



新技術を活用した消融雪システムの導入と効果

安田 英明

青森市内の国道4号及び7号の沿線歩道に、従来の電熱線を用いたロードヒーティング方式よりランニングコストの低減を図ると共に、自然エネルギーの有効活用とCO₂排出などの環境に配慮した消融雪システムを導入したものである。本報文ではこれらの新技術を用いたシステムの導入事例と消融雪の効果について紹介する。

キーワード：ロードヒーティング、消融雪、無散水融雪、自然エネルギー、地中採熱、新技術

1. はじめに

「交通バリアフリー法」が平成12年5月から施行され、歩行空間の確保という観点から車椅子でも通行できるような歩道幅員、段差、傾斜、勾配などの改善や視覚障害者のための誘導ブロック等の整備が進められている。また、冬期における積雪及び凍結に対しても安全かつ円滑に移動可能な措置を講じることが求められている。

しかしながら青森市などの豪雪地帯では、

- ① 積雪による歩道幅員の減少
- ② 凍結による転倒の危険性
- ③ 視覚障害者用誘導ブロックの積雪による埋もれ
- ④ 積雪による段差の発生

などの障害（バリアー）が発生している。

このため、青森市では関係機関と連携して「冬期バリアフリー計画」を策定し、市中心部の重点整備地区と周辺の誘導地区を指定して、平成13年度から歩道のアーケード化や消融雪施設の整備に取り組んでおり、青森河川国道事務所でも平成13年度から冬期バリアフリー計画地区内の4号、7号沿線歩道に消融雪施設の整備に取り組んでいる。本報文においてはこれらの背景の基で長年取り組んできた消融雪技術の導入について、システムとその効果について、その概要を紹介する。

2. 冬期バリアフリー施策導入の背景

本州の最北端の県庁所在地である青森市は、全国の県庁所在地の中でも唯一特別豪雪地帯に指定され、人

口30万人の都市としては国際的にも稀な多雪都市となっている。その雪は、降雪量の多さだけではなく多様な雪質と気温特性、地形特性に起因する特徴を有しており、古来から厳しい気象条件の下で都市機能の低下や市民生活への影響を余儀なくされてきた。

青森市では、平成12年5月に「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律」（通称：交通バリアフリー法）が施行された背景を受け、国・県・市の行政が一体となって雪対策に取り組むことを目的に「青森雪対策研究会」を発足させて、行政の他、広くアドバイザー（学識経験者や市民の代表）の意見を参考としながら冬期バリアフリー施策に取り組んでいくこととした。

その中で整備の骨子として、青森駅周辺の約118haの地域を「重点整備地区」として、重点整備地区周辺の約250haの地域を「誘導地区」としてそれぞれ指定し、地域内道路の短・中期計画路線を概ね5年以内に、長期計画路線を5～10年以上に、という整備目標を立て、各行政の基で対策に取り組んでいく方針とされた。

3. 融雪システム導入の背景

交通バリアフリー法が施行される以前から、東北地方整備局では新たな施策として、雪国東北の冬期モビリティの一層の向上に向けた各種技術開発の重要性に着目し、平成10年度を初年度とする「新道路技術5箇年計画（東北地方整備局版）」（通称：道路技術5計）を策定し、この内の消融雪部門では、広く一般から技術を募集し採択された技術をフィールド試験すること

とされ、その効果についてフォロー調査することになった。選定された技術を表-1に示す。また、図-1に位置図を示す。

表-1 青森河川国道管内に選定された消融雪施設

設置箇所名	技術名	利用熱源
久栗坂トンネル	熱源ハイブリッド型ヒートポンプを用いた地中熱利用融雪システム	地中熱 空気熱
青森市中央地区	大地の熱と太陽熱を利用する消融雪施設	地中熱 太陽熱

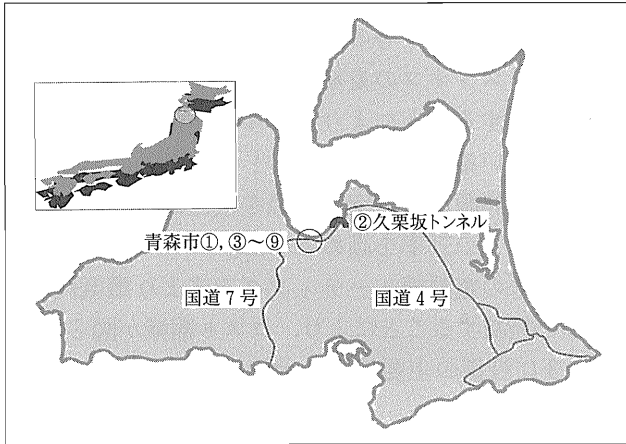


図-1 位置図

この2件の技術は共に地中熱を採熱する方式であることから土中に数本のさく井が必要で、さく井作業のための設置箇所が自ずと限定される。

青森市中央地区の箇所は青森市役所前歩道を候補地とし、地中熱源は同市役所駐車場敷地内にさく井し採熱することとした。

久栗坂トンネルについては、青森市中心部より東方約10kmの郊外に位置していることから環境面等の影響が少ないと判断され、東側坑口（浅虫側）車道部に設置することとし、地中熱源は下り線側歩道上にさく井し採熱することとした。

