

モバイル端末による路肩堆雪計測技術の適用性について

飯田 美喜*1 吉田 智*1

1. はじめに

積雪寒冷地では冬期間の道路に形成される路肩堆雪により道路の有効幅員が減少する。この有効幅員の減少が交通渋滞を誘発し、冬期間の道路交通サービスを低下させる要因の一つとなっている¹⁾。これを解消し、安全で快適な交通流を確保するため、道路管理者は、路肩に堆雪した雪をロータリ除雪車等でダンプトラック（以後、「ダンプ」という。）に積載し、雪堆積場へ運ぶ運搬排雪作業を実施している。この運搬排雪作業の実施には、ダンプの手配や、交通誘導員等を配置する必要があるため、運搬排雪作業を実施する時期などの作業計画立案には、除雪作業従事者の豊富な経験が求められる。しかし、昨今、労働人口の減少及び高齢化に伴う退職が懸念される中²⁾、経験に依存しない運搬排雪作業の計画立案を支援する取組が必要である。そこで、寒地土木研究所では、路肩堆雪の形状から運搬排雪作業の計画立案を支援する技術開発について検討している。

本稿では、路肩堆雪を計測するため、モバイル端末に搭載されたカメラ及びLiDARを用いて簡易的に路肩堆雪形状を計測する技術の適用性について検証した（写真1）。

2. 検証概要

路肩の堆雪状況から運搬排雪作業の実施時期や工法について計画立案を支援するため、一般に広く普及しているモバイル端末に搭載されているカメラやLiDARで路肩堆雪形状の3次元点群（以後、「点群」という。）を取得し、その点群から堆雪形状の計測が可能であるかを検証した。検証には、カメラ画像からのStructure from Motion（以後、

「SfM」という。）処理、及びLiDARによるセンシングから路肩堆雪形状の点群が得られるのかを確認した。なお、得られた点群形状の精度を確認するため、トータルステーション（以後、「TS」という。）でも同一箇所の堆雪形状を計測し、センシングで得られた堆雪形状の点群から断面を抽出後、TS計測値と堆雪の高さを比較検証した。

3. 路肩堆雪形状計測技術の検証

3.1 カメラ画像のSfM処理及びLiDARによる検証

堆雪形状の点群が連続的に取得可能であるかを確認するため、2023年1月23日～2月22日（計測回数6回：1月23日、27日、2月3日、8日、17日、22日）に、札幌市内及び北広島市内の国道（3箇所）において、モバイル端末（iPad Pro（第6世代））を用いて堆雪形状を計測した（図1、2）。

カメラ画像によるSfM処理では、歩道側から車道側方向へモバイル端末を移動させながら、堆雪表面の動画を撮影し、動画から静止画を抽出し、SfM処理により点群を作成した。作成には、PC上でContextCaptureを用いて静止画を抽出し、SfM処理を実施した。

LiDARは、3D Scanner Appを用いて、SfM処理と同様にモバイル端末を動かし、堆雪表面をセンシングして点群を作成した。

取得した点群を目視にて確認した結果、カメラ画像のSfM処理では、堆雪形状の一部に欠損や歪みが生じ、断面形状が網羅的に取得できていない場合があった（図3）。そ



写真1 堆雪形状計測作業イメージ



No	路線	距離標	LR	住所	車線数（片側）
①	5	269.08	L	札幌市手稲区富岡2条3丁目	2
②	274	14.95	L	札幌市厚別区大谷地東6丁目	3
③	274	17.37	L	北広島市虹ヶ丘1丁目	2

図1 計測箇所図（基図に国土地理院地図を使用）

の原因として SfM 処理には各画像間で同じ点を映しているピクセルを探索する必要があるが、堆雪面では表面のテクスチャ情報に乏しく、同一地点を映すピクセルを探索できないことが考えられる（図 3、表 1）。

LiDAR は対象物にレーザーを照射し、対象物からの反射光の時間差により距離を計測するため、十分な点密度が確保されない箇所（水面・水たまり等）は不得意と言われているが³⁾、モバイル端末の LiDAR を用いて堆雪形状をセンシングしたところ、連続的に堆雪形状の点群の取得が可能であった（図 4）。

