豪雪時における融雪機を用いた雪処理方法に関する分析

STUDY ON SNOW DISPOSAL METHODS USING SNOW MELTING MACHINES DURING HEAVY SNOWFALL

湯川 崇 —*1 谷口尚弘 —*2
苫米地 司 —*3

Takashi YUKAWA —*1 Naohiro TANIGUCHI —*2
Tsukasa TOMABECHI —*3

キーワード：
豪雪, 融雪機, 公共施設

Keywords：
Heavy snowfall, Snow melting machines, Public facilities

The present study investigated the use of snow melting machines by community groups responsible for snow removal during periods of heavy snowfall. Snow melting was carried out using two types of snow melting machines installed at public facilities in the city of Tokamachi, which was hit by heavy snowfall in 2006. Data regarding the efficiency and cost of snow melting was collected and analyzed. The results showed that the use of snow melting machines is efficient and cost effective for snow removal during heavy snowfall.

1. 研究の目的と方法

融雪装置(融雪機, 槽やロードヒーティング等)は, 北海道内の一般家庭における雪処理方法として定着している。融雪装置は, その場で雪処理を行うことができ, 雪の堆積場所を必要としないため, 札幌市の都市部などで一般家庭や大型公共施設の駐車場等で需要が拡大している。融雪機は, 他の融雪装置に比べて雪処理能力が大きく, ランニングコストも低く, 装置全体のコンパクト化も可能で, 立地条件に合わせて設置できる特徴を持っている²⁾。近年では, 「平成12年の十勝地方における豪雪」や「平成16年の北見地方における豪雪」³⁾において, 融雪装置(融雪機)を搭載した融雪車が豪雪時の復旧に大きな効力を発揮した。

本研究では, 「平成18年豪雪」に見舞われた十日町市において融雪機を用いた雪処理を実験的に実施し, 融雪機の作業効率や雪処理コスト, 融雪機の導入時期について分析した。これらの結果を基に, 豪雪時における融雪機を活用した復旧の有効性について検討した。

2. 融雪機の仕様と雪処理方法

融雪機を用いた融雪実験は平成18年1月29日~2月7日の間(積雪深300cm程度), 十日町市の市民会館と総合体育館及びJR十日町駅西口の駐車場に業務用融雪機1台, 十日町市博物館と仮設住宅地に家庭用融雪機2台を並列に設置して行った。実験に用いた融雪機の仕様は表1に示すように, 灯油熱源の多水量循環方式で装置内の保有水を熱交換機で暖め, 水中ポンプでシャワー状の温水(約20℃)を噴霧して融雪を行うシステムである。投雪方法の概要は図1に示すように, 業務用融雪機は大型タイヤショベルローダーで集雪しながら投雪し, 図1aに示すように3人体制で作業を行った。家庭用融雪機は, 小型のミニショベルおよび人力で集雪しながら投雪し, 図1bに示すように2人体制で作業を行った。融雪実験では, 「作業時

間」, 「融雪時間」, 「燃料消費量」, 「雪の単位体積重量」を測定した。なお, 業務用融雪機は大型タイヤショベルローダーで除雪が可能な区域, 家庭用融雪機は小型のミニショベルや人力でなければ除雪ができない区域を想定している。同時に, 融雪実験を行った施設関係者に対して, 導入時期や融雪機による雪処理効果などに関するアンケート調査を実施した(配布数60票, 回収数44票, 回収率73.3%)。

表1 実験に用いた融雪機の仕様

	家庭用融雪機	業務用融雪機
融雪方式	灯油熱源・水中熱交換による多水量循環噴射方式	
雪投入方法	人力及び小型除雪機械	中・大型ローダー
融雪能力(t/h)	3,230	22,500
燃料消費量(L/h)	34	250
機体寸法(mm)	2,000×1,100×1,100	1,950×5,450×1,933
雪投入口寸法(mm)	1,117×1,024	1,650×2,500

1a: 3人体制

1b: 2人体制

図1 融雪機の集雪および投雪方法の概要

本報告は, 2006年日本雪工学会大会に発表した内容¹⁾を加筆・再構成したものである。

*1 榎大仁 取締役 北海道工業大学建築学科 研究生
(〒003-0869 札幌市白石区川下1069-10)

*2 北海道工業大学建築学科 助教授・博士(工学)

*3 北海道工業大学建築学科 教授・工博

*1 Director, Daito Corp., (Graduate Student, Hokkaido Institute of Technology)

*2 Assoc. Prof., Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Prof., Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.