一方、青森市内中心部の国道4号、7号沿線は市街地として官公庁、社屋、店舗等が密接しており、適当するさく井箇所が無いことから電熱線方式ロードヒーティングとし、「新技術情報提供システム」NETISに登録されている中から、電気料金等のランニングコストの低減に優れている2技術を採用することとした。表-2に採用した技術を示す。

表-2 NETIS登録の消融雪技術

NETIS登録番号	技術名	発熱体形式
TH-000017	スーパーレイヒーティングシステム	遠赤外線アルミ合金
TH-990092	ブレードヒーター	発熱繊維 (マイクロメタルファイバー) +アラミド繊維

4. 消融雪システムの概要

(1) 自然エネルギーを活用した消融雪システム

原理は、さく井した坑内に熱交換器を設置して大地からの熱エネルギーを抽出し、これをヒートポンプで加温する。加温された媒体は路盤に埋設した放熱管を循環し路面の融雪を行うものである。採熱部及び放熱部の熱媒体は不凍液を使用しているので凍結の心配はない。

ヒートポンプ（HP）は熱を低温から高温へ運ぶ作用をする。通常、熱は温度の高いところから低いところへ流れるのが自然であるが、熱機関サイクルに動力

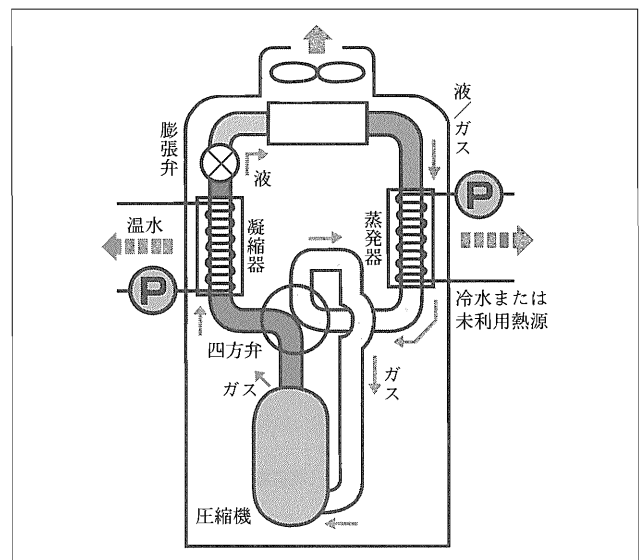


図-2 ヒートポンプの構造原理図

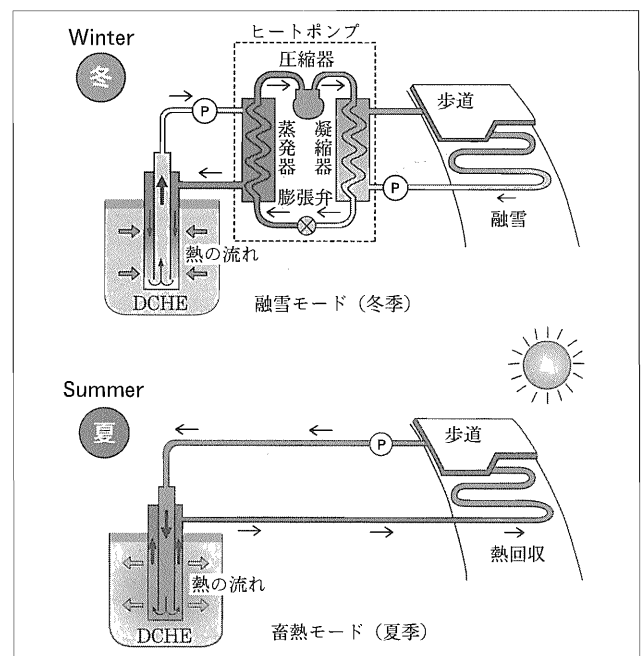


図-3 システム概要図

を付加し強制的に逆サイクルとして作用させれば、熱を低温側から高温側へ移動させることができる。これを効率良く行う装置がヒートポンプである。図-2に構造原理を示す。

夏期には太陽熱で高温になった舗装体から熱エネルギーを取出して、ヒートポンプを介さず直接大地に放熱し蓄熱する。そして冬期に大地の熱と併せて融雪に利用するものである。図-3にシステムの概要を示す。

