

東北新幹線（八戸・新青森間）の散水消雪設備

安木 興

東北新幹線（八戸・新青森間）は、厳寒で多雪な区間が含まれており、雪害対策として寒冷地に適した消雪設備が必要となった。新幹線の散水消雪設備は、上越新幹線において昭和 57 年から約 30 年の実績があるが、これを寒冷地に適用するためにはいくつかの課題を解決する必要がある。鉄道・運輸機構では、消雪試験を 6 年にわたって実施し、これらを解決した。寒冷地に適した散水消雪設備は、東北新幹線の冬季安定輸送に貢献している。

キーワード：散水消雪，消雪公式，加熱機，スプリンクラ

1. はじめに

東北新幹線は東京・新青森間の約 675 km の路線で、昭和 57 年 6 月 23 日の大宮・盛岡間の開業以来、昭和 60 年に上野・大宮間が、平成 3 年には東京・上野間が延伸開業した。鉄道・運輸機構は、盛岡以北の建設を担当し、平成 14 年 12 月 1 日に盛岡・八戸間が、平成 22 年 12 月 4 日に八戸・新青森間（延長 81.8 km）が開業し、全線開業となった。

昨年開業した東北新幹線（八戸・新青森間）は、寒候期平均気温が 0℃未満で最低気温が -20℃近くとなる厳寒で多雪な区間が含まれている（表-1）ことから、列車の安定走行には新たな雪害対策が必要不可欠となった。本稿は、雪害対策のうち、散水消雪設備について述べる。

2. 従来の散水消雪システム概要

東海道新幹線が関ヶ原付近で降雪に悩まされたことを踏まえ、上越新幹線の建設にあたっては、「雪に強い新幹線」とするため、日本鉄道建設公団（現鉄道・運輸機構）では昭和 46 年に雪害対策分科会を設置し、昭和 47 年の第 2 回雪害対策分科会にて「雪覆い」または「流雪軌道」を主体とした雪害対策とする方針を決定し、上毛高原・新潟間の本線については駅部及びトンネル間の短い明かり区間を除いて「散水消雪」を主体とする雪害対策を採用することとした。

散水消雪とは、河川等より散水用水を得て、加熱機で昇温し、軌道上に撒くものである。上越新幹線の散

水消雪設備のフローを図-1 に、高架橋断面図を図-2 に示す。

表-1 東北新幹線と上越新幹線の気象状況の違い

	東北新幹線 (八戸・新青森間)	上越新幹線 (上毛高原・新潟間)
10年確率年最大積雪深 (cm)	62 ~ 177	63 ~ 470
寒候期平均気温 (℃)	- 0.5 ~ 0.5	1 ~ 3.3
寒候期極値最低気温 (℃)	- 18.4 ~ - 15	- 13.9 ~ - 10.1

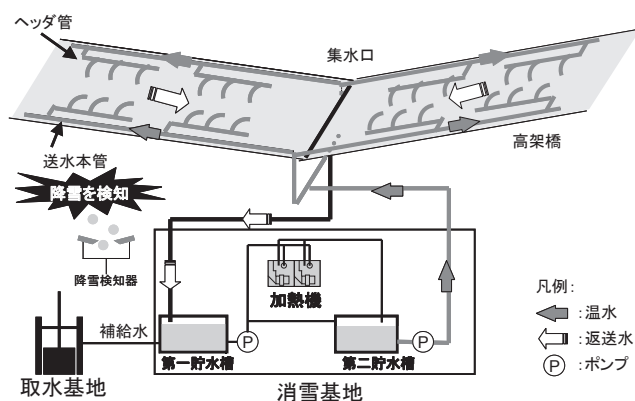


図-1 上越新幹線散水消雪フロー

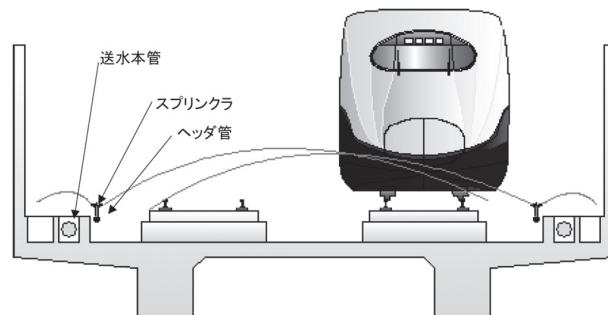


図-2 高架橋断面図

上越新幹線の散水消雪システムの概要を以下に述べる。

消雪用水は、取水基地等から第一貯水槽とよばれる水槽に送り、散水に備える。消雪基地に設置した降雪強度計が降雪を検知し、散水が必要となった場合、送水量の半分を加熱し、第二貯水槽で非加熱水と混合し、温度調整した温水を送水本管を通して高架上へ送る。送水本管から一定間隔で分岐するヘッダ管に取り付けたスプリンクラから軌道上に散水を行う。散水温度は8～12℃程度である。散水された水は線路縦断勾配最下部の集水口で回収し、消雪基地に戻して再利用する(これを「加熱循環方式」という)。散水温度は、消雪回収水である「返送水」の温度により制御を行っている。散水は、降雪がなくなり、返送水の温度が一定以上となるまで継続する。散水終了後は凍結防止のため、送水本管・ヘッダ管内の水抜きを行う。