3. 融雪作業効率と融雪コスト

3.1 作業効率の分析

融雪機設置場所における雪害の状況と融雪後の復旧状況を表2に示す。表に示すように、作業開始日から3～4日程度で融雪による雪処理が大幅に進み、写真1に示すように本来の機能を回復した状況が伺える。業務用融雪機を設置した十日町市の市民会館や総合体育館、JR 十日町駅西口の駐車場は60～80%の範囲で雪処理が進み、本来の機能を回復すると同時に、その後の降雪に備えた一時的な雪捨て場の確保にもなっている。家庭用融雪機を設置した十日町市博物館と仮設住宅地においても、融雪機の導入で大幅に雪処理が進んだ状況が伺える。特に、明石地区の仮設住宅では窓からの採光が可能となり、被災者の住環境が大幅に改善された。さらに、設計用の雪荷重が小さい仮設住宅の屋根雪も融雪処理され、居住者の雪下ろし作業が不要となった。

融雪機を設置した場所ごとの融雪実験における各項目の測定値を表3に示す。表に示すように、業務用融雪機を設置した十日町市の市民会館、総合体育館、JR 十日町駅西口の駐車場と家庭用融雪機を設置した十日町市の博物館では、いずれも除雪等で人工的に集められた単位体積重量400～600kg/m³の雪を融雪した。これに対し、家庭用融雪機を設置した仮設住宅地で融雪した雪は、降雪で自然に堆積した雪であるため、市民会館等よりも小さい単位体積重量300～500kg/m³の雪である。雪処理面積をみると、業務用融雪機の場合では作業時間および融雪時間が最も長い総合体育館の雪処理面積が最も小さく、作業時間および融雪時間が最も短いJR 十日町駅西口の雪処理面積が最も大きい。家庭用融雪機の場合でも作業時間および融雪時間が長い博物館の雪処理面積が小さく、作業時間および融雪時間が短い仮設住宅地の雪処理面積が大きく、業務用の場合と同様の傾向を示す。これに対して、融雪した雪の体積はいずれの場合も逆の傾向を示す。これらの要因として、雪処理の対象とする「雪の堆積高さ」、「雪の密度」、「集積方法」の差異によって、作業効率が変化することが考える。さらに、体育館などの大屋根のある建物周辺では、落雪の堆積形状も要因に加える検討をする必要がある⁴⁾。

ここで、各実験における作業効率を融雪時間と作業時間との関係で検討すると、以下ようになる。図2に、融雪時間と作業時間との関係を示す。図中の実線で示す「融雪時間＝作業時間」になるラインが作業効率100%となる。家庭用を設置した市博物館と仮設住宅地では「融雪時間＝作業時間」となり、作業効率100%のライン上に分布している。これに対し、業務用を設置した場合はいずれも作業効率100%ラインの下方に分布し、市民会館で約7%、JR 十日町駅西口で約14%、総合体育館で約25%作業効率が低下している。作業効率が最も低下している総合体育館の集雪距離（集雪場所から融雪機までの移動距離）の最大値は図中に示すように約30m、JR 十日町駅西口で約15m、市民会館で約10mとなり、集雪距離の増加に伴い作業効率が低下している。

作業効率に集雪距離の及ぼす影響を作業効率が著しく低下している総合体育館を例に検討すると、以下ようになる。図3に、融雪機の設置位置と作業推移の概要を示す。作業1日目は融雪機を設置する場所の排雪作業から始まり、業務用融雪機を対象とする範囲の端となる道路際に設置し、直ちに融雪作業を始めた。設置に要した時間は約3時間で、家庭用の約3倍の時間を要している。なお、