3. 2 LiDAR センシングと TS 計測の比較検証

前節の SfM 処理では、連続的に堆雪の点群が得られなかったが、LiDAR では連続的に点群が取得できた。この得られた点群の精度を確認するため、LiDAR センシングと TS 計

測による堆雪形状を重ね合わせ、高さについて比較検証した。

PC 上で CloudCompare を用いて、得られた点群を計測箇所から道路延長方向に 1.0m（計測箇所から前後 0.5m ずつ）切り出し、道路横断面の最も低い平面を車道面、2 番目に低い平面を歩道面と仮定した（図 5）。抽出した点群の堆雪断面形状と TS 計測による堆雪断面形状の重ね合わせ図を作成するため、垂直方向では LiDAR センシングの歩道面と TS 計測の歩道面高さを一致させた。その後、水平方向は LiDAR で得られた点群と TS 計測で得られた歩道部の堆雪境界を目視により合わせ、重ね合わせ図を作成した結果、概ね同様の堆雪形状であることを確認した（図 6）。

さらに、抽出した堆雪断面形状から、歩道部を基準とした堆雪の高さの最大値を算出し TS 計測値と比較した結果、誤差の平均値は 2 割となり、17 件のうち 14 件で TS 計測値より LiDAR 計測値が小さくなる傾向があった（表 2）。この理由として、LiDAR が堆雪表面を透過している場合や、LiDAR で得られた歩道面と本来の歩道面を重ね合わせる際、歩道上の雪の厚みの分、堆雪の高さが小さくなったと考えられる。また、堆雪の高さ 0.08m（TS 計測値）での誤差が

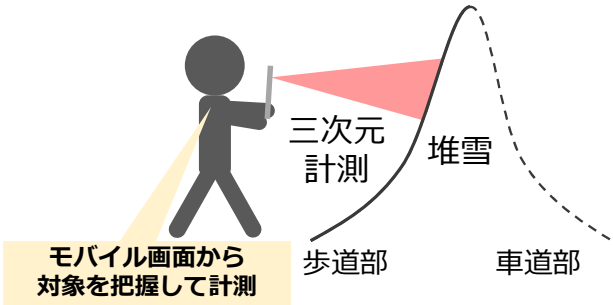


図 2 モバイル端末による堆雪形状計測作業イメージ

表 1 カメラ画像の取得画像数（R274、KP17.37）

計測日 (令和5年)	動画時間 (秒)	取得画像 (数)	特徴点对応 画像 (数)
1月23日	112	101	55
1月27日	74	103	69
2月3日	79	102	96
2月8日	67	102	92
2月17日	63	101	97
2月22日	41	101	76



（2月3日、R274、KP17.37、特徴点对応画像数：96）



（2月8日、R274、KP17.37、特徴点对応画像数：92）



図 4 LiDAR による堆雪の点群
（上：鳥瞰図、下：道路横断方向への断面図）

図 3 SfM 処理による堆雪の点群

大きくなっている理由として、LiDAR で得られた点群の高さを求める際、切り出した道路横断面点群の中間点で高さを求めたが、その点群に厚みが生じたと考えられる。この計測値を異常値として除いた結果、誤差の平均値は 1 割以下となり（表 3）、LiDAR センシングは簡易的な堆雪形状計測技術として適用できる可能性を確認した。なお、正確な堆雪形状を把握するためには、歩道面と車道面を正確にセンシングする必要がある。

4. 大きな堆雪での堆雪形状計測技術の検証

4. 1 LiDAR による堆雪断面形状の計測方法

前章では、作業員の背丈より低い路肩堆雪において、LiDAR で堆雪形状を正確にセンシングできることを確認した。4 章では、路肩に形成される堆雪が作業員の背丈より大きくなることを想定し、背丈を超える堆雪に対しても、LiDAR で簡易的に計測可能なのか検証した。