3. 東北新幹線（八戸・新青森間）における課題と対策

東北新幹線（八戸・新青森間）においても、学識経験者、鉄道事業者及び日本鉄道建設公団（現鉄道・運輸機構）で構成する雪害対策委員会が設けられ、雪害対策が検討された。平成11年に開催された第1回委員会において、次の事項が決定された。

- ①再現確率10年値の最大積雪深及び日最大降雪量に對して営業列車が正常ダイヤで運行できる設備とする。
- ②営業時間帯における軌道上の雪は営業列車のスノウプラウで排雪できるものとする。高速走行を要する10年確率までの積雪は、レール面上9cmを限度とする。
- ③原則、機械除雪を併用しない雪害対策設備とする。

これにより、貯雪式高架橋の貯雪可能積雪深は83cmと設定され、貯雪方式で対応ができない区間は、種々の対策が検討されたが、最終的に上越新幹線の散水消雪設備を基本とした方式を主体とする雪害対策と

することが決定された(図—3)。

散水消雪設備の最大の課題はスノースラッシュの防止である。スノースラッシュとは、雪が融けきらずに水と雪が混ざったジャム状の状態をいい、散水熱量が不足することで発生する(写真—1)。これが発生すると、返送水が回収できず、貯水槽が空になり、散水システムがダウンする、軌道回路が短絡し、列車運行に支障をきたす等の問題が発生する。寒冷地では少しの積雪でも失熱が大きく、スノースラッシュ発生の危険性が高くなる。この対策として、次の3点に重点をおいて検討していくこととした。

- ①散水指令から実際に散水開始するまでの散水遅れを短縮する。
- ②散水温度制御遅れを短縮する。
- ③積雪発生時には設計散水温度より高い温度で散水を行う。



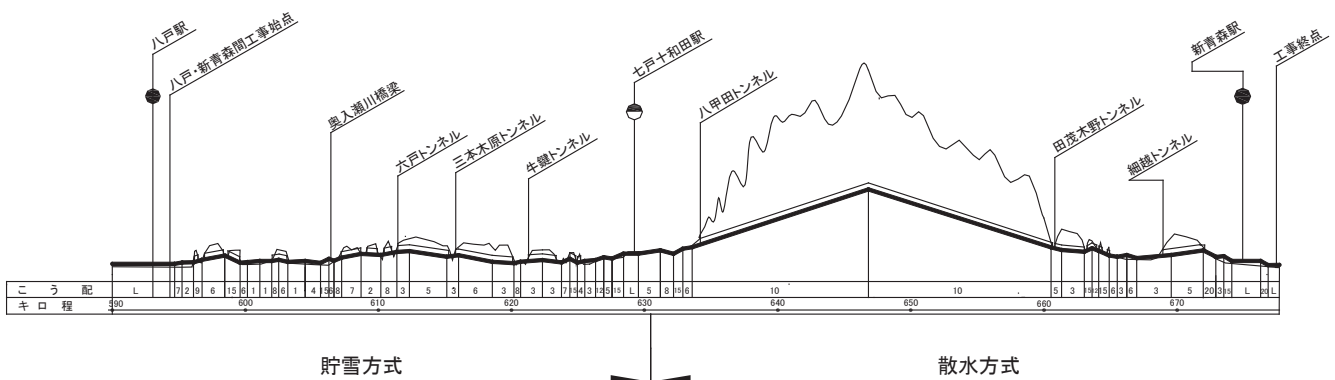
写真—1 スノースラッシュ

4. 寒冷地での散水消雪試験

(1) 七戸消雪試験場

低温・多雪地域での散水消雪の有効性を確認することを目的とし、長さ60m、幅11.7mのモデル高架橋において、平成12年度から14年度まで試験を実施した。写真—2は七戸消雪試験場の全景である。

本試験場での試験の結果、散水温度を高くすると、飛散中の放熱が大きくなることから、散水の熱量は水



図—3 東北新幹線（八戸・新青森間）の雪害対策範囲図



写真一 七戸消雪試験場全景

量を増加させることとし、 $1.0 \text{ l/m}^2 \cdot \text{分}$ （スラブ軌道区間。上越新幹線は $0.7 \text{ l/m}^2 \cdot \text{分}$ ）とした。

(2) 船岡消雪試験場

七戸消雪試験場で得られた試験の結果をもとに散水消雪をさらに深度化するため、東京起点 667 km176 m からの本線高架橋（船岡高架橋。長さ 316m、幅 11.7 m）を先行して建設し、平成 13 年度から 17 年度まで試験を実施した。写真一 3 に船岡消雪試験場全景を、写真一 4 に散水試験中の船岡消雪試験場を、図一 4 にシステムフローを示す。

