

流雪溝の利便性向上に向けた機械投雪実験とその運用方法の検討

A study on mechanical snow throwing and operational strategies for enhancing the usability of Snow-Flowing Gutters

小西 信義¹, 吉田 透², 三原 夕佳¹, 滝本 慎二², 坂下 淳一³, 石原 敬規³, 原文 宏¹, 倉内 公嘉⁴
Nobuyoshi Konishi¹, Toru Yoshida², Yuka Mihara¹, Shinji Takimoto², Junichi Sakashita³,
Takayuki Ishihara³ Fumihiko Hara¹, Kimiyoshi Kurauchi¹

Corresponding author: konishi@decnet.or.jp (N. Konishi)

¹北海道開発技術センター, ²ドーコン, ³一三北北, ⁴岩田地崎建設 (前北海道開発技術センター)

¹ Hokkaido Development Engineering Center, ² Docon Co., Ltd.,

³ Hifumi-Kitamichi Co. Ltd., ⁴ Iwata Chizaki Co., Ltd.

道内の流雪溝および融雪溝における現代的課題として、高齢化や過疎化に伴う投雪作業の担い手不足により、施設本来の機能が十分に発揮されていない現状がある。この課題の解決策として投雪作業の利便性向上が重要であり、具体的にはハンドガイド式除雪機の使用可能性を検討することが有益であると考えられる。本稿では、令和6年度冬季に実施したハンドガイド式除雪機による模擬流雪溝投雪実験と、その結果を基に算出した限界投雪量を報告する。結果、13馬力の除雪機を使用することで、最大10か所の投雪口において同時投雪が可能であることが判明した。

1. はじめに

高齢化や過疎化により、流雪溝への投雪作業を担う人手の確保が困難になっている。これに伴い、既存の流雪溝施設が本来の機能を十分に発揮できていない地域もある。

このような背景のもと、流雪溝の排雪機能を将来的にも維持するためには、一人当たりの投雪量を向上させるとともに、少人数でも効率的に排雪作業を行える環境整備が必要であり、特に、ハンドガイド式除雪機の活用可能性を検討することが有効と考えられる。

一方、三原ら¹⁾の調査では、ハンドガイド式小型除雪機による機械投雪が可能な流雪溝は、道内では全体の19%に過ぎないことが示されている。そこで、本稿では、実験により限界投雪量の机上推量を行い、小型除雪機による機械投雪の導入可能性を検討するとともに、導入時の具体的な運用方法を提案する。

2. 限界投雪量の考え方

限界投雪量の机上推量を行うにあたり、『積雪寒冷地における流雪溝マニュアル(案)』²⁾を参考とする。本マニュアルでは、流雪溝の限界投雪量を「溢水事故を起こさない範囲での単位時間あたりの最大投雪可能量」と定義し、新雪密度と流水量によって求められる(式1)。

$$W = 2 \cdot \rho_{ns} \cdot Q \quad (\text{式 1})$$

W : 限界投雪量(t/s)

ρ_{ns} : 新雪密度=0.1 (t/m³)

Q : 流水量 (m³/s)

なお、同マニュアルでは、新雪密度を0.1と仮定するとともに、北海道の一般的な流雪溝の流水量が0.20m³/sで計画されていることを前提とし、限界投雪量は0.04 t/sと設定している。

これらは設備側からの要求水準である一方、一人あたりの投入歩掛の想定に基づいた「最大投入雪量」という水準も設けられている。この基準は、1路線あるいは1区間からの単位時間あたりの最大投入雪量であり、区間延長、平均投入口間隔、雪密度、投入口1か所あたりの投入体積で求められる(式2)。加え、この値は、限界投雪量、つまり、0.04t/s以内でなければならない。

$$W_c = \ell / e \cdot \rho \cdot v \quad (\text{式 2})$$

W_c : 単位時間あたりの最大投入雪量 (t/s)

ℓ : 区間延長 (m)

e : 平均投入口間隔 (m)

ρ : 雪密度 (t/m³)

v : 投入口1か所あたりの投入体積(m³/s)

