

# 融雪・消雪技術の開発

## Development of a Snow-Melting System

末 広 章 一<sup>(1)</sup> 竹 内 貴 司<sup>(1)</sup> 慶 野 作<sup>(1)</sup>  
 Shoichi SUEHIRO Takashi TAKEUCHI Tsukuru KEINO

### 抄 録

新日本製鐵は鉄道及び道路を対象とした融・消雪事業を展開している。更に本事業の拡大発展を狙い、鉄道向け無散水方式消雪パネルを開発し、実機採用された。本方式は従来の散水方式の適用が困難な盛土区間、極寒・豪雪地域、水源の得られない地域等への適用が可能である。

### Abstract

Nippon Steel Corporation is now engaged in the business of melting snow on railways and roads. To expand this service, non-water-sprinkling type of snow-melting panel has been introduced for practical use on railways. This technique can be applied in the fill-up ground sections where a conventional water sprinkling type is difficult to use, in extremely cold areas or areas of high snowfall, and areas where no water source is available.

## 1. はじめに

南北に細長く連なっている日本列島は四季様々な自然の影響を受ける。これが、我が国の文化や国民性を育てた原動力であるとも言われているが、一方では、その自然は厳しい面を持っており、いわゆる自然災害の形で地域社会に障害をもたらすことも多い。中でも日本は、積雪・寒冷地域が国土面積の61%、人口の23%に達すると共に、この地域の積雪量は平地で1~2m、山間部で2~3m、所により5mを超える世界有数の積雪地帯であり、雪崩による人命の喪失や住居、工場、公共施設、通信施設等の損傷など雪害により経済的、物理的に大きな損害を被ることも多い。

交通施設においてもその機能障害に伴い、日常生活をはじめ産業活動、商業活動が阻害され、社会機能のまひを招くなど影響は大きく、道路、鉄道線路を雪害から守るために種々の対策が実施されている。

新日本製鐵は、1978年の上越新幹線消雪設備へのスプリンクラー、高効率加熱機（液中燃焼式）等の納入から雪害対策事業に参入し、1985年の関越自動車道融雪設備工事（I期）の受注により、散水融・消雪技術を確立した。以来、名神高速道路、関越自動車道（II期）等、継続した受注を実現している。

一方、鉄道では、一部着工した整備新幹線の雪害対策や在来線の高速化に伴う雪害対策のグレードアップ等、又、道路では、建設が着手された高速横断道に対する雪害対策など、従来の散水方式では対応が困難とされる極寒・豪雪地域への路線拡大に対応する新たな技術が望まれている。

本論文は、このような背景のもとに、新日本製鐵と日本鉄道建設

公団が共同開発し、1992年度実機採用された鉄道用無散水消雪パネルについて報告する。

## 2. 鉄道における雪害対策の現況

表1に多雪地帯を走る鉄道に採用されている消雪方式を示す。上越新幹線上毛高原~新潟間の軌道、越後湯沢、浦佐、長岡の各駅舎とホームの屋根及び東北新幹線北上地区に対しては、降雪と同時に温水を散水して消雪を行う世界に例を見ない方式を採用し、列車の高速走行を確保している。しかし、この方式は、1)散水後の損失熱量が大きく高温散水が必要でランニングコストが高い、2)盛土、切取り区間では散水による水の浸透防止対策が確立していないため適用できない、3)積雪の消雪には適さない、等の問題がある。図1に散水方式のフローを示す。

東北新幹線で採用されている貯雪槽方式は、軌道上に積もった雪を昼間は列車の自力排雪で、夜間はラッセル車等によって橋梁・高架橋等の構造物にあらかじめ設置している貯雪スペースに排雪し、貯雪するものである。この方式は、1)車両の雪対策が必要、2)構造

表 1 従来の消雪方式

消雪方式	適用路線	特 徴	問 題 点
散水方式	上越新幹線 東北新幹線 東海道新幹線	降雪量、積雪量の大きな所でも対応可能	・ランニングコストが高い ・盛土、バラスト区間への適用困難 ・極寒地区において適用困難 ・積雪の消雪は困難
貯雪槽方式	東北新幹線	水源、動力源が不要	・構造物のコストが高い ・盛土部、切取り部への適用困難 ・貯雪スペースに限界