また、写真-1、写真-2に完成した施設の状況を示す。

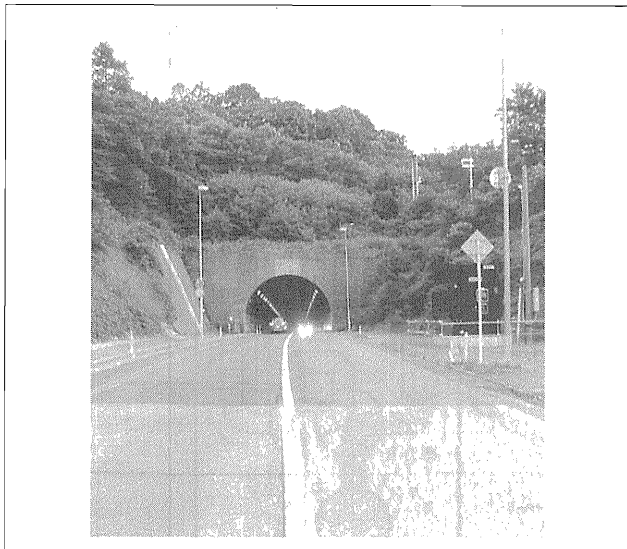


写真-1 完成状況の久栗坂トンネル（坑口右手にあるのがHPユニット）



写真-2 完成状況の青森市中央地区（バス待合所の手前にあるのがHPユニット（西側））

なお、久栗坂トンネルの熱源ハイブリッド型とは地中熱源と空気熱源の2熱源を併用運転出来るようにしたもので、両温度差が一定以上大きくなり、温度の低

い熱源からの採熱がほとんど行われなくなったとき、温度の高い熱源のみの単熱源運転に自動的に切替わるようになっている。いわば、どちらの熱源も採熱可能な温度であれば積極的に利用しヒートポンプの能力をフルに引出す考えから採用された方式である。

自然エネルギーを活用した消融雪システムの特徴を以下に記す。

- ① 道路消融雪技術に自然エネルギーを用いて環境負荷の軽減に寄与している。
- ② 地中熱を間接的に取り入れる無散水消融雪方式なので、地盤沈下等の弊害がない。
- ③ シーズンオフの夏期には太陽熱を地盤に還元して蓄熱することによりエネルギーのリサイクルに努めている。
- ④ 地中熱源のほか空気熱源を積極的に取り入れヒートポンプの効率を高めている。
- ⑤ 従来の電熱線ヒーティング方式より電気代が大幅に軽減することにより、コスト縮減が図られる。

表-3に設備の主要仕様を示す。

表-3 消融雪設備仕様

項目	久栗坂トンネル	青森市中央地区
融雪対象面積	714 m ² (坑外 504 m ² +坑内 210 m ²)	659 m ² (東側 325 m ² +西側 334 m ²)
地中熱交換器	長さ 100 m + 7 本	長さ 150 m × 8 本
ヒートポンプの出力	30 kW	22.5 kW × 2 台
システムの熱出力	143 kW	130 kW (65 kW × 2)

(2) 電熱効率を高めた消融雪システム

(A) 遠赤外線を利用したヒーティング

このシステムの形状は発熱電線とアルミ合金のメッシュで構成されている。

電熱線によって加熱された熱はアルミ合金で造られたメッシュに加温され赤外線が放射される。システムとしての特徴は、電熱線の熱源と放射される赤外線エネルギーとの複合作用により融雪するので、従来型の電熱線ヒーティング方式と同じエネルギーとして比較した場合、電力消費量を低減させる効果を持つ。

赤外線は近赤外線、中赤外線、遠赤外線に区分され、その中でも3~1,000 μmを遠赤外線としており、特に3~30 μmの波長域は加熱、乾燥として産業分野で広く利用されている。

遠赤外線は電磁波であるため直接熱を放出しているのではなく、電磁波が加熱物に吸収され、分子振動や格子振動などを励起して熱となって物質の温度を上げることになる。

表-4 高効率電熱方式消融雪システム諸元表

システム名	熱源方式	ヒーター構造	ヒーター仕様
遠赤外線アルミ合金 ヒーティングシステム	遠赤外線アルミ合金	<p>スーパーレイ</p>	標準部 200 W/m ² コーナー部等 250 W/m ²
		<p>特徴</p> <p>電熱線の熱源と放射される赤外線エネルギーとの複合作用により融雪するシステムで省電力が図れる。</p>	
システム名	熱源方式	ヒーター構造	ヒーター仕様
発熱繊維ヒーティングシステム	発熱繊維（マイクロメタルファイバー+アラミド繊維）	<p>ソフトレック</p>	標準部 200 W/m ² コーナー部等 250 W/m ²
		<p>特徴</p> <p>繊維ケーブルの柔軟性，可撓性，耐熱性，耐圧性に優れ，融雪ブロックの間引きによるローテーション運転により省電力が図れる。</p>	

