

国道 236 号野塚峠における表層雪崩監視について

小松 麻美*1, 丹治 和博*1, 林 健太*1, 村上 恵介*2, 中岡 大介*2

1. はじめに

厳冬期の北海道の国道で発生する大規模な雪崩は、これまでは厳冬期の多量降雪後に発生する乾雪表層雪崩が多い状況であった。

一方で気象庁から発表される「なだれ注意報」は、最小でも市町村単位という広域を対象としていることに加えて、積雪深や降雪量と気温を用いた経験則に基づくものである。そのため、道路管理者は斜面上や近傍観測点の積雪深を監視することで雪崩発生の危険性を評価しているのが現状であり、積雪層内部の構造を評価しての判断ではない。

特定の場所を対象に雪崩の発生危険度を高い精度で予測するためには、気象の推移による積雪構造の変化を表現可能なモデルの構築が不可欠である。

これらの課題の解決のため、日本気象協会と名古屋大学により共同研究を行い（2009 年 12 月～2019 年 8 月、4 期間）、積雪変質モデルを開発した。

本稿では野塚峠における表層雪崩監視手法について、積雪変質モデルを用いた雪崩発生危険度予測による情報提供について述べる。

2. 国道236号野塚峠における過去の雪崩災害

一般国道236号は険しい日高山脈を横断し、十勝圏と日高圏を結ぶ重要な幹線道路である。特に広尾町上トヨ基線 (KP84.30)～浦河町上杵臼 (KP112.1) の区間では、過去から雪崩要因の通行規制事例が複数回発生している (山本など, 2021)。多くの事例は厳冬期の自然斜面や道路法面の上部から乾雪表層雪崩であることが多いが、2018 年3月9日に野塚トンネル広尾側坑口を襲った北海道の国道では最大規模の湿雪雪崩事例もあった (石本, 2018)。

これらの道路交通にも影響を与えた過去の雪崩事例を踏まえて、帯広開発建設部では24時間降雪量や湿雪雪崩に関して積雪がある程度残っている際の連続雨量などで自主的な規制を行っている (山本など, 2021)。

この野塚峠の野塚トンネル広尾側坑口を対象に、帯広開発建設部管轄の野塚テレメータを実況補正に利用して予測を実施した (図1)。

3. 雪崩発生危険度予測

3.1 雪崩発生危険度予測の概要

すでにフランスやスイスでは積雪の変化を表現する精緻なモデルが開発されているが、種々の気象要素の入力が必要となる。日本における予測現業で提供されていない要素もあるほか、降水量や気温などを除くと更新間隔も数時間毎であるため、ルーチンとしてこれらのモデルを用いての道路管理者への情報提供は難しい。そこで、気温と降水量 (降雪深) のみを入力することで、雪質、雪温、密度、せん断強度などの積雪構造を算出可能な簡易なモデル (Simple Snow-Cover Model: SSCM) を開発した。本モデルの計算フローは図2に示すとおりであり、モデルの詳細は小松 (2019) に記載している。広域を対象に細かい格子間隔、かつ短時間で計算するため、組み込まれる物理過程は大きく簡略化している。



図1 雪崩発生危険度の予測対象地点 (背景地図は国土地理院電子地図より引用)

* 1 一般財団法人日本気象協会

* 2 国土交通省 北海道開発局 帯広開発建設部

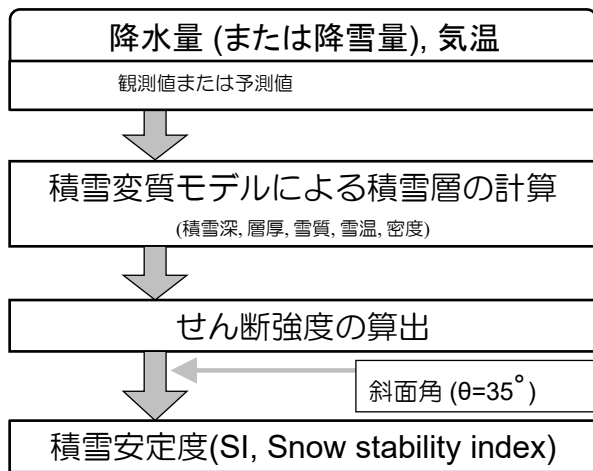


図2 雪崩発生危険度予測の計算フロー

3.2 表層雪崩発生危険性を示す指標の算出

積雪変質モデルを用いて、降水量と気温から積雪の層構造を推定し、最終的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(以下SIと呼ぶ。なおSIはStability Indexの頭文字を取っている)を算出している(図3)。情報提供ではこの指数を「雪崩発生危険度」と称した。この指標の値が小さくなるほど積雪層の安定度が低い、つまり表層雪崩発生危険性が高いことを示している。雪崩発生の危険性の目安となるSIの目安は文献により1.5~4.0と様々である。過去の北海道内の国道における雪崩による通行止め事例について試算した結果、SIが2.5を下回ったときに雪崩発生の危険性が増しているとして雪崩発生リスク判定の閾値に設定した。