<sup>(1)</sup> 鉄構海洋事業部 水道・水処理施設部 掛長

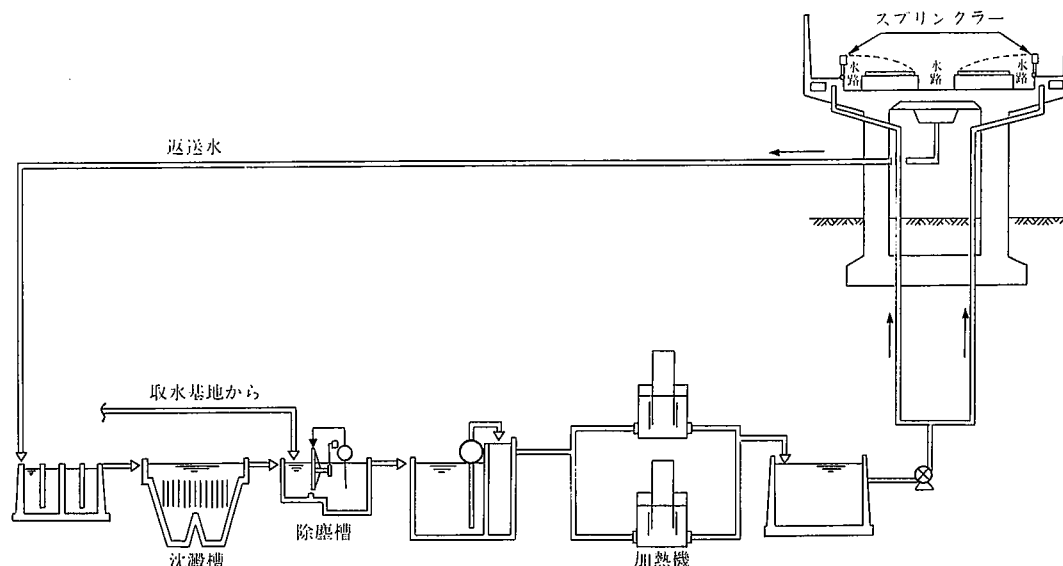


図1 散水消雪方式フロー

物の建設コストが高い、3)貯雪スペースにも限界がある、等多雪地帯への適用には制約も多い。図2に貯雪方式の構造図を示す。

以上述べたような雪害対策に加え、主に在来線で行われているのは機械除雪方式である。この方式は安価で迅速かつ多量の雪を処理することができるが、雪の捨て場所が問題で、人家接近箇所や主要幹線道路等との交差部上への適用には問題がある。又、側溝に水を流し雪を融かす例もある。

### 3. 消雪パネルの開発経緯

日本鉄道建設公団（以下公団）は、整備新幹線の一つである北陸新幹線の建設計画を進めている（一部区間は着工）。この路線は、上越新幹線高崎駅から分岐し、長野市及び日本海沿岸の中核都市を経て大阪市に至る延長約590kmの路線であるが、長野市以遠において志賀高原と斑尾高原の中間低位部、日本海沿岸の高田、富山、金沢の各平野部等、日本でも有数の豪雪地帯を通過する計画であり、延長約130kmに及ぶ明かり区間の雪害対策が大きな課題となっており、各地区の気象条件に適合した合理的かつ経済的な雪害対策を実施するために消雪設備や構造物の検討を行っている。

しかし、従来方式には前述のようにいくつかの問題があることから、新日本製鐵と公団は従来方式の問題を解決する可能性のある無散水方式の消雪パネル（以下パネル）を考案し、実験室試験等による検討を経て、1987年度冬期現場試験へ参画し、その後長野県飯山市の消雪試験場で1989年度までの3か年試験を実施した。試験ではパネルの基本的な消雪能力の把握と共に、同時に行った散水方式との能力の比較や、1988年度から参画した他社製ヒートパイプ方式との性能比較等も実施した。

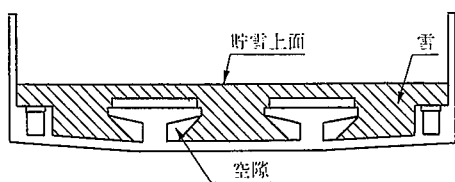


図2 貯雪高架橋の概要図

北陸新幹線向けの試験は、長野以遠の建設計画との関連で1989年度で一旦終了となったが、公団が建設中の北越北線の雪害対策計画の深度化を図る目的で、1989年度に冬期現地試験を実施することとなった。北越北線は、上越線の六日町から飯山線の十日町を経て信越本線の犀潟に至る単線、電化の第3セクター線であり、現在工事中の路線である。

路線延長は、約59kmで、内40kmがトンネル、残り19kmが明かり区間となっている。図3に北越北線の路線概要図を示す。この沿線は、最大積雪深222~430cm、最大日降雪量96~132cmにも達する日本有数の豪雪地帯であることから、冬期の雪害対策が必要な路線である。この路線は、当初、地方開発路線として計画されていたが、1989年度に上越新幹線と北陸線を結ぶバイパスルートと位置づけられ、幹線鉄道高規格化事業の適用を受け、160km/hの特急列車を走らせることに計画変更された。

そこで、冬期間における雪害対策のグレードアップが要求されることとなった。しかし地方開発路線として工事を進め、雪害対策としては、ラッセル車等による機械除雪を考えた盛土、高架橋などの路盤構造が既に来上っており、散水方式は、路盤崩壊を引き起こす恐れがあること、市街地など人家隣接部分、騒音対策上防音壁を計画している部分は線路外に雪捨てができず、機械除雪が困難で

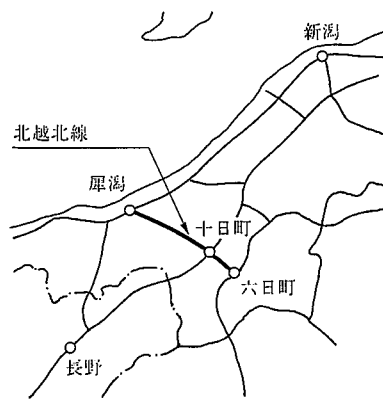


図3 北越北線のルート

ある等の理由から、従来方式に変わる消雪方式が検討され、パネル方式が注目された<sup>2)</sup>。

北越北線での現地試験は、新潟県十日町市の同線高架上で、新日本製鐵製パネルに加え、他社製ヒートパイプ方式も参画し、1989年度、1990年度の2か年実施した。本試験では、実機化を念頭にパネルの消雪性能のより定量的な把握、設備構成等の検討を行った。この結果、1992年度には同線野田BI区間(延長約90m)に新日本製鐵製パネルが実機採用されるに至った。

以下、北越北線における試験内容、得られた成果及び実機設備の概要について述べる。

#### 4. 北越北線における実用化試験

##### 4.1 北越北線の雪害対策計画<sup>2)</sup>

前述のように、人家隣接区間や騒音対策上防音壁を設置する区間等では線路外に雪捨てができず、又、施工基面上に貯雪スペースも確保できない区間について、以下のような消雪方式が計画されている。

