

運搬除雪施工管理システムの開発

(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

積雪寒冷地域の路上において、堆雪スペースを確保するために行われる運搬除雪作業の施工管理は、現在人力によって行われており、その作業性から監督員・作業員の負担となっている。本研究では、この施工管理の高度化・効率化を図るため、レーザスキャナを用いた雪量計測、RFID（アクティブ型）を用いたダンプトラック運搬回数計測について試験を行い、計測精度、運用面等の検証を行った。

キーワード：運搬除雪、施工管理、レーザスキャナ、RFID

1. はじめに

積雪寒冷地域における、市街地や幅員の狭い道路では、堆雪余裕幅が狭く、降雪と除雪作業の繰り返しによって路側の雪堤が成長し、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（写真-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。



写真-1 運搬除雪作業状況（並列）

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及びダンプトラック台数の把握を自動化する運搬除雪施工管理システム（以下、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。



写真-2 運搬除雪作業状況（縦列）

2. 運搬除雪施工管理の実態^{1)、2)}

北海道開発局における運搬除雪作業の施工管理は、ダンプトラックに備えている検数表への捺印（写真-3）や、タコグラフの排雪カウンター（チャート紙に印字、

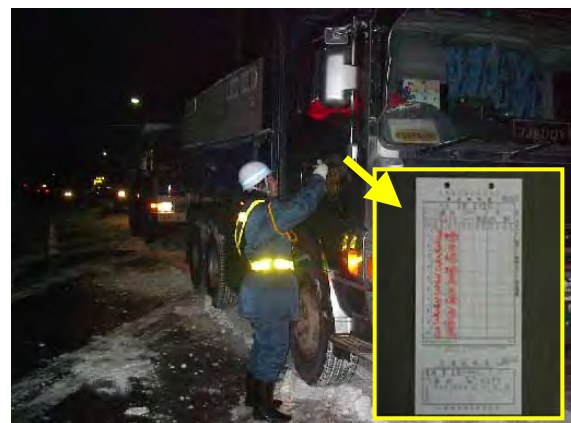


写真-3 検数表への捺印

写真 - 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 (写真 - 4) を行い、全体作業量 (運搬除雪量) の管理を行っている。



写真 - 4 チャート紙・検量

本システムの構築に向けて、運搬除雪作業の施工管理の現状及び問題点の調査を行った結果を以下に整理する。

- a) 運搬回数を把握するための検数表への捺印は、施工業者が実施するため、監督員の立会時以外は確認が出来ず、信頼性が低い。
- b) 排雪カウンターは、チャート紙に記録されるが、装備されているダンプトラックを確保するのが難しい。
- c) 運搬除雪量を把握するための検量作業は、雪堆積場等で人力により行うため、1台当たり20~30分を要し、作業効率が悪い。また、検量の頻度がダンプトラック100台に1台程度の割合で実施しているため、信頼性が低い。

3. システムの基本構想^{1)、2)}

本システムは、前述の施工管理を一連で実施するもので、ダンプトラックへの積込み雪量を、自動計測技術を用いて検量すると同時に、ダンプトラックの車両毎の運搬回数を、通信機器による車両認証技術を用いて把握し、施工管理及び積算で用いる運搬除雪量、作業日時等をデータとして出力するものである。

本システムに必要な機能要件を設定するポイントとして、運搬除雪作業の施工管理は、外部条件により多様に変化する雪という物質を扱う性質上、一般的な土木工事のように後から出来形を計測するのが困難なことがあげられる。従って運搬除雪作業の工程の中で、作業量をリアルタイムで出来形として記録・管理しておく必要がある。これにより運搬除雪作業における積算精度の向上、及び社会的透明性の確保を図るとともに、人力による作業員の負担改善等の効果を期待するものである。

本システムに必要な機能要件を次のように設定した。

(1) 本システムによる管理の範囲

「①どの車両が」「②いつ」「③どこを雪を」「④どれだけ積んで」「⑤どこに運搬したか」すなわち、ダンプトラックの一連の作業行動を1台単位で把握・記録することで全体作業量をデータ管理する。

(2) 雪量の計測

現在、人力で100台に1台程度行われている雪量の計測を、システムで全量計測し、管理基準である14m³以上の積込みがされているか確認を行う。ただし、一連の運搬除雪作業効率に影響を与えない計測手法とする。

