

道路排雪を利用した採熱実験について

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○永長 哲也
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 片野 浩司
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 山口 和哉

東日本大震災以降、自然エネルギーを導入する取組は活発化している。しかし、雪堆積場など屋外で雪を保存し、利用する方法については技術的に体系化されていない。

本稿では、雪堆積場に適した採熱方法を検討するため、雪山下面の地中部に設置した架橋ポリエチレン管から採熱する冷水循環式、雪山表面に設置した樹脂製有孔排水管より採熱する全空気式の採熱実験を実施したので報告する。

キーワード：冷熱エネルギー、利雪・親雪

1. はじめに

雪冷熱エネルギーは、「新エネルギーの利用等の促進に関する特別措置法」において、新エネルギーに位置付けられている。新エネルギーとは再生可能エネルギーのうち、その普及のために支援を必要とするものであり、推進する取組は、東日本大震災以降活発化している。また、平成24年3月に「豪雪地帯特別措置法」が改正され、雪冷熱エネルギーの活用促進にかかる規定が追加された。

雪冷熱エネルギーの利用にあたっては、地方自治体、民間等で冬期に施設近傍の除排雪で集めた雪を夏期の冷房に使用するなど、これまでも検討され、一部で実用化されているものの、冷熱源となる雪を集めるコストが嵩むという課題があった。また、利用する場合でも、屋外で雪を保存し雪冷熱エネルギーを利用する方法については技術的に体系化されていないという課題があった。

一方で、道路管理者は、札幌市など都市部での、雪堆積場（道路除雪によって堆積した雪の運搬先）の確保が年々困難となり、遠隔地化しているため、雪を積んだダンプトラックの輸送距離が長くなることによって、運搬排雪コストが増大しているという課題に直面している。

そこで、これらの課題を雪堆積場の雪を雪冷熱エネルギーとして利用することによって解消し、雪冷熱エネルギーの利用促進を図るため、当所では、雪堆積場の雪冷熱利用技術について検討している。平成26年度は美唄市（美唄地域人材開発センター内）に実験用雪山（以下「雪山」という）を造成、実証実験を行った。

2. 実験用雪山の概要

平成25年度の基礎実験で得られた結果を踏まえ¹⁾、雪山下面から採熱する冷水循環式及び雪山表面から採熱す

る全空気式について検討の上、平成26年度に向けた実験用雪山を設計し、美唄市東明に造成した。

2.1 採熱方法の検討

(1) 冷水循環式

冷水循環式は、雪山の下の地中部に採熱管を埋設し、融解水を用いて熱交換するが、平成25年度に実施した雪山下面の採熱管埋設深さ100mmの場合では、埋設深度が浅く、採熱管が破損する恐れがあるため、雪山は2段階の造成が必要であった。

具体的には、雪山下面に埋設した採熱管の上にダンプトラックが乗って破損しないよう、1段目として、運搬してきた排雪を採熱管エリア以外に一旦降ろし、その後、パワーショベルなどにより0.5m～1.0m程度の高さの雪山を造成し、締固めを行った。1段目の雪山造成後、ダンプトラックやブルドーザーで2段目以降の本格的な雪山を造成した。図-1に2段階雪山の造成イメージを示す。

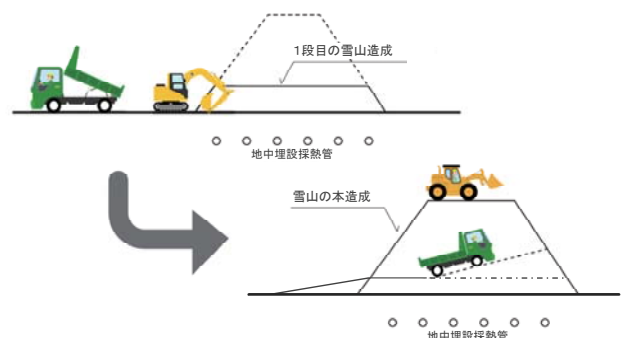


図-1 2段階雪山造成のイメージ

このような2段階の造成は、雪山造成の効率が著しく低下するため、採熱管の埋設深度を検討し、効率的な施工が行えるよう検討した。埋設する架橋ポリエチレン管

は、埋設するための強度が設定されていないが、架橋ポリエチレン管工業会の技術資料より施工基準（図-2）を参照し、埋設深度を600mm及び300mmに設定した。なお、平成24年度の基礎実験の結果から、深度500mm付近の地中部は約1.5℃と低温で推移することがわかっている。