##### (1) 盛土区間

軌道上の積雪は、図4に示すようにラッセル車等による機械除雪及び列車の自力排雪で軌道側方の歩行路部分に敷設したパネル上に排雪し、消雪する。又、夜間(最終列車通過から翌朝の機械除雪まで)や日中のパネル上の降雪はパネルの運転により消雪する。

##### (2) 高架橋区間

##### 1) トンネル湧水が確保できる区間

軌道に並行した側溝に水を流し、除雪された雪を流しながら融かす側溝流雪方式、あるいは散水消雪方式のいずれかで計画されている。

##### 2) トンネル湧水が確保できない区間

図5に示すようにパネル方式を主体に検討されている。軌道上の

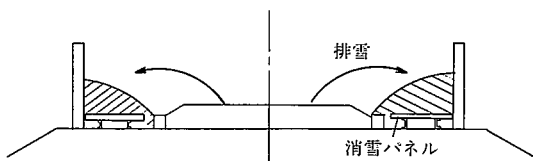


図4 盛土区間の消雪方法

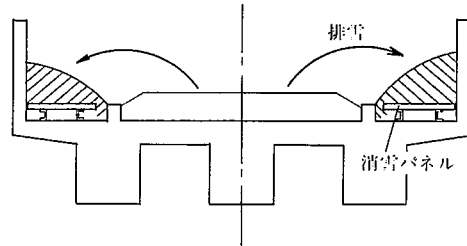


図5 高架橋区間の消雪方法

積雪及び夜間等の降雪の消雪方法は盛土区間と同様である。尚、パネル方式の熱源としては、水源の無い区間はボイラーによる加熱循環方式が、又、地下水等の得られる区間は地下水熱等の利用が考えられている。

##### 4.2 消雪パネルの構造とユニット構成

図6にパネルの構造図を示す。パネルは鋼板製(外面は溶融亜鉛めっき)で、プレス成型した台形上の流路と、これとシーム溶接で接合された放熱板よりなり、この流路の中に温水等の流体を通して放熱板上に降る雪や積雪を消雪する。パネル上の積雪は流体入口側から出口側に向かって融けていく。本構造の特徴として、1) プレス成型で流路断面が均一なこと及び曲がり部分が緩やかなことから圧力損失が少ない、2) 流体と放熱板との接触幅が広く、伝熱面積が大きい、3) ハニカム構造となるため高強度である、があげられる。

1989年度までの飯山、十日町の試験では、パネルは1~2m<sup>2</sup>のものを使用していたが、実用時の標準設計を考慮し、1990年度の試験及び野田BIの実機設備では図6に示した大型のサイズが採用された。又、これら設備では、図7に示すようにパネル下部に流体の送水管や戻り管等を組込んだユニット構造としている。このことにより、現地工事はユニット間の配管の接続作業のみとなり、据付工事の簡略化と工期短縮が図れる。

##### 4.3 実用化試験

1990年度に実施した実用化試験の概要について述べる。

##### 4.3.1 システムフロー

システムフローを図8に示す。加熱循環方式であり、送水、戻り水管の構成は各パネルの流量調整が容易なりバースリターン方式を採用している。試験に用いられたパネルは、新日本製鐵製パネルが図7に示したユニットで9セット、他社製ヒートパイプ方式のもの