(3) ダンプトラックの運搬回数の計測

現在、人力等で行われているダンプトラックの運搬回数の計測を自動化し、雪量の計測と合わせた一連管理を行う。

(4) アウトプット

(1) で示した①~⑤の出力結果を基に作業日報を作成し、管理基準に対する適否の判断、積算数量の算出、集計を行う。

4. 雪量の計測技術

運搬除雪作業は、①オーガで雪堤の雪をかき込む。②ブロワによりシュートを通させ投雪する。(縦列積込みの場合はベルトコンベアにて後方に投雪する。) ③ダンプトラックへ積込みする。④雪堆積場等へ運搬する。⑤雪堆積場等でダンプアップにより雪を排出する。などの工程がある。

雪量の計測はこれらの工程の中で、一連の運搬除雪作業効率に影響を与えず、技術的に計測出来る可能性が高い、①のオーガで雪をかき込む直前の雪堤状態の計測を検討した。

(1) 雪量計測に関する技術選定

運搬除雪作業において、ロータリ除雪車のオーガで、雪をかき込む直前の雪堤状態を計測出来る可能性がある技術について調査を行った(ステレオカメラによる画像解析、レーザスキャナ等)。その結果、近距離計測が可能で、データ処理が比較的容易な「レーザスキャナ」について詳細な検討を行うこととした。

(2) 雪量計測システムの試作

レーザスキャナを用いた雪量計測システムの試作を行った。

a) レーザスキャナ仕様

レーザスキャナについては、機器と計測対象物(雪堤)間の距離が短いこと、計測結果はmm単位の精度を

求めないこと、機器単体のコストを安価に抑えることから、地形測量等に用いられるハイスペックな機器ではなく、産業用に一般的に用いられる機器を選定した。(表 - 1)

b)計測方法

積まれる雪の体積の計測方法は、ロータリ除雪車のオーガで雪をかき込む直前の雪堤断面を計測するものとした。計測イメージを図-1に示す。

表 - 1 レーザスキャナ仕様

項目	内容
測定距離	最大50m
スキャン角度	100°
角度分解能	0.5°
測定分解能	50mm
スキャン回数	25回/秒
レーザ保護クラス	1アイ・セーフ
使用温度	-20℃～+50℃
寸法(W×H×D)	352mm×266mm×202mm
重量	9kg

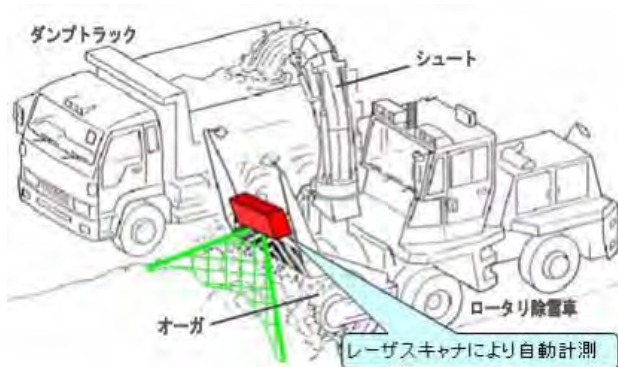


図 - 1 雪量計測イメージ

c)体積計算プログラム仕様

体積計算プログラムは、雪堤の断面形状をリアルタイムに把握し、走行延長毎に体積を計算することとしたが、試験では一定距離を等速度で走行し、断面形状の平均を求め、計測延長を乗じて体積を算出するプログラムとした。

(3) 静止状態での計測試験

レーザスキャナをロータリ除雪車に装着し、静止した状態で計測試験を行った。計測対象物は段ボール箱や脚立等を組合せて設置し、レーザスキャナでの計測形状を確認した。計測した断面形状は、実際の形状と比較して良好な結果となった(図-2)。ただし、レーザスキャナが1点からの放射計測であるため、計測対象物の位置や形状によって計測の死角が発生することがわかった(図-3)。



図 - 2 計測試験 (静止)

