

車載カメラを用いた 斜面積雪の状態把握手法について

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム

○吉井 昭博
松下 拓樹
西村 敦史

雪崩予防柵に発生する巻きだれの大きさや積雪の増加量、クラック発生などの斜面積雪状態を把握する手法の開発が求められている。また、計測手間やコスト負担を軽減できる安価な技術が求められている。そこで筆者らは、車載カメラで撮影された画像を用いた積雪斜面の形状把握手法を開発した。この方法は1つのカメラを利用して空間差分から斜面の雪面形状を描写する点群データを取得する手法で、安価で簡易に調査できるものである。

キーワード：雪崩対策、コスト縮減、車載カメラ、カメラ画像、点群データ

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期道路交通の安全確保において、吹雪や雪崩、大雪等の障害への対策は重要である。これらの障害のうち北海道の国道において発生頻度の高い雪崩は、降雪に伴う乾雪表層雪崩（新雪雪崩）と融雪や降雨に伴う湿雪全層雪崩である。降雪に伴う乾雪表層雪崩は12～3月の厳冬期を中心に発生し、湿雪全層雪崩は3～4月の融雪期に多いが1月や2月でも発生する。このような雪崩に対して、冬期道路交通の安全確保を図る対策として、雪崩予防柵などの施設による対策¹⁾と通行規制（通行止め）や斜面除雪などの管理による対策²⁾が行われている。

管理による対策では、気象や積雪の状況等から雪崩発生の可能性が検討されている³⁾。ここで、雪崩が発生する条件の多くは、主に降雪中の雪崩が発生するタイミングに注目されていた³⁾。降雪深と積雪深の関係や時間降雪深（降雪強度）と降り始めから雪崩が発生するまでの時間との関係、24時間降水量と斜面勾配に基づく雪崩発生条件、短時間の多量降雪に伴う雪崩を対象とした24時間降雪深と気温に基づく雪崩発生条件、雪崩発生の植生条件等である。

一方、写真-1に示すように、降雪が止んだ後に雪崩が発生する可能性と通行止めの解除の判断に資する検討はほとんど行われていない。現在では、経験に基づき北海道の国道における雪崩による通行規制の解除は、降雪の終息後少なくとも6時間程度経過した後に行うものとしている。しかし、その根拠は明確ではなく、理論的な検討に基づく妥当性の確認が必要である⁴⁾。そこで筆者らは、降雪前後の斜面

積雪状態が雪崩の発生に寄与する可能性を鑑み、車載カメラ等を使用した斜面積雪の状態を把握するため、画像を取得・解析する手法を開発した（以下；車載カメラ計測とする⁵⁾）。

本論文では、車載カメラ計測にて、斜面積雪の形状を点群データに変換可能な画像データを得るために必要な計測条件を現地調査にて検討した結果を報告する。



写真-1 降雪後の斜面積雪状況の例

2. 車載カメラ計測法と課題

過年度の調査⁶⁾における車載カメラ計測の二乗平均平方根誤差RMSEは、図-1に示すようにUAV写真計測やレーザー計測に比べ大きい結果となった。この原因は、舗装されていない地面による凹凸や除雪による積雪路面状態も影響し、車両の揺れが大きくなったこと、および計測用カメラに手振れ防止機能がなく滑らかな画像にならなかったことが挙げられる。また、過年度の調査では高さ3m程度の斜面を撮影したが、実際に雪崩が発生するような斜面の撮影可能範囲について十分に調査することができなかった。

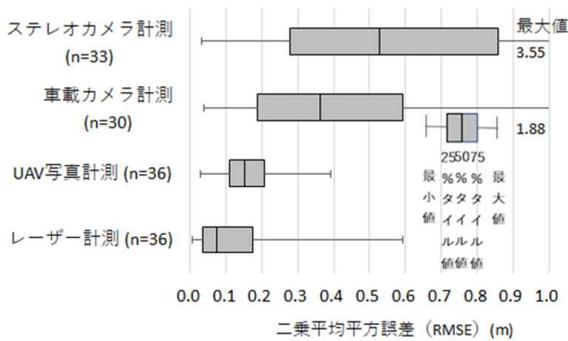


図-1 計測手法ごとのRMSE分布

3. 今回の車載カメラ計測の概要

車載カメラ計測は道路巡回時に行うことを想定しているため、使用車種はSUV車（車高1.8m程度）とした（写真-2）。積雪の多い一般国道の斜面を手振れ防止機能付きの広角カメラを使用し調査することとした。測定箇所は一般国道230号中山峠の頂上付近15km程度の区間とした。走行速度は、交通流に合わせた走行速度である60km/h程度とした。ビデオカメラの設置は前回調査と同等の雲台を自動車の屋根に撮影しやすい位置（運転手席上部、助手席上部、助手席側後方上部）に設置した（写真-2）。現地調査は2023年2月10日、28日、3月9日の3日間に行い、天候は、晴れ、曇り、霧の3種類で撮影した。



