

運搬除雪雪量計測システムの開発

(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

//

//

○石川 真大

佐々木憲弘

牧野 正敏

現在、運搬除雪作業の施工管理は人力で行われている。本開発は、この施工管理のうち出来形管理を対象として行われている雪量計測について、これを自動化する運搬除雪雪量計測システムを構築することにより、施工管理の高度化、効率化を図るものである。本報告では、人工の雪堤において2台のレーザースキャナを用いて行った雪量計測試験の結果を報告する。

キーワード：運搬除雪、レーザースキャナ、雪量計測、施工管理

1. はじめに

積雪寒冷地域では、降雪と除雪作業の繰り返しによって路側の雪堤が成長すると、車道が狭く見通しが悪くなり、交通障害等が発生する。このため、路側に堆積した雪を排除し、車道幅員を広くするとともに、次の除雪に備えて堆雪スペースを確保することを目的に、運搬除雪作業を実施している。

運搬除雪作業は、路肩に堆積した雪をロータリ除雪車でダンプトラックに積込み（図-1、2）、雪堆積場等へ運搬している。北海道開発局における運搬除雪作業の施工管理は、ダンプトラックに積込みされた雪量と、ダンプトラック台数の計測により行っているが、その作業は人力に頼らざるを得ない状況であり、正確性や監督員・作業員の負担を改善する必要がある。



図-1 運搬除雪作業状況（並列）



図-2 運搬除雪作業状況（縦列）

本開発は、施工管理のうち出来形管理を対象として、人力で行っている運搬除雪作業における雪量計測について、これを自動化する運搬除雪雪量計測システム（以下、雪量計測システムという。）を構築することにより、施工管理の高度化、効率化を図るものである。

2. 現在の運搬除雪雪量計測実態^{1) 2)}

北海道開発局における運搬除雪作業では、ダンプトラックに備えている検数表への捺印（図-3）や、タコグラフの排雪カウンター（チャート紙に印字、図-4）の読み取りで運搬回数を把握するとともに、雪堆積場等で積込み量（14m³以上/台）の検量（図-4）を行うことで、全体の雪量計測を行っている。このうち雪堆積場で運搬除雪量を把握するための検量作業は、人力で行うため、

1台当たり20～30分を要し、作業効率が悪い。また、検量の頻度によっては、信頼性が低いといった問題の発生が考えられる。

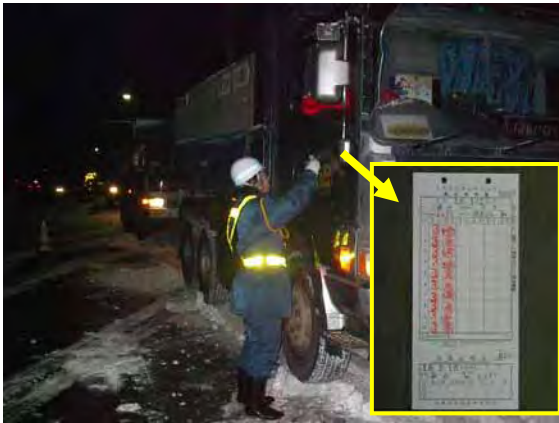


図-3 検数表への捺印



図-4 積み込み量の検量



図-5 レーザースキャナ取付状況
(雪切板先端部)



図-6 パルスデータ取得状況 (車軸部)

3. 雪量計測システムの概要

雪量計測システムは、ロータリ除雪車の前面に設置した2台のレーザースキャナ(図-5)により、ロータリ装置のオーガ掻き込み直前における雪堤の断面積を計測する。同時にロータリ除雪車の車軸から走行距離に対応するパルスデータを取得し(図-6)、断面積と1回当たりの走行距離から、雪量を計算するものである。

