

3

低エネルギーを用いた融雪の可能性

松浦 和也^{*1}・柳 博文^{*1}・松岡 茂^{*2}

概 要

北海道をはじめとする積雪寒冷地では、散水融雪の場合には路面凍結の恐れがあり、無散水融雪のロードヒーティングが有効的である。従来の熱交換杭や電熱式等の融雪システムでは、その融雪効果自体は十分に確認されているが、一様に総費用が大きくなる傾向にあるため一般に普及しているとは言い難い。そこで、今回融雪システムの低コスト化を目的に、新たな熱源として極めて浅い地盤の地中熱並びに暖房排熱を利用した融雪システムを提案し、その融雪の可能性について札幌市内において試験を実施したので、その融雪効果と特性について報告する。

本試験では、気象条件の厳しい積雪寒冷地においても、極めて浅い地盤の地中熱や暖房排熱から得られる低温度エネルギーのみでも効果的な融雪及び凍結防止効果が得られることが確認できた。

キーワード：地中熱，融雪，未利用エネルギー，積雪寒冷地

FEASIBILITY OF SNOW THAWING WITH LOW ENERGY

Kazuya MATSUURA^{*1}, Hirofumi YANAGI^{*1}, Shigeru MATSUOKA^{*2}

Abstract

Since, in districts with heavy snowfall such as Hokkaido, thawing snow by sprinkling water would cause road surface freezing, heating roads without sprinkling water is more effective. Although the effectiveness of snow thawing systems with the heat exchange pile and electric heating has been verified, all these conventional techniques are expensive, so they are not widely utilized. Aimed at reducing costs of the snow thawing system, the authors proposed a new technique using geothermal heat at very small depths and exhaust heat of space heating, and performed tests to evaluate the feasibility of the technique in Sapporo City. This paper reports its snow thawing effect and characteristics.

The tests demonstrated that with only low temperature energy obtained from very shallow underground and waste heat of space heating, it is possible to thaw snow effectively and prevent freezing.

Keywords: geothermal heat, snow thawing, unutilized energy, deep snow cold district

*1 Geotechnical Engineering Group, Construction Technology Center, Engineering Division

*2 General Manager, Technology Planning Department, Engineering Division

低エネルギーを用いた融雪の可能性

松浦 和也*¹・柳 博文*¹・松岡 茂*²

1. はじめに

近年、環境問題への対応がグローバルな視点から緊急な課題とされており、環境への影響を軽減・解消する技術を積極的に展開し、環境負荷を軽減することが必要である。自然・生態系への配慮はもとより、急速に進行する少子高齢社会における安全・安心な生活環境を求める生活者ニーズにも対応し、これらを適切に調和させていかなければならない。例えば、積雪寒冷地域では、屋根の雪下ろしなどの作業は高齢者の方たちの大きな負担となっており、また、雪が積み上げられた歩道や駐車場などが、バリアフリーの観点からは大きな障害となる。これらの解決策の一つとして、エネルギー消費を抑制すると共に、自然エネルギーや未利用エネルギーの利用が注目されている。その中で、安定した低エネルギー源である地中熱と、従来あまり利用されてこなかった暖房の排熱に着目し、これらの熱エネルギーを効率的に利用して、積雪寒冷地では道路斜路や歩道、建築物周辺などの融雪や凍結防止を実現させるシステムについて開発した。

2. 試験概要

融雪システムの概要を図-1に示す。融雪舗装体の脇には融雪効果の比較のため無対策舗装を設置している。地下タンクは1m³程度の鋼製タンクを土被り1mの位置に埋設し、その内部を循環水で満たし、それを循環させることで周囲の地盤から熱エネルギーを採取するものである。暖房排熱については、一定温度（約20℃）に保たれた暖房小屋内に潜熱蓄熱体を設置し、その内部に配した採熱管を