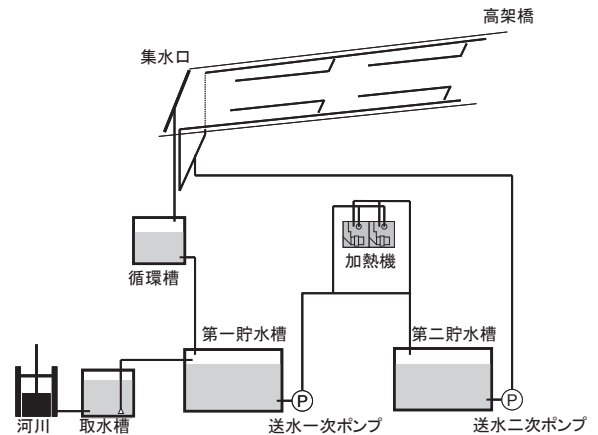
消雪基地の設備容量を設定するためには、基地ごとに最高散水温度の設定が必要となる（これを設計散水温度という）。設計散水温度の設定には、上越新幹線建設時の考え方を踏襲し、「消雪公式」を用いることとした。消雪公式とは、気温、風速、降雪強度を変数とし、散水温度を求める式で、高架橋スラブ表面の熱収支から導くものである（図一 5）。本式導出のため、高架橋に気象観測装置を設置し、散水温度を変化させ



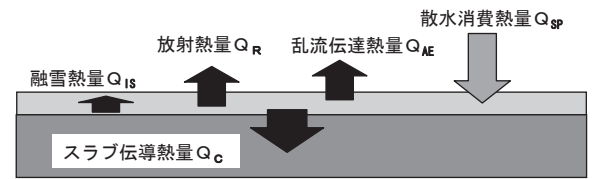
写真一 3 船岡消雪試験場全景



写真一 4 散水試験中の船岡消雪試験場



図一 4 散水消雪システムフロー（船岡消雪試験場建設当初）



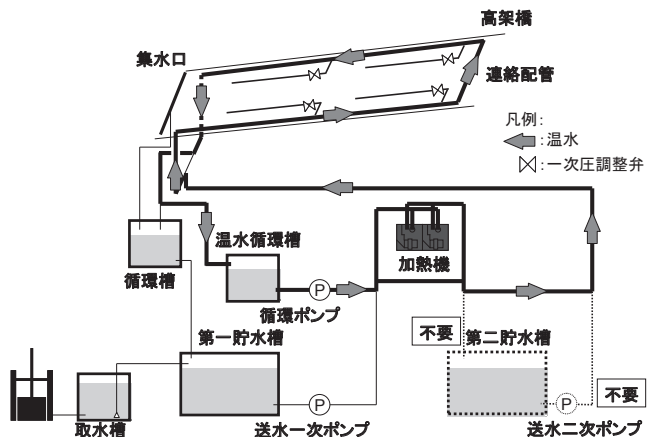
図一 5 高架橋スラブ表面熱収支概念図

た状態で熱収支・気温・風速・降雪強度の測定を行った。

(a) 散水開始遅れの短縮

上越新幹線のシステムは、散水停止中の凍結防止のために送水本管・ヘッダ管の水を抜いているが、この方法では、散水指令から送水本管内の充水が終了し、安定した水量で散水されるまでに多くの時間が必要となる。この散水開始遅れを短縮するため、散水待機中は送水本管内に温水を循環させる送水本管循環運転（以下、循環運転という）の試験を行った。

循環運転は、送水本管末端に上下線を結ぶ連絡配管を設けて循環回路を構成することで行った。循環中はヘッダ管には導水しないようにするため、一次圧調整弁を送水本管との分岐部に追加した。循環水量は散水時ほど必要ないことから、送水ポンプとは別に循環ポンプを設置した（図一 6）。これにより散水開始までの時間が 20 分から 3 分へと短縮することが可能となった。



図一 6 散水消雪システムフロー（循環回路構成後）

(b) 散水温度制御遅れの短縮

上越新幹線では当初、返送水温度が高架上の状況を表しているとして、返送水温度によるフィードバック制御を行っていた。しかし、末端のスプリンクラから吐出された散水が回収されるまでには数十分の時間がかかり、気象条件が急速に変化した場合は、対応が困難であった。

この対策として、消雪公式を使用した温度制御（公式散水制御）を試みた。起動条件を表一2に示す値で設定し、消雪公式で計算した散水温度で散水を行う試験を行った結果、目標返送水温度2℃を満たすことができた。このことから、散水温度の制御遅れ対策としては本制御方式を採用することとした。これと合わせて送水一次ポンプから加熱機を通して直接高架上に散水する方式とし、第二貯水槽を省略することで、温度制御の応答性を向上させた。

表一2 システム起動・停止条件

起動条件	降雪強度 0.25 cm/h 以上が 20 分連続 または 降雪強度 0.5 cm/h 以上が 10 分連続
停止条件	連続無降雪 10 分かつ返送水温度 2℃ 以上

