

モバイル端末による堆雪間距離計測技術の検証

寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○飯田 美喜
吉田 智

積雪期の路肩堆雪形状や道路有効幅員等から運搬排雪作業の実施時期や工法の計画立案を支援するため、モバイル端末（以後、「端末」という。）に搭載されたLiDARを用いて路肩堆雪形状をセンシングして得られた点群情報から、道路有効幅員を想定した堆雪間距離の計測精度について検証した。その結果、堆雪形状の他、堆雪間距離も精度良く計測することが可能であった。そのため、端末のLiDARは、より簡易的な計測技術としての適用性があることを確認した。

キーワード：堆雪、道路有効幅員、LiDAR、3次元データ

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、ダンプトラックの手配や、作業箇所の安全を確保する交通誘導員等を配置する必要があるため、一般的に行われている新雪除雪作業に比べ、費用や人員を多く要する作業となる。そのため、限られた予算の中で適切な時期に効率的に運搬排雪作業を実施する必要がある。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。そのため、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、路肩堆雪形状や道路有効幅員等から運搬排雪作業の実施時期や工法の計画立案を支援するため、端末に搭載されたLiDARを用いて路肩堆雪形状をセンシングして得られた3次元の点群情報から、道路有効幅員を想定した堆雪間距離の計測精度について検証した。

2. 堆雪形状計測技術の検証

2019年度に北海道開発局札幌・小樽・旭川開発建設部

管内の維持除雪工事監督員及び受注者(19か所71名)に対して行ったアンケート調査では、6割以上で路肩堆雪状況に応じた運搬排雪工法を選択しており、その工法や実施時期の判断には、道路有効幅員及び路肩堆雪の幅や高さ等で判断していることを確認した³⁾。

飯田ら⁴⁾⁵⁾は、一般に広く普及している端末に搭載されたLiDARを用い、路肩堆雪の形状をセンシング後、トータルステーションの計測値と比較した。その結果、堆雪の高さや幅の誤差は約1割であったため、端末の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。

そこで、端末に搭載されたLiDARを用いて、運搬排雪作業の工法や実施する時期などを判断する要因の1つである道路有効幅員を想定した堆雪間距離の計測精度について検証した。

3. 堆雪間距離計測技術の検証

(1) 検証概要

端末のLiDARで堆雪間距離を計測可能であることを確認するため、寒地土木研究所構内（以後、「構内」という。）に堆雪間の距離が7m（メジャー計測値）となる位置に雪山を2つ作製した（図-1）。

今回使用した端末はiPhone15 Pro⁶⁾のほか、表-1内のアプリケーションを使用している。LiDAR計測には複数モードからモードの選択が可能であるが、データ処理の負担が少なく処理動作が安定するPoint Cloud Mode及び公共座標は端末で取得されるGNSS情報を使用した。

a) 堆雪間を連続で計測する方法

堆雪間の連続計測は、端末のアプリケーション（3d Scanner App）を起動後、堆雪1をセンシングした状態で、

堆雪2の方向へ移動するときに路面をセンシングし、堆雪2に到着後、堆雪2もセンシングした（図-2 上）。

b) 堆雪毎に堆雪形状を計測する方法

堆雪毎の堆雪形状計測は、アプリケーション（スーパー地形）を立ち上げ、GNSS情報を取得後、次にアプリケーション（3d Scanner App）を起動させ堆雪1をセンシングした。その後、アプリケーションを停止させ、堆雪2へ移動後、前述と同様に計測した（図-2 下）。

(2) 検証結果と考察

両方法でのセンシングにかかった作業時間は約2分であり、PC上でソフトウェア（CloudCompare）を用いて堆雪間距離を算出する作業時間は約10分であった。各計測方法での堆雪間距離の計測結果を図-3、4、計測値を表-2に示す。



図-1 構内の堆雪間距離の計測

表-1 堆雪間距離計測に使用したアプリケーション

アプリケーション名	バージョン	価格	用途
3d Scanner App	2.1.3	無料	iPhoneでLiDARによる3次元計測
スーパー地形	5.7.12	無料	iPhoneで位置情報の取得
CloudCompare	2.12.4	無料	PC上で点群の閲覧