写真-2 SUV車に設置したビデオカメラ

4. 車載カメラの選定について

前回調査⁹⁾では、国内メーカーの汎用的なビデオカメラ（ソニー ハンディカム）を使用した。将来的に画像データをPCに保存することや車載カメラ計測を道路巡回時に行うことを想定しているため、車に装着可能なドライビングレコーダを使用検討した。しかしながら、ドライビングレコーダは解像度がビデオカメラに比べ低いことや車のフロントガラスの湾曲により画像がひずんでしまうことから、点群データを作成することができなかった。そこで今回はYouTube等で使用されている汎用的なビデオカメラ（Go pro7,8）を測定車の屋根に設置して斜面積雪を撮影することとした。その結果、古いタイプのビデオカメラ（Go pro7）は手振れ防止機能が古い上に、撮影した画像にひずみが生じるため（写真-3.4）点群データは作成できなかったが、新しいタイプのビデオカメラ（Go pro8）を設置することで点群データを作成することができた（図-2）。作成されたデータは、除雪跡や雪崩予防柵の形状をとらえており、カメラからの距離が比較的近い部分の斜面積雪の形状を把握するのに役立つと考えられる。

カメラの設置位置は今回計測した3つの測定位置（図-3）のうち、運転席上から撮影したものが法面形状を捉えることができた。なお、カメラ設定は初期設定のままとしている。



写真-4 ボールペンの新旧カメラ画像（近接）

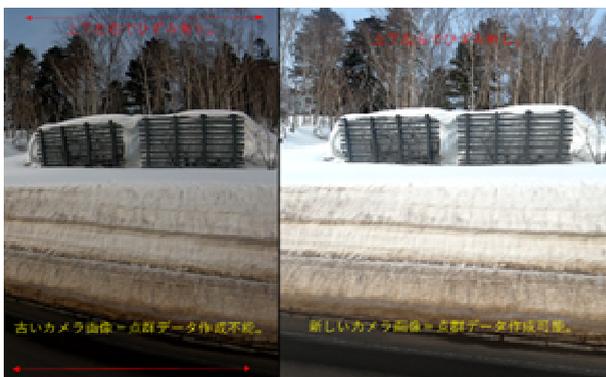


写真-3 現地における新旧カメラ画像（全景）

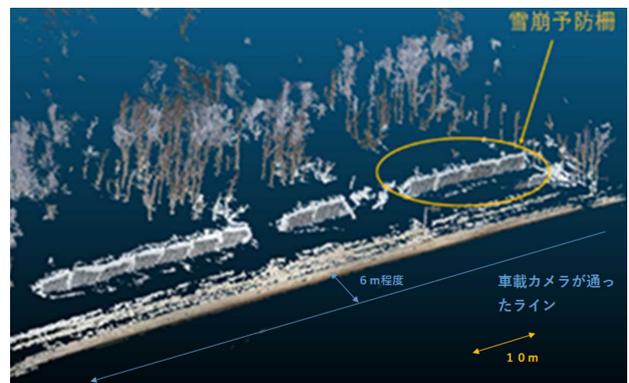
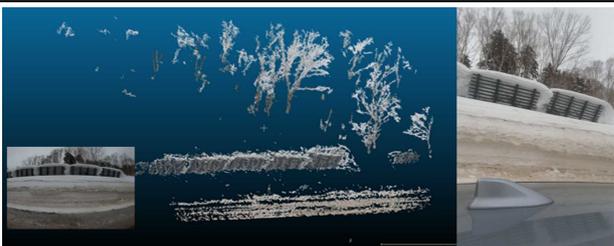
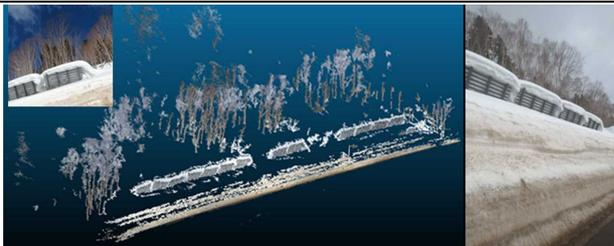
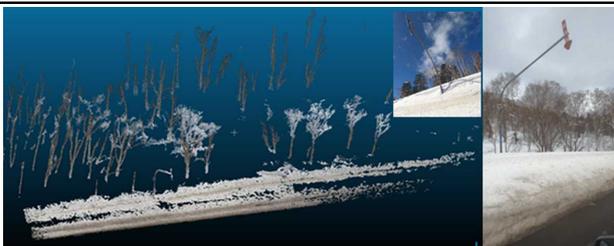
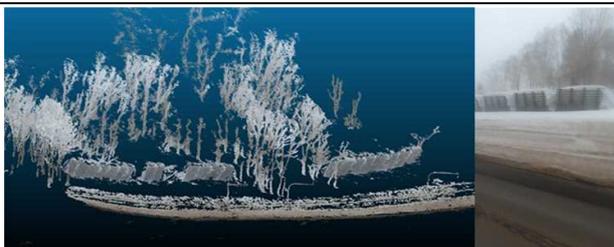