まず、背丈を超える堆雪において、堆雪形状を連続的に取得可能であるかを確認するため、寒地土木研究所構内に

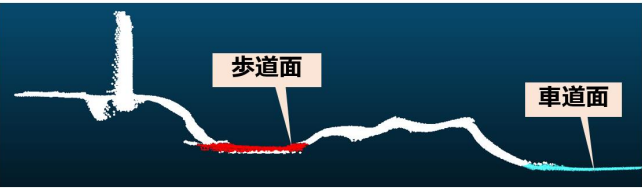
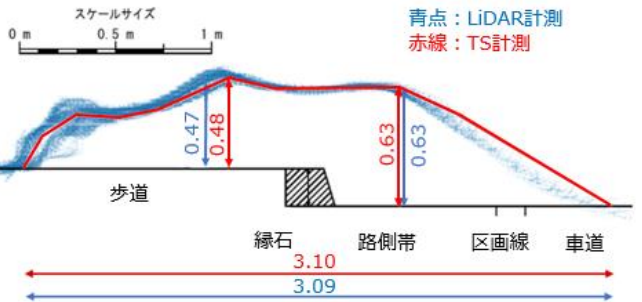
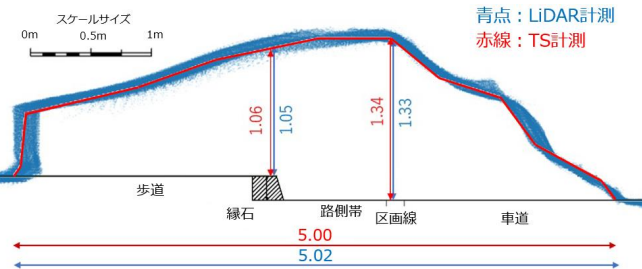


図 5 車道面（青）と歩道面（赤）の推定



(1 月 23 日、R5L、KP=269.08)



(2 月 3 日、R274L、KP=14.95)

図 6 LiDAR と TS 計測による堆雪形状の比較

路肩堆雪を想定した雪山を作製した（図 7）。堆雪を計測する箇所は高さが異なる 2 箇所を選定し、堆雪形状 A（高さ

表 2 LiDAR と TS 計測値の比較
(国道 3 箇所での堆雪の高さ)

路線 番号	KP	計測日 (令和5年)	TS計測値 (m)A	LiDAR 計測値 (m) B	誤差(m) B-A	誤差 (%) 【B-A】 /A*100
5	269.08	1月23日	0.48	0.47	-0.01	2
5	269.08	1月27日	0.76	0.59	-0.17	22
5	269.08	2月3日	0.79	0.77	-0.02	3
5	269.08	2月8日	0.89	0.87	-0.02	2
5	269.08	2月17日	0.08	0.26	0.18	225
5	269.08	2月22日	0.38	0.33	-0.05	13
274	14.95	1月23日	0.99	0.94	-0.05	5
274	14.95	1月27日	1.05	1.04	-0.01	1
274	14.95	2月3日	1.14	1.13	-0.01	1
274	14.95	2月17日	0.39	0.35	-0.04	10
274	14.95	2月22日	0.56	0.62	0.06	11
274	17.37	1月23日	0.62	0.61	-0.01	2
274	17.37	1月27日	0.80	0.75	-0.05	6
274	17.37	2月3日	0.99	0.93	-0.06	6
274	17.37	2月8日	0.98	0.90	-0.08	8
274	17.37	2月17日	0.23	0.17	-0.06	26
274	17.37	2月22日	0.37	0.38	0.01	3
最小値					-0.17	1
最大値					0.18	225
平均値					-0.02	20

表 3 LiDAR と TS 計測値の比較
(国道 3 箇所での堆雪の高さ、異常値を除く)

路線 番号	KP	計測日 (令和5年)	TS計測値 (m)A	LiDAR 計測値 (m) B	誤差(m) B-A	誤差 (%) 【B-A】 /A*100
5	269.08	1月23日	0.48	0.47	-0.01	2
5	269.08	1月27日	0.76	0.59	-0.17	22
5	269.08	2月3日	0.79	0.77	-0.02	3
5	269.08	2月8日	0.89	0.87	-0.02	2
5	269.08	2月22日	0.38	0.33	-0.05	13
274	14.95	1月23日	0.99	0.94	-0.05	5
274	14.95	1月27日	1.05	1.04	-0.01	1
274	14.95	2月3日	1.14	1.13	-0.01	1
274	14.95	2月17日	0.39	0.35	-0.04	10
274	14.95	2月22日	0.56	0.62	0.06	11
274	17.37	1月23日	0.62	0.61	-0.01	2
274	17.37	1月27日	0.80	0.75	-0.05	6
274	17.37	2月3日	0.99	0.93	-0.06	6
274	17.37	2月8日	0.98	0.90	-0.08	8
274	17.37	2月17日	0.23	0.17	-0.06	26
274	17.37	2月22日	0.37	0.38	0.01	3
最小値					-0.17	1
最大値					0.06	26
平均値					-0.04	8