SIの数値から表層雪崩発生の危険性の度合いを直感的に理解するのは難しいため道路管理者にとって分かりづらいという意見が寄せられた。これを受けて令和元年度よりSIの危険性を分かりやすく示す「雪崩危険度ランク」(表1)も併せて提供している。

道路に影響を与える災害としては、雪崩の発生頻度は大雨や吹雪に比べると少ない。そのため提供した情報から行動が導けるよう、SIを用いた情報発表のタイミングは重要であると考え。SIなどの専門用語は道路管理者になじみが薄いため、積雪の状況を分かりやすく表現して提供することが必要と考える。

表1 雪崩危険度ランクの定義

SI	雪崩危険度ランク	道路管理者への注意喚起
$SI \leq 2.5$	3	警戒
$2.5 < SI \leq 5$	2	注意
$5 < SI \leq 10$	1	危険性が高まりつつあることに留意
$10 < SI$	0	危険性は小さい

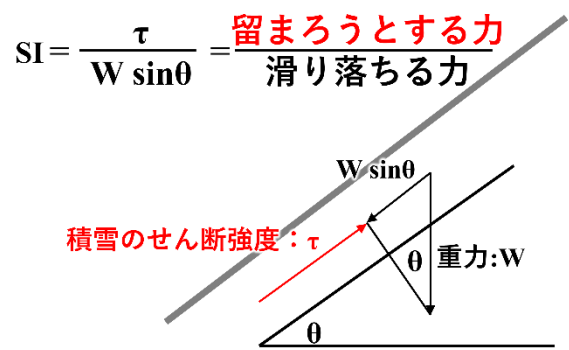


図3 積雪安定度(SI)の概念図

3.3 情報提供

毎時更新の気象予測値を入力値として算出した24時間先までのSIの予測値を道路管理者向けのWebサイトで提供した(図4)。表層雪崩発生リスクの気づきのためのメール通知も合わせて実施した。通知のタイミングは、パトロール等の現場対応を行うまでの準備に要する時間を考慮して3時間先までの予測値が雪崩危険度ランク3(警戒)を示す場合とした。



図4 携帯端末への情報提供例

4. 過去の雪崩事例を用いた検討

運用開始前に、野塚峠で発生した過去の雪崩に対して積雪変質モデルの計算結果を確認した。対象としたのは、一般国道236号 広尾町上トヨイ基線~浦河町上杵臼間

(27.8km)において2018年2月5日16:20に雪崩による通行止めを開始した事例である。雪崩の規模は延長10m×幅7-8m×厚さ1.5m程度(体積120m³)であった(図5)。



図5 2018年2月5日に野塚峠で発生した雪崩の写真
(帯広開発建設部報道発表より引用)

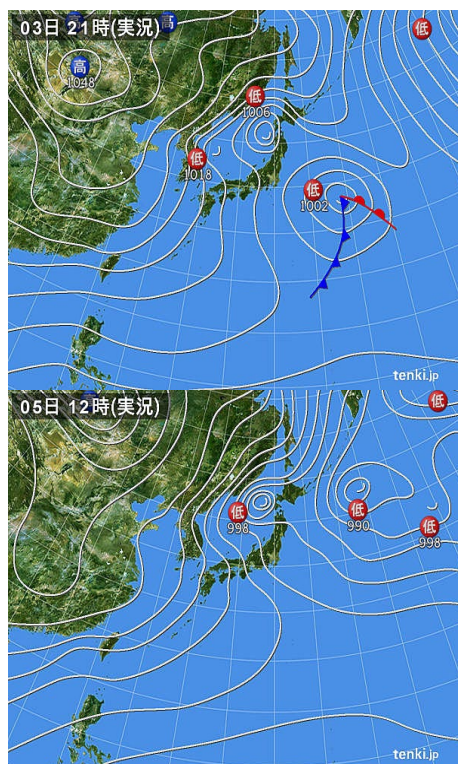


図6 2018年2月3日21時と5日12時の天気図

雪崩発生前の天気図から、発達した低気圧が北海道の西側に停滞していることが分かる(図6)。この影響により2月5日を中心に北海道内は大雪となった。

野塚峠では、2月4日以降、降雪により野塚テレメータの積雪深が増加する中でSIが減少し始め、5日午後の時間10cm近い強い降雪中でSIは急低下し、雪崩発生時はSI=1.9の低い値を示していた(図7)。これにより、積雪変質モデルは表層雪崩発生の危険性を的確に示すことが出来たと考えられる。

