7. 道路雪崩の実態と対策

7.1 北海道の国道における道路雪崩調査、7 期目までの流れ

北海道の道路雪崩を知るために、1）発生事例を収集し、その特徴を気象や道路のり面勾配等との関係で調査し、道路雪崩で特に注意する必要のある雪崩を新雪雪崩、吹きだまりの崩落による雪崩および融雪による全層雪崩の 3 種類に絞り込んだ。これに基づいて 2）最近の気候変動のもとでの従来の対策工法の限界や問題点を抽出・検討し、新しい対策工の概念を提案した。また、雪崩災害防止･軽減のために雪崩の危険度評価に基づいた雪崩発生危険度の目安を作っているが、3）吹きだまりを起因とする雪崩など新しい事態に対応するために現場聞き取り調査を行うなど、その改善を図っている。また、4）道路雪崩の現状を把握する目的で全道から報告されている雪崩事例について、雪崩前後の自然条件を考慮し報告された雪崩分類の妥当性についても検討を始めた。これにより、より信頼度の高い雪崩事例資料が整備されつつある。

これまで各 3 年 6 期の活動を、期ごとに要約すると以下のようになる。

第 1 期（平成 11 年度から 12 年度）：平成 11 年 10 月、道路・情報部会の雪崩 WG として活動を始めた。国道の雪崩実態を把握するため道路管理者用と雪崩調査技術者用の 2 種類の「雪崩調査シート」を作り、雪崩事例を収集し始め、特徴および要因の整理を始めた。また、平成 13 年 2 月に支笏湖畔の 16 か所で発生した災害事例から災害発生後の危険度評価を行った経緯を記録した。〔道路管理技術委員会報告書（平成 10 年度～12 年度）で報告〕

第 2 期（平成 13 年度から 15 年度）：雪崩事例収集を継続し､道路に被害を及ぼした雪崩の種類や特徴、発生要因等についてまとめた。主な取り組みは、

1）雪崩柵をすり抜ける新雪道路雪崩の特徴を把握。
2）道路雪崩災害危険度評価の精度向上と、現場における雪崩対応として、雪崩管理用の雪尺を提案した。
3）厳冬期および融雪期の全層雪崩に対する道路巡回と交通規制対応、および雪崩発生後の緊急対応について提案した。
4）北海道開発局､全建設部を対象とした現地雪崩調査・講習会の開催
〔一般財団法人北海道道路管理技術センター主催、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所共催、道路管理技術委員会報告書（その 2）（平成 13 年度～15 年度）で報告〕

第 3 期（平成 16 年度から 18 年度）：雪崩事例収集を継続し､雪崩対策施設の課題、雪崩発生危険度の目安などを提案した。

1）北海道で発生した道路雪崩の統計および特徴整理
2）雪崩の事前管理、発生危険度の目安の検討
3）雪崩対策の現状と課題および問題点の整理
〔道路管理技術委員会報告書（その 3）（平成 16 年度～18 年度）で報告〕

第 4 期（平成 19 年度～21 年度）：北海道で発生した主な道路雪崩の実態、雪崩対策工の実態や課題を調べ、雪崩発生危険度の目安についての現状と課題を報告した。

1）道路雪崩の種類、発生起因と発生頻度
2）道路雪崩対策施設の実態と課題
3）雪崩発生危険度の目安と運用、課題
〔道路管理技術委員会報告書（その 4）（平成 19 年度～21 年度）で報告〕

第 5 期（平成 22 年度～24 年度）：最近の北海道の道路雪崩災害の事例を収集し、気象データや調査結果をもとにその発生メカニズムや問題点を整理するとともに、過去の膨大な雪崩調査シートのデータの有効活用を目的として、道路雪崩災害データベースを完成させるため、データベース構築に向けた検討と、雪崩データの精査を開始した。また、雪崩に対する道路管理の現場において最低限の道路雪崩の知識を持ち、雪崩発生時などに道路防災有識者等とコミュニケーションをとる際に有効だと思われる、「雪崩対策の手引き（仮称）」の作成に向けた検討を行った。
1）道路雪崩災害データベースの構築に向けた検討、及びデータ精査
2）「雪崩対策の手引き（仮称）」の作成に向けた検討
3）最近の道路雪崩の事例調査・整理
〔道路管理技術委員会報告書（その 5）（平成 22 年度～24 年度）で報告〕

第 6 期（平成 25 年度～27 年度）：道路雪崩災害データベースを完成させるとともに、そのデータをもとに北海道の道路雪崩の特徴を整理した。また、「道路雪崩調査シート」の改定を行うとともに、それら内容を含む「北海道の雪崩に対する道路管理の手引き(案)」を作成した。最後には、道路管理者へのヒアリング調査等に基づく今後の取り組みについても整理した。
1）道路雪崩災害データベースの構築及び北海道の道路雪崩の特徴整理
2）「北海道の雪崩に対する道路管理の手引き(案)」作成
3）「道路雪崩調査シート」の改定
4) 道路雪崩に対する課題の整理
〔道路管理技術委員会報告書（その 6）（平成 25 年度～27 年度）、及び同報告書（別冊 3）（北海道の雪崩に対する道路管理の手引き(案)）で報告〕

第 7 期となる平成 28 年度から 30 年度は、第 6 期の「道路雪崩に対する課題の整理」で抽出された課題のうち、「最下段予防柵直下の雪崩対応」について検討を行った。拡幅除雪等による当該雪崩が懸念される道路や斜面を対象にヒアリングやグライド計測を実施した他、既往知見の整理を実施した。その結果を受けて当該雪崩に対する対応のあり方が整理された段階で「北海道の雪崩に対する道路管理の手引き(案)」に反映する予定である。またもう一つの課題である「グライドと雪崩危険性の関係」については、人力で到達または近接が困難な斜面の全層雪崩の危険性を把握する方法を検討する目的で、先ずはグライドやクラックといった斜面積雪の性状を計測・確認する手段として、UAV（ドローン）による調査の有効性の確認を行った。