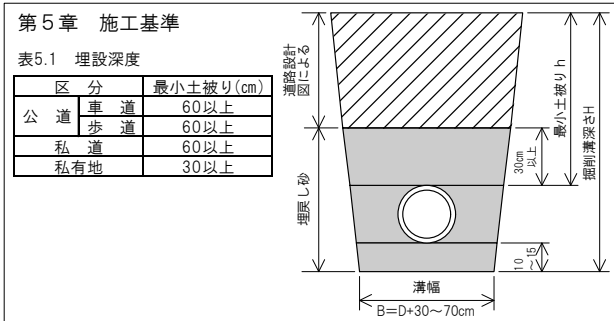


図-2 架橋ポリエチレン管の施工基準（埋設工法）

(2) 全空気式

全空気式のうち、地中に採熱管を埋設して熱交換を行う方式は、冷水循環式と比較し採熱効率が悪く、採熱管等の資材が大掛かりとなり施工コストも高くなる。一方、雪山表面で熱交換を行う方式は、雪山造成後に設置でき、設置場所や利用規模をその都度変更することが容易であることから、有効な採熱方法であると考えられる。平成25年度の実験では、写真-1、図-3に示すとおり、時間経過とともに雪山の融解が進み、地盤面に近いチャンバーや採熱管が地盤面に接し、冷熱を採取できる面積が減少した。また、採熱管表面に設置しているシートの亀裂など課題も判明した。写真-2にシート設置状況を示す。



写真-1 雪山融解状況

写真-2 シート設置状況

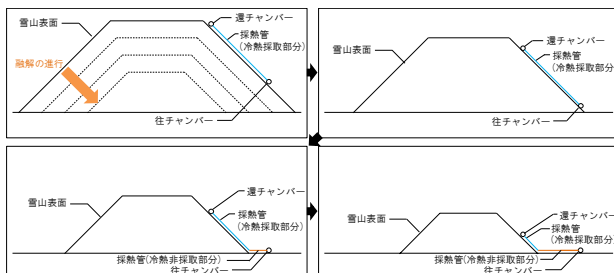


図-3 雪山融解と採熱部分の推移 (H25年度)

その改善方策として、雪山上面を利用することとした。なお、雪山上面に採熱部分を持つることにより、断

熱材に使用しているバーク材（伐採小木などを粉砕したもの）で覆うことが可能となるため、高い断熱効果により、熱損失が抑えられ効率的な冷熱利用が期待できる。

2.2 実験種類と採熱管布設

2.1の検討から、次の3種類の実験を行った。

(1) 実験A（冷水循環式）

実験Aは、水を冷媒として、雪山から地中への温度低下と融解水の浸透による採熱管周囲の温度低下を利用して熱交換を行うものである。雪山下の地中部に埋設した架橋ポリエチレン管で熱交換した水を、冷水循環ポンプにて計測室内に設置した送風機（FCU）に送水し、再度雪山に戻す冷水循環式である。

設置は、実験箇所を300mm掘削した地面に架橋ポリエチレン管（13mm）を布設し、掘削土砂により埋戻した上に雪山を造成した。写真-3に採熱管布設状況を示す。



写真-3 採熱管布設 (実験A)

(2) 実験B（冷水循環式）

実験Bは、実験Aと同じ構造であるが、採熱管の埋設深度による採熱効率の違いを把握するため600mmとした。写真-4に採熱管布設状況を示す。



写真-4 採熱管布設 (実験B)

(3) 実験C（全空気式）

実験Cは、空気を冷媒として、雪の表面で直接熱交換し冷却された空気を使用するものである。雪山表面とシート間の冷却された空気を送風機にて計測室に送風し、再度雪山に戻す全空気式である。

設置は、雪山造成後の雪山表面（天端）に樹脂製有孔排水管（50mm）を敷設し、採熱管上部に外気との遮断のためのポリエチレンシートを敷設し、断熱のためバーク

材で被覆する。実験C採熱管敷設状況を写真-5、シート設置状況を写真-6に示す。



写真-5 採熱管敷設(実験C) 写真-6 シート設置状況

2.3 実験用雪山規模

美唄市内の癸巳雪堆積場から道路排雪を運搬して、美唄市東明に実験用雪山を造成した。

実験1区画当たりの面積は幅2.5m、奥行10.0m(実験Cは5.0m×奥行10.0m)とし、雪山高さは採熱のための高さを2.0m、自然融解量を2.0mを見込み4.0mとした。法勾配比を1.3:1.0としたため、融解量を考慮し、底辺は幅26.0m、奥行き22.0mとした。

雪山の断熱材として、パーク材を300mmの厚さで被覆した。

計測室にはビニールハウス(5.4m×3.6m)を採用した。なお、データロガー等は計測機器室(仮設ハウス)に設置した。

計測は、7月3日より開始し、採熱状況(温度)、外気温度、風向、風速などの気象観測、雪山の形状変化の定点カメラによる観測、雪山融解高さの定期的な測量などを実施した。実験用雪山の種類と規模を表-1、冷水循環式及び全空気式で使用した採熱管を写真-7、雪山全景を写真-8、配置図を図-4に示す。