表-5 消融雪施設工事一覧表

施工年度	番号	工事名	工期	最終請負金額 (税込み)	主要緒元	備考
平成13年	①	青森地区歩道融雪施設設置工事	平成13年3月29日～ 13年12月20日	¥96,390,000	システム名：遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム 施工区間：交差点3箇所 施工箇所：4コーナー部（1箇所当り） 融雪面積：A=984m ² （3交差点分）	
平成13～ 14年	②	久栗坂トンネル道路融雪施設設置工事	平成13年10月20日～ 14年7月31日	¥121,695,000 (設計) ¥8,295,000 (施工) ¥113,400,000	システム名：地中熱・空気熱併用融雪システム (熱源ハイブリッド型) 施工区間：L=102m（坑外72m+坑内30m） 施工箇所：R4号上下線車道 融雪面積：A=714m ² （坑外504m ² +坑内210m ² ）	設計・施工一体型
	③	中央地区歩道融雪設備工事	平成13年10月20日～ 14年5月27日	¥143,850,000 (設計) ¥8,337,000 (施工) ¥135,513,000	システム名：太陽熱蓄熱型地中熱融雪システム (ガイア融雪システム) 施工区間：L=208m（東側92.6m+西側115.4m） 施工箇所：R4号下り線歩道 融雪面積：A=659m ² （東側325m ² +西側334m ² ）	設計・施工一体型
平成14年	④	古川地区歩道融雪施設設置工事	平成14年3月16日～ 15年1月31日	¥134,400,000	システム名：発熱繊維ヒーティングシステム 施工区間：L=424m 施工箇所：R7号上下線歩道 融雪面積：A=1,341m ²	
	⑤	長島一丁目歩道融雪施設設置工事	平成14年3月16日～ 15年1月31日	¥166,950,000	システム名：遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム 施工区間：L=425m 施工箇所：R7号下り線歩道，R4号上り線歩道 融雪面積：A=1,610m ²	
	⑥	長島二丁目歩道融雪施設設置工事	平成14年3月16日～ 15年1月31日	¥169,050,000	システム名：遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム 施工区間：L=441m 施工箇所：R7号上り線歩道，R4号下り線歩道 融雪面積：A=1,542m ²	
	⑦	本町地区歩道融雪施設設置工事	平成14年3月16日～ 15年1月31日	¥197,925,000	システム名：遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム 施工区間：L=576m 施工箇所：R4号上下線歩道 融雪面積：A=1,607m ²	
平成15年	⑧	橋本二丁目歩道融雪施設設置工事	平成15年3月11日～ 15年12月25日	¥262,500,000	システム名：遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム 施工区間：L=605m 施工箇所：R4号下り線歩道 融雪面積：A=2,456m ²	
平成16年	⑨	橋本一丁目歩道融雪設備設置工事	平成16年3月23日～ 16年12月24日	(既契約) ¥156,450,000	システム名：(地中採熱+ヒートポンプ)方式 施工区間：L=330m 施工箇所：R4号上り線歩道 融雪面積：A=990m ²	施工中

(B) 発熱繊維を利用したヒーティング

このシステムの形状はマイクロメタルファイバーとアラミド繊維の複合による導体に耐熱繊維を外層に被覆したワイヤ構造となっている。これを現地の割付けに従いパイピングして敷設するものである。繊維状の特徴を生かして柔軟性、可撓性、耐熱性、耐圧性に優れている。

システムとしての特徴は、融雪エリアをあらかじめ4/5~1/2程度の範囲でブロックに分割し、1ブロック抜きのローテーション運転させるもので、抜けたブロックは余熱を利用するものである。この方式によって連続通電より電力消費量を低減させる効果を持つ。

以上の2方式についての諸元を表-4にまとめる。

5. 工事施工

表-5に現在まで発注施工した消融雪施設工事の一覧を、図-4に青森市街地における消融雪施設の配置図を示す。

なお、「誘導地区」内の残る未着工区間（海側）については、平成17年度までにかけて完成させる予定であるが、融雪方式は自然エネルギーを活用した新技術を採用する方針として現在計画を進めている。

