積雪が崩れた乾雪表層雪崩で、通常より少ない降雪量で雪崩発生に至った極めて異例な雪崩であった。この雪崩の発生条件について、斜面積雪の安定度 SI の計算に、雲粒付着の少ない降雪結晶からなる積雪の物性に関する現地測定の結果を反映させて検討を行った(松下ら, 2023)。図3は結果の一例である。降り始めからの時間と累積降雪量に基づいた雪崩発生条件であり、雲粒付着の少ない結晶が降る場合、通常よりも少ない降雪量で雪崩が発生することを示した。また、降雪が止んだ後、斜面積雪の安定度 SI が2.5以上に回復するまでに要する時間を計算した結果、通常の降雪よりも長い時間、雪崩に対する警戒が必要となる(図は省略)。

2.4 降雨や融雪による雪崩(湿雪雪崩)の発生条件

近年の気候変動の影響により、これまで寒冷な北海道でも、冬期の急激な気温上昇や多量降雨、融雪開始時期の早まりにより湿雪雪崩の発生が増える懸念がある。しかし、湿雪雪崩の発生機構は乾雪雪崩に比べて複雑であり、積雪の層構造や雪質に起因する水の浸透過程の違い等による影響を受けるため、湿雪雪崩の発生条件の明確な提示は大きな課題となっている。

著者らは、湿雪雪崩の発生条件について、斜面積雪の安定度 SI と積雪全体の含水率 θ に着目する2つの方法により基礎的な検討を行った(松下ら, 2024)。図4に一例として、積雪深と積雪へ供給される水量(降雨量または融雪量)を判断要素に、安定度 $SI < 2.5$ または含水率 $\theta > 3\%$ を湿雪雪崩の発生条件として計算した結果を示す。なお、融雪量は一般的には観測されていないが、気温と日射の有無により推定可能な図の提示を検討している(図は省略)。図4の湿雪雪崩の発生条件は、まだ検討段階だが、北海道における融雪注意報の発表基準(降雨量と融雪量の24時間合計 $\geq 50 \sim 70$ mm)に整合し、最近発生した湿雪雪崩事例とも合致している(松下ら, 2024)。

3. おわりに

本稿では、入手が容易な既存の気象観測データを活用した雪崩発生条件に関するこれまでの検討結果を報告した。降雪量や積雪深、気温、降雨量は、気象庁アメダスや道路気象テレメータで観測されており、これらの観測データを活用した雪崩発生判断は実用的である。今後も、湿雪雪崩の発生条件等について検討を継続していく。

参考文献

- 金田安弘, 竹内政夫, 大槻政哉, 仁田 智, 三木田正則, 2017: 北海道における道路雪崩の特徴－雪崩の種類と月別の発生傾向－. 雪氷研究大会(2017・十日町)講演要旨集, 215.
- 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, https://thesis.ceri.go.jp/db/documents/public_detail/4518 (2025.02.12 閲覧).
- 松下拓樹, 高橋 渉, 松澤 勝, 高橋丞二, 2018: 広葉樹林における乾雪表層雪崩の発生条件について. 日本雪工学会論文集, 34, 55-67, https://doi.org/10.32120/jsej.34.4_55 (2025.02.12 閲覧).
- 松下拓樹, 吉井昭博, 西村敦史, 2022: 降雪終了後の雪崩発生判断手法について. 寒地土木研究所月報, 832, 20-28, https://thesis.ceri.go.jp/db/documents/public_detail/69670/ (2025.02.12 閲覧).
- 松下拓樹, 吉井昭博, 大宮 哲, 西村敦史, 2023: 雲粒付着の少ない降雪結晶による雪崩の発生条件について. 寒地土木研究所月報, 846, 15-23, https://thesis.ceri.go.jp/db/documents/public_detail/71974 (2025.02.12 閲覧).
- 松下拓樹, 櫻井俊光, 吉井昭博, 西村敦史, 2024: 降雨時の雪崩発生条件に関する基礎的検討. 寒地技術論文・報告集, 40, I-036, https://doi.org/10.69227/ctc.40.0_036 (2025.02.12 閲覧).

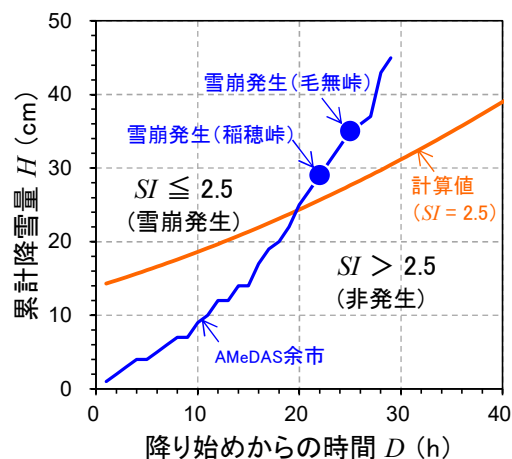


図3 降雪結晶弱層による雪崩の発生条件(橙色の実線の上側で安定度 SI が2.5以下となる)

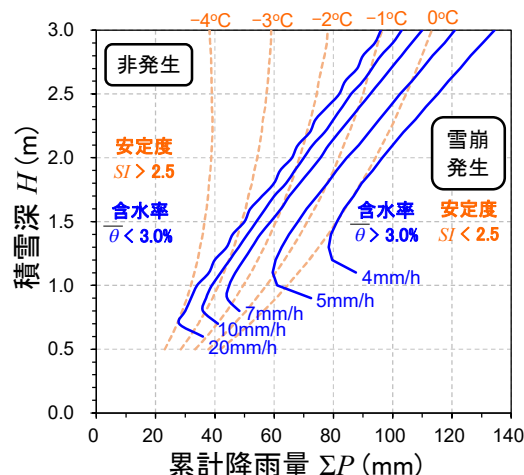


図4 湿雪雪崩の発生条件(橙色破線:安定度 $SI = 2.5$, 青色実線:含水率 = 3%となる条件)