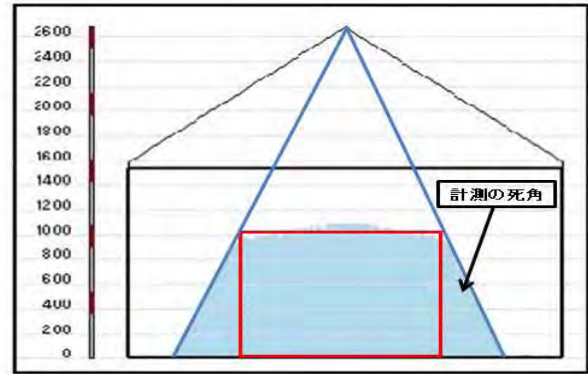


図 - 3 計測の死角

(4) 作業状態での計測試験

実際の除雪作業を想定し、北海道開発局 (旧) 防災・技術センター構内において、ロータリ除雪車からダンプトラックへの積込作業を実施し、計測試験を行った。(写真 - 5)



写真 - 5 計測試験

試験はロータリ除雪車に装着したレーザスキャナにより、雪堤断面の座標データを取得する。取得したデータについては体積計算プログラムを用いて解析し、雪堤の体積を求めた。計測した雪堤の体積は、下記の2種類のデータと比較した。

- ・雪堤形状を矩形断面・三角形等に成形し、予め計測した雪堤の体積。
 - ・実際の運搬除雪と同様に目視で14m³以上をダンプトラックへ積込み、検量箱を使用して計測した雪の体積。
- 試験の結果、レーザスキャナ計測データと上記方法で

計測した雪の体積との間に誤差が生じる結果となった。計測誤差の内容と主な要因について、以下にまとめる。

a) レーザスキャナの死角

雪堤の形状が矩形断面の場合、図-3に示したように、実際の雪堤形状は矩形断面（赤枠）であるのに対し、体積計算プログラムでは左右の死角に雪が存在するものと認識して計算を実行しているため、実際の体積より30%程度、雪量を多く計算することになる（1m×1mの矩形断面の場合）。

また、雪堤形状による計測誤差を比較すると、死角の出来やすい矩形断面に比べ、死角の出来にくい三角形状断面の雪堤は、比較的計測精度が高い結果が得られた（表-2）。

表-2 雪堤形状による計測誤差の比









雪堤の形状	断面計測状況	①検量値 (基準値) m ³	②計測値 m ³	計測誤差②-① m ³ (基準値に対する割合)
【矩形-1】 		11.5	16.7	5.2 (45%)
【矩形-2】 		14.8	22.3	7.5 (51%)
【三角状-1】 		14.4	16.9	2.5 (17%)
【三角状-2】 		13.2	14.3	1.1 (8%)



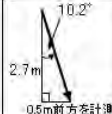
写真-6 雪の飛出しとレーザ角度

b) オーガ回転の影響による計測形状の変化

ロータリ除雪車のオーガの回転力により、一度オーガケース内にかき込まれた雪塊が前方に飛び出したり、オーガが雪堤を圧迫して雪堤が崩れるなどした場合、それらの雪塊をスキャンしてしまうことになる（写真-6）。

今回の試験では、これらによる誤差が大きいものと判断されたため、レーザスキャナ本体を前方に傾け（写真-6、形状変化の少ないオーガの前方を計測した場合について調査した。雪堤形状が類似している「傾きなし」パターンと比較した結果を表-3に示す。オーガ前方約1m（直下から約0.5m）の計測は、レーザスキャナ直下の計測に比べ、計測精度が向上した。よってレーザスキャナはオーガから1m程度前方を計測するのが望ましいと判断した。

表-3 レーザ角度変更による計測

雪堤形状	レーザ角度	①雪堤体積 (基準値) m ³	②計測値 m ³	計測誤差②-① m ³ (基準値に対する割合)
台形	傾きなし (直下を測定)	16.2	22.3	6.1 (38%)
		17.6	20.4	2.8 (16%)

c) 検量時の締め固めによる体積変化

通常の検量は、ダンプトラックに積込みした雪を一定の形状に成形して計測を行うため、積込み時と比較して雪が締め固まる傾向がある。気温や雪の密度等により多少異なるが、これを起因とした体積変化が考えられる。

5. ダンプトラック運搬回数の計測技術

運搬回数の計測を実施する場面としては、積込み現場又は雪堆積場等が想定され、無線通信機器等を用いて、どのダンプトラックが、いつ、どこへ運搬を行ったか管理する必要がある。