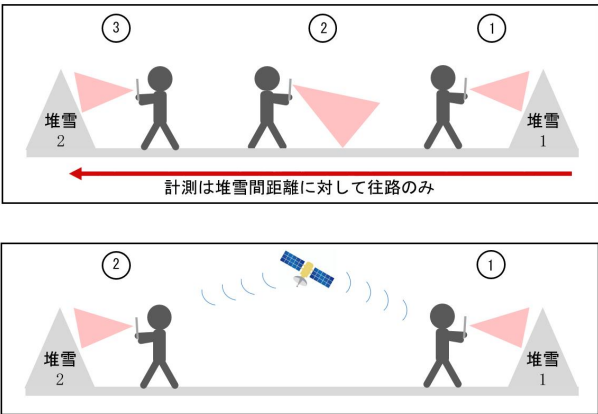


図-2 堆雪間距離の計測方法
（上：堆雪間を連続で計測、
下：堆雪毎に堆雪形状を計測）

a) 堆雪間を連続で計測する方法

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）は不得意とされているが、堆雪1、堆雪2を含む連続した3次元点群（以後、「点群」という。）が取得できたため、CloudCompareで、堆雪端の2点を指定して堆雪間距離を算出した（図-3）。メジャー計測値7mに対して、算出値は6.88mであり、誤差が0.12m、誤差割合が2%以下であった（表-2）。

b) 堆雪毎に堆雪形状を計測する方法

堆雪1と堆雪2のそれぞれで堆雪のGNSS情報と点群は取得できた（図-4）。しかし、計測した2つの堆雪を



図-3 堆雪間距離の計測結果
（堆雪間を連続で計測）

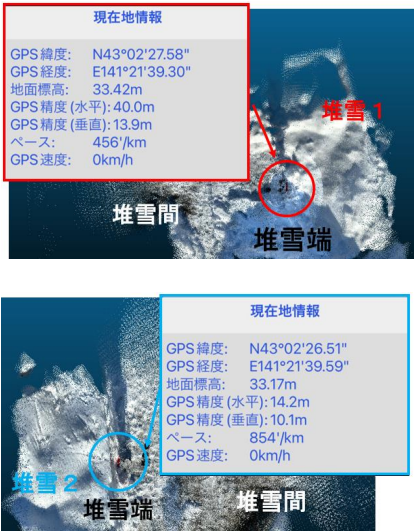


図-4 堆雪形状の点群とGNSS情報
（堆雪毎に堆雪形状を計測）
（上：堆雪1、下：堆雪2）

表-2 LiDAR計測値とメジャー計測値の比較（堆雪間距離）

計測方法	メジャー計測値(m) A	モバイル端末計測値(m) B	誤差(m) B-A	誤差(%) 【B-A】/A*100
堆雪間を連続で計測	7	6.88	-0.12	1.71
堆雪毎に堆雪形状を計測		33.67	26.67	381.00

CloudCompare で同時に表示すると重なって表示され、堆雪間距離の計測は困難であった（図-5）。これは、今回使用したアプリケーション（3d Scanner App）で取得した点群は、アプリケーションを起動した場所を起点とする相対的な位置関係の点群となるため、アプリケーションを一度停止すると、堆雪1と堆雪2の周辺の形状は計測できるが、点群自体に公共座標や方角を持たないため点群は重なってしまったと考えられる。

次に、端末で得られた GNSS 情報の精度を確認するため、各計測時の GNSS 情報から堆雪間距離を算出した⁸⁾。その結果、メジャー計測値 7m に対して、それぞれの緯度経度の誤差は約 33.67m となった（表-2、図-6）。この誤差が大きくなった原因は、端末では正確な公共座標の取得は困難であったためと考えられる。

よって、堆雪間を連続で計測すれば、堆雪間距離の計測が可能であり、より簡易的な堆雪間距離計測技術として適用できる可能性を確認した。

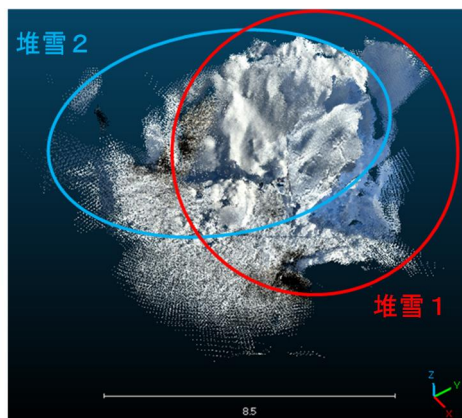


図-5 堆雪毎の点群を同時に表示した結果



図-6 GNSS計測結果から算出した堆雪間距離⁸⁾

4. 連続センシングにおける距離計測の精度検証

前章で堆雪間距離の計測が可能であると判断した「堆雪間を連続で計測する方法」を用いて、ロードコーン（以後、「コーン」という。）を堆雪に想定した模擬環境で追加検証を実施した。計測は各3回実施し、計測の平均誤差を算出し精度検証している。使用した端末は iPhone14 Pro⁹⁾のほか、表-3内のアプリケーションを使用している。