1.78m、幅 4.81m) と堆雪形状 B (高さ 2.39m、幅 5.36m) とした。道路の路肩に形成される堆雪を想定し、堆雪の第三実験棟側の平面を歩道、第二実験棟側の平面を車道と仮定し、歩道面と車道面は同一の高さとして検証した。

背丈を超える堆雪をセンシングするため、最長 3m の手持ち一脚 (以後、「一脚」という。) にモバイル端末 (iPhone15 Pro) を固定し計測した (図 8)。センシングに用いたアプリケーションは前章と同様のものを使用した。センシング方法は、歩道側から車道側方向へモバイル端末を移動させながら計測したほか、最適な計測方法を検証す



図 7 路肩堆雪を想定した堆雪
(上：計測箇所図、下：作製した堆雪)

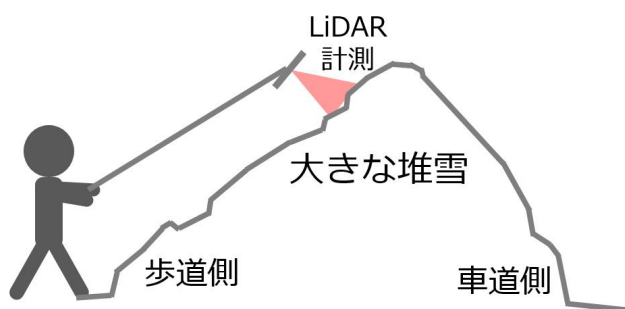


図 8 LiDAR による堆雪形状の計測方法イメージ
(作業員の背丈を超える堆雪)

るため、作業員が堆雪に登る場合と堆雪に登らない場合の 2 パターンについて比較検証した。なお、取得した堆雪点群の精度を確認するため、TS でも同一箇所の堆雪形状を計測した。

4. 2 計測方法毎の LiDAR センシングの精度検証

取得した点群を目視にて確認した結果、堆雪に登る場合は連続的に堆雪形状の計測が可能であったが、堆雪に登らない場合は車道側の堆雪の一部に欠損が生じており、堆雪 A に比べ、堆雪 B は車道側の欠損が大きくなっていた (図 9、10)。堆雪の一部に欠損が生じた理由の 1 つとして、堆雪に登らずに計測する場合は、作業員の身長、腕の長さ、一脚を支える力などにより計測可能範囲が異なることが考

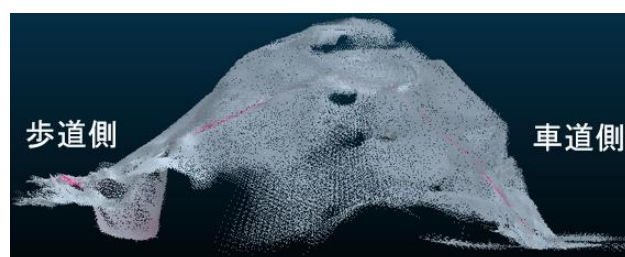


図 9 堆雪形状 A をセンシングした堆雪の点群
(上：登る、下：登らない)