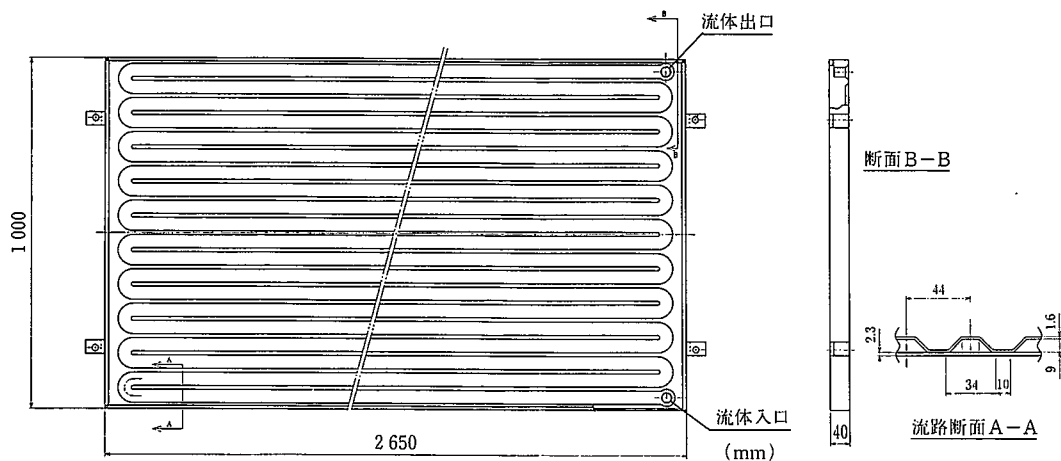


図6 消雪パネル構造図

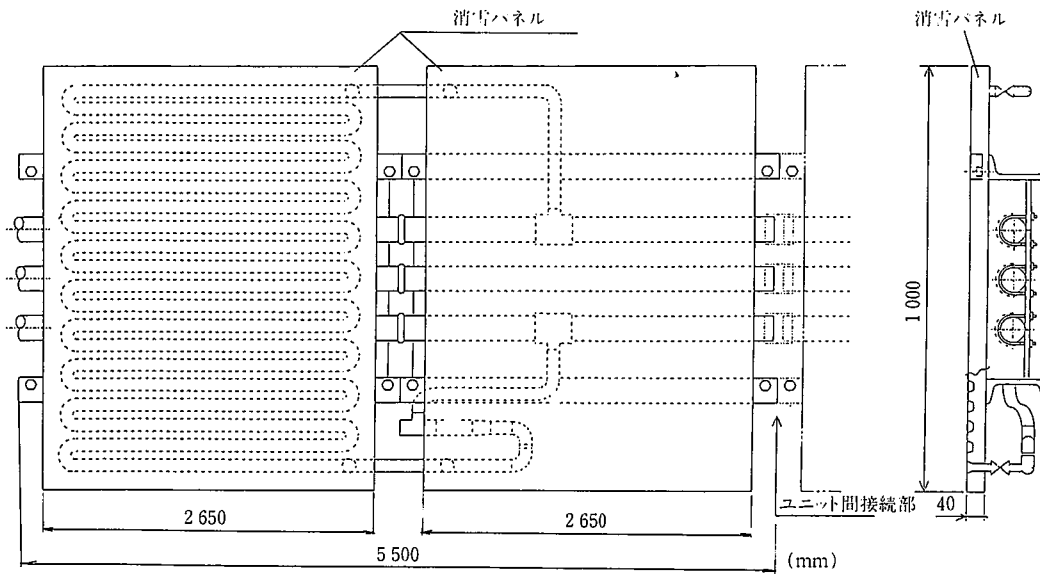


図7 消雪パネルユニット

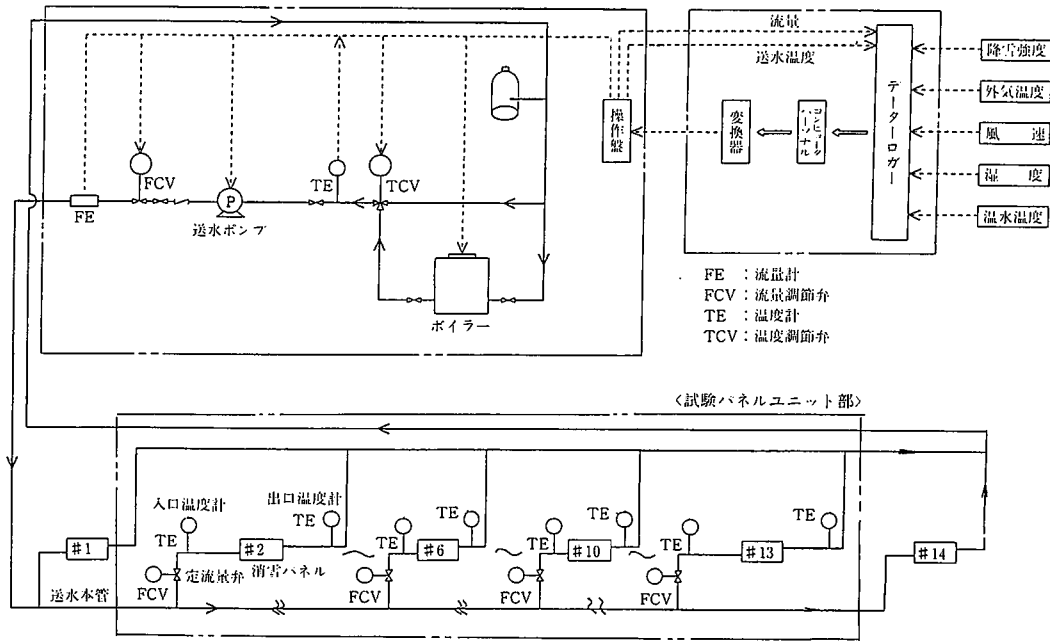


図8 消雪試験システムフロー

が3セットである。パネル設置部の断面図を図9に示す。各パネルユニットには現場指示型の流量計と定流量弁を設置し、供給流量を調整した。又、各パネルユニットの入口、出口の水温は測温抵抗体で計測し、降雪強度、外気温、風速等の観測データと共にパーソナ

ルコンピュータに表示、ロギングした。

#### 4.3.2 試験パターン

実施した試験パターンを表2に示す。

##### (1) Aパターン消雪試験

表2 試験パターン

試験パターン	無負荷	Aパターン	B1パターン			B2パターン			
設定入口水温(°C)	8	1,2(出口)	8	12	15	8	12	15	30
設定流量 (m <sup>3</sup> /h)	0.5	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.7	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.9		○	○	○	○			
	1.0							○	○
	1.2	○	○	○	○		○		

○印：実施した試験，設定流量はパネル1ユニット(5.5m<sup>2</sup>)の流量

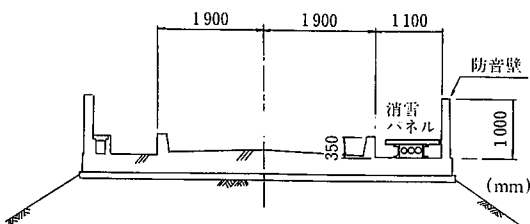


図9 試験区間断面図

パネル面の降雪を消雪するパターンである。本パターンでは、それまでの試験がパネルの運転条件を一定流量、一定入口水温で行っていたこともあり、外気への放散熱量が大きく、降雪を消雪するのに必要な熱量とパネルで消費した熱量の比で求まる消雪効率が低くなり、経済的でないとの課題があった。この課題解決のために1989年度までの試験データからパネルの放熱特性を解析し、次のような消雪公式を作成した。