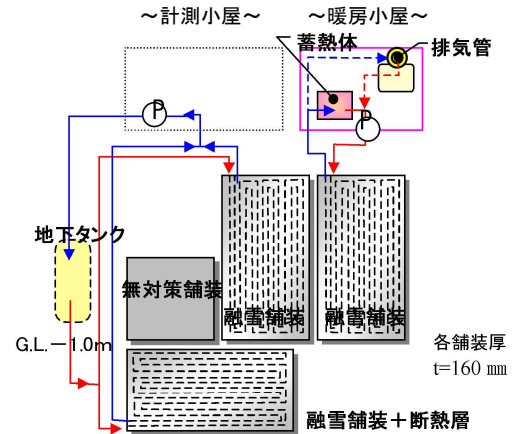


図-1 融雪システム全体概要図

表-1 融雪システム諸元表

部 位	仕 様 ・ 形 状	数 量
地下タンク	鋼製 φ800, L=2m	V=1m ³
蓄熱体	硫酸ナトリウム水和物	V=0.25m ³
循環水	ポリプロピレングリコール25%	—
融雪舗装体	2m×4m 3箇所 t=160mm (1箇所は断熱層 t=20mm有り)	1箇所 A=8m ²
無対策舗装体	2m×2m t=160mm	A=4m ²
採熱管 (暖房排熱)	フレッドホース φ15(排気管), φ19(蓄熱体)	L≒8m
放熱管	SPG-B 15A	c.t.c.100mm

通して室内の熱を採取する。この他、暖房排熱の配管経路を切り替えて暖房器具（FF式）の排気管表面から採熱を行う融雪試験も実施している。それぞれの採熱部を写真-1、写真-2に示す。

温められた循環水は、各融雪舗装体に埋設された放熱管（φ15mm）へと流れ込む。放熱管内を流れることで熱エネルギーを放出（融雪）し、再び各採熱部分に戻る。循環水は凍結防止のためポリプロピレングリコール25%を使用し、当該システムはこの循環水を熱交換の媒体とした一連の作用により成り立つものである。融雪舗装については厚さ160mmのコンクリート版とするが、地下タンクを熱源とする

*1 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 研究開発部 地盤グループ

*2 エンジニアリング本部 技術企画部長



写真-1 潜熱蓄熱体



写真-2 FF式ストーブ排気管

2ブロックの融雪舗装のうち1ブロックは舗装体下部に断熱層を設けその効果を確認した。

これら各構造部位の諸元を表-1に示す。

融雪試験は流量をパラメータ(5~20 ℓ/min)とし、各舗装体の鉛直方向温度分布及び融雪舗装体出入口部の循環水温度を計測した。積雪量は、適時ロットにて直接測定している。

3. 融雪効果

融雪試験では、各流量について概ね2週間程度の連続運転を実施した。そのうち2007年1月22日~2月18日までの積雪深さの経時変化を図-2に示す。

地下タンクを用いたものは、無対策舗装に比べて融雪効果があることが確認でき、さらには断熱層を設けることで融雪能力が向上している事がわかる。これは、断熱層を構成している空気層の保温断熱効果が大きく関連し

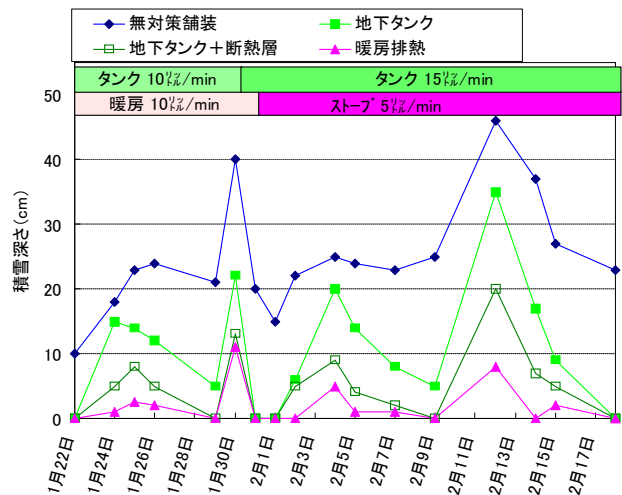


図-2 積雪深さの経時変化

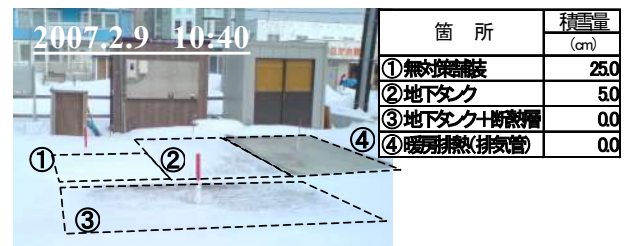
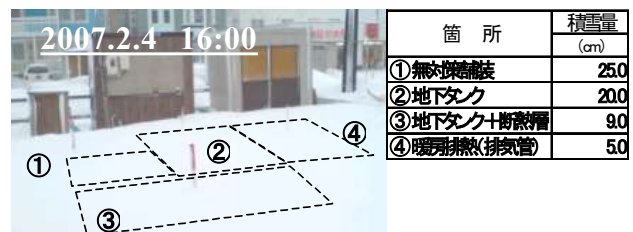