最適な距離計測方法を検証するため、端末を固定し、画面上でセンシング範囲を確認しながら、ゆっくり歩行し計測する方法（以後、「計測Ⅰ」という。）、画面を注視せず、手に端末を持って通常で歩行しながらセンシングする方法（以後、「計測Ⅱ」という。）、堆雪間計測の移動時にアプリケーションを起動させた状態で、ポケット等に端末を格納することを想定して、LiDARやカメラを手で隠しながら歩行し、目的のコーンをセンシングする方法（以後、「計測Ⅲ」という。）により精度検証した。

4.1 堆雪間距離を想定した直線距離計測の検証

(1) 検証概要

前章では、堆雪間距離が 7m の場合において、端末による距離計測が可能であることを確認しているが、さらに長距離となる 10m、20m、30m、40m、50m の計測精度を確認するため、構内に堆雪を想定したコーンを設置し、堆雪間距離計測のための模擬環境を作製し検証した（図-7）。なお、堆雪間距離の計測は、積雪期の運用を想定してい

表-3 模擬環境での計測に使用したアプリケーション

アプリケーション名	バージョン	価格	用途
3d Scanner App	1.1.5	無料	iPhoneでLiDARによる3次元計測
CloudCompare	2.13.2	無料	PC上で点群の閲覧



図-7 堆雪間距離計測の模擬環境の例
（直線、写真は堆雪間距離：30m）

るが、今回の検証は夏期路面にて実施している。

(2) 検証結果と考察

全計測におけるセンシングにかかった作業時間は各 2 分以下であった。距離が長くなるほど時間がかかり、計測方法の比較では計測Ⅰで時間を要した。

計測Ⅰでは、連続的に点群を取得することが可能であった(図-8 1 段目)。計測Ⅱでは、コーン間の路面表面は滑らかではないが、連続的に点群を取得可能であった(図-8 2 段目)。計測Ⅲでは、距離が 20m 以下の場合では、コーン付近の点群は取得することが可能であったが、コーン間の路面の点群は取得できなかった(図-8 3 段目)。なお、30m 以上では点群が正確に取得できなかった(図-8 4 段目)。

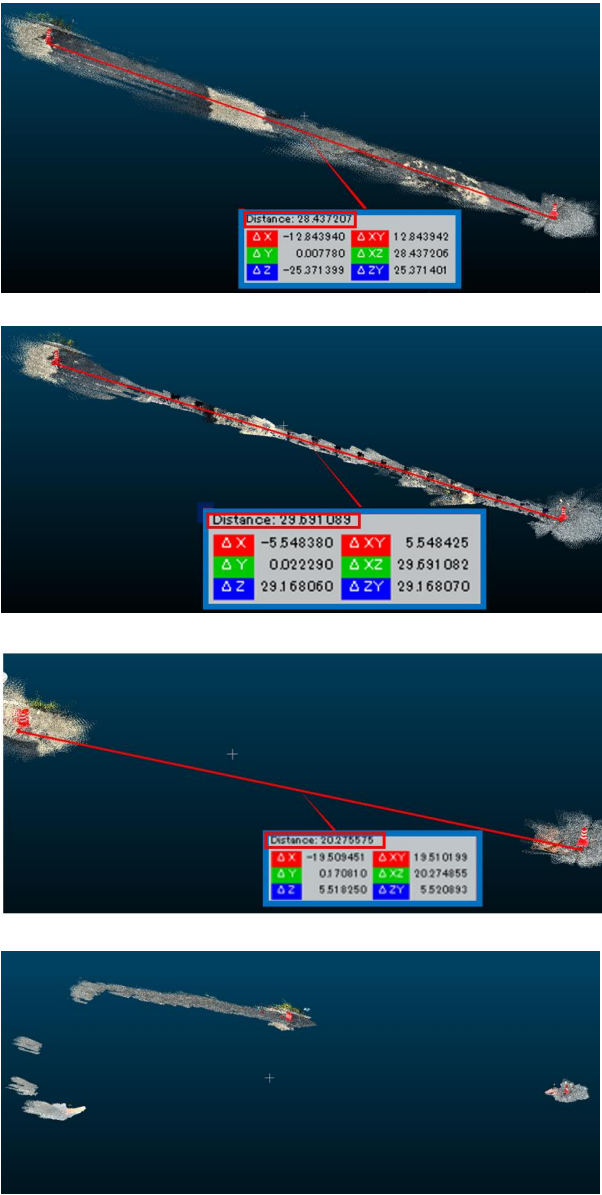


図-8 コーン間距離の計測結果

(1 段目：計測Ⅰ (30m)、2 段目：計測Ⅱ (30m)、
3 段目：計測Ⅲ (20m)、4 段目：計測Ⅲ、(30m))