無線通信等を用いて車両を認証する技術を調査し、現時点で市場性が高く、車両管理等の類似実績のあるRFID（アクティブ型）について、詳細検討を行った。

(1) RFIDの選定

RFIDは、数百kHzの長波から数GHzのマイクロ波まで、様々な周波数が使われている。周波数によって通信距離、指向性、通信速度、ノイズや電波障害等の特性が異なることから、利用目的や周辺環境に合わせた選択が必要になる。

a) RFID選定条件

- ・通信エリアは狭域で指向性が必要なこと、双方向通信が望ましいこと等から、周波数は2.4GHz帯（マイクロ波）とする。
- ・使用環境条件（温度、保護構造）が運搬除雪現場に適合していること。
- ・アンテナとコントローラは一体型・分離型を問わない。

b) システム仕様

- ・通信周波数帯：マイクロ波帯（2.4GHz 狭帯域方式）
- ・タグデータ容量：50byte（英数50文字）以上
- ・通信距離：最大読取距離3m以上
- ・使用温度範囲：
 - タグ、アンテナ -20℃以下～+50℃以上
- ・保護構造：タグ、アンテナ IP65以上
- ・プログラム設定：
 - 連続通信設定（オートリードライト）、
 - 二度読み禁止設定、CSVファイル保存、等

c)試験に使用するRFID

本試験で使用するRFIDとして、上記仕様を満たし、国内の車両管理や駐車場管理の分野で実績のある2機種を選定した。

選定したRFID機器を表-4に示す。

表-4 RFID仕様

項目	RFID1	RFID2
機器形態	アンテナ・コントローラ分離型	アンテナ・コントローラ一体型
タグデータ容量	256 byte	71 byte
通信距離	最大4m	読取3.5m
タグ電池寿命	3000万回アクセス (10byte通信時)	最大8年
タグ・アンテナ使用温度	-40~85℃	-20~70℃

(2) 予備試験

選定した2機種のRFID機器を用いて、通信エリアの確認及び運搬除雪作業を考慮した車両間通信の確認試験を行った。

a)通信エリアの確認



写真-7 RFIDアンテナ

ロータリ除雪車とダンプトラックの作業位置関係を考慮し、ロータリ除雪車にRFIDコントローラ・アンテナを設置した(写真-7)。ロータリ除雪車は静止状態でタグを移動させ、通信試験を行い、通信可能エリアを調査した。

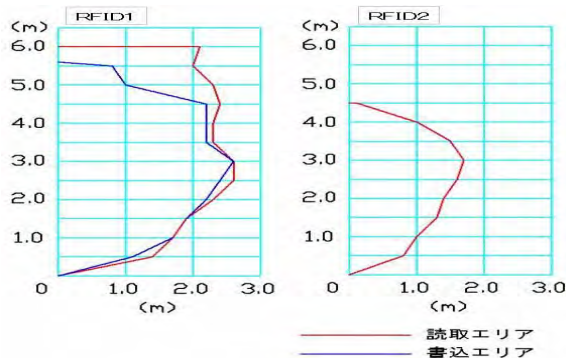


図-4 通信エリア

2機種の通信可能エリアは図-4に示すとおり、最大通信距離4.5~6mが確保でき、2機種とも当該目的に合

致した基本性能を有することが確認できた。

b)運搬除雪作業を考慮した車両通信試験

実際の運搬除雪作業を想定し、RFIDコントローラ・アンテナを設置したロータリ除雪車と、タグを設置したダンプトラック間の通信状況の確認試験を行った(写真-8)。試験パターンは雪積み時(縦列・並列)と、雪堆積場等での排出を想定し、ダンプトラックはロータリ除雪車の側方を通過させた。

試験の結果、2機種とも全てのパターンにおいて良好な通信が確認され、目的に合致した性能を有することが確認できた。



写真-8 車両間通信試験

(3) 施工現場における運用試験

選定したRFIDを使用し、施工現場における運用試験を行った。試験は札幌道路事務所管内の運搬除雪作業において、札幌建設運送(株)の協力により、ダンプトラック20台にタグを設置し、ダンプトラック運搬の全数調査を実施した。

a)日時・場所

平成20年1月下旬~2月中旬のうち、4日間
 一般国道5号 札幌市手稲区星置~宮の沢8.2km
 一般国道274号 札幌市東区東雁来~
 北広島市共栄 16.9km

b)試験内容

予備試験で使用した2機種のRFIDを使用し、通信状況及び車両認証の記録を行った。また、積込み作業全数の目視確認を行い、通信記録との比較を行った。

c)試験結果

4日間における試験結果を以下に示す。

- ・1日目
開始後約15分以降のデータが取得できなかった。(取得台数は全328台中11台)原因は一時的な電流遮断あるいは電圧降下により、コントローラの電源が切れたためである。
- ・2日目
全210台中201台の通信が確認出来た。通信不可