写真-3 融雪状況

ているものと考えられる。地下タンク(地中熱)を熱源としたシステムにおいては、30cmを超える積雪があった場合においても4~5日程度で融雪が完了し、断熱層を用いた場合には、さらに積雪量が抑えられ3~4日程度で融雪が完了する。

次に、暖房排熱を熱源とした融雪システムについては、室温の余熱並びに排気管(FF式ストーブ)の排熱を熱源とする場合、ともに積雪抑制効果と積雪後の融雪能力は地下タンクと比して高く、概ね2~3日で融雪が完了している。

次に、融雪状況を写真-3に示す。無対策舗装に比べ、各融雪舗装の効果を十分に確認

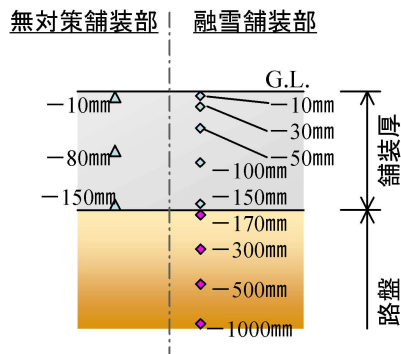
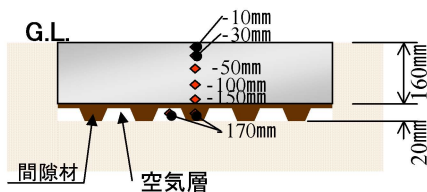


図-3 舗装体鉛直方向温度測定位置

図-4 断熱層が有る場合の
舗装体部鉛直方向温度測定位置

することができる。なお、融雪過程で積雪状態にある場合でも、常時凍結状態にある無対策舗装に比べ、各融雪舗装体は舗装表面が凍結しておらず、積雪境界部はシャーベット状であることが確認できた。

図-3、図-4に舗装体の鉛直方向の温度測定箇所を示す。断熱層がある場合の温度測定については、断熱層の位置において空気層並びに間隙材の両方の温度を計測している。

図-5に熱源として地下タンクと暖房排熱（室温余熱）を用いた各舗装体の表面温度（コンクリート天端より10mm）を、図-6に熱源として地下タンクと暖房排熱（排気管）を用いた各舗装体の表面温度（コンクリート天端より10mm）の温度履歴を示す。ともに、無対策舗装体の表面温度は氷点下となっており凍結状態になっていることが分かる。地下タンク及び暖房排熱については、積雪状態にある場合には概ね一定温度を示し0℃を常に上回っているのが分かる。このとき、地下タンクを熱源とした場合の舗装表面温度は0.5～1.0℃程度であるが、暖房排熱を熱源とした場合については2.0～3.0℃程度を示している。