7.2　最下段の全層雪崩の特徴

7.2.1　概要

過去に行った道路管理者へのアンケート調査の結果から、融雪期の最下段～法尻の全層雪崩発生や維持管理（除雪）が問題になっている現場があることが分かっている。この事象は、法尻～路肩の拡幅除雪等により、積雪の抑えが効かなくなることが要因となって発生すると考えられているが、そのメカニズムや危険性に関する詳細なデータは存在しないのが現状である。

よって、当該雪崩のメカニズムを資料収集整理や現地試験によって明らかにし、融雪期の除雪方法を検討する際の基礎資料とすることを目的として調査・検討を進めているところである。

当該雪崩現象において想定される雪崩発生機構を図 7.1 に、当該雪崩の事例を写真 7.1 に示す。

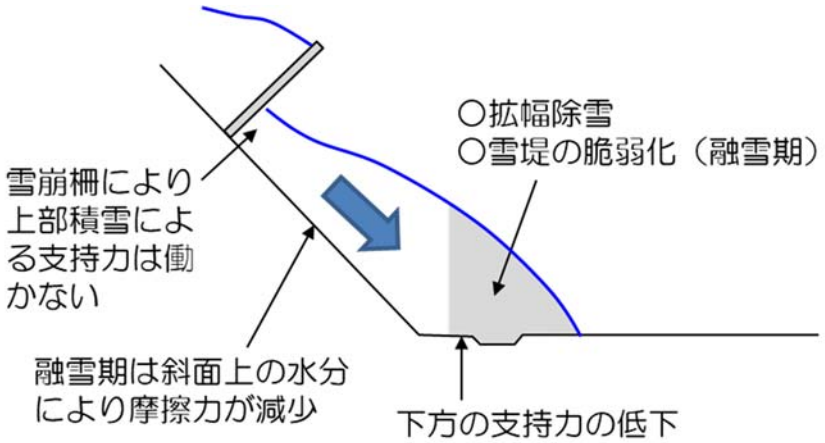


図 7.1　最下段の全層雪崩にて想定される雪崩発生機構

写真 7.1　最下段の全層雪崩の事例（R239 号 霧立峠）

7.2.2　既往資料の収集整理

当該雪崩現象に関連する既往資料を収集整理した。

(1)　柵最下段に発生するグライド

吊柵によって柵下の雪との縁が切れてグライドが起こっている事例である。路側の雪堤が抑止力となって、斜面積雪が滑り落ちるのを抑えているものと考えられる。

写真 7.2　柵最下段に発生したクラック（R453 号 盤尻）

(2)　拡幅除雪による雪堤除去で発生した全層雪崩

雪堤を拡幅除雪によって削り取った後に、面発生湿雪全層雪崩が発生した事例である。暖気が入り、融雪水が地山の笹地まで浸透し、雪崩発生に至ったと考えられる。

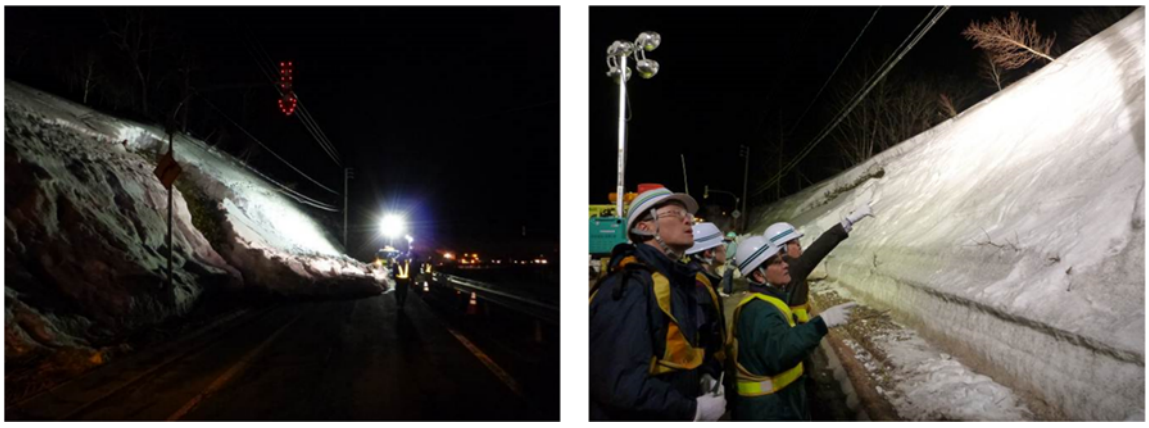


写真 7.3　雪崩発生現場と法面下部の除雪状況（R230 号 中山峠）

(3)　低柵高の雪崩予防柵の設置事例

積雪の支持力を利用して雪崩を防ぐことを目的に、低い柵高の吊柵を配置した事例である。柵の周りの雪は固く結合し、クラックや空洞は確認されない。

写真 7.4　積雪に埋もれた低柵高予防柵と柵の周りの積雪状況（R40 号 豊富 BP）

(4) 法面下部のグライド防止杭の設置事例

法面下部の積雪のグライドを防ぐことを目的に、低い杭高でグライド防止杭を設置した事例である。

写真 7.5　柵最下段の下部に設置されたグライド防止杭（R236 号 清陵）

7.2.3 最下段の雪崩及び法面除雪のヒアリング結果

法面最下段における雪崩の履歴や、拡幅除雪・法面除雪の実態等について、道路管理者への聞き取り調査を行った。調査対象としたのは、以下の 3 事務所である。以降に、聞き取り調査の結果を整理する。

・稚内道路事務所（実施日：平成 29 年 11 月 14 日）
・小樽道路事務所（実施日：平成 29 年 12 月 22 日）
・倶知安開発事務所（実施日：平成 29 年 12 月 22 日）

写真 7.6　ヒアリング調査の実施状況（小樽道路事務所）

(1) 稚内道路事務所でのヒアリング結果

■ 最下段下部の雪崩の履歴・認識
・供用開始以降、目立った雪崩は発生していない。
・豊富 BP では、柵高の低い予防柵を設置している（柵高 1.0m）。

■ 拡幅除雪の目的・融雪期の法面除雪の実態など
・外側線付近まで堆雪した場合に、二次除雪を行う（8 回程度／1 冬期）。
・幅員に余裕があるので、法尻付近まで除雪することはない。
・雪崩予防柵下部の積雪除去は行っていない。