表2 対象地区の雪害状況と融雪処理後の概要

融雪場所	雪害状況	融雪後の状況
JR十日町駅西口 (3日)	・50台駐車可能な駐車場が10台の駐車スペースまで縮小していた状態。 ・高さ4mの雪山に覆われ、雪捨て場が確保されていない状態。	・融雪により駐車台数が3倍になった。
十日町市市民会館 (3日)	・体育館からの落雪と駐車スペースを確保するために除雪された雪で埋もれた状態。 ・避難口と搬入口が完全に雪で覆われている状態で避難施設として使えない状態。	・融雪により駐車場の機能が回復するとともに、避難口と搬入口を確保することができた。
十日町市総合体育館 (4日)	・駐車場は博物館屋上の雪下ろしの雪で埋もれ、高さ3mの雪が放置された状態で駐車スペースは確保されていない。	・融雪により駐車場の機能が80%程度回復することができた。
十日町市博物館 (3日)	・前の車路に高さ約3mの雪が堆積した状態で、交互通行になっている状態。	・融雪により前面道路の機能が回復し、周辺の公共施設と連動できた。
明石地区仮設住宅 (4日)	・全ての窓が雪で覆われ、室内に結露が発生した状態。 ・屋根は設計用積雪深を超え、構造耐力が限界状態。	・融雪により自然採光が確保され、室内の結露も解消。 ・雪下ろしも可能となり、その雪も融雪処理した。

注) 表中の()内の数値は作業日数を示す。

雪害状況 → 融雪処理後の状況
写真1 雪害の状況と融雪処理後の状況
(明石地区仮設住宅地の場合)

表3 融雪実験における各項目の測定結果

	JR十日町駅西口	十日町市市民会館	十日町市総合体育館	十日町市博物館	明石地区仮設住宅
使用融雪機種	業務用融雪機			家庭用融雪機	
融雪作業期間	1/29～31	1/31～2/3	2/3～7	1/30～2/3	2/4～7
雪の状態	除雪	除雪	除雪	除雪	降雪
単位体積重量 (kg/m ³)	400～600	400～600	400～600	400～600	300～500
作業時間(h)	21	21	29	26	19
融雪時間(h)	18	19	21	26	19
処理面積(m ²)	約400	約330	約310	約110	約250
処理体積(m ³)	826	868	988	336	307
灯油使用量(ℓ)	4,589	4,823	5,822	1,768	1,292

注1) 雪の状態 ー除雪：除雪等で人工的に機械で集めた雪、降雪：降雪で降り積もった雪
注2) 作業時間 ー融雪時間＋集雪時間 注3) 融雪時間 ー雪を融雪機内で融雪する時間
注4) 処理面積 ー融雪作業で雪が処分された面積
注5) 処理体積 ー融雪時間×融雪能力÷単位体積重量
注6) 灯油使用量 ー灯油流量計を用いて測定

図2 融雪時間と作業時間との関係

業務用融雪機の設置には 35 t クレーンが必要となることや設置のための除雪範囲が広がるなどを考慮して、除雪されている道路際とした。2 日目以降は、大型タイヤショベルローダーで融雪機に近い場所から集雪し、融雪作業を継続的に行った。3 日目になると、集雪距離が 15m を越え、4 日目には集雪距離が最大で 30m となり、融雪よりも集雪するための雪の運搬に時間を費やされている。この集雪距離の増加が作業効率の低下に繋がっていると考える。作業効率 100% となった博物館の場合は、対象とする範囲の中央に家庭用融雪機を設置したため、集雪距離が短い。業務用融雪機においても、集雪距離を短縮するような設置計画を行うことで、作業効率が高くなると考える。しかし、業務用融雪機の場合は設置のために大型クレーンが必要となることや設置のための除雪範囲が広くなり、設置に要する時間が長くなるなどの問題もあり、設置場所が限定される問題がある。