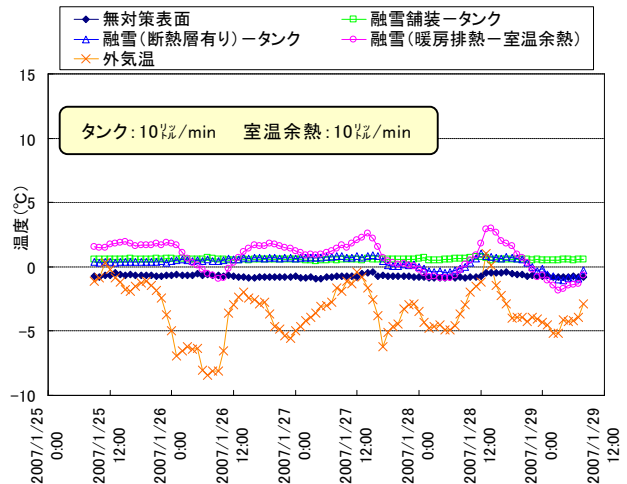


図-5 舗装表面温度（室温余熱・タンク）

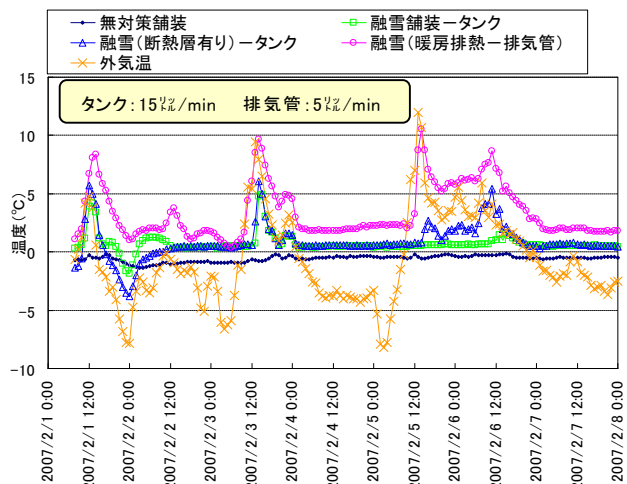
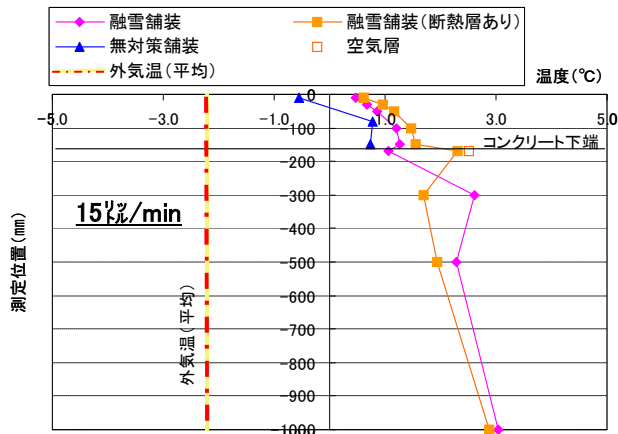


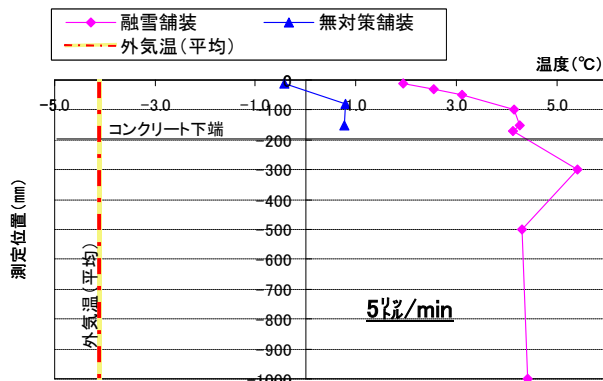
図-6 舗装表面温度（排気管・タンク）

一方、融雪が完了して舗装表面が露出されると、各舗装体の表面温度は外気温の変化に影響を受けて変動することとなる。各熱源は低エネルギーであるため、外気温がある温度より低下すると、各融雪舗装体の表面も凍結状態に至る。今回の試験においては、地下タンクの場合には-3.0℃、室温余熱（蓄熱体）の場合には-5.0℃、及び排気管利用の場合には-10.0℃まで外気温が低下すると、積雪量が0cmの場合には舗装体表面が凍結する傾向を示した。

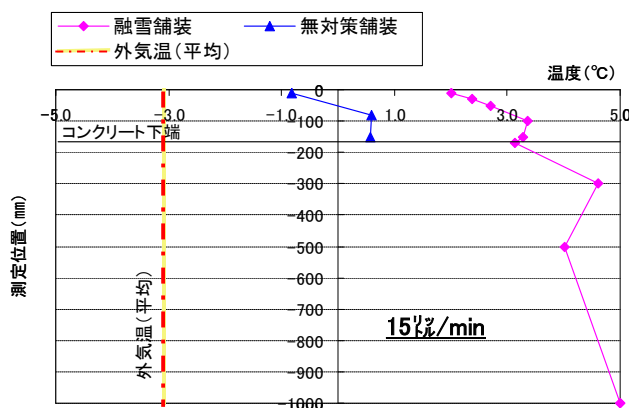
図-7 a)～c)に舗装体の鉛直方向の温度分布を示す。各熱源ともに融雪システムの稼動により舗装体の温度が上昇していることが明らかである。各舗装体ともに、G.L. -