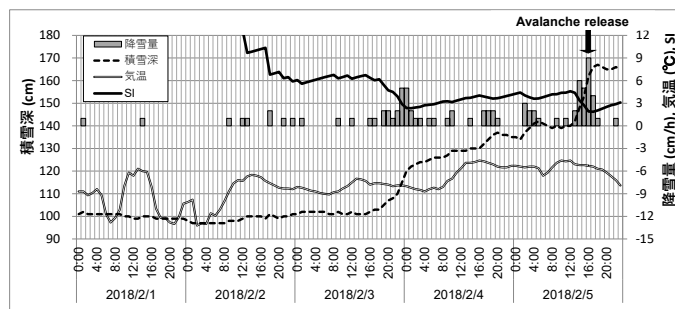


図7 2018年2月1日から5日までの野塚テレメータの気温、降雪量、積雪深の観測値と算出したSIの時系列

5. 雪崩発生危険度予測の提供結果

2020年3月6日に野塚峠で発生した雪崩に関する道路管理の時系列を表2に示す。なお、本雪崩発生個所に最も近い観測点も野塚テレメータであった。

表2 野塚峠で発生した雪崩に関する道路管理の時系列
2020年3月

5日(木)	5:00	国道232号広尾町上トヨイ基線～浦河町上杵臼(L=27.8km)通行止め(気象条件(大雪))開始
	6:00	通行止め区間の除雪開始
6日(金)	8:00	野塚トンネル(広尾側)で通行止め中に発生した雪崩を発見 通行止め事象変更(災害(雪崩))
9日(月)	17:00	通行止め事象変更(気象条件(雪崩のおそれ))

本事例で発生した雪崩は3箇所あったが、その発生地点および雪崩の種類は不明である。雪崩の規模は道路全幅をふさぐ程度であり、道路および駐車帯を覆う雪崩の体積が約3,000m³程度であった。人的被害はなかったものの、道路附属物(照明)の一部が損傷した。

図8に雪崩発生前後の野塚テレメータの積雪深、降雪量(積雪深差)、気温、風速の時系列を示す。日降雪量(1時～24時)は4日12cm、5日74cm、6日0cmであった。野塚トンネル上部の雪崩発生地点でも、5日は斜面上に厚い新雪層が形成されたと推測できる。

気温は3日15時～4日14時は欠測していたものの、野塚峠(標高585m)の気温を近傍の中杵臼アメダス(標高80m)の同期間の気温(この間の最高気温1.7℃)から標高補正して考える(中杵臼の気温から3℃差し引く)と、野塚テレメータでは雪崩発生時刻までは気温0℃以下が継続していたと考えられる。

