

## 上越新幹線消雪システムの研究経過と概要

中 俣 三 郎\*

Outline of the studies on the system of snow-melt of the Jōetsu-Shinkansen

by

Saburō NAKAMATA

### 1. はじめに

新潟大学に赴任直前まで新幹線の雪対策試験の渦中にあった関係から, 昭和47年4月着任後, 前職時代からの研究と, 発足したばかりの雪氷工学研究施設の主要テーマである融雪材料の応用研究の二つを両立させるため忙しい毎日であった。

双方とも融雪を目的とする意味から, 研究部門の領域からそれることもなかったが, 著しく研究の構想や実験規模は異なっていた。

大学で面発熱体による融雪の諸研究に携りながら, 新幹線の消雪研究を続けたが, この頃から3ヶ年余が, 上越新幹線消雪システムの基本が確立した重要な時期であったと言えよう。

現在上越新幹線は昭和56年開業した後, その消雪機能を充分果しているが, ここに至るまでの試験研究資料は, 散水消雪試験関係のみでもぼう大な量に上っている。

またこれらの中でもまだ解析中のテーマもかなり含まれていて未刊の資料が多い。勿論これらは時間をかけて取り組む性質のものであろう。しかし何等かの形で, 当時どんな試験研究が行われたか, 大学側でかかわった一部だけでも記しておく必要がある。

これまでに一つの成果, 例えば新幹線消雪システムや雪崩予防施設のように, 現実に完成した姿を得るまでに, 多くの試験研究の積み重ねがあったことは言うまでもない。

### 2. 予備試験 (着任直前の試験研究)

昭和45年, 上越新幹線を対象とした流雪軌道の研究を開始した。土樽駅附近に長さ50mのコンクリート製水路二列を設置し, 清水トンネルからの湧水(10~13℃)を用い, 水深の極めて浅い流水路が, 降雪, 風, 外気温, 日照などでどう冷却するか, 2ヶ年間にわたり実験した。この試験では流量と気象条件の測定から熱収支の解析を行い, 融雪に必要な流量, 水温などに貴重な成果を得た。詳細は文献1に記載。

更に昭和46年は気温条件が厳しい秋田県大曲地区を選定し, 長さ100mの水路を設け同様な実験を追加した。

温水による道路の消雪は, 既に地下水利用の道路消雪パイプとして新潟県内でもかなり普及していて, 問題は鉄道という特殊構造物で而も高速運転という条件に果して適用できるかという点にあった。

---

\* 元新潟大学積雪地域災害研究センター教授  
(現住所 新潟市五十嵐中島2415の4)

経済性を無視すれば豪雪でも消雪は容易である。しかし地域の気象条件を考慮し、合理的な散水を長大な施設にどう適用するかは、大きな問題であった。地域の気象に適応した散水量を決定した場合、消雪能力の限界を超える異常豪雪が起こると当然、鉄道は麻痺する。道路のように車や人の一時的な渋滞で避けることが出来ない。どちらかという弾力性のない交通機関と言えよう。しかし経済性を無視してまでも過大な施設は採られない。道路と比較すると次の各項に見られるように悪条件がかなり挙げられた。

道路では、車、人が常時往来することで路上積雪と、温水が攪はんされる。車輛の走行によって舗装面が露出し、輻射熱を吸収し易い。タイヤの摩擦による発生熱量を期待出来る。地熱の供給がある。など熱収支の面から道路はかなり好条件に恵まれている。

また路上に局所的に積雪塊が残されても、車や人は迂回または、低速運転により対応できようが、高速車輛は走行の安定性を欠いて極めて危険な運転になる。この問題に対しては昭和45年、東海道新幹線の関ヶ原地区で、積雪時の高速運転の安定性試験を行った際、線路上に僅か5～10cmの高さの新雪を積み上げただけで、ここを突破する車輛に大きな横振れを記録した。僅かな積雪でも高速の走行車に対しては極めて不安な材料になることを知った。

またこの試験で先頭車輛の先端に取付けたプラウは、積雪が増すと衝撃抵抗の増加は勿論のこと、プラウによる積雪の飛散範囲や飛散量が増大し、これを防止する側壁の構造や強度に多くの問題が発生した。

これらの事例だけあげても高速鉄道に対しては、道路の条件とくらべ不安材料を多く持っていた。

更に線路の道床は碎石（バラスト）を敷きつめた路盤であり、線路の側面に流水路を設け得ても、線路自体を水浸しにすることはバラスト道床の強度を損なうものとして極端に敬遠された。このためバラスト表面に防水皮膜をはる方法なども一時検討された。

従って新幹線の消雪方式が決定された大きな誘因は、山陽新幹線の建設に当り高架橋スラブ軌道が採用されたことにある。道床が水に強いコンクリートスラブとなったことで、散水工法に対する大きな不安材料が消失した。