図-5に各々の工法の敷設標準断面図を示す。なお、放熱管内の不凍液は食品関係に使用されるプロピレン

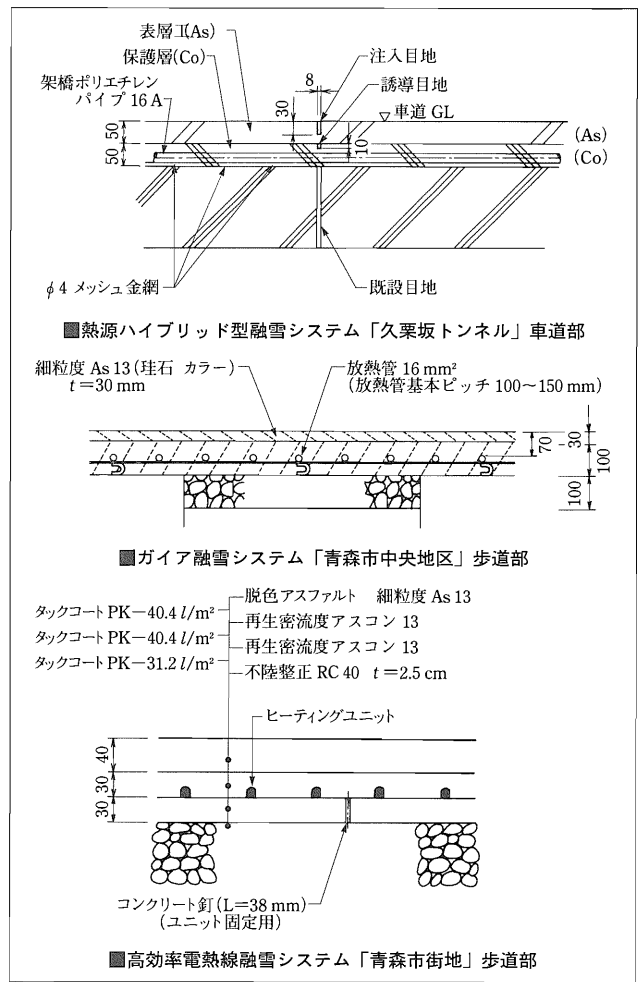


図-5 敷設標準断面図

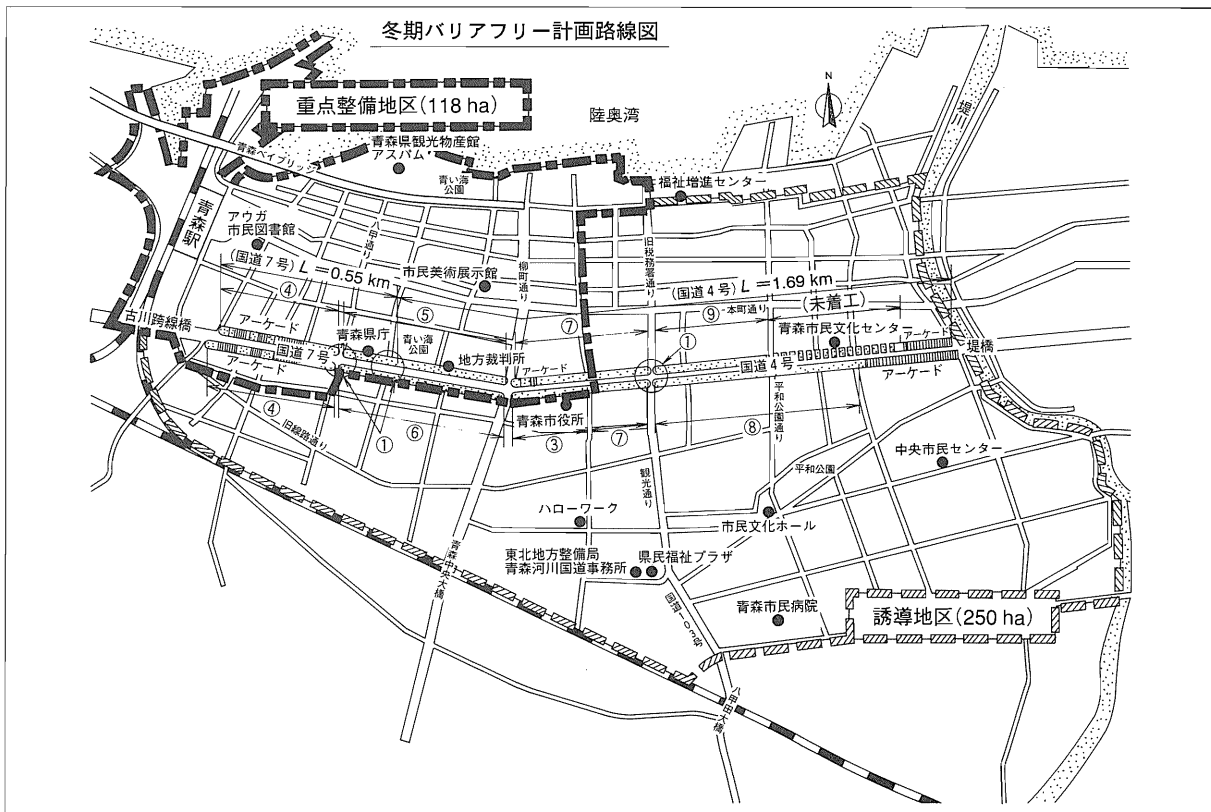


図-4 消融雪施設配置図(青森市街地)(図中の①~⑨は表-5に対応する)