本公式は、Aパターン運転時のパネルの性能を表す特性式であると共に、気象条件の変化に応じてパネルの最適な運転条件（流量、入口水温）を決定できる式である。

$$T_1 = (T_x - a/b) \cdot e^c + a/b \quad \dots\dots(1)$$

ただし、

$$a = (A + B \cdot U) (T_x - T_a) - (D + E \cdot U) (P_s - P_w) - S \cdot \rho_s (L - C_s \cdot T_s)$$

$$b = A + B \cdot U$$

$$c = w \cdot b \cdot x / m \cdot \rho \cdot C_p$$

ここで、 $T_1$ ：パネル入口水温(°C)、 $T_x$ ：パネル流路  $x$ (m)における水温(°C)、 $A+B \cdot D \cdot E$ ：定数、 $U$ ：風速(m/s)、 $T_a$ ：外気温(°C)、 $P_s$ ：乾球温度における空気中の飽和蒸気圧(mmHg)、 $P_w$ ：空気中の湿度における実際の蒸気圧(mmHg)、 $S$ ：降雪強度(m/h)、 $\rho_s$ ：雪密度(kg/m<sup>3</sup>)、 $L$ ：雪(氷)の融解潜熱=80(kcal/kg)、 $C_s$ ：雪(氷)の比熱=0.49(kcal/kg°C)、 $T_s$ ：雪温(°C)、 $w$ ：パネルの流路幅(m)、 $x$ ：パネル入口からの流路長(m)、 $m$ ：パネル通水流量(m<sup>3</sup>/h)、 $\rho$ ：流体の比重(kg/m<sup>3</sup>)、 $C_p$ ：流体の比熱(kcal/kg°C)。

試験は、(1)式に外気温、風速、降雪強度などの気象観測データを5分から10分の間隔で取込み、あらかじめ設定したパネル出口水温(1°Cもしくは2°C)に対するパネル入口水温  $T_1$ を計算し、この値をボイラー出口水温とするようにボイラー出口の3方弁を自動制御する方法で行った。図10に制御ブロック図を示す。

(2)Bパターン消雪試験

パネル上の積雪を消雪する試験で、次の2パターンについて実施した。B1パターンはパネル上に降雪を積雪させた後に消雪する方式、B2パターンは路盤上の積雪を機械除雪でパネル上に排雪し、消雪する方式である。尚、機械除雪は小型ロータリー除雪機で行った。

4.3.3 消雪試験結果

(1)Aパターン消雪試験結果

表3に試験条件と試験結果の概要を示す。パネル入口水温の平均値は2~4°C程度と低いが、消雪は完全に行われ、残雪が残ることはなかった。又、消雪効率は低温運転により外気への放散熱量が小さくなったことから、45.5~75.1%とそれまでの試験と比べ格段に向上し、本試験で使用したAパターン消雪公式の効果を立証できた。

(2)Bパターン消雪試験結果

機械除雪によるB2パターンの試験結果について、1991年2月18日の試験を例に説明する。試験条件を表4に示す。試験は路盤上の積雪深16cmの雪を2.4m幅機械除雪し、パネル上に排雪して行った。排雪した雪をパネル上の積雪深に単純換算すると、パネル幅1mであることから38.4cmに相当する。

写真1に試験開始から終了までの消雪状況を、図11にパネル入・

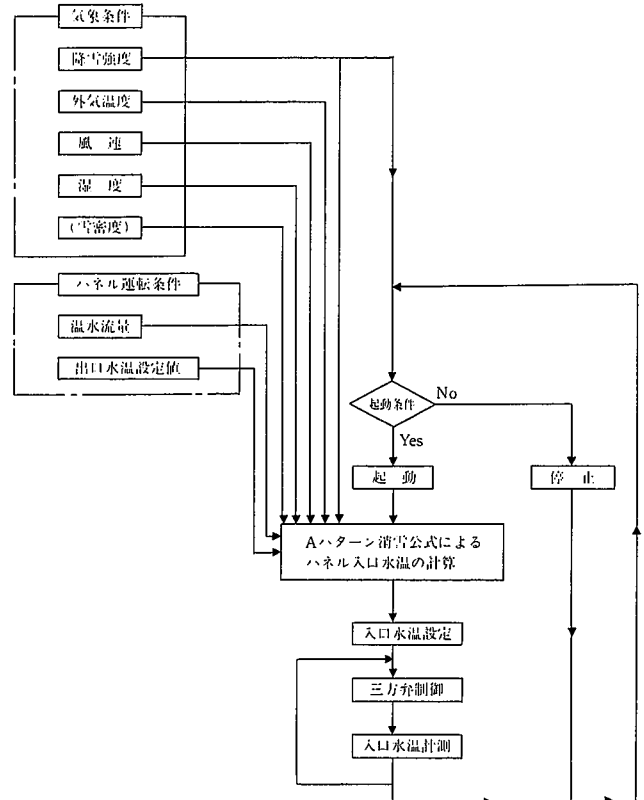


図10 Aパターン消雪試験制御ブロック図

表4 B2パターン試験条件(1991年2月18日 11時10分開始)

試験条件		気象条件	
設定入口水温	12.0°C	外気温	-0.7~1.4°C
流量(1ユニット)	1.2m <sup>3</sup> /h	風速	0.1~1.7m/s
路盤上積雪深	16.0cm	降雪強度	0.0~5.25cm/h
除雪幅	2.4m	湿度	81.2~91.9%
雪密度(積雪)	0.177g/cm <sup>3</sup>	天気	曇り/雪
含水率	17.2%		
雪温	0°C		