a) 地下タンク



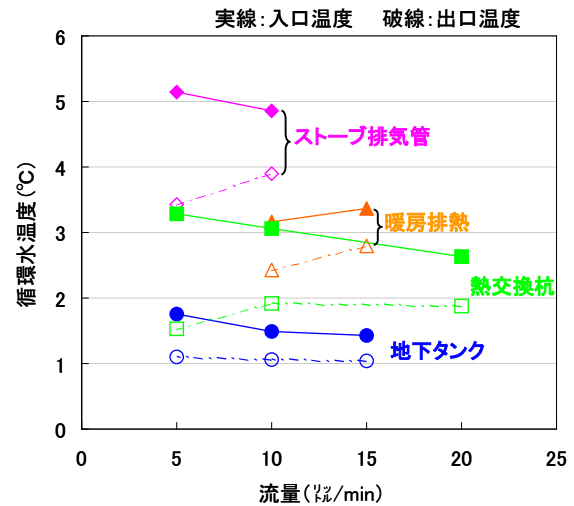
b) 暖房排熱（排気管利用）



c) 暖房排熱（室温余熱－蓄熱体利用）

図－7 各舗装体鉛直方向温度分布

300 mmの位置で温度が高く現れているが、舗装体下部に敷設した碎石層の間隙が影響していると思われる。また、断熱層を有する舗装体について、断熱層の空気層部分が周囲の



図－8 流量と循環水温度との関係

温度よりも高く現れている（図－7 a）。この空気層部の温度上昇に寄与する熱源の特定と性状解明は今後の課題である。

4. 融雪能力特性

実際に循環水がどのような温度範囲で循環しているかということについて、流量と循環水温度との関係を図－8に示す。

温度の測定位置は、各融雪舗装体の出入口部で行ったものである。図中の各凡例の実線と破線との差に流量を乗じたものが、各融雪舗装体で消費された熱量を意味する。

地下タンクを熱源とする融雪システムにおいては、1.0～2.0℃の範囲で熱収支が行われており、1.5～3.5℃の範囲で熱収支されているのが室温余熱並びに小規模熱交換杭、3.5℃～5.2℃の範囲で熱収支されているのが排気管である。

次に、各融雪システムの舗装部の循環水温度及び流量から融雪能力を算定したものを表－2に示す。参考として、昨年実施した熱交換杭の試験結果³⁾から得られた値を併記している。今回の試験では、電熱式等の一般的な融雪方式(250W/m)に比べて全体的に低い融雪能力値を示しているものの、室温の余熱による融雪は昨年実施した熱交換杭による融雪能力と同等の水準であり、また排気管を用いた融雪はそれ

表一 2 融雪能力比較表

熱 源		融雪能力 (W/m)	ポンプ流量 (m^3/min)
暖房排熱	室温余熱	60～80	10、15
	排気管	84～97	5、10
地中熱	地下タンク	(17～27)	5、10、15
	熱交換杭	40～70	5、10、20

(電熱式 250W/m)

を上回る能力があることが確認できた。さらに、融雪能力値の低かった地下タンクについても、舗装に断熱層を併用することで、前述したような融雪効果が十分に期待できる。

5. まとめ

今回の試験で以下の知見が得られた。

1. 積雪寒冷地でも、積雪後 1～5 日程度で融雪され、低温度な地中熱並びに暖房排熱を利用した融雪システムの有効性を確認することが出来た。
 - 1) 小規模熱交換杭、室温余熱（蓄熱体利用）については 2～3 日程度で消雪される。
 - 2) 地下タンクは、3～5 日程度。なお、舗装体に断熱層を用いることで融雪能力が向上し、2～4 日で消雪される。
 - 3) 暖房器具の排気管を用いた場合には、概ね 1～3 日程度で消雪される。
2. 断熱層（空気層）を融雪舗装の下部に設けることで、融雪能力が向上することが確認できた。
3. 設置費が従来の熱交換杭に比べ、1/3～1/5 に縮減可能。

今回の試験により、各採熱機構による融雪効果が確認できたことから熱源となる機構を選択的に利用できるものとする。よって、融雪システムを適用する箇所及び要求性能（能力）に応じて採熱機構を選択、及び組み合わせることで、需要者のニーズ

に柔軟に対応できるものと期待できる。

今後は、試験施工等を通じて効率的なシステムの稼動と採熱能力の向上を目指すと共に、融雪能力と採熱量の定量的な評価並びに水平展開に繋げて行きたい。

最後に、本研究は、北武コンサルタント株式会社と共同で行われた。また、本研究に対して福井大学の福原輝幸教授から貴重なご助言を頂いた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 福原輝幸ほか：放熱管を有する舗装体の融雪能力特性，水工学論文集，第 36 巻，pp. 721-724，1992
- 2) 福井県雪対策・建設技術研究所：年報地域技術第 18 号，pp. 143-145，2005. 7
- 3) 松岡茂ほか：北海道札幌地区における無散水融雪試験（融雪能力について），土木学会第 61 回年次学術講演会，pp. 349-350，2006. 9