(2) 小樽道路事務所でのヒアリング結果

■ 最下段下部の雪崩の履歴・認識

・最下段で全層雪崩が発生した事例がある（平成 26 年 4 月に発生）。

■ 拡幅除雪の目的・融雪期の法面除雪の実態など

・厳冬期に、堆雪容量確保のために定期的に段切り除雪を行っている。
・段切り除雪では、マックレーでかき出してロータリーで投雪する。
・段切り除雪は、年に 5 回程度行っている。
・2 月中旬から 3 月中旬にかけて、融雪期の法面除雪を行っている。
・皿型側溝は出さずに法尻に雪堤を残すようにしている。
・法面上の積雪は、上部は薄く、下部は厚く残して除雪している。

(3) 倶知安開発事務所でのヒアリング結果

■ 最下段下部の雪崩の履歴・認識

・最下段の雪崩はまれにある。
・南斜面（日のあたる斜面）で発生することがある。

■ 拡幅除雪の目的・融雪期の法面除雪の実態など

・新雪除雪の容量確保のために、二次除雪を行っている。
・二次除雪では、マックレーで法尻の雪堤を削り取っている。
・融雪期の法尻の拡幅除雪は、3 月上旬に 1 回実施する。
・水処理のため、皿型側溝を出す程度まで除雪する。
・その後、最下段下部の斜面積雪を除雪する。

7.2.4 グライド計測

法面下部の積雪挙動を把握するために、現地試験を行った。試験実施の手法を図 7.2～図 7.3 に示す。試験は、金属製のそりに赤白ポールを固定し、これが積雪のグライド進行とともに移動する様子を静止画カメラによって撮影する手法で実施した。この手法には前例が無く、手法を確立することも成果の一つとなる。なお、グライド量は、取得した連続静止画（1 時間おきに撮影）をデータ回収後に机上で読み取ることにより把握した。

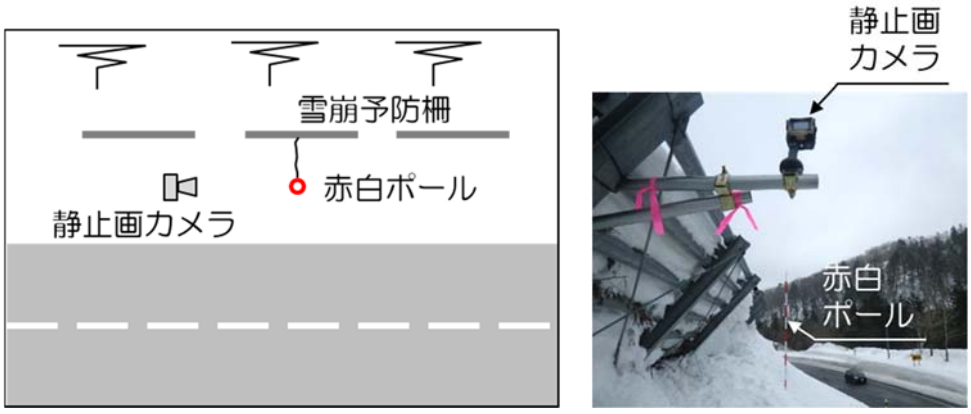


図 7.2　現地試験の手法の概要（1/2）

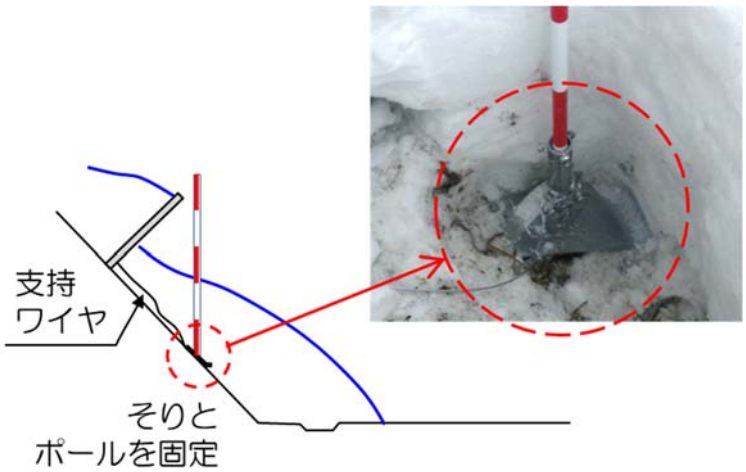


図 7.3　現地試験の手法の概要（2/2）

試験を実施したのは、表 7.1 に示す 2 事務所管内である。試験法面の概要（表 7.1）と、以降に試験結果を示す。

表 7.1　試験法面の概要

試験箇所	R40 号 豊富・幌富 BP		R276 号 清陵	
管　轄	稚内道路事務所		有珠復旧事務所	
試験期間	H31.2.13～4.9		H30.3(予備調査) H31.1.25～3.19	
既設対策工	雪崩予防柵		雪崩予防柵 H=2.0m	
	標準の柵高 H=1.5m	低い柵高 H=1.0m	ｸﾞﾗｲﾄﾞ防止杭 なし	ｸﾞﾗｲﾄﾞ防止杭 あり
法面の向き	西		南西	
法面勾配	1：1.5		1：1.0	
最下段の雪崩予防柵と法尻の比高	ΔH=5.0m	ΔH=3.0m	ΔH=5.5m	ΔH=7.0m
法面の植生	草地		草地	