レーザースキャナについては、当初1台での計測試験を行っていたが、図-7に示すように計測の死角となる部分が発生し、計測誤差が出るため、2台のレーザースキャナをロータリ装置雪切板先端部に装着するものとした。これにより、実際の現場で想定される雪堤断面形状の大部分を死角無く計測することができる。

パルスデータに関しては、実際に走行したときの距離とパルス数から、あらかじめ1パルス当たりの走行距離を求めておき、この1パルス当たりの走行距離を用いて、除雪1回当たりの走行距離を求めるものとした。

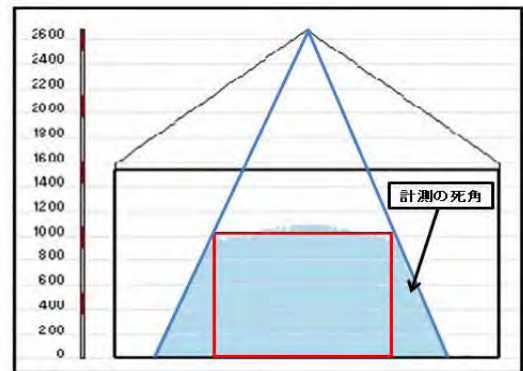


図-7 計測の死角

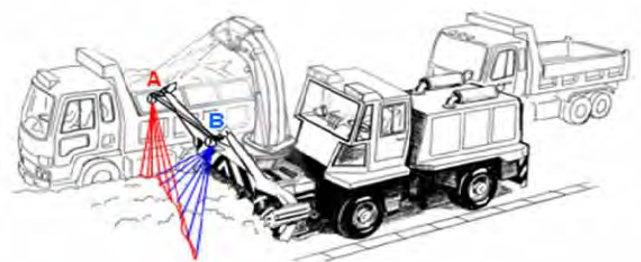


図-8 雪量計測システムイメージ

雪量計測システムのイメージを図-8 に示す。処理フローは以下のとおりである。

ロータリ除雪車が除雪を開始すると、車軸に装着されたパルスセンサーからパルスデータを取得し、あらかじめ設定されたパルス数に達するとA、Bのレーザースキャナに断面形状計測を要求し、運転席に設置されたPCに断面形状計測データが書き込まれる。これを、ダンプロック1台分の荷台が一杯になるまで繰り返す。次に、この間に取得したパルス数から計算された走行距離と書き込まれた断面形状（計測断面数での平均値）から体積を計算、出力する。

4. 走行パルス計測試験

(1) 試験内容

1パルス当たりのロータリ除雪車走行距離を算出するため、走行パルス計測試験を行った。また、何パルス毎にレーザースキャナによるデータを取得するのが良いか決定するため、データの取得頻度を調査した。

(2) 試験結果

走行パルス計測試験は、直線で約150m走行して取得したパルスデータの実測値をもとに、1パルスあたり

の走行距離を算定した。表-1 に計測結果を示す。この結果から、車両速度毎の1パルス当たりの走行距離は大きな変動は見られず、平均0.031mであることが確認できた。しかし、後述する実際の雪量計測試験時に同様に走行距離とパルス数を計測したところ、新雪の路面状態で、1パルス当たりの走行距離が0.031mより小さくなることが確認された。これは新雪の路面状態により、タイヤと路面との間のグリップ力が小さくなり若干滑っていることが予想される。

表-1 パルス試験計測結果

車両速度 (km/h)	走行距離 (m)	パルス実測値 (パルス)	1パルス当たりの走行距離 (m/パルス)
10	152.8	4925	0.03103
5	151.1	4877	0.03098
5~20変化	152.1	4905	0.03101
発進~停止の繰返し	150.4	4853	0.03099
平均			0.03100

データの取得頻度に関しては、レーザースキャナのスキャン設定、断面要求頻度、車両速度などを変えながらデータ取得率を計測した。結果を表-2 に示す。この結果からスキャン回数50回/秒、角度分解能0.5°の条件ではいずれの場合も約95%以上のデータ取得率で、特に1秒間当たりの断面取得要求回数が5回以下では100%に近い値となった。