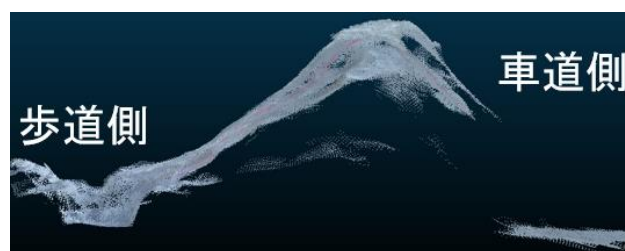
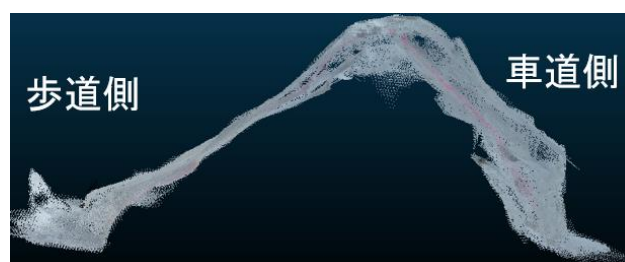


図 10 堆雪形状 B をセンシングした堆雪の点群
(上：登る、下：登らない)

えられる。取得した点群の精度を確認するため、LiDAR と TS 計測による堆雪形状を重ね合わせ、比較した結果、概ね同様の堆雪形状であることを確認した（図 11、12）。なお、本検証では、堆雪の道路横断面を切り出し、前章と同様の点群処理を行い、堆雪の高さの最大値を抽出後、誤差を算出した結果、誤差は1割以下となった（表 4）。概ね同様の計測値が得られたため、背丈を超える堆雪においても、LiDAR は簡易的な堆雪形状計測技術として適用できる可能性を確認した。

正確な堆雪形状を把握するためには、堆雪の最高点だけでなく、車道側までセンシングする必要があることから、堆雪の高さに加えて堆雪幅にも計測結果が左右されることがわかった。よって、実運用にあたり、堆雪に登るか、登らないかはそれぞれの作業員の計測可能範囲と堆雪形状に応じて柔軟に対応する必要があるほか、欠損箇所を推計し、堆雪の高さ等を算出する方法について検討する必要がある。

5. 堆雪形状計測技術の課題

これまでの検証結果から、LiDAR による堆雪形状の計測について、より簡易的な堆雪形状計測技術として適用できる可能性を確認した。現状、堆雪形状を把握するには、PC 上で取得した点群から堆雪断面を切り出し、堆雪の高さ等を算出する必要がある。そのため、今後、堆雪の高さ等を自動で算出するツールを開発する必要がある。