ここで機械投雪導入の可能性を検討するにあ

たり, 最大投入雪量 W_c が限界投雪量 W ($0.04(t/s)$) 以下となる l/e (投雪口数), つまり, 機械投雪でも溢水が発生しない範囲の投雪口数を算出することが, 机上推量における重要な手順となる。

以上, 本稿では, 機械投雪における ρ : 雪密度と v : 投入口1か所あたりの投入体積を求め, 使用可能な投雪口数を算出した。

3. 実験の概要

3. 1 機械投雪実験の方法

機械投雪における ρ : 雪密度と v : 投入口1か所あたりの投入体積を求めるにあたり, 実験環境下における機械投雪実験を行った。具体的には, $1m^3$ の木箱(図1)に機械投雪し, 木箱がいっぱいになるまでの秒数(s), 木箱内の雪密度(ρ), 木箱内の雪の高さ(h)を計測することとした。

また, 木箱上部には転落防止用の安全格子を模した鉄製のフレーム(図2)を設置し, 現実の流雪溝の設置環境に極力近似することに努めた。



図1 木箱 (1×1×1m)



図2 模擬安全格子 (1メッシュ: 238×238mm)

このような木箱への機械投雪作業を小型除雪機の馬力別(後述)で各3回, 模擬安全格子の有無で計18回行った。さらに, 小形除雪車の機械投雪は格子有りのみ3回の投雪作業を行った。

3. 2 機械投雪実験の諸環境

実験は令和7年2月3日11:00~16:00に, 札幌道路事務所花畔除雪ステーションにて実施した。当日は一日中曇りで, 気温は氷点下であった。

対象としたハンドガイド式小型除雪機は6馬力, 11馬力, 13馬力の3種類(図3)で, それぞれ格子有り・格子無しの条件で投雪能力を評価した。評価には $1m^3$ の木箱を用い, 満杯になるまでの時間から単位時間あたりの投入体積を算出した。ハンドガイド式小型除雪機による機械投雪は必ずしもすべての投雪結果が投雪口に入り切

ることはないことから, 投雪口付近に木板を設置し, 木板に当たった雪が投雪口に自然落下できるようにした。この作業は, 現実よりも投入雪量を増やす作業であり, 溢水リスクを高める作業とも言えるが, 現実の投雪作業よりも安全寄りの数値であることから木板の設置を許容した(図4)。

馬力と安全格子の有無の組み合わせで投雪した時間帯及び当日の気温の推移を示す(図5)。



小型除雪機 (6馬力)
(ホンダ HS660)



小型除雪機 (11馬力)
(ホンダ HS1090)



小型除雪機 (13馬力)
(クボタ KSR100)



小形除雪車 (126馬力)
(NICHIGO HTR142)

図3 実験で用いた除雪機



図4 こぼれ落ち防止方法

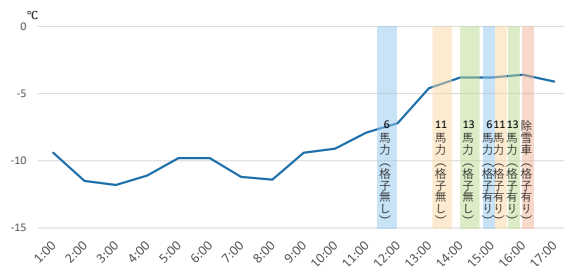


図5 投雪した時間帯及び当日の気温の推移 (気温は気象庁(観測点: 石狩))

4. 実験結果

4. 1 単位時間あたりの投雪量

小型除雪機及び小形除雪車からの投雪を木箱で受け止め、雪密度と投入体積から最大投入雪量 (W_c) を算出した。

図 6 及び図 7 は、馬力と安全格子の有りの組み合わせごとの、単位時間あたりの投雪量である。図 6 が示す通り小形除雪車の投雪量は小型除雪機を圧倒し、机上推量をした結果、1 か所でも投雪すると溢水といった結果を示した。