(c) 通常散水時より高い温度での散水

システム起動条件とならない非連続降雪により積雪してしまった場合や、保守作業時に散水停止した場合の降雪時の対応を想定し、通常の最高散水温度より高い温度での散水を行い、積雪を強制的に融かす「強制散水」について検討を行った。想定される積雪量及び高架上の視界確保の点から散水温度は20℃とした。

強制散水は、あらかじめ貯水槽内水温を8℃にしておき、散水時に加熱機で12℃加温することで、20℃で散水を行うものである。複数回の試験の結果、高架上に3～4cm程度の積雪があってもスノースラッシュを発生させることなく消雪ができることを確認した。

その他、管材についても、配管用炭素鋼鋼管（断熱あり、なし）、内外面ポリエチレン粉体ライニング鋼管、FRP管、金属強化ポリエチレン管を比較した結果、金属強化ポリエチレン管がもっとも保温性が高いことが確認された。

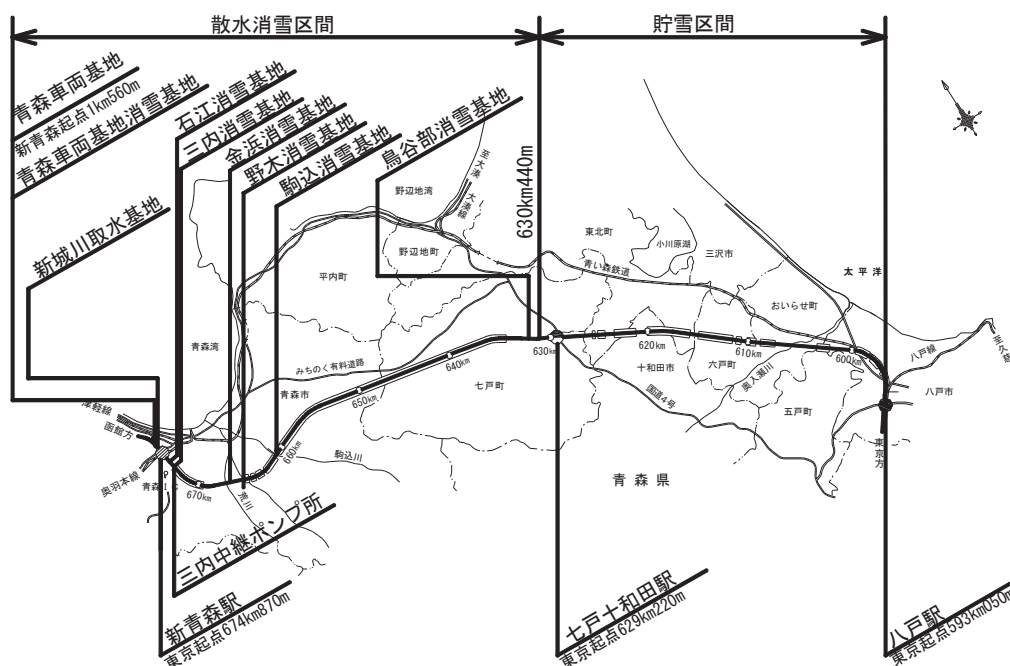
以上の結果をもとに平成18年度から本設消雪基地の設計を行い、施工にあたった。各消雪基地で採用した設備・制御方法等についての詳細は次の章で述べる。

5. 東北新幹線（八戸・新青森間）の散水消雪設備

東京起点 630 km440 m 以降を散水消雪区間（散水延長はトンネル部を除く約 13 km）とし、散水区間の 2～3 km 毎に 1 箇所、計 7 消雪基地設置している（図一7）。消雪用水の取水基地は、新城川に 1 箇所とし、トンネルを越えて送水する必要がある野木及び金浜消雪基地へは、三内中継ポンプ所を経由して送水する。

各消雪基地の散水延長を表一3に示す。

標準的な設備を備える金浜消雪基地を先行して平成18年度より建設し、平成19年度冬季に散水試験を実施した。この結果を受け、平成19年度より全消雪基地の建設を開始し、平成20年度、21年度には全基地



図一7 東北新幹線（八戸・新青森間）路線平面図

表-3 基地一覧

基地名	散水延長 [m]
鳥谷部消雪基地	3,735
駒込消雪基地	435
野木消雪基地	2,182
金浜消雪基地	2,745
三内消雪基地	1,406
石江消雪基地	1,286
青森車両基地消雪基地	1,252
新城川取水基地	-