表-1 実験用雪山の種類と規模

	採熱方法	採熱箇所	採熱管
実験A	冷水循環式	雪山下面 300mm	架橋ポリエチレン管 (13A)
実験B		雪山下面 600mm	
実験C	全空気式	雪山表面	樹脂製有孔排水管 (50A)
雪山規模	底辺×高さ	26.0×22.0×4.0(高さ)m	
	勾配比	1.3:1.0	
	体積	1,400m ³	
	形状	四角錐台	



写真-7 採熱管

(左: 架橋ポリエチレン管, 右: 樹脂製有孔排水管)



写真-8 雪山全景

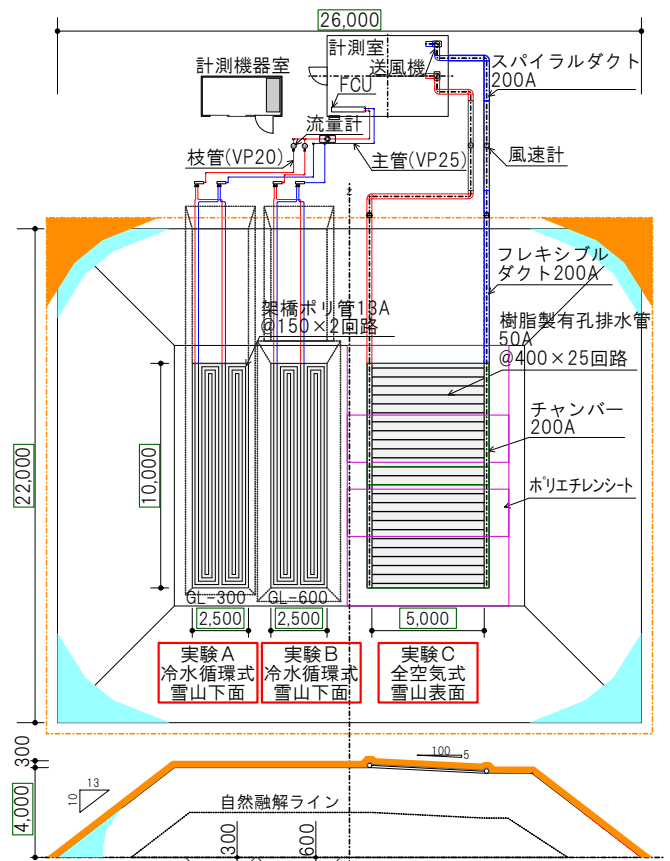


図-4 雪山配置図

3. 実験結果及び考察

7月3日から31日(29日間)までに得られた時間当たり冷熱エネルギー量はそれぞれ、雪山下面300mmに埋設した架橋ポリエチレン管から採熱する実験Aは3.4MJ/h、同じく雪山下面600mmに埋設した架橋ポリエチレン管より採熱する実験Bは4.2MJ/h、雪山表面に敷設した樹脂製有孔排水管から採熱する実験Cは18.5MJ/hとなった。

図-5～7に冷熱エネルギー量 (MJ/h) 及び計測温度 (°C) の推移を示す。採熱管の埋設深度の異なる冷水循環式の実験Aと実験Bを比較した場合、雪山から地中への熱伝達と採熱管周囲への融解水の浸透による温度低下を利用し採熱するため、深度の浅い実験Aの採熱効率が良いことを想定していたが、図-5、6のとおり実験Bの採熱量が2割程度多かった。また、採熱箇所温度 (実験Aは300mm、実験Bは600mm) を比較しても同じ傾向を示した。これは、土中の埋設深度による熱伝達による影響など考えられるが、原因については、採熱管埋設箇所の状態の確認などを含めて調査中である。

全空気式の実験Cは雪山表面から直接熱交換しているため採熱量は多かった。ポリエチレンシート上にバーク材で被覆したため、断熱効果が高く、雪山表面温度も低く抑えられた。また、雪山の融解に伴う形状変化にも採熱管は追随していた。今後、採熱管の破損状況などがなければ確認を行う予定である。

なお、冷熱エネルギー量 (時間当たり) は以下の計算式で算出した。

[冷水循環式] $Q = q \times \Delta T \times c \times \rho$
 ここで、 Q : 冷水循環式の冷熱エネルギー量(kJ/h)
 q : ポンプ冷水量(L/h)
 ΔT : 温度差(往ハツダ、還ハツダ)(°C)
 c : 水の比熱(=1.0×4.186kJ/kg°C)
 ρ : 水の密度(=1.0kg/L)