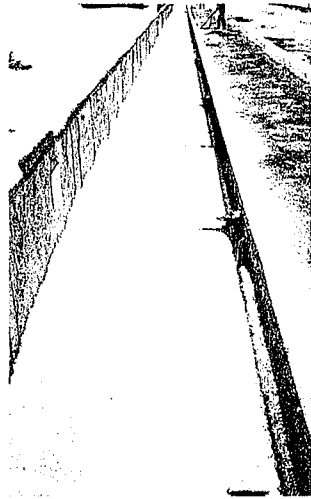
表3 Aパターン消雪試験結果

試験No	外気温(°C)	風速(m/s)	降雪強度(cm/h)	パネル流量(m <sup>3</sup> /h)	パネル入口水温(°C)	パネル出口水温(°C)	消雪熱量(W/m <sup>2</sup> )	消費熱量(W/m <sup>2</sup> )	効率(%)
1	-0.7~0.6	0.0~0.5	0.25~5.75	0.7	4.1	2.5	136.9	239.6	57.2
2	-0.5~1.2	0.0~0.7	0.50~4.00	0.5	3.0	2.1	89.6	125.3	71.5
3	-0.8~0.6	0.0~0.7	0.25~4.25	0.9	2.0	1.6	80.1	176.2	45.5
4	-3.4~2.8	0.2~2.0	1.00~7.75	1.2	3.1	1.4	328.6	437.6	75.1

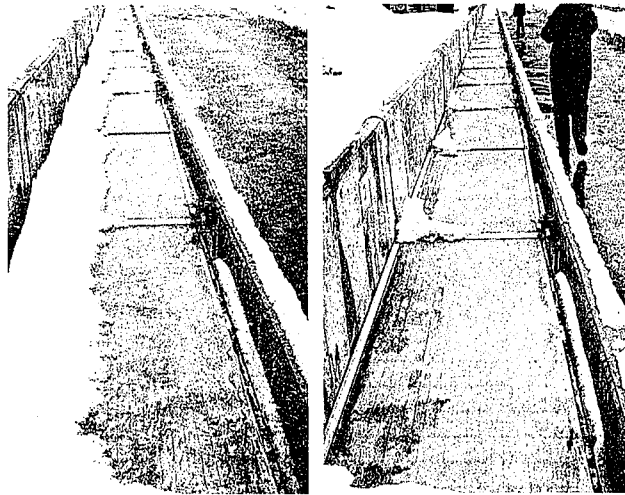
注) 1. パネル流量とは、パネル1ユニット(5.5m<sup>2</sup>)の流量である。  
 2. パネル入口、出口水温は、試験開始から終了までのパネル9ユニットの平均値である。  
 3. 消雪熱量とは、降雪を消雪するのに必要な熱量、又、消費熱量とは、流量と入・出口水温から求めたパネルの消費熱量で、いずれも試験開始から終了までのパネル9ユニットの平均値で、パネル単位当たり熱量である。

出口水温を、又、図12にパネル消費熱量を示す。パネル上の雪は、流体入口側から出口側（防音壁側）に向かって融けていき、それにつれて出口水温は徐々に上昇し、消費熱量は減少していく。

防音壁に付着している雪は消雪が進行するにつれ壁から剝離し、パネル上に割れ落ち、転倒して消雪されていき、パネル上の積雪が多い場合でも、防音壁とパネルとの間に、いわゆるブリッジが形成



(a) 機械除雪直後



(b) 60分経過

(c) 消雪終了

写真 1 消雪状況(B2パターン:1991年2月18日11時10分開始)

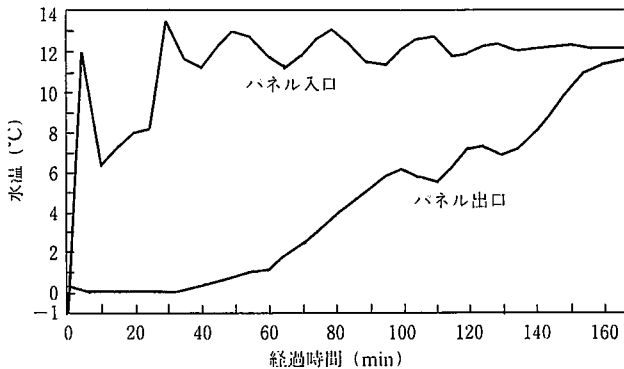


図 11 パネル入・出口水温

されるようなことはなかった。又、パネルとパネルの間の隙間（本試験では10cm）の部分に若干の雪が残ったが、この雪は、その後のBパターン試験による除雪で成長することはなかった。

図13に、B2パターンの場合のパネル送水流量と消雪速度（パネル上の積雪重量の減少速度）の関係を、図14にパネル送水流量と平均消費熱量（試験開始から終了までの平均）の関係を、いずれもパネル入口水温をパラメータにして示す。