図-2 作成された点群の図面

表-1 天気による撮影画像と点群データと諸条件

撮影日	撮影画像と点群データ	天候	カメラ角度	車の位置	備考
2023年2月10日		曇り (計測時は午後2:30頃)	・垂直角度=水平(0°) ・水平角度=対象物に対して0°もしくは30°程度	山から見て下り(頂上一定山溪)	・左の写真は古いビデオカメラ撮影画像。上下左右で画像がひずんでいるため、以降は新しいビデオカメラで撮影する。 ・運転席後方席上から撮影すると測定車の車屋根が入るので、助手席上にカメラをつけて測定することにした。 ・車の一部が映り込むと車の形状の点群データが出来てしまうため画像のトリミングが必要になる。
2023年2月28日		晴れ (計測時は10:00頃)	・垂直角度=ローアングル10°程度 ・水平角度=対象物に対して45°程度	山から見て下り(頂上一定山溪)	・左の写真は晴れているときの画像。晴れていても点群データを求めることが可能。 ・直射日光が画像に入っている状態では色飛びして点群データができない。 ・雪崩防止策の裏は画像として撮れないので、点群データはできない。 ・本画像は、法頭まで画像が映らないので、次回は反対車線から撮影した。
2023年2月28日		晴れ (計測時は10:00頃)	・垂直角度=ローアングル10°程度 ・水平角度=対象物に対して45°程度	山から見て下り(頂上一定山溪)	・雪崩防止策が無い状態も点群データを取得することができる。 ・除雪された跡には、汚れ(右の写真の雪の層)があるためこの部分は点群データが多く撮れている。 ・矢羽根等の構造物も点群データを表示できる。
2023年3月9日		モヤ (視界300m程度:午後2:00頃)	・垂直角度=ローアングル10°程度 ・水平角度=対象物に対して45°程度	山から見て上り(一定山溪→頂上)	・気象が悪くても、カメラで見える範囲であれば点群データを取得できる。 ・反対車線から撮影すると対向車が時々入るが、運転席上の屋根から撮影すると、法面のさらに上部にも点群データを取得することができる。 ・対向車線から撮影すると対向車がノイズとして入ってくるが、その画像を取り除けば点群データを取得できる。

5. 撮影時の天候について

前回調査⁹⁾にて、天候が晴れの場合、太陽光の反射により色飛びが発生することで主に斜面の勾配変化点における点群データが取れなくなる欠点があったことや、雪や霧の場合で肉眼でも見えない状況では点群データが取れない結果となったことから、今回は晴れ、曇り及び霧(視界300m程度)の気象条件下で計測した(表-1)。その結果、晴れ、曇り、霧の条件すべてで点群データを取得できた。晴れの条件下でも点群データを取得できた要因は、前回の調査に比べて時速60km/h程度の高速移動での撮影のため、太陽の反射角以外の角度のデータも撮れており、低速では撮れないデータが補完されたためと考えられる。

また、今回の計測では肉眼で300m程度の視程がある霧であったため、人が運転可能な条件下では、ある程度画像が撮れていれば白く見えていても点群データを取得できると考えられる。