連続的に点群が取得可能であった計測Ⅰと計測Ⅱについてメジャー計測値と比較した結果、どちらの方法でも平均誤差は 4%以下となり、計測方法による大きな差異はなかった(表-4)。よって、計測距離が 50m までの長距離であっても、計測Ⅰ、Ⅱは簡易的な堆雪間距離計測技術として適用できる可能性を確認した。

4.2 横断歩道の使用を想定した堆雪間距離の検証

(1) 検証概要

現道に形成される堆雪間距離を計測する際、横断歩道を使用して、反対路線へと移動することが想定される。そこで、横断歩道を使用して堆雪間距離を計測すること

表-4 LiDAR 計測値とメジャー計測値の比較
(直線、上：計測Ⅰ、下：計測Ⅱ)

メジャー 計測値(m) A	LiDAR 計測値(m) B	誤差(m) B-A	誤差(%) 【B-A】 /A*100	平均誤差 (%)
10	9.79	-0.21	2.10	2.07
	9.82	-0.18	1.80	
	10.23	0.23	2.30	
20	19.76	-0.24	1.20	1.53
	19.60	-0.40	2.00	
	19.72	-0.28	1.40	
30	29.44	-0.56	1.87	3.30
	28.51	-1.49	4.97	
	29.08	-0.92	3.07	
40	40.81	0.81	2.03	1.30
	40.01	0.01	0.03	
	40.74	0.74	1.85	
50	50.23	0.23	0.46	0.32
	50.23	0.23	0.46	
	49.98	-0.02	0.04	
全計測の平均値				1.70

メジャー 計測値(m) A	LiDAR 計測値(m) B	誤差(m) B-A	誤差(%) 【B-A】 /A*100	平均誤差 (%)
10	9.88	-0.12	1.20	1.57
	9.90	-0.10	1.00	
	9.75	-0.25	2.50	
20	19.52	-0.48	2.40	1.98
	19.64	-0.36	1.80	
	19.65	-0.35	1.75	
30	29.49	-0.51	1.70	1.41
	29.55	-0.45	1.50	
	29.69	-0.31	1.03	
40	39.38	-0.62	1.55	1.49
	39.37	-0.63	1.58	
	39.47	-0.53	1.33	
50	49.61	-0.39	0.78	1.21
	49.44	-0.56	1.12	
	49.14	-0.86	1.72	
全計測の平均値				1.53

を想定し、構内にコーンを4つ設置し、横断歩道を使用して堆雪間距離を計測する模擬環境を作製し検証した(図-9 上)。構内に堆雪を想定したコーン2個(コーン①、コーン④)と横断歩道を想定したコーン2個(コーン②、コーン③)を設置した(図-9 下)。なお、コーン「①と④」、「②と③」の距離は10mと固定し、コーン「①と②」及び「③と④」の距離を10m、20m、30m、40m、50mとした。計測は、コーン①をセンシング後、コーン①からコーン②、コーン②からコーン③、コーン③からコーン④へ移動し、最後にコーン④をセンシングした。

(2) 検証結果と考察

全計測でのセンシングにかかった作業時間及び計測Ⅰと計測Ⅱで得られた点群の情報、4.1(2)と同様であった(図-10)。なお、計測Ⅲでは、コーン毎の点群は正確に取得できなかった。

連続的に点群が取得可能であった計測Ⅰと計測Ⅱについて、コーン「①と④」の距離(以後、「コーン間距離」という。)と移動しながらセンシングした距離(以後、「移動距離」という。)のメジャー計測値と比較した。その結果、計測Ⅰでは、それぞれの距離の平均誤差は5%以下となり、移動距離による大きな差異はなかった

(表-5)。一方、計測Ⅱでは、移動距離の平均誤差は2%以下であったことから、使用した機器に搭載されているセンサは、LiDAR やカメラ等から取得される情報にあまり影響されないと考えられる。なお、コーン間距離の平均誤差は、移動距離が長くなるほど誤差が大きくなった。特に移動距離が110(50+10+50)mの場合ではコーン間距離の誤差が22%となった。