写真-5 金浜消雪基地外観

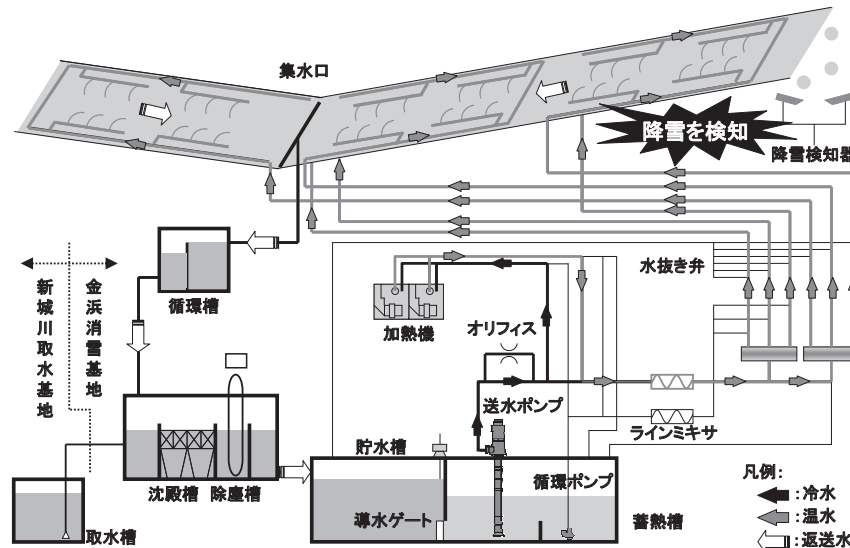


図-8 東北新幹線（八戸・新青森間）のシステムフロー（金浜消雪基地・散水時）

の機能確認を実施した。金浜消雪基地の外観を写真-5に、システムフローを図-8に示す。

(1) 消雪基地、取水基地設備

消雪基地建物内には、散水用の水を貯める貯水槽、貯水槽の水を揚水し加熱機を経由させ、高架上まで水を送る送水ポンプ、散水待機中に送水本管内の水を循環させる循環ポンプ、灯油を熱源として水を温める加熱機、各設備の運転制御監視をする監視制御装置、制御盤等を設置した。建物外には、燃料を貯蓄する地下タンク、散水温度制御の基となる気象3要素（気温・風速・降雪強度）を測定する気象観測装置、散水後の返送水を再利用するため、ゴミなどを取除く除塵・沈殿装置を設置した。また、返送水は基本的に路盤の自然勾配で基地の貯水槽まで戻るよう設計しているが、鳥谷部消雪基地、野木消雪基地、青森車両基地消雪基地の3基地は、自然勾配での返送水の回収が困難なため、ポンプにより機械的に水を戻す返送水ポンプを設置した。

取水基地には、河川水のゴミを取り除く10mm目幅の除塵機、消雪基地へ送水する取水ポンプ及び導水管内の圧力を保つ充水ポンプを設置した。河川には油圧駆動の転倒堰を設置しており、冬季はこれを起こし、

水槽手前の水位を上昇させ、基地に水を導入する。

(a) 貯水槽

貯水槽の容量は、散水開始から返送水が定常状態となるまでに戻ってこない量に安全率を考慮して決定した。貯水槽の一部は、強制散水（20℃散水）を行うためにあらかじめ水を温めておく蓄熱槽とし、25分間散水可能な量を確保した。水槽は導水ゲートにて仕切っている（写真-6）。貯水槽上は、加熱機等を設置する機械室として使用し、狭い敷地内に必要な設備を取めた。

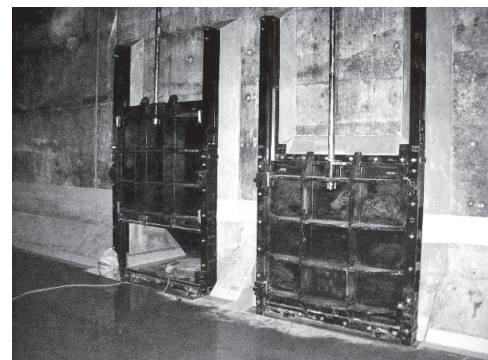


写真-6 導水ゲート（金浜消雪基地貯水槽内）

(b) 送水ポンプ

立軸斜流ポンプを基本とし、2台運転時に所定の送



写真一七 送水ポンプ（金浜消雪基地機械室内）

水量となる設計としている。万一の故障時に備え、予備を1台設置した（写真一七）。

(c) 循環ポンプ

散水運転終了後に送水本管内の水を抜かずに循環運転を行う方式（循環方式）を、駒込消雪基地を除くすべての基地に採用した。循環運転は貯水槽内に設置した水中ポンプによって行う。ポンプ容量は、最末端の配管流速が2 m/s程度となる仕様とした。

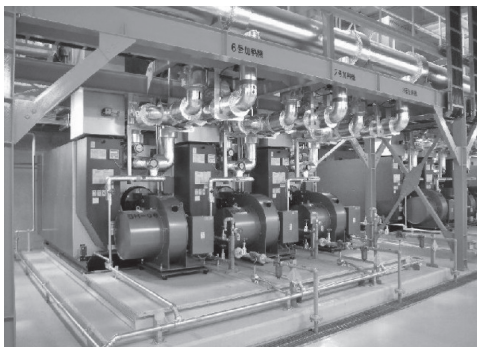
(d) 除塵機

返送水と一緒に流れてくるゴミや小石を取除くため、目幅2 mmの回転式微細目スクリーン式除塵機を設置した。砂や泥の除去は、別に設置した傾斜板沈降装置により行うこととした。