一方新幹線の雪対策のため当時国鉄部内で発足した各研究プロジェクトチームから、現段階で消雪に代わる有力な工法が提言されなかった。これらの事情が消雪による軌道の無雪化を促進したと言えよう。

消雪以外の各研究プロジェクトの内容中には、次に示すように雪国の交通にとって重要な問題が多く含まれており、現在未解明のものも多い。

- i) 高速除雪のための排雪プラウの開発
- ii) 高速の除排雪による側壁に対する衝撃力及び側壁への付着雪の処理
- iii) 除雪後、線路わきに蓄積されていく堆雪の処理
- iv) 線路上に車輪踏み固めの結果形成される圧雪による走行上の不安、脱線の有無
- v) 線路をおおうスノーシェルター（雪おい）の開発
- vi) シェルターの屋根雪の処理、屋根雪落下に伴う衝撃力の解明、落下による危険範囲の決定
- vii) 線路雪の舞い上りによる車輛付着雪の防止
- viii) 開床高架軌道（隙間の多い鉄橋状の線路）の開発、同上の騒音対策

これらの諸問題は積雪の少ない東北新幹線に対して、一部有効な工法が適用されたが、積雪条件の厳しい上越では、限られた期間内に解決することは不可能視された。従ってこれらの問題は今後の新幹線はもとより、在来線も含めて共通した雪国交通の課題と言えよう。

なお、昭和46年大曲地区における寒冷地の消雪軌道の試験では、温水の熱量が降雪の融解よりも厳寒の気象条件のため失われ、極めて消雪にとって効率の悪い結果を示した。降雪は少ないが寒さが厳しいという気象条件をもつ東北新幹線では、消雪システムを採り難いという、大きな根拠を示した。

### 3. 昭和47年以降（大学着任以後）の研究経過

昭和47年秋、上越線浦佐附近（九日町）に新幹線軌道約1kmの建設が開始された。日本鉄道建設公団はこの施設を利用した消雪試験基地を設けた。しかしこの年は設備が未完成であったため、私は新潟鉄道局の協力で、長岡市郊外の国鉄線を用いて消雪試験を始めた。試験は国鉄技研の委託研究とし長岡保線区の応援を得た。

試験施設は宮内、滝谷間の上越線立体交差部に設けた高架橋の消雪施設で、この中50m余を試験用に改装し、散水条件を変えて気象との対応を試験した。

高架橋であるが、従来の線路同様コンクリートスラブの上部に碎石を敷きつめた道床（バラスト軌道）であった。この試験では主として次に示す各項を調査した。

- i) 気象変化に伴う軌道各所の温度特性
- ii) 散水時の軌道各所の温度変化
- iii) 散水による融雪状況の把握
- iv) 気象観測
- v) 散水量、散水分布、散水の冷却など

測定期間が一冬の長期にわたるため、軌道内の各所に温度計センサーを取付け、夫々の温度や降雪量、気温、風速など気象観測値もすべて自記記録方式を採用した。

この施設の散水は従来の消雪パイプ型のため、パイプのノズル（2m/mφ）から噴出する温水（10℃）は、道床に着地後直ちに碎石内に潜り、散水による消雪範囲は極めて小さかった。このためノズルの間隔を30cmと縮め、散水密度を大きくしたが、融雪効率は極めて悪く、散水熱量の20%程度しか融雪に使用されないことが判明した。ノズル単一の散水量は0.65ℓ/minで軌道表面の単位面積に毎分1.2ℓに相当し、一般道路の散水量の約4倍に当る。この大きな熱量にも拘らず消雪効率の悪い理由は、散水が着地後、かなり高い水温を保ちながらも、湛水して表流水とならず、碎石の深部に浸透してしまうため、また碎石自体の熱伝導も悪く、面的な消雪は期待できなかった。しかしこれまでそれなりの消雪を果して来た理由は、散水が強風や列車風によって散乱し、その際だけ面的な消雪が行われる実態など明らかになった。このことから新幹線の散水は単一ノズルを使用することよりも、多孔式ノズル、または旋回式のスプリンクラーによって、広い範囲に散布する方が有利であるという結論に達した。

また散水による軌道面の熱収支を解析した結果、上越新幹線の軌道に対する散水量、水温などに大きなめやすを得ることができた。また碎石とコンクリートスラブ軌道を比較して、消雪効率に大きな差があることなども判明した（文献2）。

昭和48年、九日町に竣工した高架橋で公団は本格的な消雪試験を開始した。これに伴って昭和48年以降はこの現地試験の中で私達の研究も進展するという形になった。一諸に意見を交しながら試験方法の改善や結果の解析などに当たった。