表-2 データ取得頻度計測結果

車両速度 (km/h)	断面取得 要求頻度 (回/パルス)	走行距離 (m)	パルス数		取得データ数		断面取得 要求頻度 (回/秒)	データ取得率 (%)
			理論値 (回)	理論値 (回)	理論値 (回)	理論値 (回)		
スキャナ設定: スキャン回数25回/秒、角度分解能0.25°								
10	1/1	99.6	3212	3212	416	89.6	13.0%	
10	1/5	102.4	3303	660	386	17.9	58.5%	
10	1/10	102.2	3296	329	245	9.0	74.5%	
10	1/15	102.7	3312	220	181	6.0	82.3%	
10	1/20	102.4	3303	165	143	4.5	86.7%	
10	1/25	102.3	3300	132	116	3.6	87.9%	
10	1/30	102.8	3316	110	100	3.0	90.9%	
10	1/35	102.0	3290	94	86	2.6	91.5%	
10	1/40	102.3	3300	82	76	2.2	92.7%	
10	1/50	102.1	3293	65	61	1.8	93.8%	
10	1/100	100.9	3254	32	31	0.9	96.9%	
5	1/15	101.3	3267	217	200	3.0	92.2%	
15	1/15	104.6	3374	224	168	9.0	75.0%	
20	1/15	104.3	3364	224	164	11.9	73.2%	
スキャナ設定: スキャン回数50回/秒、角度分解能0.50°								
10	1/10	100.4	3240	324	307	9.0	94.8%	
10	1/10	100.4	3239	323	312	9.0	96.6%	
10	1/15	100.7	3248	216	213	6.0	98.6%	
10	1/20	101.6	3277	163	162	4.5	99.4%	

5. 雪量計測試験

(1) 試験内容

実際の運搬除雪作業を想定し、あらかじめ造成した雪堤を除雪することにより、雪量計測システムを用いた計測値と従来方法との比較を行った。

試験は、ロータリ除雪車で雪堤を除雪し、ダンプトラックに積み込む順序で行い、その中で2台のレーザースキャナで断面形状を正確に計測できるか、また、雪量計測システムで計測した雪量と、従来方法でダンプトラック荷台を検量した雪量との比較の2点に焦点をおいて行った。試験状況を図-9に示す。



図-9 雪量計測試験状況

(2) 試験結果

a) レーザースキャナによるスキャンング

図-10に実際の雪堤断面形状と図-11、12にレーザースキャナで計測した断面形状を示す。図-11がそれぞれ2つのレーザースキャナ計測断面で、図-12が2つのレーザースキャナ計測断面の合成値である。この結果から、

