

上越新幹線の雪害対策について

日本鉄道建設公団

新潟新幹線建設局 正会員 山口 泰男

上越新幹線のあらまし

昭和45年5月18日に全国新幹線整備法が公布されそれに基づき、昭和46年4月1日に上越新幹線の整備計画が決定され、同年10月14日運輸大臣より大宮・新潟間の工事実施計画が認可された。

総延長は約270kmで、昭和51年度完成。総工費4800億円内で計画された。本新幹線の建設基準は、表-1

に示すとおりで、最高速度260km/hを確保するに、緩急配、大曲線半径をとることとしたので、

山間部では必然的にトンネルが多くなっており、トンネル総延長は105.5kmで、全延長274.7kmの約38%を占めている。(表-2)

ルート及び駅配置は、図-1(a)、(b)に示すとおりで、駅数は9駅であり、平均駅間距離は30km程度である。

新潟新幹線建設局の担当範囲は、水上町より新潟市内

までの約144kmで、トン

ネルが約68km(47%)、長

大橋より約4km(2%)

高架橋72km(51%)となり、当区間の技術的の問題としては、

- (a) 堅岩地質の長大トンネルの施工。(大清水トンネル)
- (b) 魚沼地方の軟弱丘陵地帯のトンネル施工。
- (c) 長岡から新潟に至る平野部の軟弱沖積層でしかも地盤下地帯に対応して構造物の設計、施工。
- (d) 毎年4～5mの積雪を見る豪雪地帯に対処する雪害対策技術の開発及び設計、施工。

等々の項目が考えられる。このような技術的問題を全て解決した時に、東京-新潟間は1時間40分で結ばれ(現在は特急で約4時間)、太平洋と日本海との距離は著るしく狭まり、完成の暁には新しい日本海時代の到来と見る。

上越新幹線の雪害対策

1. 沿線の気象

冬の訪れとともに日本列島の半分は、野も山もすっぽりと雪に覆われてしまう。特に当地区は日本でも有数の豪雪地帯であり、国鉄で過去十数年実施している気象調査資料を、上越新幹線沿線にあてはめると、図-2に示すように、湯沢～東三条までの大部分の地区が年最大積雪量が4m以上に及び、また1日最大降雪量は新潟市内を除いてほとんどの地区が1m以上となっている。

東海道新幹線および東北新幹線と比較すると最大積雪

表-1 主要建設基準

最高速度	260 km/h
最小曲線半径	4,000 m
最急勾配	15/1,000
緩急配半径	15,000 m
軌道中心間隔	4.8m以上
軌条の種類	60kgレール

表-2 橋梁物別延長表

	延長 (km)	比率 (%)
トンネル	105.5	38
高架橋	133.2	49
河川橋りょう	7.9	2.8
草間高地	4.3	1.6
停車場	22.2	8
その他	1.6	0.6
計	274.7	

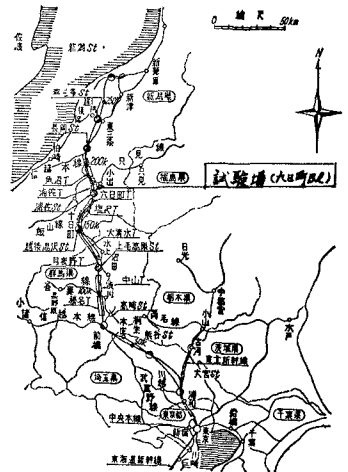


図-1(a) 上越新幹線線路略図(大宮～新潟間)

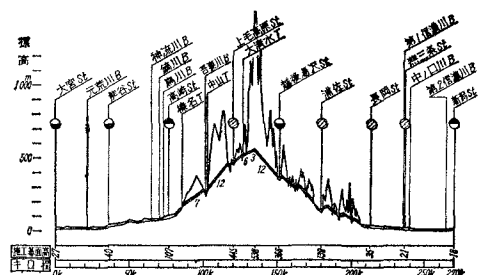


図-1(b) 上越新幹線線路断面略図(大宮～新潟間)

量では東海道の約5倍、東北の約4倍となっている。また東海道、東北の最大と上越の最小地区とが同じ程度であり、スキーで有名は湯沢から湯近にかけては、一夜のうち80cmはいし1mに達してしまうことも珍らしくないほどの物凄さである。

2. 雪害対策計画

現在の上越線(最高速度120km/h)では、降積雪量に応じて、1次・2次・3次の運転規制を行ったりとも沿線各所に除雪車を配置し、列車運転を確保しているが、新幹線のように