尚、パネル上の自然積雪を消雪するB1パターン試験についても、同様の消雪状況を確認した。

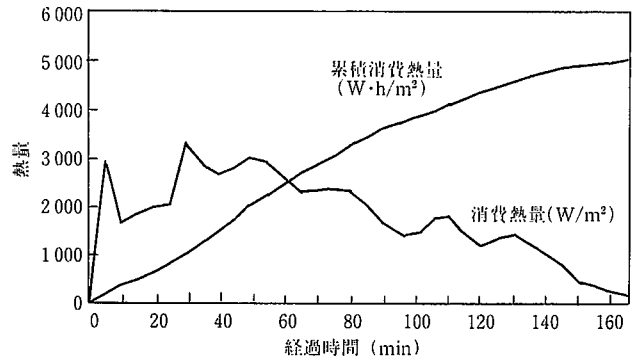
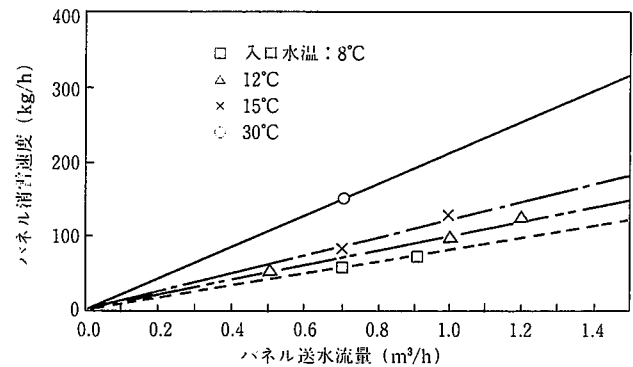
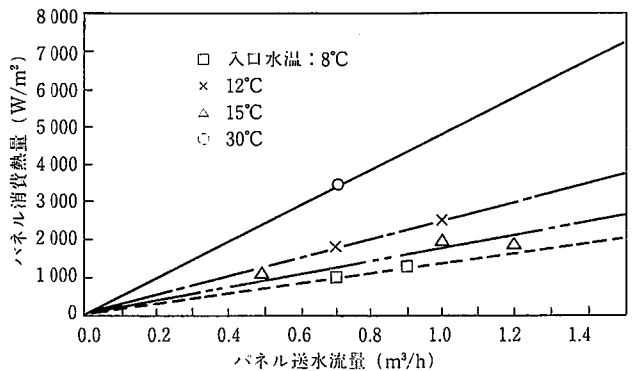


図 12 パネル消費熱量

図 13 パネル送水流量と消雪速度の関係  
(B2パターン:パネル1ユニット5.5m<sup>2</sup>当たり)図 14 パネル送水流量と平均消費熱量の関係  
(B2パターン:パネル1ユニット5.5m<sup>2</sup>当たり)

## 5. 実機設備の概要

幹線鉄道高規格化事業の適用に伴う北越北線の160km/h 高速運転に対する雪害対策として、無散水消雪パネル方式の適用を図るべく、前述のような一連の試験が実施され、実用化の確証が得られた。これを基に実機規模設備によるパネル消雪性能や運転制御方式等の最終機能確認を行うため、1992年度に一部区間について本方式による消雪設備を建設し、冬期に試運転を兼ねた機能確認試験を行い、その結果を今後の北越北線雪害対策設備の設計、建設に反映させることとなった。

新日本製鐵は、本消雪設備内のパネルユニット及び制御盤を設計、製作し納入した。

### 5.1 設備設置区間

場所：新潟県南魚沼郡六日町野田 野田 B1

パネル敷設長：野田 B1 高架上約90m (六日町駅起点3,655m ~3,744m 区間)

### 5.2 設計条件

1990年度の消雪試験結果に基づき、次の条件で必要水量、機器容量等が決定されている。

#### (1) 気象条件

1) 降雪強度：4.7cm/h (六日町地区10年確率値における日最大降雪

量112cm/dを24時間で割った値)、2) 外気温：-5.3°C、3) 風速：1.1 m/s、4) 雪密度：0.07g/cm<sup>3</sup>、5) 湿度：80%