(e) 加熱機

上越新幹線建設当時採用した水中燃焼式加熱機ではなく真空式加熱機とした（写真一八）。水中燃焼式加熱機は、熱効率が約98%と非常によい加熱機であるが、補機類が多く、起動指令後に燃焼が始まるまでに時間を要する。一方、真空式加熱機は、常時待機温度で運転を行っていることから立ち上がり時間が短縮できる。また、熱交換器に圧力をかけられることから、高架上へ直接送水が可能となり、第二貯水槽を廃止することが可能となったことから、建設費低減に加え、散水温度制御の応答性の向上を図ることができた。

加熱機は、外気温が2℃を下回ると自動で起動させ、機器内の缶内温度が設定温度を保持する制御を行う。



写真一八 真空式加熱機（金浜消雪基地機械室内）

散水の温度制御は、加熱機台数及び加熱機内に流れる水の流量調整制御により行い、ラインミキサにて冷水と混合する。

(f) 気象観測装置

散水の温度制御には、気温・風速・降雪強度の気象3要素が必要となる。このため、各基地には温湿度計、風向風速計、降雪強度計を設置した。設置にあたっては、構造物等の影響がないよう場所を選定し、気象観測タワー等高所に設置することを基本とした。また、各基地の散水範囲の気象を適切に捉えられるように必要により複数箇所に設置している。



写真一九 気象観測タワー（金浜消雪基地）

(2) 高架上設備

消雪基地より本線へ送られた水は、本線両脇に設けられた送水ダクト内に敷設した送水本管内を通り、約150 m間隔で分岐した減圧弁ユニットを通り散水圧力0.1 MPaに調整し、ヘッド管に取り付けたスプリンクラ及び待避ネットジェットから散水される。散水した水と融雪水は、本線中央の中央水路または、脇の側水路を流れ最下部の集水口で回収する。集水口には、完全には融けないで流れてきた氷または雪塊を、圧力をかけた温水で砕く集水口ジェットを設置した。

(a) 送水本管

耐久性・耐候性・保温性に優れた高密度ポリエチレン管を採用した。接続はバット融着またはEF融着と



写真一〇 送水本管

し、配管を一体化させた（写真—10）。

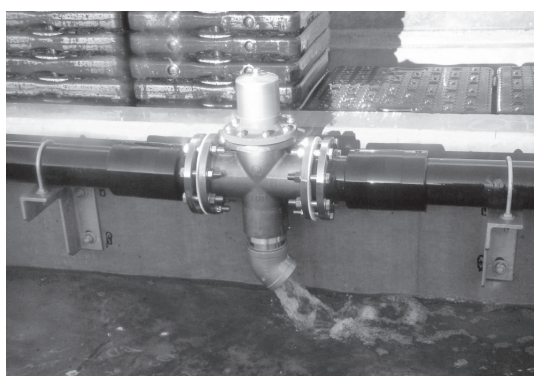
(b) ヘッダ管

ヘッダ管は、高架上送水本管から分岐し、スプリンクラに消雪水を供給するもので、送水本管と同様に、高密度ポリエチレン管を使用することとしたが、ダクト側面に露出することから、熱による収縮や変形を低減するため、配管内部が金属により補強された金属強化ポリエチレン管を採用した。配管接続は6mごとにスプリンクラ分岐兼用のEFソケットにて行った。また、スプリンクラ散水圧力を一定にし、排水を容易にするため、片勾配とした（写真—11）。



写真—11 ヘッダ管

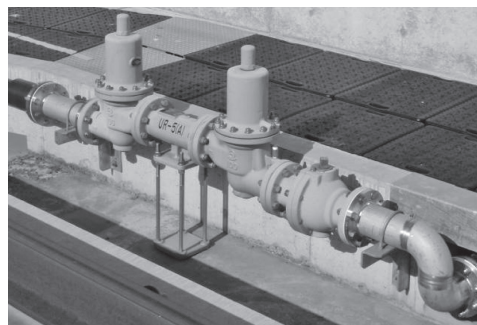
ヘッダ管には散水停止時の凍結防止のための自動排水弁を取り付けた。上越新幹線では末端にのみ排水弁を設置していたが、さらなる排水時間短縮のため、ヘッダ管中間部に排水弁を設置することとした。これは、散水中に死水を発生させないよう、ヘッダ管からの分岐をせずに設置できる新開発の排水弁である（写真—12）。



写真—12 中間排水弁

(c) 減圧弁ユニット

減圧弁ユニットは、一次側の圧力が設定値以上になった時に開き、二次側へ通水する一次圧調整弁と、流れる水の圧力を下げる減圧弁の組合せで構成している。一次圧調整弁は、散水待機中に行う循環運転を可能とするため、不凍結型の弁を開発し、東北新幹線（八