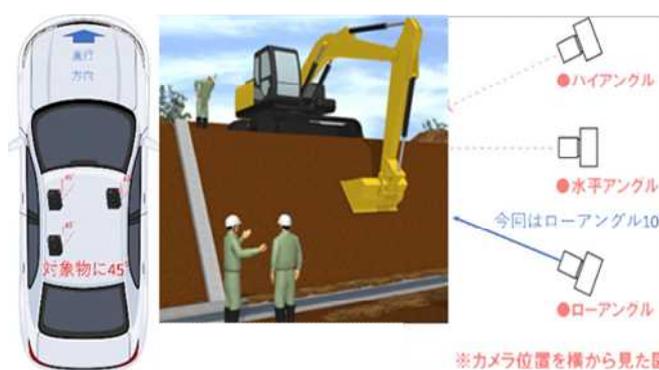


図-3 カメラの角度と設置位置



図-4 点群ソフトのエラー画面

6. 点群作成ソフト等による加工と設定

今回の調査で撮影した画像は、約 15 分の撮影で道路延長にして 15km 程度の長さとなる。今回の計測対象範囲は 100m~200m であるため、その計測対象画像の撮影時間は 6~12 秒となる。計測対象画像を切り分けてから画像処理する必要があるため画像のトリミングを行った。トリミングでは、汎用的なソフト（ウインドウズフォト）を使用し目視により計測対象箇所を選択する。トリミングした動画画像から対向車等が映り込んでいる画像等を削除し、汎用的な点群作成ソフト（PIX4D）にて S F M / M V S 処理することで対象法面の点群データを取得することができた（表-1）。なお、ソフトの設定は任意の座標系、標準 3 D モデル、ラスターデータ解析を選択し、それ以外はデフォルト設定とした。また、点群作成ソフトは画像処理に失敗するとエラーを起し、点群データを取得できないこともある（図-4）。

画像処理に失敗する例としては、端部にひずみがある画像、車の中から撮っている画像、障害物が映っている画像、カーブで撮影した画像がある。撮影画像の容量としては、15 分撮影で 7~8GB 程度となるが、計測対象斜面の道路延長が 100~200m であれば、約 50~100MB（拡張子。MP4）となる。32GB の SD カードがあれば 60km/h の走行で約 1 時間（約 60km）の撮影が可能である。

7. まとめ

今回の調査では、斜面積雪形状を計測できる安価で簡易な手法の提案を行った。この手法を道路巡回時に行うことで、斜面積雪形状を推定しやすくなり、雪崩発生等の可能性の把握に活用できる可能性があると考えられる。

これにより、動画等を活用した防災減災対策及び道路維持管理の高度化・効率化に寄与できると考えられる。

8. 今後の展開

今や i-phone や i pad のカメラとアプリケーションでも画像データより点群データを作成することが可能となっている⁹⁾ため、もっと安価に画像データから点群データを取得できる可能性がある。

点群データをさらに高度化するために、雪崩予防柵などに基準点（的）を設置すると座標情報（緯度経度や寸法の情報）を関連付けて詳細なデータが取得でき、処理時間が短くなると予想される。ただし、カメラ撮影範囲しかデータ作成できないので、道路から見えない部分は U A V 等を使用し調査を行う必要がある。

また、計測箇所によっては、無雪期の 2 万 5 千分の 1 標高地形図が国土地理院 HP に掲載されていることから、このデータの活用により全体的な積雪状況を割り出す方法も考えられる。

参考文献

- 1) 寒地土木研究所：北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料(案), 2010. 3
https://www2.ceri.go.jp/snow/gijyutu/base_of_avalanche.pdf (2023. 10. 5 閲覧)
- 2) 北海道道路管理技術センター 道路管理技術委員会 道路・情報部会：北海道の雪崩に対する道路管理の手引き(案), 2017.
- 3) 砂防学会(監修)：雪崩対策, 山海堂, 1993. 2, 328
- 4) 松下拓樹, 吉井昭博, 西村敦史：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, 2022. 6, 20-28
- 5) 吉井昭博, 松下拓樹, 西村敦史：斜面の積雪深計測手法に関する検討, 第 38 回寒地シンポジウム, 報告論文, 2022. 11, 170-175
- 6) 歳桃勇樹, 黄瀬雅巳, 白井紀之：LiDAR 活用による除排雪業務効率化, ゆきみらい研究発表会, 応募論文, 2022. 11,