なお、今回の現地試験手法について以下の知見を得たので記述する。

- そりが路面まで滑り落ちるのを防ぐため、適切な長さの支持ワイヤを堅固な構造物に結び付けておく必要がある。
- そりと赤白ポールの接続部は可動できる構造とする必要がある。これにより、勾配の異なる斜面においても、赤白ポールを鉛直に立てることができる。
- 静止画カメラの位置が雪圧等で移動してしまわないように、堅固な構造物に固定しておく必要がある。
- データ回収後にグライド量を読み取るために、最初の画像にスケール（測量ロッド等）を写し込んでおく必要がある。
- グライド量の読み取りに際し、雪圧等により赤白ポールが傾いた状態となった場合には、赤白ポールの根元（そりとの接続位置）での移動量を読み取るように留意する。
- 観測機器は比較的路面に近い位置に設置するため、頻繁にロータリー除雪車で法面に投雪

する現場や、融雪期に法面積雪の除雪を行っている現場には適さない手法であることを認識する。

・カメラによる観測であるため、着雪や着氷によって一定程度の欠測が起こる。また、夜間のグライド状況は把握できない。

(1) R40 号 豊富・幌富 BP での試験結果

試験の実施位置と、計測箇所に設置されている雪崩予防柵の概要を図 7.4 に示す。試験は、標準の柵高の雪崩予防柵が設置されている箇所と、低い柵高の雪崩予防柵が設置されている箇所の計 2 箇所で実施した。

図 7.4　試験位置と計測箇所に設置されている雪崩予防柵の概要

グライド計測の結果と豊富アメダスにおける気象時系列を図 7.5 に整理した。

平成 30 年度冬期の計測では、どちらの柵高の雪崩予防柵においても同程度にグライドが進行した。グライドは気温の上昇とともに進行する傾向が見られる。

今期は小雪傾向であったため､計測地点の特性による差異は現れにくかったものと考えられる。また、小雪の影響から、拡幅除雪の実施履歴が無いなかでの計測となった。

図 7.6 には、連続静止画から抜粋整理したグライドの進行状況を写真にて示した。観測を開始した 2 月 13 日の低い柵高の写真を見ると、この段階ですでに柵の天端の一部が見えており、2 種類の柵高による特性の違いを確認するには不向きな冬期であったと言える。