実際の施設を使って消雪機能を発揮出来るか、魚沼の豪雪条件に果して耐えうるか、当初は経済性より機能の面が最も懸念された。

完成した高架橋は上り、下り線路の両側に流水路を沿わせ、両端の巡回路にそって取付けたスプリンクラーによって軌道全般に散水するという、流散水方式を採った。また当初期待したトンネル湧水や河川水も、一部を除き確保することが困難と見透されたため、加熱水循環方式となった。このことから消雪用の加熱水を経済的に使用することが、これまで以上に重要な事柄となった。

高架橋は軌道内幅約11.5mで走行車線（2本）5m余、流水路（3本）3.8m、巡回路（2本）2.6mの幅をもつ。両端に6m間隔に千鳥型に配置したスプリンクラーは線路内を主とし、扇形に散水する。散水は流水路に流入し、流水路の勾配にそって流れ、末端の排水口から高架橋下に流出、沈澱、濾過槽を経て再び加熱水槽に回収される。この流水路が積雪でおおわれると循環水が絶たれるばかりでなく、列車通過時の雪煙により、車輛に大量の付着雪を生じる。従って走行線路だけでなく、流水路と両端の巡回通路まで含めて、軌道全体が消雪できなければならない。このためには全面に均一な散水密度を必要とする。特に消雪の重点である走行線路は、レールや枕木など凹凸が多い。均一に散布しても湛水箇所や流出速度の差で、消雪能力のむらを生ずる。しかも数百本の散水器具が必ずしも様な能力を示さない。中には作動しなくなるものや回転の不整を起すものなどあり、散水の熱収支より水収支の解析が先行しなければならなかった。

先に行った流雪軌道の基礎試験では、軌道全体が定常的な流水であったため、熱収支の解析は順調に進んだ。しかしこのマクロな施設では上述のような思わぬ問題点が続出した。

またスプリンクラーは飛距離6m程度で散布する。ノズルから噴射後、着地するまで空気中で大きな熱損失が懸念された。このため、マクロな消雪基地の試験と切りはなして、これらの問題点を別途国鉄雪実験所の構内を借りて実験した。塩沢では軌道を模した断熱盤を置き、散水器具の種類や散水量を変えて軌道内の温度分布を測定した。また散水器具は現用のスプリンクラーを初め2～6m/m $\phi$ の各種単一ノズルを試作し、着地までの冷却を調べた。-4℃前後の降雪条件の厳しい実験で現用の噴出水量は空気中の失熱をさほど気にしなくてもよいことが判明したが、細かい水滴状で同量を散水した場合、着地するまで大きな冷却を示した。このため更に詳細な検討を進め、ノズルの水圧、水量、初速度、外気温などの関連及び、ノズル噴出水について次の各項を調査した。

- i) ノズルを噴出し着地するまでの高速撮影により、水塊状より水滴化に至る水流の運動形態
- ii) 風による水流の拡散
- iii) 着地後の飛沫の粒径、その分布
- iv) 着地後の落下点を中心とした温度分布

これらの一連の試験では当初、ノズルの噴水流を円筒状と仮定して空気中の冷却理論式を適用したが、実測結果に合わず、むしろ水滴の移動と見なした方が好結果を得た。着地後の飛沫は、水流の落下時の衝撃で細かい水滴に分散し、再び着地するまで冷却し、気温の低い場合、消雪能力を激減した。従って東北の北部や北海道ではこの飛沫が凍結することから、流水の運動を阻害したり各種の障害が予見され、寒冷地における散水消雪システムの困難性を痛感した。

これら塩沢における試験内容は文献3に記載した。

塩沢における散水消雪は単一のスプリンクラーで実施したため、流雪軌道試験と同様、その熱収支の解析結果は好結果を得たが、九日町のマクロな設備では、幾多の要素が介入して、その解析は難行した。例えば、

加熱貯水槽より送水を始め、末端のスプリンクラーの散水開始までの時間、またその際の水温の上昇

時間、高架橋表面の散水前の温度と熱容量、散水時の気象変動など、これらについては降雪期に入るまでに、種々の気象条件下で散水し熱収支を検討した。散水時間を長くし、流水が定常状態に入り、気象条件の平均値を適用することで、熱収支の解析はかなり改善された。風は広大な軌道表面に大きく影響し、短時間の熱収支の解析は難しかった。

軌道内の消雪条件は、スプリンクラーを出た $T_1$ °Cの温水が軌道面を水膜で包み、流水路の排水口に到達するまで、0°C以上の水温 $T_2$ °Cを保つ必要がある。従って軌道内の散水が $(T_1 - T_2)$ °Cに冷却するまでに失う熱量は、消雪や対流、輻射、熱伝導などによる失熱量の総計に等しい。

これは、排水口の水温が、その時点の高架橋上の気象条件に基く熱収支の結果を示すバロメーターであることを意味する。従って現在排水温の変動に対応して散水温を変動させるシステムで散水が行われている。