計測Ⅱの方が計測Ⅰに比べ移動距離での誤差が小さいにもかかわらず、コーン間距離の平均誤差が大きい結果となった。このコーン間距離の誤差が大きくなった要因として、計測Ⅰでは、ゆっくり歩きながら端末を固定しセンシングしたため、点群が持つ座標の位置情報を正確に取得できたことで、各点群の座標の誤差が少なくなり、コーン間距離の差が小さくなったと考えられる。しかし、計測Ⅱは通常速度の歩行で端末が少し揺れる状態でセンシングしたため、各点群の座標を正確に取得できず、移動距離が長くなるほど各点群の座標に誤差が蓄積されたことにより、コーン間距離の差が大きくなってしまったと考えられる。

よって、移動距離が短い場合では、どちらの方法でも簡易的な堆雪間距離計測技術として適用できる可能性を確認したが、移動距離が長くなると計測Ⅱでは、コーン間距離の差が大きくなる可能性がある。

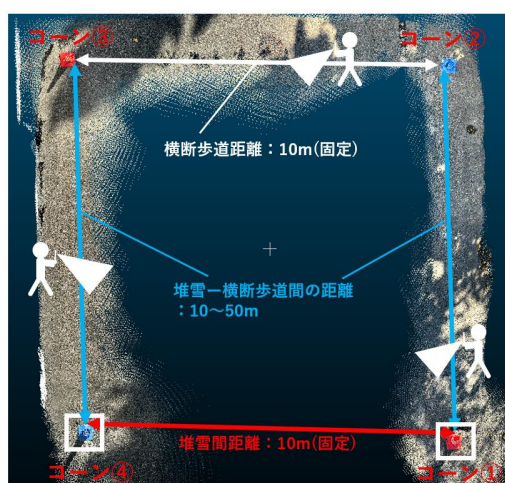


図-9 横断歩道の使用を想定した堆雪間距離計測
(上: 模擬環境、下: 計測イメージ)

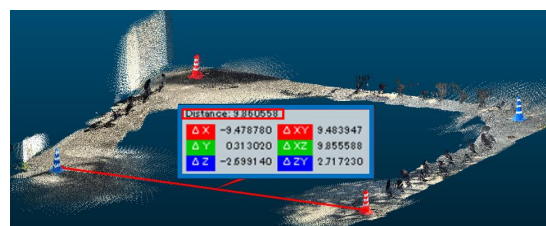
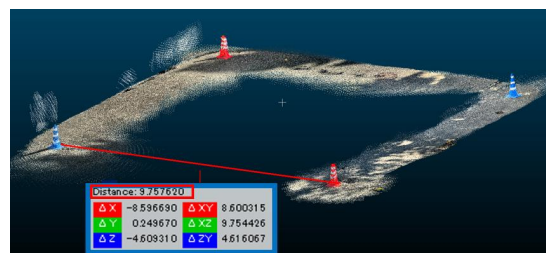


図-10 コーン間距離の計測結果
(上: 計測Ⅰ、中: 計測Ⅱ、
下: 計測Ⅲ、コーン①-②: 10m)

表-5 LiDAR 計測値とメジャー計測値の比較
(横断歩道の使用を想定、上：計測Ⅰ、下：計測Ⅱ)

メジャー 計測値(m) A		LiDAR 計測値(m) B		誤差(m) B-A		誤差(%) 【B-A】 /A*100		平均 誤差(%)	
コーン 間	移動 距離	コーン 間	移動 距離	コーン 間	移動 距離	コーン 間	移動 距離	コーン 間	移動 距離
10	30	9.76	29.32	-0.24	-0.68	2.40	2.27	2.47	3.15
		9.67	28.99	-0.33	-1.01	3.30	3.37		
		9.83	28.86	-0.17	-1.14	1.70	3.80		
	50	9.83	48.31	-0.17	-1.69	1.70	3.38	1.50	3.20
		9.95	48.29	-0.05	-1.71	0.50	3.42		
		9.77	48.60	-0.23	-1.40	2.30	2.80		
	70	9.55	66.67	-0.45	-3.33	4.50	4.76	1.57	4.18
		10.00	67.20	0.00	-2.80	0.00	4.00		
		10.02	67.36	0.02	-2.64	0.20	3.77		
	90	10.02	86.83	0.02	-3.17	0.20	3.52	2.40	3.20
		10.61	86.97	0.61	-3.03	6.10	3.37		
		10.09	87.57	0.09	-2.43	0.90	2.70		
	110	9.67	107.20	-0.33	-2.80	3.30	2.55	3.67	2.93
		10.17	105.70	0.17	-4.30	1.70	3.91		
		10.60	107.45	0.60	-2.55	6.00	2.32		
全計測の平均値								2.32	3.33