矩形断面形状においても死角無く断面形状を計測できることがわかった。



図-10 雪堤断面形状

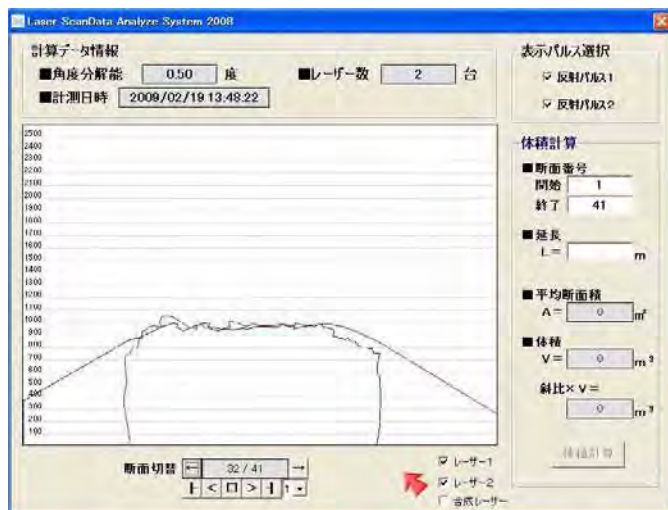


図-11 レーザースキャナ計測断面（合成前）

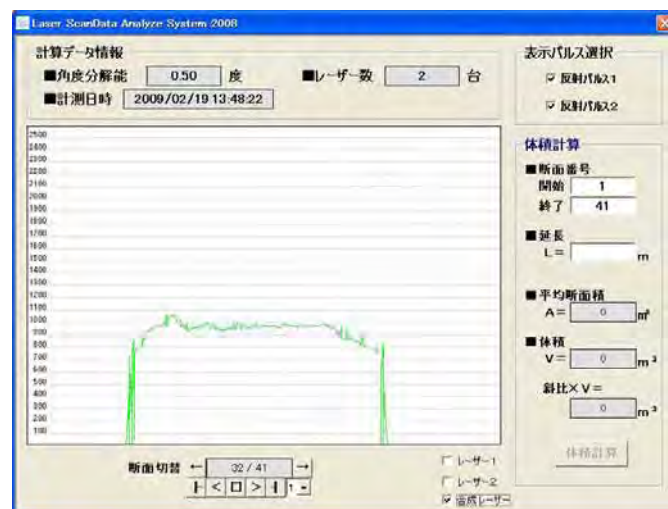


図-12 レーザースキャナ計測断面（合成後）

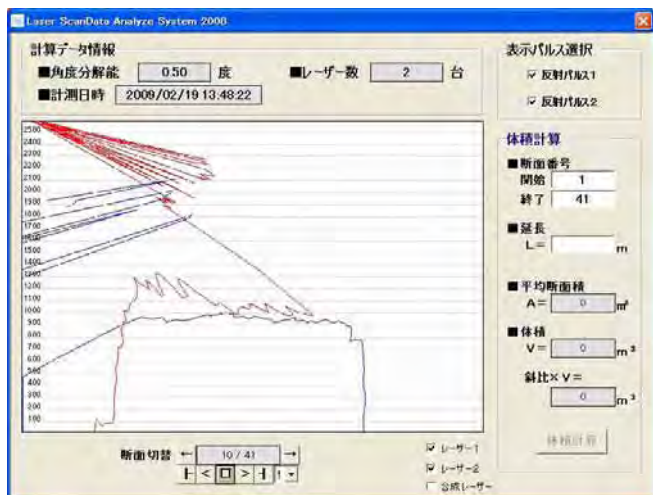


図-13 レーザースキャナ計測断面（ノイズ発生）

しかし、図-13に示すように実際の雪堤形状より上部でスキャンしてしまう状況が一部確認された。これは、雪質、気温等の条件により、ダンプトラックへ積み込む際の雪片、粉雪、雪煙等をスキャンしていることが考えられる。これらに対し、レーザースキャナにはフォグフィルターという機能が搭載されている。これはスキャナ本体付近の範囲でスキャン感度を低下させ、余計なデータを拾わないようにする機能である。このフォグフィルターを使用したところ、降雪や飛散する雪片に対しては有効であることが確認されたが、雪片、粉雪、雪煙等の風に舞うような雪に対しては、効果が見られなかった。

b) 計測雪量の比較

表-3と表-4に計測雪量を、図-14と図-15にそれぞれの雪堤状況を示す。除雪体積の実測値とは、5mおきに雪堤の幅と高さを実測し、近似的な断面積から求めた体積、検量値とは、ダンプトラック荷台に積み込んだ雪を14m³の形状に成形したあと、残りの雪を検量箱といわれる1m³の木枠に入れてその高さから体積を計測し、荷台の14m³と合算することで求めた体積である。

表-3の高雪堤について、雪量計測システムでの計測値の誤差は、実測値とでは±6%以内、検量値とではF-1、F-11を除いて±4%以内と小さい値となった。実測値には近似的に断面積を計算する誤差、検量値にはダンプトラック荷台成形時における若干の凹凸など誤差要因があり、F-1、F-11についてはそれらが影響したものと考えられる。