200～250km/hという高速運転の場合は、線路上に多少なりとも積雪があると、その雪が列車風によって巻き上げられ、車両の床下各部に氷状に固着したり、電気機器内に吸い込まれて絶縁不良を起こしたりして、いろいろトラブルが発生する。東海道新幹線の川崎駅付近では、雪の舞い上りを防ぐために、スクリンクラークより水を撒いて、雪をしめらせる方法が一応の成果を上げている。

上越新幹線のように比較にならない程積雪量も多く、積雪区間も長い線区では、同じ対策では到底列車の正常は確保は望めない。そこで雪害対策について図-3のような計画が立てられ種々の検討がなされた。設備として(1)開床式高架橋は、騒音、着雪の面から採用不可能、(2)雪覆は、建設費、雪の落ち代、乗客に与える心理的不快感、維持管理、日照権等の問題、(3)電気ヒーターは、建設費、維持管理の問題等が考えられ、必ずしも最善の策とはいえない。そこで上越新幹線では、当地区の道路に地下水を撒いて消雪に成功していることから、線路上の雪は降るほしから水をまいて融かしてしまう方法が効果的かつ経済的ではないかと考えられた。

3. 散水式消雪設備の概要

当公団では、散水による最も効果的の消雪方法を見出すために、沿線の浦佐駅付近に延長約1kmの高架橋を本設し(写真-1)これに試験用の消雪設備を併設して、昭和47年度、48年度の2年度に渡って消雪試験を行なった。散水消雪設備は、軌道両側にノズルを付けたヘッダーパイプを配置し、温水を散水して雪を融かす設備であり新潟平野では、地盤沈下防止のために、地下水の汲み上げが厳しく規制されているので、この設備には雪を融かした水を回収して加熱のうえ、再び高架上に送水する加熱循環システムを採用した。設備は主に加熱設備、循環

図-2 上越と東北東海道各新幹線の積雪量と降雪量

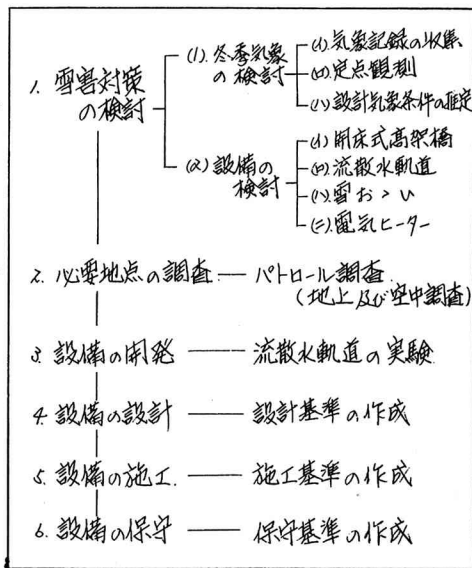
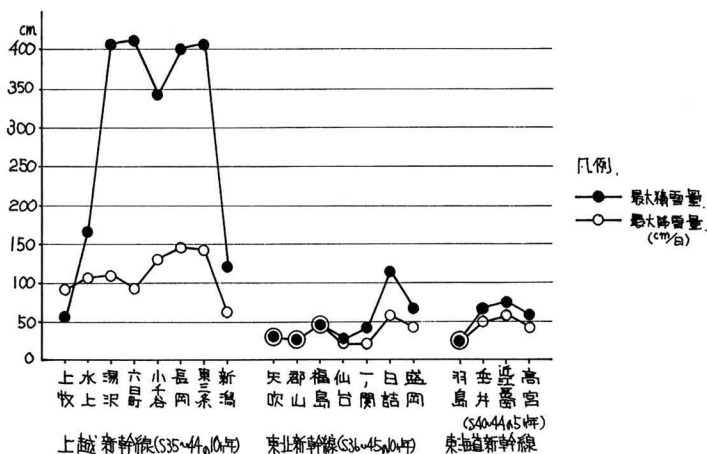


図-3 雪害対策の計画



写真1 試験用高架橋

設備、制御設備の三つに大別され、その概要は、図-4に示すとおりで、その容量決定は、斎藤博英氏の消雪の基礎理論と、中俣三郎氏の流雪軌道の基礎実験の結果を参考とした。

47年2月に湯沢地区において調査した、気象値を前記理論に基づいてシミュレートした結果、延長1kmの高架橋に対して、 $10 \times 10^6 \text{ kcal/H}$ の給熱量があればよいと想定されたので、 $3.5 \times 10^6 \text{ kcal/H}$ の水中燃焼式加熱機を3基高架上に収容した。