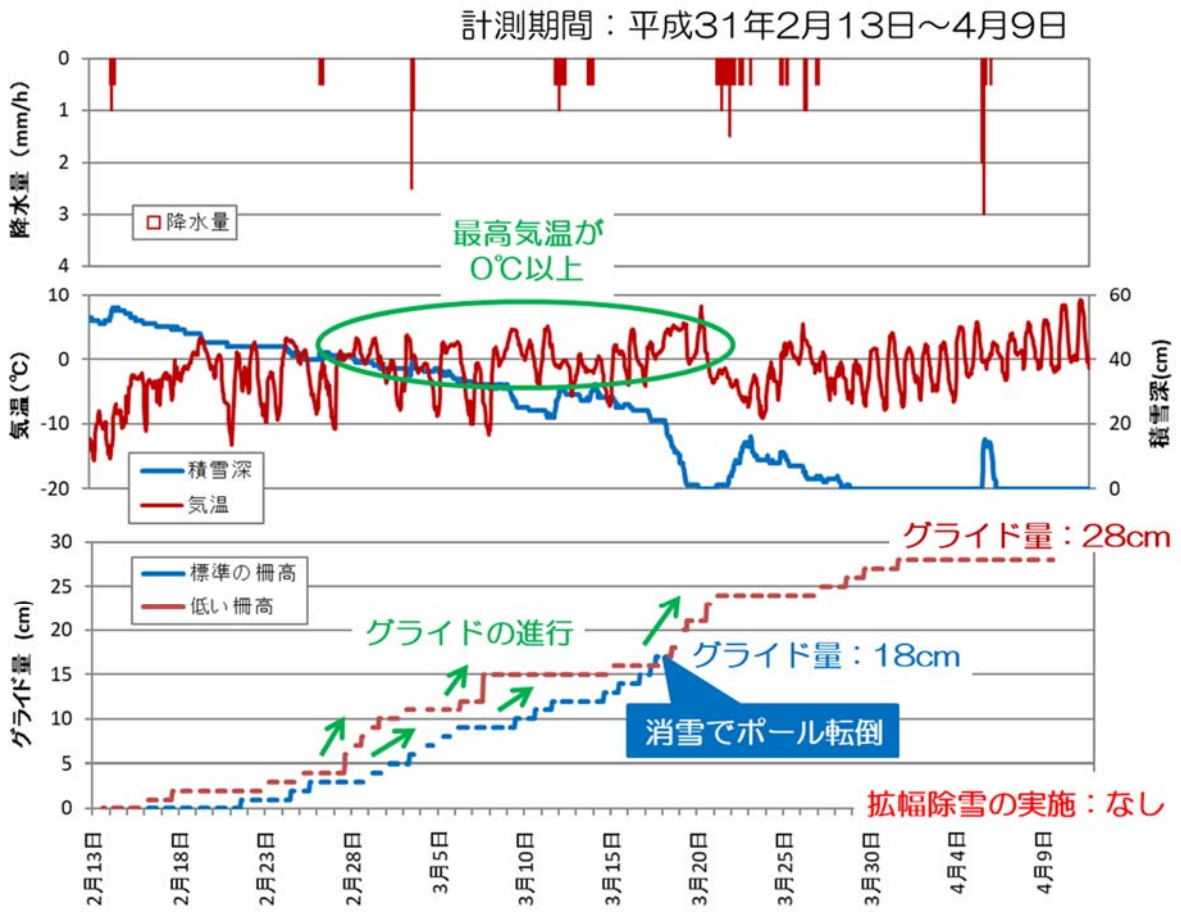


図 7.5　グライド量と豊富アメダスの気象時系列（平成 30 年度冬期）

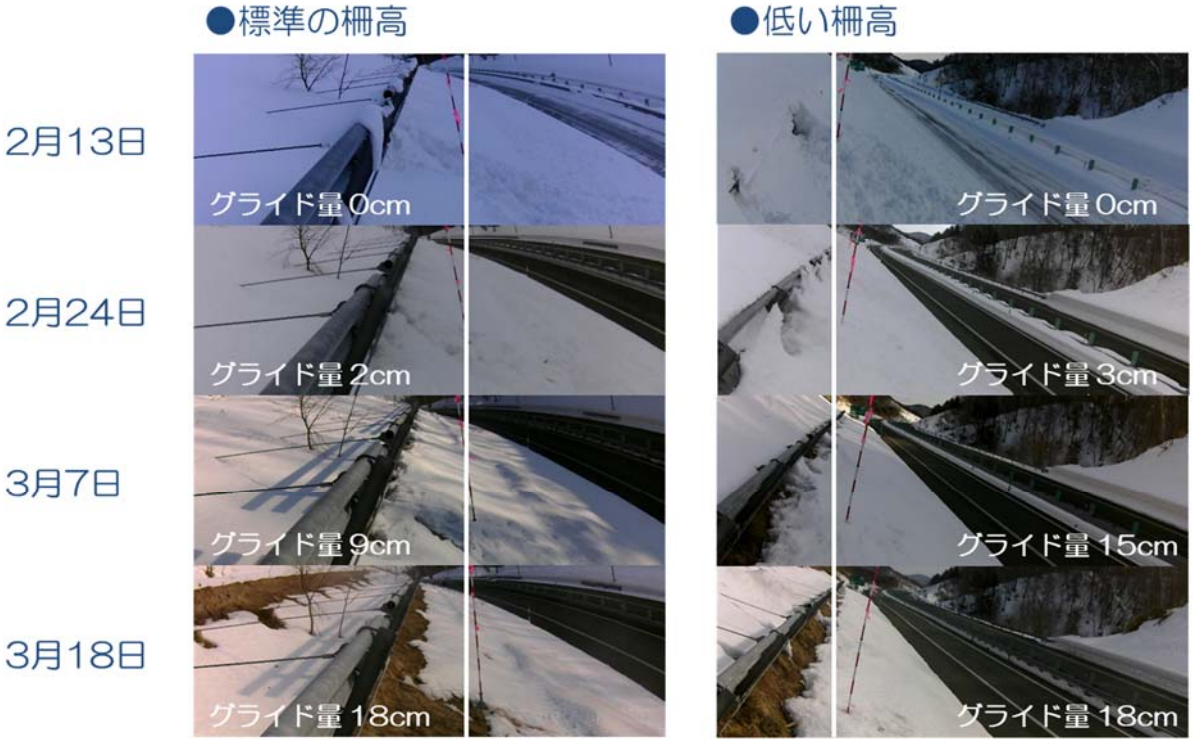


図 7.6　連続静止画から抜粋整理したグライドの進行状況（平成 30 年度冬期）

(2)　R276 号 清陵での試験結果

試験の実施位置と、計測箇所に設置されているグライド防止杭の概要を図 7.7 に示す。試験は、グライド防止杭が設置されている箇所と設置されていない箇所、計 2 箇所で実施した。

図 7.7　試験位置と計測箇所に設置されているグライド防止柵の概要

グライド計測の結果と大滝アメダスにおける気象時系列を図 7.8 に整理した。

当該地区では平成 29 年度 3 月にも予備計測を行っているが、平成 30 年度と同じ傾向を示しているため、ここでは、計測期間の長い、平成 30 年度冬期の結果を整理・掲載した。

平成 30 年度冬期の計測結果から、グライド量は防止杭が設置されていない箇所で大きくなる傾向にある。また、グライドは気温の上昇とともに進行する傾向があるほか、拡幅除雪の実施とともに進行する可能性が示唆される。

図 7.9 には、連続静止画から抜粋整理したグライドの進行状況を写真にて示した。観測の開始以降、グライド防止杭の設置されていない箇所でのグライド進行が早いことが分かる。