これらの結果から、家庭用融雪機は小型のミニショベルや人力でなければ除雪ができない住宅の密集した狭小な地域の復旧作業には、作業効率も高く有効と考える。業務用融雪機は設置場所が限定されることや作業効率を高めるための集雪方法の改善が必要であるが、70% 以上の作業効率を確保できることから、大型タイヤショベルローダーで除雪が可能な区域における豪雪時の雪処理方法として有効な方法の一つと考える。

3.2 融雪コストの分析

現状における豪雪時の雪処理は、ダンプ排雪に依存している。このダンプ排雪と融雪機のランニングコストを検討すると、以下のようになる。処理する雪の体積と処理コストの関係を図 4 に示す。図中のライン 2 の推移は、平成 17 年度における十日町市役所の排雪単価（1 時間当たり排雪量を 10m^3 と想定し、 $8,000\text{円}/\text{h}\cdot\text{台}$ ）から算出される「処理する雪の体積と処理コストの関係」で、灯油単価 $115\text{円}/\text{ℓ}$ に相当する。図中のライン 3 の推移は、本実験で使用した灯油単価（実験時の十日町市における灯油単価は $87\text{円}/\text{ℓ}$ ）から算出される「処理する雪の体積と処理コストの関係」で、ダンプ排雪単価 $6,000\text{円}/\text{h}\cdot\text{台}$ に相当する。図中のライン 1 は、ダンプ排雪単価 $12,000\text{円}/\text{h}\cdot\text{台}$ を想定した場合、灯油価格 $194\text{円}/\text{ℓ}$ に対応している。

これらの結果をみると、本実験における処理コストは現状のダンプ排雪費用の約 75% の $6,000\text{円}/\text{h}\cdot\text{台}$ に相当し、処理コストが低くなる。現状のダンプ排雪 $8,000\text{円}/\text{h}\cdot\text{台}$ とした場合の処理コストは、灯油単価が 115円 に高騰した場合に相当する。しかし、近年の原油不足による社会的背景に連動した灯油単価の変動を考慮すると、融雪機を用いた処理コストの変動が懸念される。一方で、トラック排雪で確保しなければならない雪捨て場の確保が不要となる利点がある。トラック排雪においても、豪雪時には雪捨て場の確保が困難になることや渋滞などで作業効率が大幅に低下している⁵⁾。詳細なコスト比較は、両者の作業効率や本分析で考慮されていない融雪機の設置費やトラック排雪に必要な雪捨て場を確保する費用などを含めて検討する必要がある。

4. 融雪機導入時期の分析

「平成 18 年豪雪」に見舞われた十日町市における降積雪状況の推移を図 5 に示す。図のように、12 月から 1 月上旬にかけて 50cm

図 3 総合体育館における融雪機の設置位置と作業推移の概要

図 4 処理する雪の体積と処理コストの関係

以上の日降雪が 4 回、40cm 以上の日降雪が 8 回、30cm 以上の日降雪が 7 回も発生し、1 月 13 日に最大積雪深 313cm に達している。その後も積雪深の増減を繰り返し、積雪深 300cm 前後の日が 1 ヶ月以上も続いている。積雪深の増減をみると、図中に示す 12 月 17 日～22 日のように増減の過程で積雪深が増加している場合と、1 月 7 日～16 日のように増減の過程で積雪深が減少している場合とがある。これらの現象は、図 6 のように「a モデル（増加型）」と「b モデル（減少型）」にモデル化できる。

「平成 18 年豪雪」における積雪深の推移を a, b の推移モデルで検討すると、以下のようになる。増加型の a モデルは、12 月 10 日～12 月 25 日（第 1 期の増加）、1 月 16 日～1 月 27 日（第 2 期の増加）、2 月 1 日～2 月 11 日（第 3 期の増加）で、連続して発生している。第 1 期の増加となる 12 月 10 日～12 月 25 日は、多量の降雪とも重なり、最深積雪深が平年値を一気に上回る 227cm に達している。融雪機を導入した融雪実験は、積雪深が 300cm 前後で推移する第 3 期の増加にあたる 1 月 29 日～2 月 7 日で、積雪深の増加も落ち着き、復旧に向けた作業も順調に進んでいた時期である。