写真—13 減圧弁ユニット

戸・新青森間）で初めて採用した（写真—13）。

(d) スプリンクラ

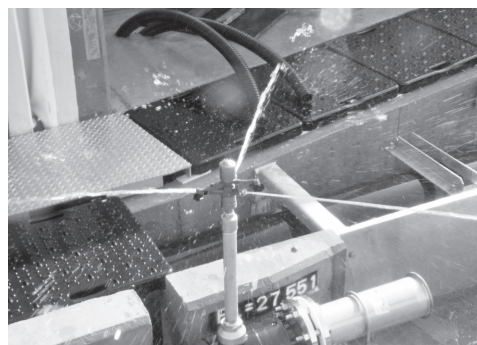
上越新幹線で実績のあるインパクト型スプリンクラを改良し、吐出量を 34.1 l/min としたものを、6m間隔に上下線千鳥配置とし、隣接するスプリンクラからの散水を重ね合わせることで高架上に $1.0 \text{ l/m}^2 \cdot \text{分}$ の散水を行っている（写真—14）。主な改良点は、以下の2点である。

- ①高架橋通路側の消雪効果を上げるため、軌道の反対側への散水量を増加させた「背面増量型」とした。
- ②樹脂製キャップ上に飛散水が結氷・成長することで回転不能となる事象が見られたため、熱伝導性のよい金属キャップとした。

また、三内丸山架道橋（エクストラロード橋）部のスプリンクラは、飛散水による斜材への結氷を防ぐため、線路に対し平行方向には散水しない三又ノズル

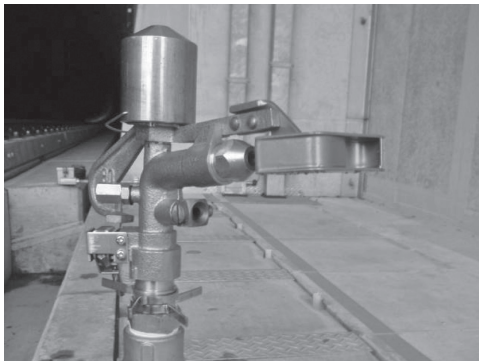


写真—14 インパクト型スプリンクラ



写真—15 三内丸山架道橋用インパクト型スプリンクラ

の特殊インパクト型スプリンクラを開発し、設置した(写真—15)。さらに、トンネル緩衝工及び新青森駅端部はトンネル内及びホーム下への消雪水飛散防止のため、散水範囲を限定できる往復式インパクト型スプリンクラを設置した(写真—16)。



写真—16 往復式インパクト型スプリンクラ

(e) 待避ネットジェット

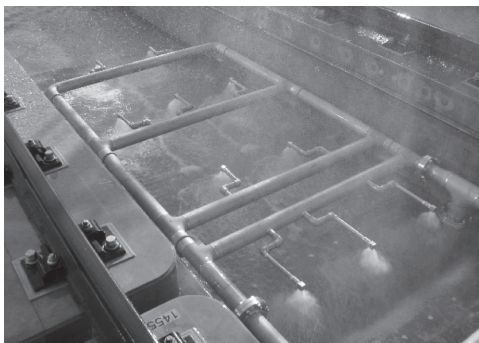
上り線側保守用通路に設置された待避ネットには、飛散水や着雪による結氷が発生することから、ネットの両端から消雪水を噴射する、待避ネットジェットを設置した(写真—17)。このノズルは別に動力や部品を使用しなくても、水流を揺動させることができるものである。



写真—17 待避ネットジェット

(f) 集水口ジェット

集水口ジェットは、線間の中央水路部は0.3MPa、側水路部は0.1MPaとした。配管は、基地前に設置し



写真—18 集水口ジェット

たものは、送水本管とは別の配管としているが、基地から離れた位置に設置するものは、送水本管から分岐させた(写真—18)。

(3) 動力・制御設備

消雪基地の電源は、加熱機・循環ポンプ・制御用電源・空調機器等は100Vまたは200Vの低圧電源を使用し、送水ポンプは高負荷のため、主として6,600Vの高圧電源を使用することとした。これらの電源は各基地2箇所の配電所から供給できる設備とし、一方からの給電が絶たれた場合でも他方から給電できるようになっている。

(a) 送水ポンプ起動盤

当地域の電力事情から始動電流を極力低く抑える必要があったため、始動器には特殊コンドルファ方式を採用した。また、ポンプ運転中の電力消費量を極力低減するための力率改善として、進相コンデンサを設備し、ポンプ運転時に同時投入することとした。

(b) 無停電電源装置盤(CVCF盤)

消雪基地は冬季の列車運行上重要な設備であるため、停電が発生した場合の監視設備や消火設備、制御系設備の電源として、約5時間対応できる無停電電源装置盤(CVCF盤)を設備した。

(c) 消雪基地監視制御装置

消雪基地の監視制御装置は、各機器運転・停止並びに水温等のデータ収集等を行う「基地監視制御装置」と気象データ及び高架上カメラ画像を取扱う「気象観測装置」で構成した。主な機能を表—4及び表—5に示す。