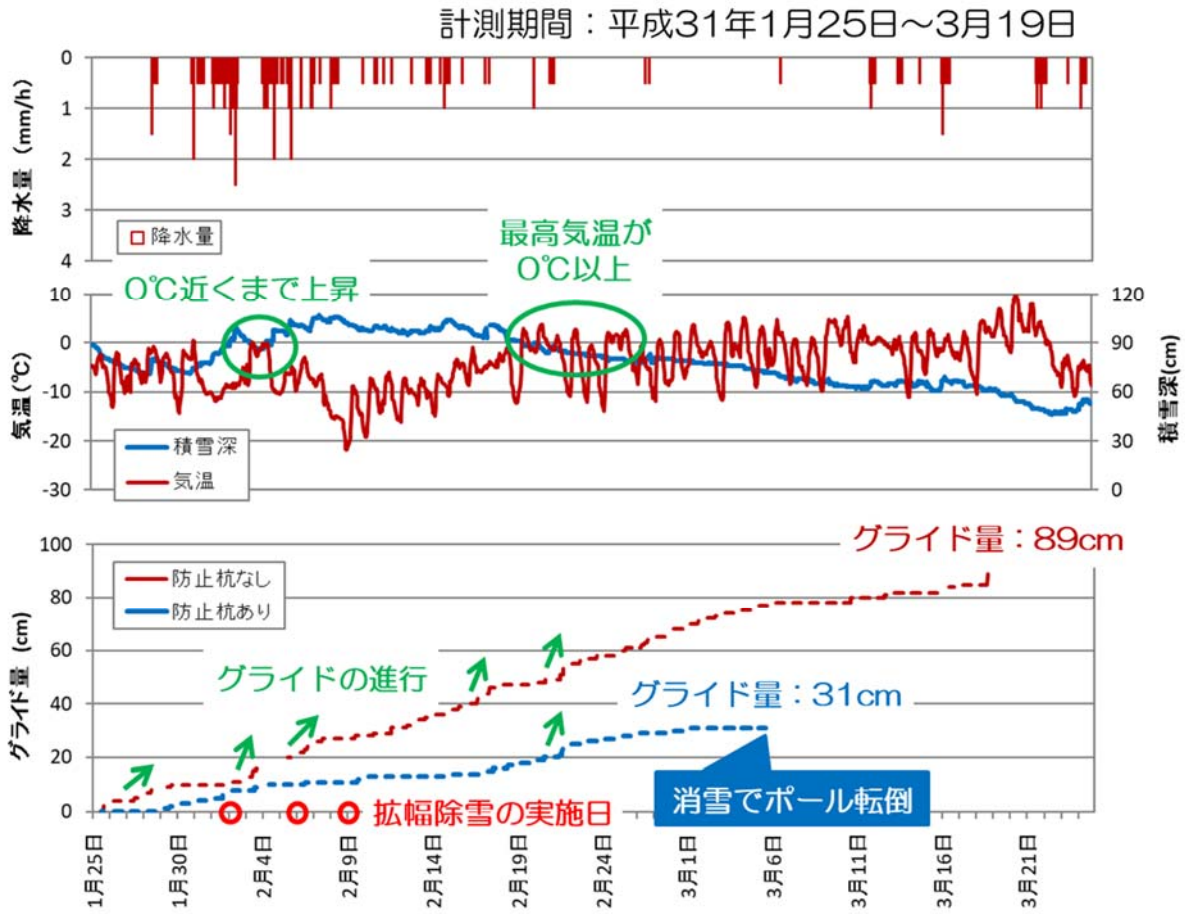


図 7.8　グライド量と大滝アメダスの気象時系列（平成 30 年度冬期）

図 7.9　連続静止画から抜粋整理したグライドの進行状況（平成 30 年度冬期）

7.2.5 現段階でのまとめ

R40 号 豊富・幌富 BP でのグライド計測は、1 シーズンの試験を行ったものの小雪傾向であったため、次冬期も同様の調査を継続していく予定である。

R276 号 清陵でのグライド計測は、2 シーズンの試験を行い、概ね目的を達成したと考えられる。よって、当該箇所での試験は完了とし、今後、適切な除雪手法の一事例として取りまとめを進めていく予定である。取りまとめに際しては、これまでに収集・整理してきた以下の要素をもとに考察を行い、以前に取りまとめた「北海道の雪崩に対する道路管理の手引き（案）」に加筆することを想定している。

① 現地でのグライド計測結果
② 道路事務所へのヒアリング調査結果
③ 法面下部の雪崩事例の収集結果
④ その他の既存資料（知見）

なお、現時点までの整理では、以下のことが言える。

・拡幅除雪によって雪崩が発生する事象は確認されなかった。
・現在の除雪方法（一定程度、路側の雪堤を残して法面積雪を抑える方法）は適当と考えられるが、維持業者に対して改めて詳細なヒアリングを行い確認する必要がある。
・拡幅除雪の実施後にグライドの進行が見られるため、直接的な影響とは断言できないものの、拡幅がグライド、ひいては雪崩発生に影響を与える可能性はある。
・1 事例のみの観測結果ではあるが、グライド防止杭の効果は確認された。

7.3　ドローンを用いた雪崩調査の取り組み

7.3.1　目的

これまでのヒアリング調査において、雪崩に対する道路管理の現場では「融雪期の全層雪崩を対象とした事前通行規制の判断基準がなくて困っている」「面積や道路との比高が大きい発生区の場合、グライド量やクラック等の斜面積雪性状を把握することが困難である」といった課題が示されていた。前者に関して、融雪期の全層雪崩は前兆現象としてクラックやグライドが発生することが知られている。またグライドと雪崩発生の関係についての既往研究も少ないながら存在する。しかし、道路管理の現場で通行規制の判断に活用できるまでの知見が得られているとは言い難い。また、それらの知見が得られたとしても、後者にある課題のように、それが確認・評価できなければ基準等を運用することは難しい。

一方で、昨今 UAV（ドローン）を活用した測量技術の進展があり、災害現場での活用や公共測量での活用に向けた取り組みが盛んになっている。また、研究段階ではあるが、雪氷分野でも形状計測に関して様々な取り組みがなされている。

最終的には、融雪期の全層雪崩の危険度評価、通行規制の判断基準を道路管理の現場に提供することを目的として、平成 30 年度冬期に、旧道自然斜面において斜面積雪形状やその変化を UAV を用いて捉えることを試みた。今後も継続して観測調査を行い、UAV による雪崩斜面の積雪形状とその変化をとらえるための技術確認、全層雪崩の危険性を判断するのに必要な観測及び解析精度の評価、そして活用方法について検討を続けていく。

7.3.2　融雪期の斜面積雪の調査結果

(1)　調査概要

①　概要

調査箇所　：　R5 号　忍路（旧道）　※図 7.10 に示す。
斜面概要　：　比高差 70m、勾配 40°
調査回数　：　4 回（3/8、3/13、3/25、4/18 に実施）
使用機体　：　3 種類（ Phantom4 Pro、Inspire2+X5S(15 ㎜) 、Phantom4 Pro RTK ）
解析内容　：　SfM を用いて DEM（積雪面標高）とオルソ画像を作成