施設関係者に対するアンケート結果をみると、「融雪機による雪処理が効果的であった」という評価を得られているが、融雪機の導入時期については、「もう少し早く来て欲しかった」という回答が 52% であった。一般的に、豪雪地帯の自治体では積雪深の平年値を

目安とした雪対策に関する設備の設置や予算措置をしている。本豪雪では、第1期の増加にあたる12月10日～12月25日の間に、十日町市の平年積雪深を一気に越えたことから、社会的な混乱も大きかったと考える。ここで、積雪深が平年値を越えた時点で融雪機を導入した場合の雪処理状況について、検討すると以下ようになる。本実験で使用した業務用融雪機の融雪能力を基に、雪の処理面積と1時間当たりの雪の処理深さとの関係を算出すると、図7となる。図中には、業務用融雪機を設置した総合体育館とJR十日町駅西口、市民会館における実測から得られた値を示している。実測から得られた値は、雪の単位体積重量 500kg/m^3 のライン上に分布している。新潟県下における降雪直後の雪の単位体積重量は 200kg/m^3 程度である⁹⁾。集雪作業による圧密を考慮して雪の単位体積重量を 300kg/m^3 として、業務用融雪機による1時間当たりの雪の処理深さを算出すると、図中に示すように雪の処理深さが単位体積重量 500kg/m^3 の場合よりも約1.6倍大きくなる。図5に示すように、積雪深が平年値を越えてからの9日間連続して342cmの降雪があった。この降雪量をJR十日町駅西口(本実験で融雪処理した面積と同じ 400m^2 、雪の単位体積重量を 300kg/m^3 と仮定)で融雪処理とした場合、融雪時間が約18時間で1日の稼働時間を6時間すると3日間で融雪処理できることになる。9日間の降雪量を3日間で融雪処

図5 「平成18年豪雪」における十日町市の降積雪深の推移

図6 積雪深の推移モデル

理が可能で十分な余裕があることから、平年値に至るまでに堆積した雪の処理も可能になると考える。

これらの過程を模式的に示すと図8となり、積雪深の平年値を目安に融雪機を導入することで、豪雪による被害を大幅に緩和できると考える。しかし、業務用融雪機の設定には大型重機が必要となるため、交通網が混乱する豪雪時の可能性などの検討が課題となる。

5. まとめ

本研究では、「平成18年豪雪」に見舞われた十日町市において融雪機による雪処理実験を行い、豪雪時における融雪機を活用した復旧の有効性について検討した。その結果、対象とした施設では3日間程度の融雪処理で大幅に機能が回復し、豪雪時の雪処理方法として有効な方法の一つであることが確認できた。今後の課題として、雪対策の一環として事前に融雪機の設置方法、設置場所を計画することで、さらに有効性が高まると考える。最後に、本実験は十日町市職員、各施設の関係者の多大なる協力を得て実施することができました。ここに感謝を意を表します。

参考文献

- 1) 湯川崇他：豪雪時における融雪装置の有効活用について、第23回日本雪工学会大会論文報告集，pp.79-80，2006.11
- 2) 福士賢一他：融雪機の機能解析，北海道工業大学研究紀要第29号，pp.87-94，2001.3
- 3) 十勝毎日新聞 2000.1.15，北海道新聞 2004.1.21
- 4) 高倉政寛他：勾配屋根を持つ戸建住宅における屋根雪の滑落飛距離について，日本建築学会技術報告集第21号，pp.57-60，2005.6
- 5) 十日町市役所編：雪との闘い—56豪雪の十日町，1981.12
- 6) (財)消防科学総合センター編：地域防災データ総覧，pp.180，1986

図7 雪処理面積と1時間当たりの雪処理深さとの関係

図8 積雪深の平年値を目安に融雪機を導入した場合の積雪深推移の模式図

[2006年10月20日原稿受理 2007年2月19日採用決定]