だった9台については、雪を積込みした直後のダンプトラックが、交差点付近でUターン路へ入るために大きくハンドルを切ったことから、アンテナ（ロータリ除雪車）とタグ（ダンプトラック）間の距離が大きくなり、通信可能エリアを外れたためと判断した。

・ 3日目

全323台中全ての通信が確認され、データの欠損は無かった。これはダンプトラックがUターンをする箇所が無かったとともに、ロータリ除雪車のアンテナ設置位置変更（ロータリ除雪車の後方側面へ移設）の効果があつたものと判断した（図 - 5）。

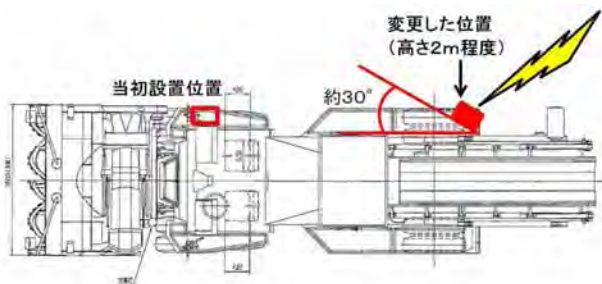


図 - 5 RFID アンテナ

・ 4日目

全244台中243台の通信が確認出来た。通信不可だった1台については原因を特定することは出来なかったが、タグが何らかに遮られる等、人為的なものであった可能性も考えられる。

2機種とも、運搬除雪作業の形態を考慮し、コントローラを最も適した位置に設置し、交差点での右折時や、Uターン時におけるダンプトラックの誘導方法等の運用面に留意すれば、本システムは十分に活用出来ると思われる。

6. まとめ

試験の成果として、以下のとおりまとめる。

(1) 雪量計測技術は、ロータリ除雪車のオーガで雪をかき込む時点で計測することとし、レーザスキャナを使用したシステムを試作した。本システムで使用したレーザスキャナは、リアルタイムに座標データが取得可能であり、データ処理も容易なことから、雪量計測技術とし

て有効であると考えられる。しかし、試験の結果、レーザスキャナの死角、オーガからの雪の飛出し等による計測形状の変化、吹雪等による誤認識などの要因による計測誤差が生じた。

(2) ダンプトラック運搬回数計測技術は、RFID（アクティブ型）による車両認証技術を用いて、通信試験及び施工現場での運用試験を行った。本技術は他分野での実績もあり、本試験においても良好な結果が得られている。一部通信が出来ず、車両認証がされないケースもあったが、機器の設置方法やダンプトラックの誘導方法の指導を行うことで対応可能と考える。

7. 今後の計画

雪量計測技術は、計測データの信頼性を高めるために、様々な雪堤形状の雪量計測試験を実施し、データを分析することで、レーザスキャナ等機器の調整や、体積計算ロジックの検討を行っていく必要がある。また、試験では一定距離を等速度で走行することを条件としたプログラムであったが、より正確な位置での座標データを取得するために、移動距離と計測を同期させた計算プログラムを構築する予定である。

「2. 運搬除雪施工管理の実態」にも記述したとおり、工事費の積算に反映される運搬除雪量の把握方法の現状は、必ずしも十分とは言えない状況である。本システムは、除雪時間、費用の削減には直接は結びつかないが、施工管理の高度化・効率化を図るもので、運搬除雪量の全量自動管理が目標である。今後はアウトプットとして管理帳票を作成する雪量計測と運搬回数計測（車両認証）の2システムにおけるデータの信頼性を向上させ、両システムを統合した、運搬除雪施工管理システムの構築を目指すものである。

参考文献

- 1) 今岡大輔、佐々木憲弘、中村隆一：運搬排雪施工管理システムの調査検討、第20回ふゆトピア研究発表会論文集（平成19年度）
- 2) 今岡大輔、佐々木憲弘、中村隆一：運搬排雪施工管理システムの調査検討（中間報告）、北海道開発局技術研究発表会論文集、第51回（平成19年度）