散水運転は、表—2の条件で起動・停止する。

表—4 基地監視制御装置の機能

	機能項目
①	全体システム監視
②	散水運転起動・停止条件の判定制御
③	機器起動制御(ポンプ・加熱機・バルブ類)
④	散水・循環温度制御(気象条件変化による適正散水温度の算出・指令)
⑤	各種データの収集・制御(水温・流量・水位・残油量・バルブ開度等)
⑥	トレンドデータ収集、表示

表—5 気象観測装置の収集機能

	機能項目
①	降雪強度観測
②	外気温湿度観測
③	風向風速観測
④	高架上カメラ画像データの収集・転送

表—6 各消雪基地の設計散水温度

設計散水温度	消雪基地名
10.6℃	鳥谷部
11.4℃	駒込、野木、金浜
11.8℃	三内、石江、青森車両基地

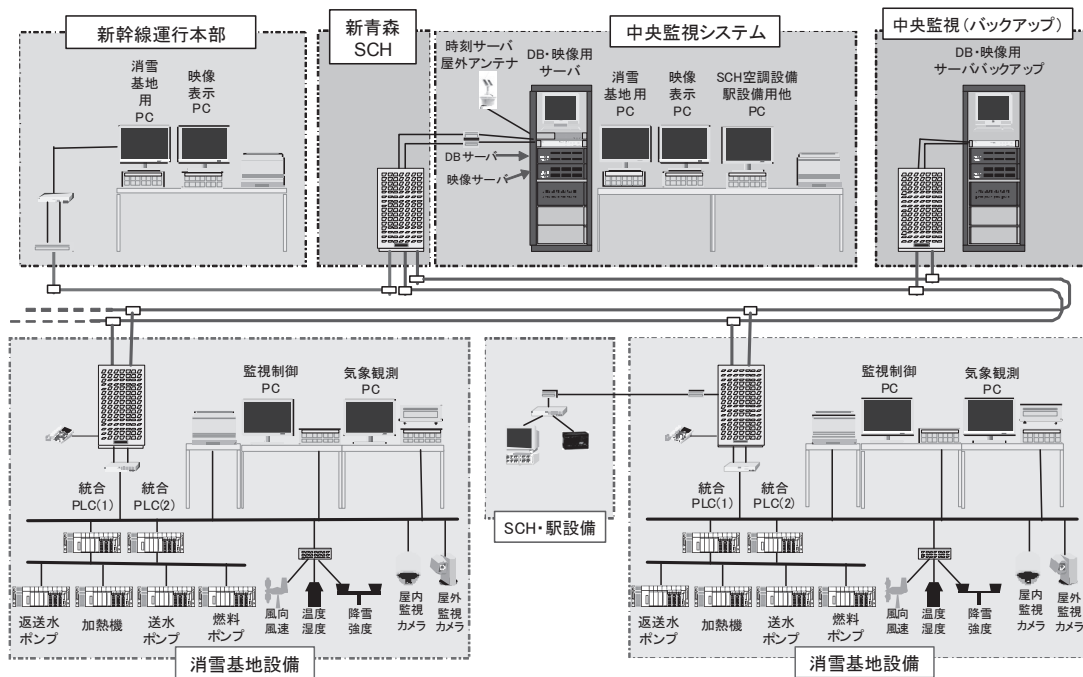


図-9 監視・制御ネットワーク概要図

散水開始から末端で散水した水が集水口まで流れて来るまでの間は、「初期散水運転」を行う。初期散水運転とは、各基地の気象特性から設定した設計散水温度(表-6)から開始し、同時に消雪公式で公式散水温度を計算して、設計散水温度と公式散水温度に差がある場合に、5分毎に1℃ずつの間隔で段階的に公式散水温度へ近づける制御を行うものである。この間は、降雪が止んでも散水を継続する。初期散水運転終了後は消雪公式による散水温度制御運転(公式制御運転)へ移行する。公式制御運転において末端で散水した水が、集水口まで流れて来た後は、返送水温度を制御条件に加え、返送水温度が目標値から上下した場合は、その差を散水温度に加減算する「返送水温度補正制御」を行う。散水運転を終了後は循環運転に移行し、次の散水に備える。

(d) 中央監視システム

中央監視システムは、各消雪基地を統括する重要なシステムである。監視・制御概要を、図-9に示す。

中央監視システムは、全消雪基地及び取水基地の遠隔監視・制御及びデータ収集・保存検索・帳票出力機能を有している。

6. おわりに

東北新幹線(八戸・新青森間)は、今冬で開業後二冬めを迎えているが、雪害による運転障害は発生していない。

当機構では、現在北海道新幹線(新青森・新函館間)、北陸新幹線(長野・金沢間)及び九州新幹線(武雄温泉・諫早間)の建設を行っている。このうち北陸新幹線(長野・金沢間)は豪雪地帯を通過することから、一部区間で東北新幹線(八戸・新青森間)と同様の散水消雪による雪害対策を計画している。

今後も鉄道・運輸機構の散水消雪システムが、新幹線の冬季の安定輸送のために、その機能を十分に発揮することを期待する。

JICMA

[筆者紹介]

安木 興(やすぎ こう)
 (株)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
 鉄道建設本部 設備部 機械課
 担当係長