#### (2) 取水条件

1) 井戸水取水温度：12°C、2) 取水最大量：40m<sup>3</sup>/h、3) 井戸数：1本

#### (3) 消雪条件 (最大負荷時)

軌道部の4時間の降雪による積雪を機械除雪でパネル上に排雪し、2時間で消雪する。尚、消雪中も4.7cm/hの降雪は継続している。

#### (4) パネル形状

軌道部の標準断面を図15に示す。パネルユニットの標準寸法は幅920mm、長さ5500mmである。

### 5.3 システム概要

図16に消雪設備フローを示す。本設備は消雪のための熱源として

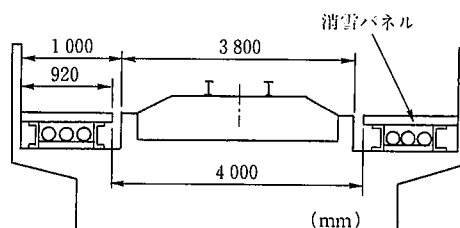


図 15 野田 B1 軌道部標準断面図

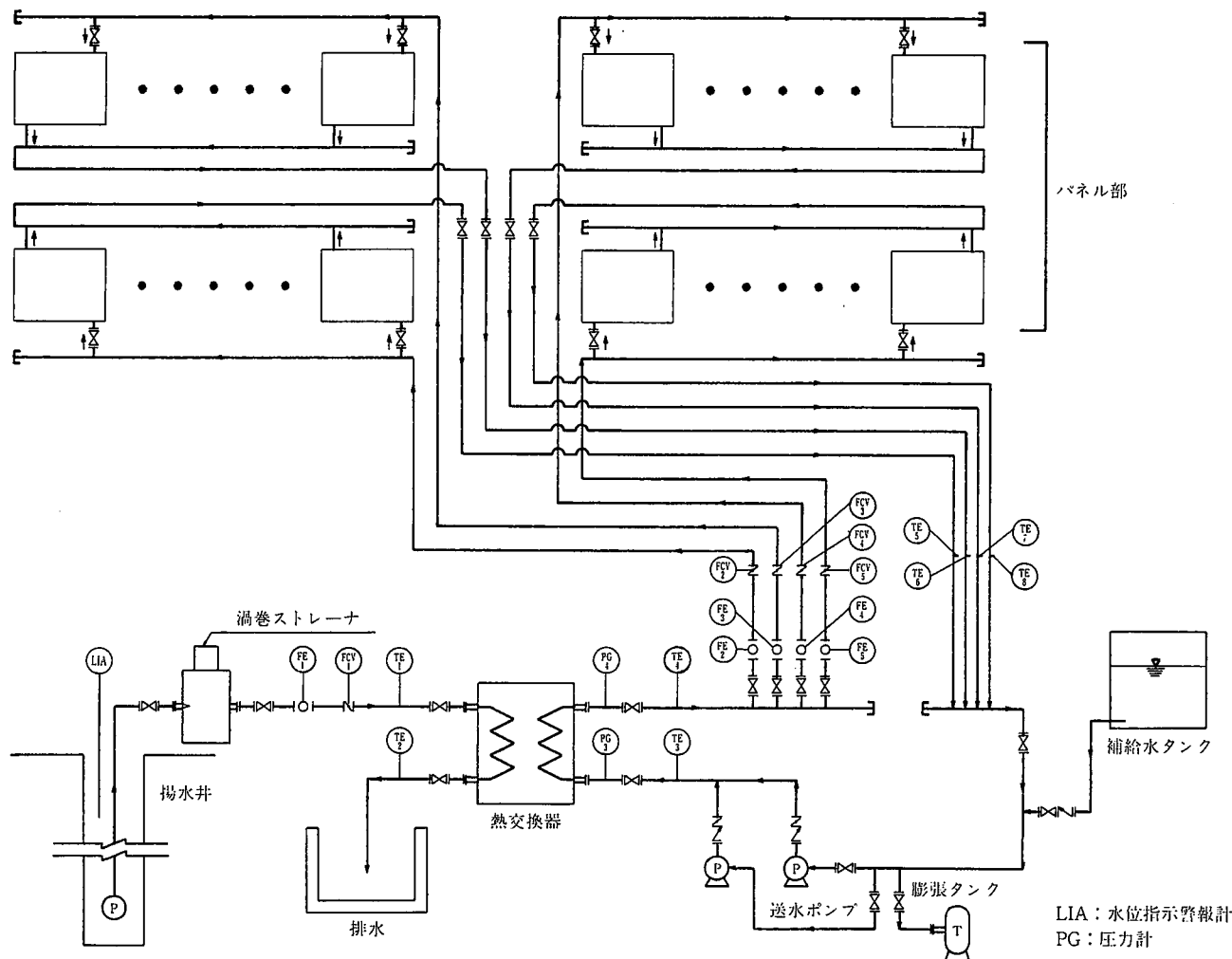


図 16 野田 B1 消雪設備フロー

井戸水を使用している。この井戸水の有する熱量を熱交換器により消雪用水に与え、温度を上昇させた後にパネルに通水し、消雪を行うものである。消雪系統は4系統に分かれ、流量計(FE)、流量調節弁(FCV)により規定の流量に調整後、各系統に送水され、パネルを出た後に再度熱交換器に導かれる密閉循環回路である。

消雪用水は、設備停止中(無降雪、無積雪時)の外気温低下による凍結を防止する目的で、人体に無害のプロピレングリコール系の不凍液を混入した水を使用している。又、パネル部の配管構成は、リバースリターン方式を採用し、各パネルの流量の均一化を図っている。尚、本消雪設備は、降雪検知器及び積雪検知器等からの信号による無人自動運転を行うことを前提としたシステム構成である。

#### 5.4 パネルユニット

新日本製鐵が納入したパネルユニットは、標準サイズの幅920mm、長さ5500mmのものが28ユニット、これと幅、長さが異なるもの9ユニットの合計37ユニットである。写真2に設置状況を示す。

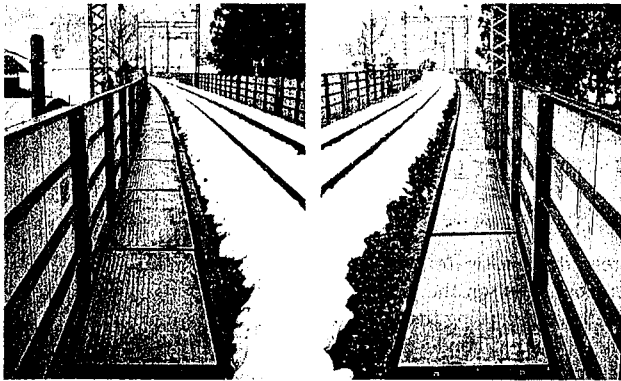


写真 2 北越北線野田 B1 消雪パネル設置状況

## 6. おわりに

新日本製鐵と日本鉄道建設公団が共同開発した鉄道用無散水消雪パネルの開発成果について述べた。本方式による消雪方法は鉄道において初の試みであり、その効果が注目されている。今後、現在整理中である1992年度の野田 B1 実機設備による最終機能確認試験結果もふまえ、技術の確立を図ると共に、適用範囲の拡大に向けて開発を進めていく所存である。

開発に際して御指導、御協力をいただいた 日本鉄道建設公団、(財)鉄道総合技術研究所、(株)交通機械設備設計事務所並びに関係各位に対し、深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 水本清志 ほか：橋梁。(1988-10), 62 (1988)
- 2) 小島好弘：車両と機械。(1991-10), 14 (1991)