グリコール系（ナイブライン NFP）を使用している。

6. 消融雪効果調査

（1） 自然エネルギーを活用した消融雪システム

平成 10 年度から始まった道路技術 5 計は施設整備を実施した後の効果調査を平成 14～15 年度の 2 箇年にかけて実施した。

調査の大要は次のとおりである。

（a） 融雪システムの適正稼働状況

- ① 路面状況の確認
- ② 融雪システムが融かした雪の量
- ③ 融雪システムの適正運転を確認

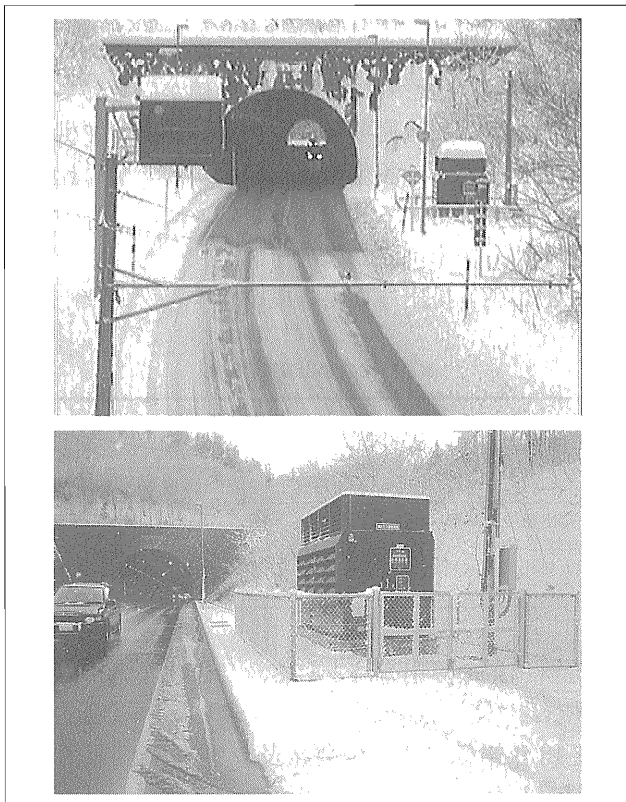
（b） COP（成績係数）の算出

ヒートポンプ単体、融雪システム運転時、融雪シーズン（待機含む）、通年の各々における COP を算出する。

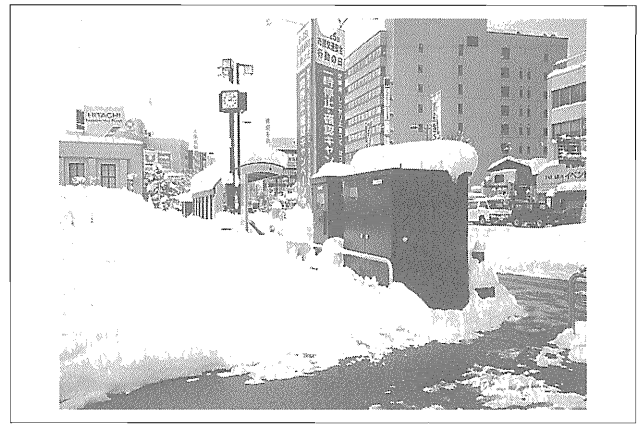
（c） 地中熱交換井の採熱状況

地中熱を利用する技術について適用し、冬期間の地中からの熱抽出率から算出する。

調査は平成 14～15 年度の 2 箇年共に（a）の融雪システムの適正稼働状況について外注請負にて実施した。各種の計測データは、設備に装着したデータロガーと融雪画像記録のためのカメラ、気象観測機器（風向風速計、積雪深計、目射計、気温計）を現地に設置し収