[全空気式] $Q = q \times \Delta T \times c \times \rho$
 ここで、 Q : 全空気式の冷熱エネルギー量(kJ/h)
 q : ファン風量(m³/h)
 ΔT : 温度差(往ファン、還ファン)(°C)
 c : 空気の比熱(=0.24×4.186kJ/kg°C)
 ρ : 空気の密度(=1.293kg/m³)

4. まとめ

実験用雪山を造成して行った実証実験の結果、雪山下面及び雪山表面から、安定して採熱することができた。7月3日から7月31日 (29日間) までに得られた時間当たり冷熱エネルギー量はそれぞれ、実験Aは3.4MJ/h、実験Bは4.2MJ/h、実験Cは18.5MJ/hとなった。

冷水循環式の実験A及びBを比較した場合、実験Bの採熱量が2割程度多かった。

全空気式の実験Cは雪山表面から直接熱交換しているため採熱量は多かった。ポリエチレンシート上にバーク材で被覆したため、断熱効果が高く、雪山表面温度も低く抑えられた。

今後、雪山の融解量などから、各方式について採熱効率など比較を行う。また、雪山造成、採熱管布設等のコスト試算を行い、採熱量に対する実験A～Cの評価を実

施した上で、雪堆積場に適した雪冷熱の取得方法を検討する。併せて、雪山造成及び採熱管等の施工方法、造成後の雪山のメンテナンス、道路排雪を利用する上での問題点について整理していく。

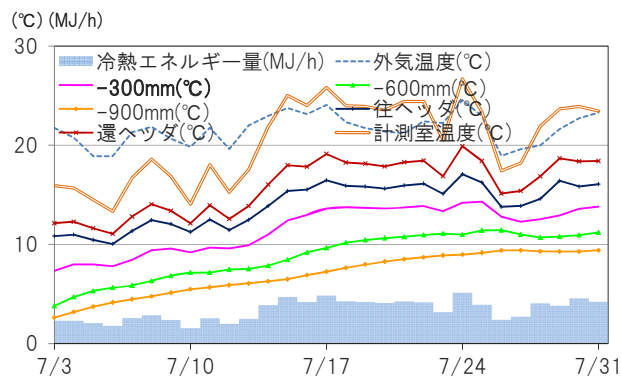


図-5 冷熱エネルギー量等の推移 (実験A)

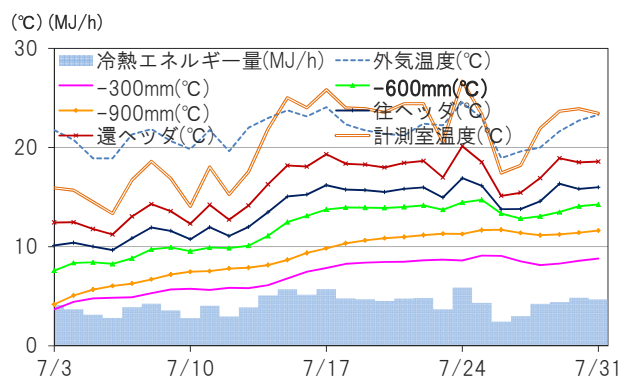


図-6 冷熱エネルギー量等の推移 (実験B)

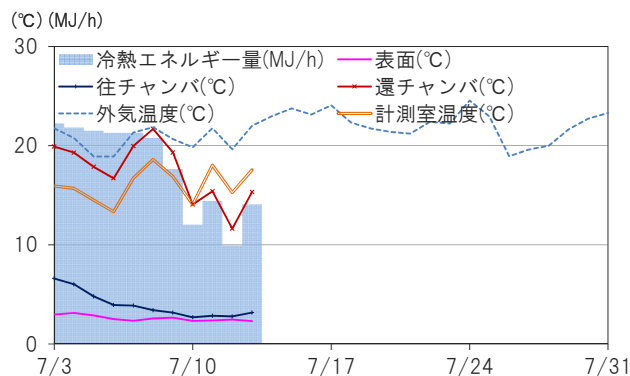


図-7 冷熱エネルギー量等の推移 (実験C)

参考文献

- 1) 永長哲也, 片野浩司, 山口和哉: 雪堆積場の雪冷熱利用技術に係る基礎実験について、第57回(平成25年度)北海道開発技術研究発表会、2014. 2
- 2) 美唄自然エネルギー研究会: 平成22年度「美唄自然エネルギー研究会 研究活動報告書」、平成23年6月
- 3) 本間弘達, 浅川勝貴, 船木淳, 山上重吉, 媚山政良: “雪山”の造り方、第23回寒地技術シンポジウム論文・報告集pp13-16、2007. 12