図 7 は、小形除雪車を省いた小型除雪機の単位時間あたりの投雪量のグラフである。13 馬力の投雪量が最も多く、格子の有りで投雪量の違いはほとんど見られなかった。

なお、13 馬力で突出している 2 回の試技 (図 7 点線枠) は、熟練者の操作によるもので操作者の技量に依存することがわかった。また、留意点として、昼過ぎは雪山が日射で融けて硬くなったようで、除雪機がかみ合わずそり上がることが多々あった。さらに、11 馬力はオーガの刃が摩耗していて性能が落ちていた可能性があり、6 馬力と 11 馬力の間に投雪量の差が見られなかった。

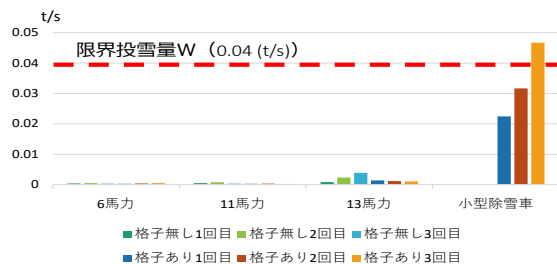


図 6 除雪機・除雪車ごとの投入量

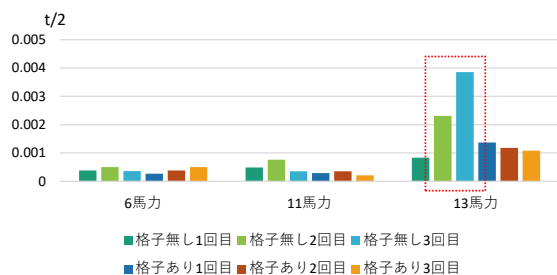


図 7 小型除雪機ごとの投入量

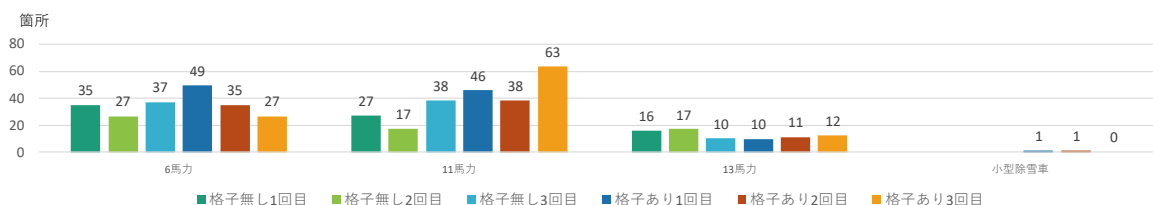


図 8 除雪機・除雪車ごとの利用可能投雪口数

4. 2 操作者の違いで生じる投雪量の違い

前項で触れた 13 馬力の試技から、操作者の技量の違いが顕著に確認されたことから、利用可能投雪口数の推量にあたり、操作者の技量の違いを考慮し評価する必要を認識した。

ヤマハ製 11 馬力の小型除雪機を日常利用している操作者による 13 馬力小型除雪機による単位時間あたりの投雪量の単純平均は、0.001t/s だった。一方、日常的に小型除雪機による道路除雪作業を業務で行っている職員による単位時間あたりの投雪量の単純平均は、0.003t/s だった。したがって、普段使っている機械とは違う機械を使用した操作者に対し、熟練操作者はおおよそ 3 倍の技術を持っていると仮定し、次項で投雪口数を算出した。

4. 3 利用可能投雪口数

図 6 で示した小型除雪機ごとの投入雪量から、利用可能投雪口数 (l/e) を算出した (図 8)。なお、算出には一般操作者と熟練操作者の技量の違いをもとに調整している。

6 馬力は、平均 35 箇所、11 馬力は、平均 38.2 箇所、13 馬力は平均 12.7 箇所での同時投雪可能という結果となった。なお、図 6 のとおり小形除雪車においては 3 回目の試技にて限界投雪量を上回ったことで溢水を招く可能性が示されたことから利用可能投雪口数はゼロと判別した。

より安全側の結果を重視し、各馬力の机上推量における最少利用可能投雪口数を採用し、6 馬力では 27 箇所、11 馬力では 17 箇所、13 馬力は 10 箇所が安全側の利用可能投雪口数とした (表 1)。