今回の検証から堆雪形状を正確に把握するための課題を確認した。

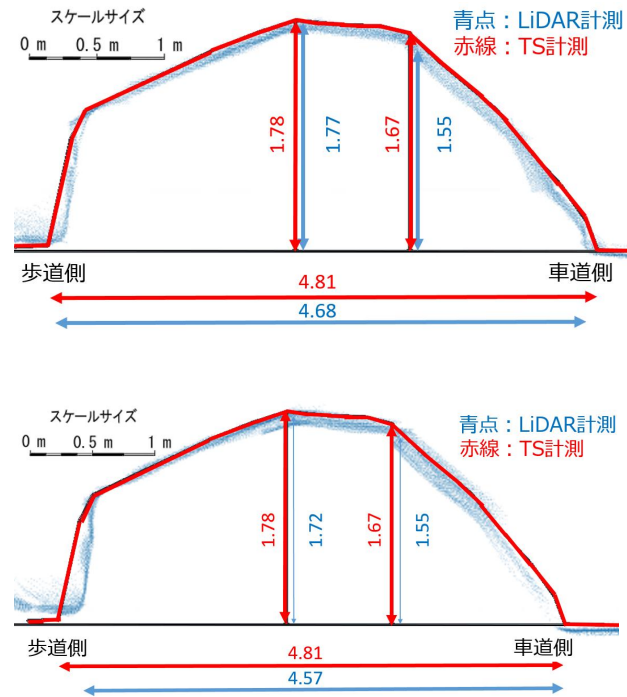


図 11 LiDAR と TS 計測による堆雪形 A の比較（上：登る、下：登らない）

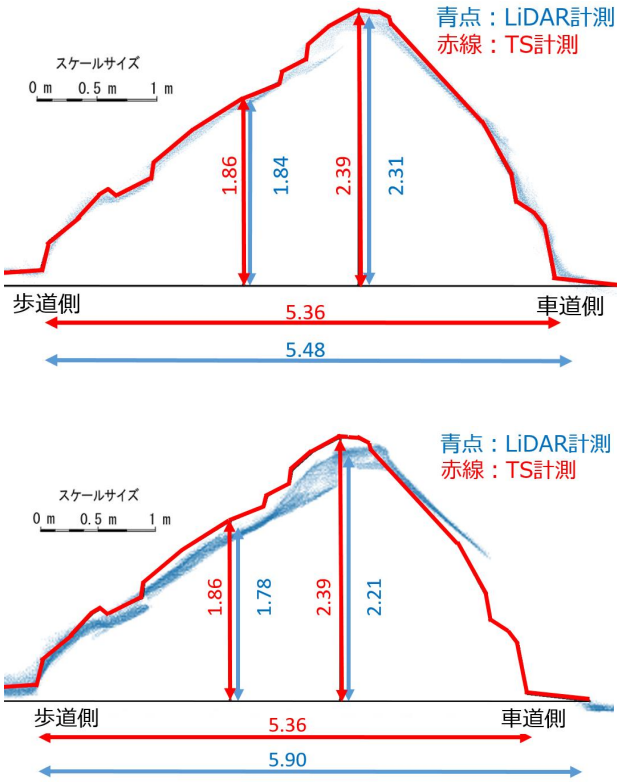


図 12 LiDAR と TS 計測による堆雪形状 B の比較（上：登る、下：登らない）

表 4 LiDAR と TS 計測値の比較（背丈を超える堆雪の高さ）

堆雪形状	計測方法	TS計測値 (m) A	LiDAR 計測値 (m) B	誤差(m) B-A	誤差 (%) 【B-A】/A*100
A	堆雪に登る	1.78	1.77	-0.01	1
	堆雪に登らない		1.72	-0.06	3
B	堆雪に登る	2.39	2.31	-0.08	3
	堆雪に登らない		2.21	-0.18	8

- ・歩道面と車道面を正確にセンシングする必要性
- ・作業員の計測可能範囲と堆雪形状に応じて堆雪に登るか、登らないかを判断する必要性
- ・欠損箇所が生じた場合の推計方法
- ・堆雪形状を自動的に算出するツールの開発

今後は、誰でも簡単に堆雪形状が計測できる技術の構築に向けて、上記課題への対応策について検討を進める予定である。

6. まとめ

路肩堆雪の形状から運搬排雪作業の計画立案を支援する技術を開発するため、モバイル端末に搭載されたカメラ及び LiDAR を用いて簡易的に堆雪形状を計測する技術の適用

性について検証した。その結果を以下に示す。

- ・堆雪形状を点群で連続的に取得可能であるかを確認するため、カメラ画像の SfM 処理及び LiDAR によるセンシングにより路肩堆雪形状を取得した結果、画像の SfM 処理では堆雪形状の一部に欠損や歪みが生じたが、LiDAR では連続的に堆雪形状の点群の取得が可能であった。
- ・連続的に取得可能であった点群の精度を確認するため、LiDAR と TS 計測による堆雪形状を重ね合わせ、比較した結果、おおむね同様の堆雪断面形状であった。さらに、堆雪の高さの最大値を比較した結果、誤差の平均値は 1 割以下となり、簡易的な堆雪形状計測技術として適用できる可能性を確認した。
- ・背丈を超える堆雪計測において、車道側の堆雪の一部に欠損が生じる場合もあったが、おおむね同様の堆雪形状となり、堆雪の高さの最大値を比較した結果、誤差は 1 割以下となった。

上記により、LiDAR センシングは簡易的な堆雪形状計測技術として適用できる可能性を確認した。今後、実運用に向けて、歩道面や車道面の正確な把握や欠損箇所が生じた場合の推計方法の検討を進め、堆雪形状を自動的に算出するツールの開発を進める予定である。

参考文献

- 1) 日本建設機械化協会：2005 除雪・防雪ハンドブック（除雪編）、P. 112、2004
- 2) 国土交通省：第5期国土交通省技術基本計画、p. 9、2022.
https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000891.html (2024年9月25日確認)
- 3) 国土交通省国土地理院：i-Construction推進のための3次元数値地形図データ作成マニュアル、p. 14、2023.
<https://www.gsi.go.jp/gijyutukanri/gijyutukanri41029.html> (2024年9月25日確認)