1kmのうちバラスト軌道区間を約300m、スラブ軌道区間を約670m施工し、軌道構造の違いによる消雪効果も調査した。散水量は、バラスト区間は全面に $2 \text{ m}^3/\text{min}$ 、スラブ区間では、レール部分に約 $1 \text{ m}^3/\text{min}$ とし、水温は、降雪強度、気温、風速等の気象条件に応じて $5 \sim 20^\circ\text{C}$ の範囲内で加減した。

4. 消雪試験結果

散水消雪試験は、主として降雪と同時に散水を開始し、完全消雪を要するAパターン消雪と、消雪設備の故障を想定し、故意に積雪させ後に散水し完全消雪をするCパターン消雪の2ケースについて主に調査した。

(1) 消雪効果

48年度は十数年来の大雪であったが、瞬間降雪強度は図-5から明らかになるように95%が設計範囲内であるが、設計範囲外の厳しい場合でも写真(2)からも判るよう完全消雪が実施できた。また、1日降雪量は、85%以下が30cm以下であるので、設備が1日故障した場合でも2時間後には完全に消雪できることが写真(3)(4)から判る。

その他のCパターン調査結果は図-6のとおりである。

(2) 熱収支

ここで言う熱収支とは、下

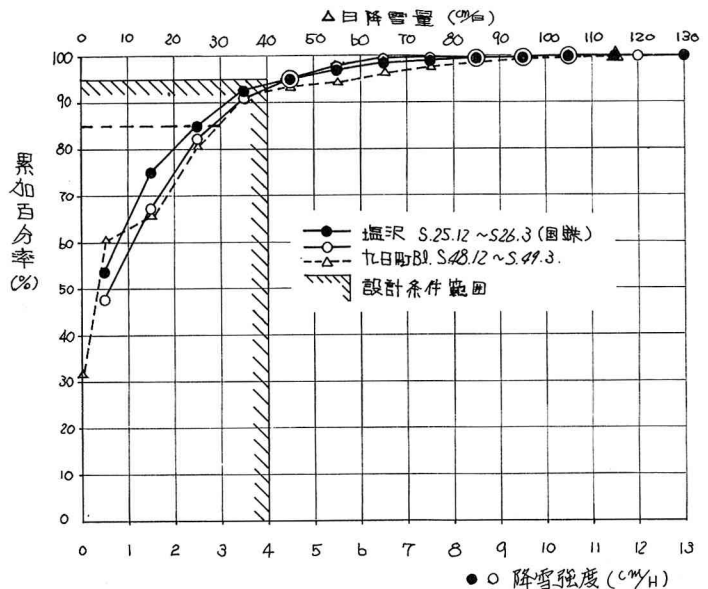
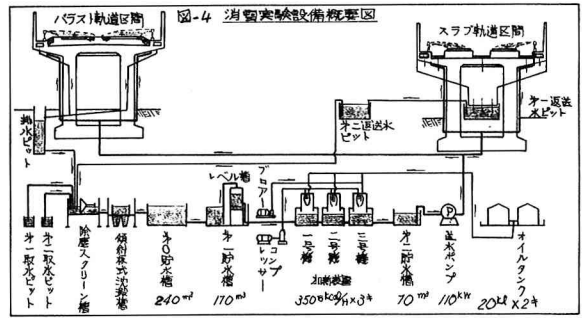


図-5. 日降雪量及時間降雪強度の出現頻度

写真2(下)	写真3.4.(右)
S.49.2.27~28	S.49.2.26
Aパターン	Cパターン
散水開始19時45分	散水前積雪深30cm
降雪強度 4.0cm/H	降雪強度 5.5cm/H
気温 -5.5℃	気温 -3℃
風速 2.7m/s	風速 4.0m/s
散水温度 7℃	散水温度 15℃



写真3. 散水前

写真2. 散水開始より1時間後

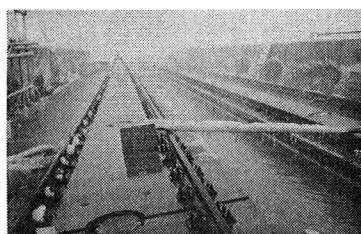
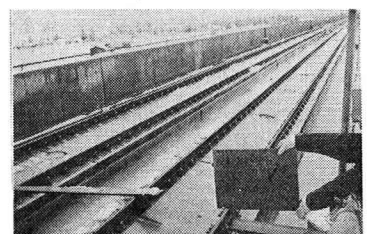