一方、表-4の低い雪堤については、雪量計測システムでの計測値が、検量値よりも大きな値となった。これは、低雪堤においては、オーガの回転力による前方への雪片の飛散が影響しているためである。レーザースキャナを傾け、スキャン方向を前方へ変更したF-6の場合には、

その誤差が小さくなることが確認できた。また、このと

表-3 計測雪量（高雪堤）

試験番号	除雪距離 (実測値) (m)	平均 断面積 (システム 計測値) (m ²)	除雪体積(m ³)			誤差率	
			システム 計測値	実測値	検量値	実測値 との誤差	検量値 との誤差
F-1	12.6	1.28	16.1	15.4	14.4	5%	12%
F-2	9.0	1.64	14.7	14.1	14.2	4%	4%
F-3	8.6	1.69	14.6	14.0	14.3	4%	2%
F-7	8.6	1.60	13.7	14.2	14.0	-4%	-2%
F-8	8.9	1.60	14.3	14.9	14.0	-4%	2%
F-9	9.1	1.58	14.4	15.3	14.6	-6%	-1%
F-10	8.1	1.83	14.8	14.6	14.8	1%	0%
F-11	8.7	1.49	13.0	13.7	14.0	-5%	-7%



図-14 雪堤・除雪状況（高雪堤）

表-4 計測雪量（低雪堤）

試験番号	除雪距離 (実測値) (m)	平均 断面積 (システム 計測値) (m ²)	除雪体積(m ³)			誤差率	
			システム 計測値	実測値	検量値	実測値 との誤差	検量値 との誤差
F-4	18.3	1.19	21.7	16.3	14.0	33%	55%
F-5	18.9	0.89	16.9	20.9	14.0	-19%	21%
F-6	19.7	0.79	15.4	14.2	14.0	8%	10%



図-15 雪堤・除雪状況（低雪堤）

きの天候は晴れで気温が高めであり、風に舞うような雪の影響は皆無であった。

6. まとめ

走行パルス試験においては、ロータリ除雪車のタイヤが確実にグリップできる路面状態であれば、1パルス当たりの走行距離は0.031mで安定したため、除雪距離を走行パルスから算定することができる。しかし、新雪等、ロータリ除雪車のタイヤグリップ力が低下する路面状況においては、タイヤの滑り等により、1パルス当たりの走行距離が0.001~0.005m程度短くなる可能性がある。

また走行パルスをもとに、一定間隔で確実に雪堤断面を取得するためには、レーザースキャナの設定を「スキャン回数 50 回/秒、角度分解能 0.50°」とした上で、10パルス程度（約30cm間隔）毎に断面計測を行うことが望ましい。

雪量計測試験においては、視界を遮るような吹雪やレーザースキャナ本体付近で雪煙等が舞っていた場合、正しい計測が不可能であることがわかった。しかし、一

般的に運搬除雪作業が行われる天候・状況（条件）であれば、雪量計測は可能と考える。

7. 今後の計画

走行パルス計測試験において明らかになった1パルス当たりの走行距離について、路面状況と走行パルスの関係を詳細に確認する必要がある。また雪量計測試験において、気象条件により発生する影響に対応するために、ソフト面、ハード面での対処法を検討し、走行距離と雪量計測を同期させた雪量計測システムの構築に向けて実際の運搬除雪施工現場での運用試験を行う予定である。

参考文献

- 1) 石川真大、佐々木憲弘、中村隆一、今岡大輔：運搬排雪施工管理システムの開発、第24回寒地技術シンポジウム論文集（平成20年度）
- 2) 佐々木憲弘、中村隆一、今岡大輔：運搬排雪施工管理システムの開発、建設施工と建設機械シンポジウム論文集（平成20年度）