写真—3 久栗坂トンネルの融雪状況と HP ユニット・動力制御盤



写真—4 青森市中央地区の融雪状況と HP ユニット・動力制御盤（東側）

集を行い、定期的にデータを回収し解析を実施した。

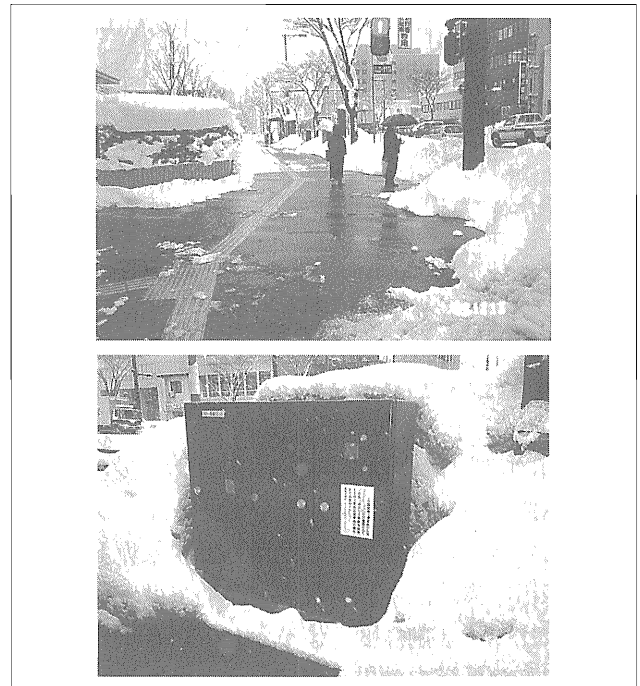
写真—3～写真—4 に現地の融雪状況を示す。

（2） 電熱効率を高めた消融雪システム

遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム及び発熱繊維ヒーティングシステムの両方式共に他所における実績があることから、特別な計測機器を設置して調査を実施してはいない。

しかし消融雪の効果を検証する必要があるので、現地の状況観察と電力料などの諸量を調査することとした。

写真—5 に現地の融雪状況を示す。



写真—5 青森市街地国道沿線の融雪状況と RH 制御盤

（3） 総 括

現在、各システムのデータ解析を進めているところ

表—6 工事別使用電力量集計表 (青森市街地)

工事名	融雪方式	融雪面積 (m ²)	平成 14 年度		平成 15 年度		施工費	施工費/m ²
			電気料金年計	電気料/m ²	電気料金年計	電気料/m ²		
① 青森地区歩道融雪施設設置工事	遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム	984	3,325,656	3,380	3,114,185	3,165	96,390,000	97,957
③ 中央地区歩道融雪設備工事	地中熱 (太陽熱蓄熱)+ヒートポンプ式	659	528,494	802	510,848	775	135,513,000	205,634
④ 古川地区歩道融雪施設設置工事	発熱繊維ヒーティングシステム	1,341	3,589,180	2,676	4,288,664	3,198	134,400,000	100,224
⑤ 長島一丁目歩道融雪施設設置工事	遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム	1,610	4,906,659	3,048	4,818,117	2,993	166,950,000	103,696
⑥ 長島二丁目歩道融雪施設設置工事	遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム	1,542	5,446,742	3,532	5,067,510	3,286	169,050,000	109,630
⑦ 本町地区歩道融雪施設設置工事	遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム	1,607	5,438,420	3,384	5,141,562	3,199	197,925,000	123,164
⑧ 橋本二丁目歩道融雪施設設置工事	遠赤外線アルミ合金ヒーティングシステム	2,456	—	—	5,591,263	2,277	262,500,000	106,881
合計		10,199	23,235,151		28,532,149		1,162,728,000	
平均				2,804		2,699		121,027

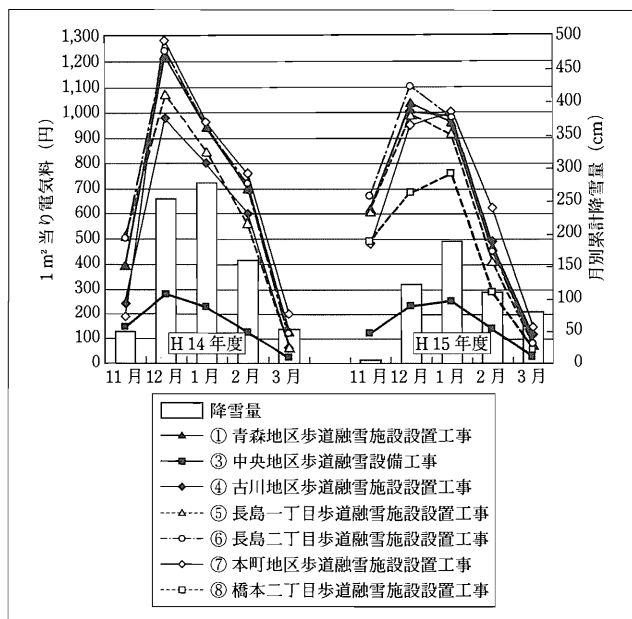
であるので、概報として以下に記す。

(a) 使用電力量

表—6 に平成 14~15 年度冬期における工事別使用電力量の集計表を示す。

(b) 電気料と降雪量との関係

図—6 に工事別における電気料と降雪量との関係をグラフに示す。



図—6 工事別電気料と降雪量との関係図 (青森市街地)