写真4. 散水2時間後



記に示すような消雪のために供給した熱量と失熱量との関係のことであるが、
 給熱量は、散水熱量と太陽の放射熱量を合計したもので、失熱量は融雪熱量の
 他に放射冷却熱量、対流蒸発熱量、高架橋スラフへの熱伝導量、排水熱量、不
 明熱量（着地損失熱量）等の合計と考えられる。

給熱量の収支関係は次のようになる。

$$Q_{HP} + R_s = Q_L + Q_D$$

Q_L = 全失熱量

$$= (R_e + Q_a + Q_e + Q_s + Q_c + Q_m) + Q_D$$

T_W = 散水の着地温度(°C)

散水熱量 $Q_{HP} = T_W \times Q_W$

Q_W = 散水量 (m³/m²)

放射熱量 R_s : ネット放射計より測定 (Cal/cm² sec) v = 风速 (M/sec)

放射冷却熱量 R_e : 同上 (°) T_a = 高架橋上気温(°C)

対流蒸発熱量 $Q_a + Q_e = (1.34 + 1.09v)(T_W - T_a) \times 10^{-4}$ (Cal/cm² sec) T_s = 雪温(°C)

融雪熱量 $Q_s = (80 + 0.491T_s + T_D)W \times 10^{-4}$ (°) T_D = 排水温度(°C)

熱伝導量 $Q_c = (T_W - T_c) \times 10^{-4}$ (°) W = 降雪重量 (g/cm² sec)

着地損失熱量 $Q_m = \alpha_{Thp} Q_W$

λ_c = コンクリートの熱伝導率

排水熱量 $Q_D = T_D \times Q_W$

(Cal/cm² sec °C)

今熱収支の一例として写真(2)の49年2月27日

d_c = コンクリートの厚さ (cm)

19時45分から28日午前8時おこなまでの13時

T_c = コンクリートの平均温度(°C)

間の場合を示すと図-7のようになり、スラフ

T_{HP} = スラフ元の水温(°C)

軌道の場合、給熱量より失熱量の方が多くなっ

α_i = 着地損失率 (%)

ているが、完全消雪しているのでバラスト軌道より効率が良い事が判る。

3 消雪公式の作成

消雪公式(1) これは融雪熱量の高架上で失われた全失熱量に対する百分率(%) いわゆる融雪効率を 気温、風速、降雪強度の気象条件による三元一次式で表わすもので $\eta_c = \frac{Q_s}{(T_{HP} - T_D) Q_W} \times 100$ を基に実際の観測デー

ーから74組をピックアップし、重回帰分析を行った結果 $\eta_c = 8.098X_1 + 2.361X_2 - 0.339X_3 + 13.851$ の融雪効率 η_c の式を得た。(重相関係数 $r_m = 0.883$) $\{ X_1 = \text{降雪強度}(\text{mm/h}), X_2 = \text{気温}(\text{°C}), X_3 = \text{風速}(\text{m/sec}) \}$

消雪公式(2) これは融雪効率 η_c により、気象条件に適合した設定散水温度(T_{HP})を求める

式で $T_{HP} = \frac{Q_s'}{\eta_c \times g}$ g = 散水量 (g/m² min)

$$Q_s' = (80 + 0.491X_2 + T_D)X_1$$

更に加熱機からノズル口までの温度低下率

を $\alpha\%$ とすると設定散水温度 T は

$$T = \frac{T_{HP}}{(1 - \alpha_2)}$$

のように求められる。

5 まとめ

本設備による消雪の可能性は十分確認され、

又、使用灯油量は $0.025 \text{ g/m}^2 \text{ H}$ と新潟地区の標準家庭の冬季暖房用使用量 $0.025 \text{ g/m}^2 \text{ H}$ の80%程度であることから将来と越新幹線の消雪設備として採用でき得ると確信する。

更に、経済的な運転を行なうため、将来は現場は無人化し、これら全ての設備を遠隔及び自動制御を行なう計画であるので、49年度には、図-8に示すような遠隔自動システムの実験計画を進めている。

図-6 Cバグ調査結果

ヶ ス	散水前 積雪深	完全消雪 所要時間
1	7 cm	30分
2	10 "	1時間20分
3	20 "	2時間
4	30 "	3時間

図-7 給熱量計算例

	スラフ ×10 ⁶ Kcal	バラスト ×10 ⁶ Kcal
Q_{HP}	25	14
R_s	20	9
給熱計	45	23
R_e	20	9
$Q_a + Q_e$	12	5
Q_s	5	2
Q_c	3	1
Q_m	0	0
Q_D	9	6
失熱計	49	23
給熱 - 失熱	-4	0

図-8 遠隔自動システムの実験概要図