図 7.10　UAV による積雪調査個所（R5 号忍路：旧道）

② 調査の手順

1) 撮影コース設定（図 7.11 の範囲で飛ぶコースの設定）

2) GCP（対空標識）設置　⇒ 道路上に 4 点設置

3) 安全確認飛行

4) 撮影

5) 解析

⇒2 回目以降は 4)5)を繰り返す

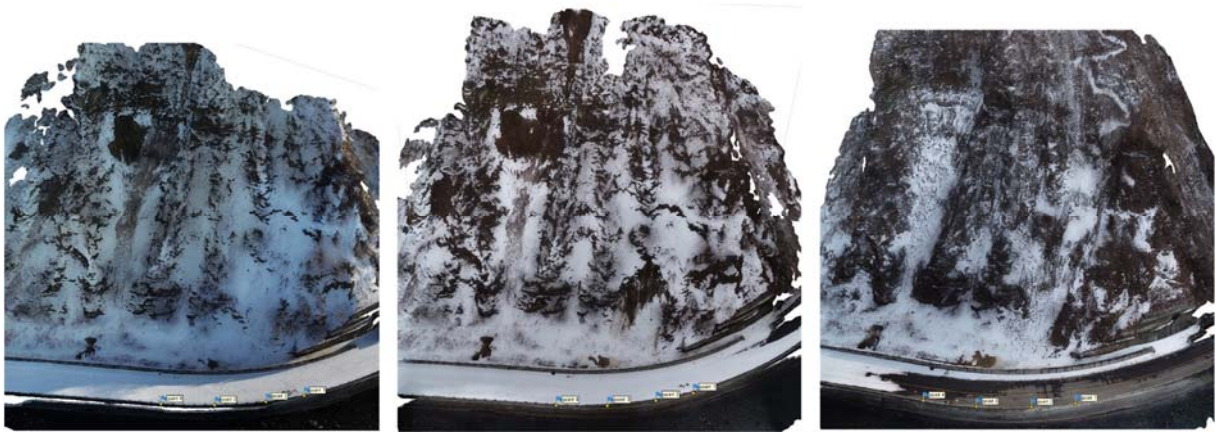
図 7.11　積雪調査範囲

(2) 調査結果

調査概要にあるように、今回は機種による比較をみるために 3 種類のドローンを使用したが、ここでは最も市場性が高く利用されている「Phantom4 Pro」の調査結果を示す。

① 斜面積雪の変化

3 月に実施した 3 回の調査時のオルソ画像を示す。既に 8 日には斜面上部で雪崩発生痕（地山露出部から走路）がみられ、13 日には各所でクラックが広がり斜面下部でも全層雪崩の痕が確認できる。25 日は雪解けが進み、4 月実施時にはほぼ積雪がない状態であった。



3 月 8 日　　3 月 13 日　　3 月 25 日

図 7.12　斜面積雪の変化

② 解析結果（DEM）

解析結果を図 7.13 に示す。上段が 3 月 8 日で下段が 1 週間後の 13 日である。左が SfM を用いて解析した標高データ（DEM）、右がオルソ画像である。8 日には、画像で赤丸で囲ったグライドと中央部に白枠で囲ったスノーボールの痕跡がみられ、それと対応して DEM にも、筋状のクラック痕とスノーボールの筋が確認できる。13 日には、斜面下部の全層雪崩のデブリがみられ、DEM で赤丸の範囲に 8 日にはなかった凹凸模様が解析された。これがデブリである。この結果から、オルソ画像でクラックやデブリ、スノーボールを目認することは容易であり DEM にもその痕跡は表現されることがわかった。ただし、DEM だけでそれを判読できるかというと、この事例では困難と言わざるを得ない。

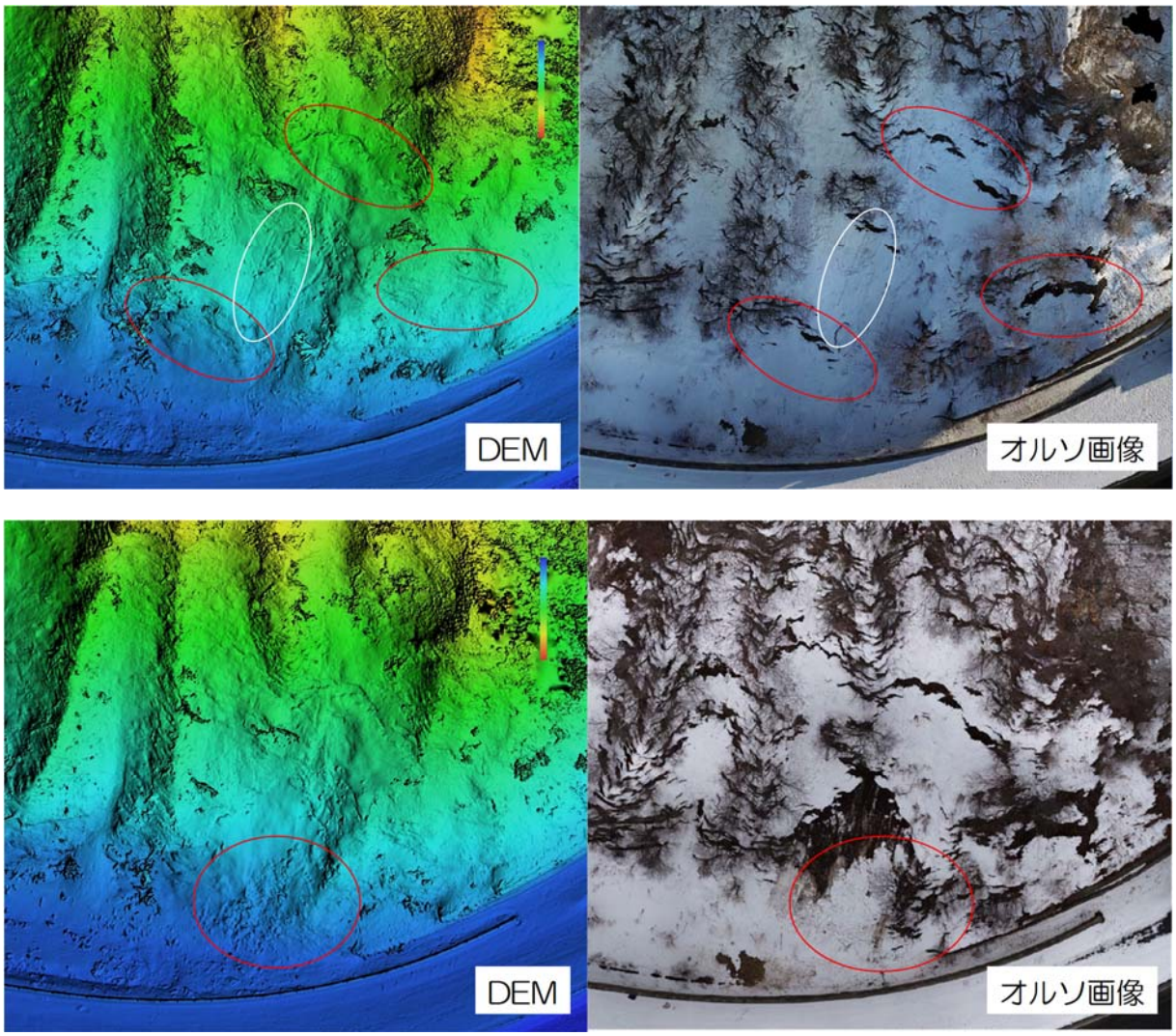


図 7.13　3 月 8 日（上段）と 3 月 13 日（下段）の DEM（左）とオルソ画像（右）

③ 解析結果（DEM の差分）

DEM のデータの差分をとることで比高の増減がわかり、その結果から積雪変状の様子を知ることができると考えられる。図 7.14 に 3 月 8 日と 3 月 13 日の差分を色で表現した（暖色は比高差が正の領域、寒色は比高差が負の領域である）。これをみると、一番上の赤丸に横方向に若干濃い青い領域が見える。これは、もともと積雪があった領域で数十 cm 積雪が減少しているという