メジャー 計測値(m) A		LiDAR 計測値(m) B		誤差(m) B-A		誤差(%) 【B-A】 /A*100		平均 誤差(%)	
コーン 間	移動 距離	コーン 間	移動 距離	コーン 間	移動 距離	コーン 間	移動 距離	コーン 間	移動 距離
10	30	9.78	29.34	-0.22	-0.66	2.20	2.20	1.97	2.00
		9.77	29.33	-0.23	-0.67	2.30	2.23		
		9.86	29.53	-0.14	-0.47	1.40	1.57		
	50	10.35	49.19	0.35	-0.81	3.50	1.62	1.93	1.29
		9.79	49.57	-0.21	-0.43	2.10	0.86		
		10.02	49.31	0.02	-0.69	0.20	1.38		
	70	9.65	69.60	-0.35	-0.40	3.50	0.57	3.37	0.55
		10.59	69.65	0.59	-0.35	5.90	0.50		
		10.07	69.60	0.07	-0.40	0.70	0.57		
	90	10.73	89.82	0.73	-0.18	7.30	0.20	9.13	1.11
		10.98	89.24	0.98	-0.76	9.80	0.84		
		11.03	87.93	1.03	-2.07	10.30	2.30		
	110	11.57	108.99	1.57	-1.01	15.70	0.92	21.63	0.69
		12.32	109.33	2.32	-0.67	23.20	0.61		
		12.60	109.40	2.60	-0.60	26.00	0.55		
全計測の平均値								7.61	1.13

コーン間：コーン①—④

移動距離：コーン①—②—③—④

今回の夏期路面では、横断歩道等を使用して堆雪間距離を計測できる可能性を確認したが、実際の積雪期では、堆雪や路面等が白色で夏期に比べ特徴点が少なくなることが予想されるため、実運用に向けて、再度、精度検証が必要である。

5. まとめ

運搬排雪作業の実施時期や工法の計画立案を支援するため、道路有効幅員を想定した堆雪間距離の計測精度について検証した。その結果を以下に示す。

- ・堆雪間距離計測技術の検証では、LiDAR による堆雪間距離の計測値とメジャー計測による計測値を比較した結果、堆雪毎に堆雪形状を計測する方法では、距離の計測は困難であったが、堆雪間を連続で計測する方法では、誤差の平均値が 2%以下であった。
- ・「堆雪間を連続して計測する方法」を用いて、構内に堆雪を想定したコーンを設置し、より長い距離を計測した結果、距離が 50m までの平均誤差が 4%以下であった。さらに、横断歩道を利用することを想定し、反対路線に移動してコーンをセンシングした点群からコーン間距離を算出した結果、端末の画面上でセンシング範囲を確認しながら、ゆっくり歩行し計測する方法（計測Ⅰ）において、コーン間距離の平均誤差が 5%以下であった。

上記により、端末の LiDAR は、より簡易的な堆雪間距離計測技術として適用できる可能性があることを確認した。しかし、実際の積雪期では、堆雪や路面等が白色で夏期に比べ特徴点が少なくなることが予想されるため、実運用に向けて、再度、精度検証が必要である。

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/content/001479986.pdf>
(2024 年 11 月 5 日確認)
- 3) 飯田美喜、植野英睦、久慈直之：堆雪成長傾向分析結果を活用した運搬排雪作業計画支援技術の開発、第 64 回北海道開発技術研究発表会、2021.
- 4) 飯田美喜、吉田智：LiDAR を用いた路肩堆雪計測技術の適用性検証、第 40 回寒地土木研究所技術シンポジウム、2024.
- 5) 飯田美喜、吉田智：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、第 36 回ゆきみらい研究発表会、2025.
- 6) iPhone 15 Pro - 技術仕様
<https://support.apple.com/ja-jp/111829>
(2024 年 11 月 5 日確認)
- 7) 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 11 月 5 日確認)
- 8) 国土交通省国土地理院：距離と方位角の計算
<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/bl2stf.html/>(2024 年 11 月 5 日確認)
- 9) iPhone 14 Pro - 技術仕様
<https://support.apple.com/ja-jp/111849>
(2024 年 11 月 5 日確認)