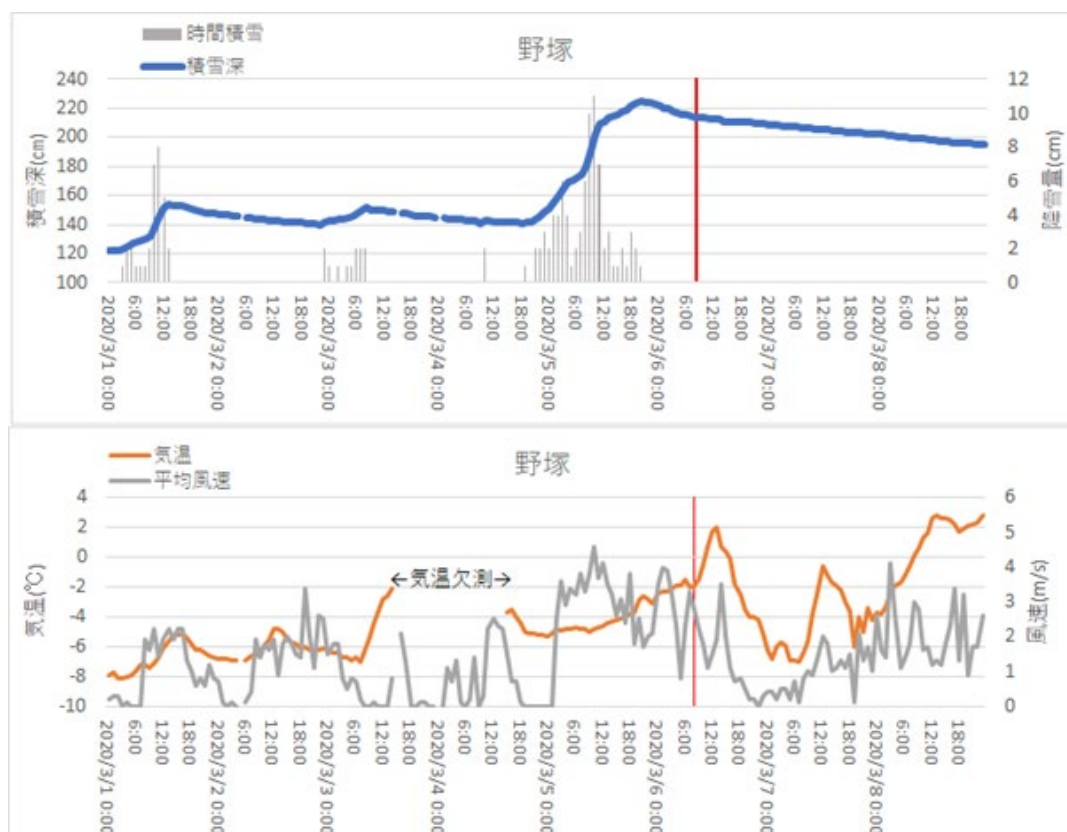


図8 2020年3月1日～8日における野塚テレメータの積雪深、降雪量（積雪深差）（上）、気温、風速（下）の時系列（赤線は雪崩発見時刻）

6. おわりに

続いて、同事例に関する予測情報提供の結果を示す(図9)。予測では野塚テレメータの値を実況補正に用いた。雪崩予測は雪崩発生前日（5日）の3時発表の予測で、直近3時間先までの予測値がSI=2.5を下回りメール通知を行った。その後の発表した予測も概ね、6日夜まで最小値がSI=2.5を下回る、表層雪崩発生の危険性を強く示す値であった。このことから、提供中の予測は的確に表層雪崩の発生危険性を事前に通知できたと考える。

雪崩発生危険度予測は表層雪崩を対象としており、まとまった降雪のあった後にSIの予測値が低下する傾向が見られ、概ね適切な予測を提供していた。これにより、雪崩発生危険度予測情報は雪氷期の雪崩対策の参考情報になったと考えられる。野塚峠は山岳域であり地形が複雑で風の強い地域である。積雪変質モデルの入力値として吹雪による吹きだまりの効果を考慮することで精度向上の可能性がある。今後は吹きだまりによる積雪も考慮した予測の研究を進めるなど、気象予測値を活用した雪崩災害リスクの指標が、冬期道路管理に有効な指標となるよう、事例解析と改良を続け、本技術の活用方法を検討していく予定である。

参考文献

石本 敬志(2018)：2018年3月野塚トンネル雪崩の概要，北海道の雪氷，No. 37，p. 135-138。

小松 麻美(2019)：積雪変質モデルを用いた雪崩発生予測，気象研究ノート，No. 241，p. 593-604。

山本 佳宏，村上 勇一，青木 卓也(2021)：一般国道236号天馬街道における広域道路雪崩に対応する自主的道路規制の運用，第64回(2020年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集，p. 601-606。

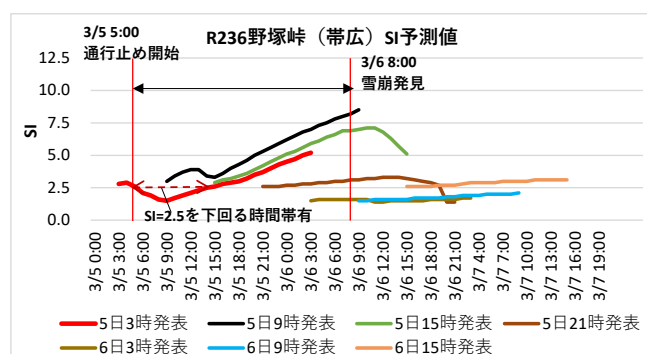


図9 R236 野塚峠（帯広）における SI 予測結果（予測の折れ線グラフは6時間毎に間引いている）