新幹線の高架橋は巨大なコンクリート構造物であるが、熱収支の面からみると、その大半は厚さ30cm程度のコンクリートスラブで表面ともに外気にさらされる。コンクリートの熱伝導率から、散水直後、軌道自体に奪われる失熱量は、それ程でもないにしても、長期間低温にさらされた後、はげしく降り積った場合、消雪能力が不足する。従って散水初期は高めの水温を必要とする。軌道の内部に吸収される熱量が安定するまでの時間は、現地高架橋のスラブ内部に埋込んだ温度計センサーにより測定した。これにもとづく理論解析は文献4を主体として記載した。

九日町の新幹線軌道の散水による熱収支の解析は公団側の資料に大半が掲載されている（文献6，7）。しかし一部大学独自で測定した詳細な解析などは、この資料作成までに間に合わず、未刊の状態にある（文献5）。

新幹線の雪対策試験は軌道の散水消雪が主力となったが、駅及びホームの屋根雪処理も大きな課題であった。結局、散水融雪法を採る事になり、九日町の施設を利用して数年間消雪試験が実施された。この場合、事故のため屋根雪の消雪が数日間遅れて稼動する場合を想定した散水試験が組みこまれていた。1m余の積雪の屋根に散水した。散水後間もなく完了すると思いこんでいた一般の認識に対して、数日間要した事実は、計算から言えば当り前のことでも、消雪に必要な熱量の規模を知る良い材料であった。

電気設備も、電車線に対する着霜など懸念して、散水中の軌道上部の気温分布など測定したが、側壁より上は外気条件と変わらず安心した。

散水試験は新幹線の開業後も公団の技術陣で行われて来た。特にスプリンクラー材質や機能の改良など、当初全く想定しなかった問題も発生し、今日までその試験が続けられてきた。

新幹線の消雪システムは、ただスプリンクラーで線路上に温水をまくというが、長大な線路施設を厳しい降雪条件から守り抜くために、またその合理的な運営のために、多くの人々が携って、夫々の叡智を結集していることを銘記したい。

## 文 献

1. 中俣三郎(1971)：流雪軌道の基礎実験。鉄道技術研究所報告，71-213。
2. ——— (1973)：高架構造の流雪軌道における熱収支に関する研究。鉄道技術研究所委託研究報告。
3. ——— (1974)：高架上の散水消雪の熱収支に関する研究。鉄道技術研究所委託試験報告。
4. ——— (1977)：非定常状態における融雪用散水の冷却（加熱循環水による高架軌道の融雪の研究）。新潟大雪水工学研究報告，1。
5. ——— (1985)：散水融雪による上越新幹線の無雪化の研究（準備中）。
6. 日本交通技術(1976)：軌道消雪試験解析報告書。
7. ——— (1976)：建物消雪試験解析報告書。

## 中 俣 三 郎 教 授 略 歴

大正9年1月1日 新潟県六日町に生れる。  
昭和16年3月 長岡高等工業学校（新潟大学工学部前身）電気工学科卒業。  
昭和16年4月 満鉄入社。  
昭和24年2月 運輸省鉄道技術研究所（電力研究室）。  
昭和24年12月 日本国有鉄道本庁（信号通信局）。  
昭和27年8月 国鉄，鉄道技術研究所（電線路研究室）。  
昭和31年2月 同上（防災研究室）。  
昭和38年8月 同上 主任研究員。  
昭和45年11月 同上 雪氷研究室 主任研究員。  
昭和47年4月 新潟大学工学部助教授。  
" 5月 同上 附属雪氷工学研究施設助教授。  
" 10月 同上 研究施設長（昭和53年4月まで）。  
昭和48年4月 新潟大学大学院工学研究科担当（昭和60年3月まで）。  
昭和53年4月 新潟大学積雪地域災害研究センター・雪氷技術研究部門・助教授。  
昭和56年3月 新潟大学教授（積雪地域災害研究センター）。  
昭和57年4月 積雪地域災害研究センター長（昭和59年3月まで）。  
昭和60年3月 新潟大学停年退官。

### 表 彰 歴

昭和56年10月 日本雪氷学会賞功績賞受賞（長年にわたり雪害対策の研究にとりくみ，雪氷学の発展に貢献すると共に学会活動に積極的に尽力した功績）。

### 学 会 活 動

日本雪氷学会

学会誌「雪氷」編集委員，昭和56年度全国大会実行委員長など歴任。

電気学会正員

そ の 他

防雪工学ハンドブック編集委員，長岡ニュータウン気象寒冷調査現地委員長（地域整備公団），新潟新幹線建設局融雪試験委員（国鉄），冬期労働災害防止指導員（労働省）など歴任。