表 1 小型除雪機ごとの利用可能投雪口数

馬力	投雪量 (t/s)	利用可能投雪口数	
		単純平均	安全側
6 馬力	0.001	35.0	27
11 馬力	0.003	38.2	17
13 馬力	0.004	12.7	10

5. 考察

実験結果及び利用可能投雪口数の推量結果を踏まえ、機械投雪導入時の具体的な運用方法を検討する。

北海道の流雪溝はおおむね 400～500m を 1 区間として 10 メートルごとに 1 個の投雪口を設置していることから、1 区間あたり 40～50 箇所の投雪口を有していることが一般的である。そのため、安全側で 27 箇所の同時投雪が可能な 6 馬力なら周囲の投雪状況を気配りすれば十分投雪可能と言えよう。また、安全側で 10 箇所の同時投雪が可能な 13 馬力の除雪機であれば、1 区間あたり投雪口 5 箇所ごとに 1 台までの機械投雪が可能という制約を設ければ、溢水のリスクは計算上回避できると考える。

本実験は、実際の運用現場に近い条件下を極力人工的に作り出し、機械投雪の実用性を検証するものであった。使用した雪は、除雪ステーションに一冬期堆積したもので、現実において流雪溝付近で生じる道路除雪（新雪除雪や拡幅除雪）による堆雪の雪質に近いと推察され、目測の限りにおいて粒径がおおよそ直径 1～5cm ばらつきがあった。このような形や大きさに違いのある堆雪を機械投雪したにも関わらず、安全格子の有無で投雪量の違いが生じなかった理由としては、機械投雪後の雪は小型除雪機を経由していることから粒径が細くなり、安全格子のメッシュを通過しやすくなったためであると考えられる（図 9）。



図 9 堆雪の様子（左：投雪前、右：投雪後）

このことは、安全格子を通過するための雪砕き作業（図 10）が必要となる人力投雪作業と比べ、省人化・省力化にも寄与することを示唆している。機械投雪における省人化・省力化の実例はあり、苫前町古丹別地区で確認された汎用自立型流雪溝投雪補助装置が挙げられる³⁾（図 10）。この装置は単管パイプを自家溶接した高さ約 1m、幅約 0.5m の鉄枠にテント生地が張られたもので、流雪溝の開閉蓋に装着させることで自立し、小型除雪機のシューターの的となる。的に当たった雪塊

は安全格子よりも細くなり、流雪溝に自然落下する。そのため、スコップによる雪砕き作業が不要となるため、投雪作業の単独作業化が可能となる。このように機械投雪の有効性はすでに実践の場で先行的に見出されている。



図 10 雪砕き作業と汎用自立型流雪溝投雪補助装置（古丹別地区流雪溝は公式に機械投雪可）

6. 結論

道内の流・融雪溝に関する現代的な課題として、高齢化や過疎化に伴う投雪作業の担い手不足により、施設の機能が十分に発揮されていない現状がある。この課題の解決策として投雪作業の利便性向上が重要であり、ハンドガイド式除雪機の使用可能性を検討することが有益であると考えられる。

本稿では、令和 6 年度冬季に実施したハンドガイド式小型除雪機による模擬流雪溝投雪実験を行い、利用可能投雪口数を推量した。結果、13 馬力の除雪機を使用することで、最大 10 箇所の投雪口において同時投雪が可能であることが判明した。

今後、この結果の妥当性を専門家等の意見を交え検証し、『積雪寒冷地における流雪溝マニュアル（案）』の追補を行い、「機械投雪でも安全に投雪可能」という根拠を整備していきたい。

【参考文献】

- 1) 三原夕佳, 小西信義, 小村健太, 原文宏, 高野伸栄, 倉内公嘉 (2024) : 北海道における流・融雪溝供用地域の自治体を対象としたアンケート調査結果報告。北海道の雪氷, 43, 37-40.
- 2) 北海道開発技術センター (1990) : 積雪寒冷地における流雪溝マニュアル（案）。
- 3) 小西信義, 三原夕佳, 西大志 (2023) : 暮らしの寒地技術抄～その 1: 林メソッド～。第 40 回寒地技術シンポジウム（ポスター発表）。