ことで、クラックが広がったとみることができる（実際に図 7.13 でそれは確認できる）。斜面下部では、全層雪崩発生によって、発生区は積雪深が減少し地山の露出が示唆されている。またその直下では 70cm 近く積雪深が増加しており、これは堆積したデブリであることがわかる。

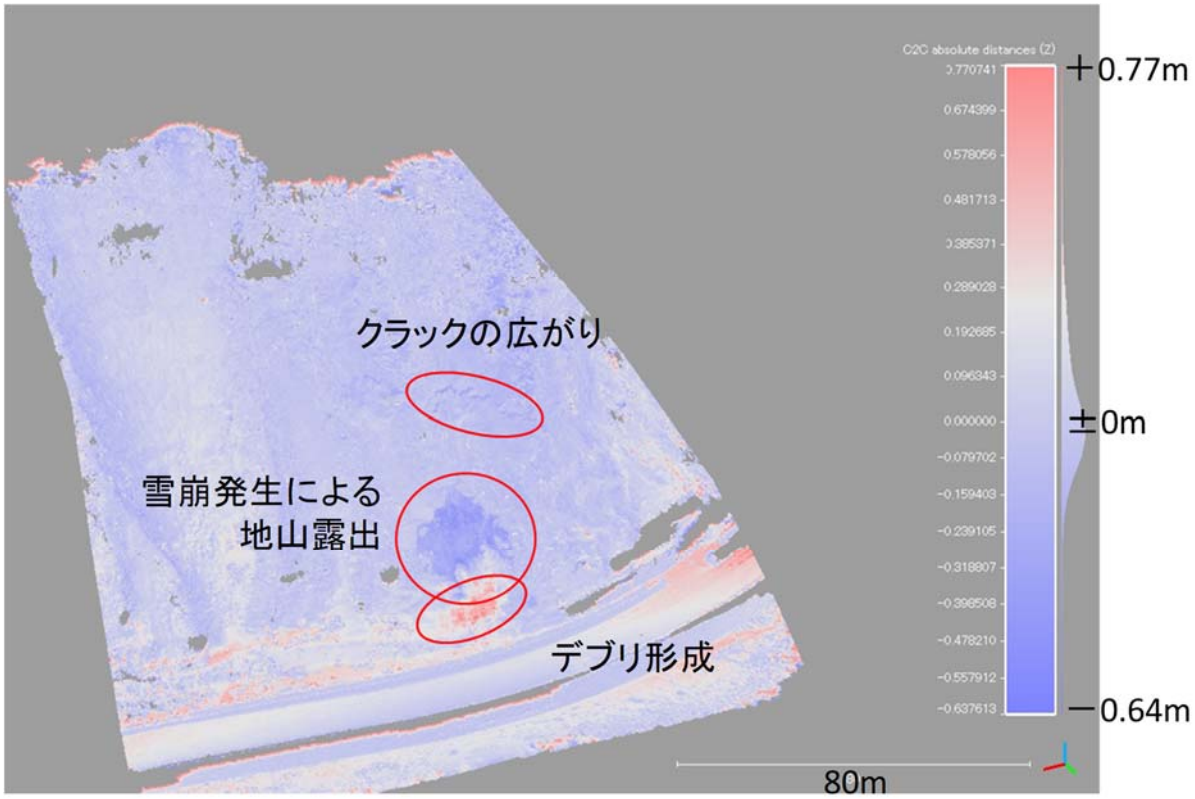


図 7.14　3 月 8 日と 3 月 13 日の DEM の差分
※暖色域は比高差が正、寒色域は比高差が負

④　調査結果のまとめ

融雪期の斜面積雪を対象に、その変化を捉えるため 4 回のドローン計測及び解析を実施した。その結果、以下のことが明らかになった。

・斜面積雪の変状が顕著な融雪期では、オルソ画像によってその様子が明瞭に把握可能
・解析した DEM でも積雪変状が推定できるが、写真と比較しないと断定は困難
・DEM の差分をとることで、前回と比べて積雪がどの程度変状したのか、ある程度定量的にみることは可能。ただし写真と合わせ見る必要があり、また、その精度確認も必要になる。

7.3.3　課題と今後の予定

今回、ドローンによる雪崩調査の予備調査を行い、斜面積雪の性状及びその変化の計測の可能性を検討した。その結果、以下の課題が明らかになった。

① 精度の確保

画像重ね合わせに際して垂直精度を確保するため、GCP（対空標識）の設定に関して以下の課題があると考えられる。

・道路側に GCP を与えただけでは、モデルが傾いて重ね合わせができないため、山側に何か

評定できるものが必要。

・RTK 搭載型ではこの問題は解消できると考えられるが、機器が高価である。また、現状、自動航行では等高度の飛行しかできないため斜面下部では画像の精度が粗くなるおそれがある。

② 求める精度の明確化

今回は、精度検証は対象外としていたが、以下のことが明らかになった。

・撮影する対地高度によって得られる精度は異なる。

・今回撮影した対地高度 30m では、1cm 程度の水平解像度が得られる。

・ただしその場合、撮影した写真は 370 枚となり、写真処理に 10 時間を要した

①に述べたことも含めて精度に関して今後検討が必要になる。その際は、画像やデータを利用する際の使い方を想定して、それぞれの使い方に必要な垂直・水平精度を明確にすることが望まれる。