平成 15 年度は降雪量が平成 14 年度より少なかったため、全体的に電気料も低減している。また、グラフが示すとおり自然エネルギーを活用した久栗坂トンネル及び青森市中央地区の融雪設備については、他施設の電気料に比べて 3 割程度の値を示していることから、予想どおりの低電力効果が出ていると判断される。

(c) 成績係数 (COP)

表—7 にヒートポンプ単体、融雪システム運転時、融雪シーズン (待機含む)、通年の各々における COP を算出した結果を示す。

表—7 成績係数 (COP) 算出結果

項目	久栗坂トンネル		青森市中央地区						
			西側			東側			
	計画値	平成 14	平成 15	計画値	平成 14	平成 15	計画値	平成 14	平成 15
ヒートポンプ単体の平均 COP	3.72	3.7	3.7	4.0	4.8	4.9	4.0	4.5	4.6
運転時のシステムの平均 COP	3.02	3.0	2.8	—	3.6	3.7	—	3.4	3.6

COP の算出式は次のとおりである。

- ヒートポンプ単体の平均 COP
= 放熱管への熱供給量 / ヒートポンプ消費電力量
- 運転時のシステムの平均 COP
= 放熱管への熱供給量 / (総電力量 - システム Off 時の消費電力量)

ここでは計算過程を省略するが、表から分かることは平成 14 年度に比べ平成 15 年度の値が向上していることである。これは必要熱量を少ない電力量で供給していることであり、設備の運転制御が前年度に比べてベストに近づいていることが分かる。

(d) CO₂ 排出削減効果

表—8 に CO₂ 排出量算出結果を示す。

表—8 CO₂ 排出量算出結果

項目	久栗坂トンネル		青森市中央地区			
			西側		東側	
	平成 14	平成 15	平成 14	平成 15	平成 14	平成 15
CO ₂ 排出量の削減率 = (1 - (自然エネルギー利用時の CO ₂ 排出量 - 電熱線利用時の CO ₂ 排出量)) × 100	65%	67%	65%	65%	65%	69%

CO₂ 排出量の算出方法として、二酸化炭素排出量の原単位は、使用端の電力当たり 0.37 kg-CO₂/kWh (平成 13 年電気事業連合会発表の 2000 年度実績) として試算した。

ここでは計算過程を省略するが、表から分かること

は平成14年度に比べ平成15年度の排出低減効果が上がっていることである。これはCOPが向上していること、つまり総電力使用量が低減したことが裏付けられている。

(4) 今後の調査方針

平成14～15年度の2箇年にわたる試験調査によって一応は満足のいくデータが得られたと思われる。しかし、昨年度は暖冬でもあったことから降雪データが少なかったこともあり、長期に立ったデータ収集が必要であると判断されることから今後も引き続き調査を実施する方針である。

また、融雪能力の検証もある程度の効果を確認できたが、自然エネルギーを活用する消融雪施設については夏期での蓄熱データを引き続き収集すると共に、運転制御の適時性についても更に検証を加えていく方針である。

7. おわりに

交通バリアフリー法が施行されて、雪国に暮らす地

域では歩行者空間の確保を目的に冬期バリアフリー計画を策定し、克雪対策の推進を図っている。

青森市でも冒頭に記したとおり国・県・市の行政が一体となって克雪対策に取り組んでおり、コスト構造やグローバルな環境対策の背景の中で各行政が新技術を取入れた施策を打立てて事業を推進している。

青森河川国道事務所ではこれまで平成13～16年度にわたり、国道4号及び7号沿線の歩道並びに車道に消融雪施設を施工してきたが、残る未着工区間については平成17年度までに完遂させる予定である。

また、試運転に際しては融雪制御をベストに近づけるため調整を幾度か行っているが、設備が適時に作動しシステムの性能が十分に機能しているかを引き続き検証する考えである。

JCMA

【筆者紹介】

安田 英明 (やすだ ひであき)
国土交通省
東北地方整備局
青森河川国道事務所
機械課
課長



絵で見る安全マニュアル 〈建築工事編〉

本書は実際に発生した事故例を専門のマンガ家により、わかりやすく表現しています。新入社員の安全教育テキストとしてご活用下さい。

■要因と正しい作業例

- ・物動式クレーン
- ・電動工具
- ・油圧ショベル
- ・基礎工事用機械
- ・高所作業車
- ・貨物自動車

A5判 70頁 定価650円(消費税込) 送料270円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289