

セッションⅢ

【新たな技術を用いた冬期インフラ管理】

応募論文

浅層ニューラルネットワークによる路面凍結発生確率予測を用いた 路面凍結防止対策の意思決定支援手法の提案

森近 守*1,a) 齋藤 靖史*1 古堅 雄士*1 児玉 一郎*2

1. はじめに

冬期の道路管理においては、特に降雪・凍結への対策が重要となる。降雪の少ない低頻度降雪地域では、降雪や凍結対応への設備配置が少ないため、路面凍結発生により車両スリップ事故が発生する危険性が高い。道路ネットワークと物流ネットワークが発展した現在では、ひとたび車両スリップ事故が発生した場合、車両滞留の発生から物流・人流遅延により企業活動や市民生活に多大な影響を及ぼしてしまうため、降雪・凍結への対策は冬期道路管理を行う上で重視すべき課題の一つである。近年、路面凍結予測技術の普及^{[1],[2]}や高精度化^{[3],[4]}に向けた研究が進展しており、路面凍結防止対策の効率化に寄与する有効なツールが整いつつある。無降水凍結は、降雨・降雪などに起因する凍結事象に比べ低頻度ではあるものの凍結発生の事前段階で凍結防止剤予防散布を適時、かつ適切に実施するための予測情報が求められる。

本稿では、筆者らが提案したスモールデータに基づく浅層順伝播型ニューラルネットワーク(Shallow Feedforward Neural Network: SFFNN)による路面凍結発生確率の簡易予測手法(文献[2]より引用し一部改変)を用いて、道路管理者が冬期夜間の路面凍結発生の事前段階で凍結防止剤予防散布実施時機の決定を合理的、かつ効率的に判断するための意思決定支援手法の提案を目的とする。

2. 路面凍結防止対策の意思決定支援手法の概要

本稿で提案する路面凍結防止対策の意思決定支援手法は、路面凍結発生確率予測を用いて凍結の予兆を検知し、道路管理者が路面凍結防止対策(リスク回避)を発動する基準(以下「トリガーポイント」)を決定することにある。本手法は、気象庁や民間気象事業者らが提供する気象予報データの気温と相対湿度から路面凍結発生リスクが高くなる路面温度 0°C 以下、かつ路面湿数^[2] 1.0°C 以下(ここでは、路面凍結警戒レベルと呼ぶ)を路面凍結発生条件(仮説)とする SFFNN 予測モデルの出力である路面凍結発生確率予測値を用いる。この予測値は、路面凍結発生条件(仮説)を満たす時点で達した後、短時間の凍結事象内において、路面温度や路面湿数のわずかな変化により急激な変動を示すが、この予測値の変動を低域通過フィルタとして機能する指数平滑フィルタ(Exponential Smoothing Filter: ESF)により平滑化処理することで、短時間の凍結事象内での急激な変動を抑制する。この ESF により平滑化処理した凍結発生確率予測値(以下「確率平滑予測値」)

を用いて路面凍結防止対策を実施するための意思決定支援として、トリガーポイントを決定する手法について説明する。

3. SFFNN 路面凍結発生確率予測を用いた提案手法

3.1 SFFNN 路面凍結発生確率予測

本提案に用いた SFFNN による路面凍結発生確率の簡易予測手法は、凍結発生に関する特徴量を温度と湿数(表 1)の 2 変数(2 次元)に限定することによって、凍結発生確率の予測結果が可視化できるので利用者にとって分かりやすいという特徴がある。本稿では、SFFNN の中間層には、2 次元 2 次多項式(交互作用項を含む)特徴量を用いたロジスティック回帰(Logistic Regression: LOGR)モデル(文献[2]より引用)を構築し、出力層には、過学習を防ぐために最も簡単な 2 次元 1 次多項式特徴量を用いた LOGR モデル(文献[2]より引用し一部改変)を構築することで、非線形の表現力を獲得する。これにより中間層を持たない LOGR に比べ、路面凍結発生確率予測精度の向上が可能となる。

3.2 SFFNN 路面凍結発生確率予測モデル

SFFNN 中間層は、路面温度と路面湿数に基づく不完全 2 次元 2 次多項式(交互作用項を含む)特徴量を用いて LOGR モデルを 2 種類構築^[2]する(式(1)~(4))。出力層には、中間層の出力である凍結発生確率予測値による 2 次元 1 次多項式特徴量を用いて LOGR モデルを構築する(式(5),(6))。路面温度は、単回帰(Simple Linear Regression: SLR)による SLR 路面温度予測仮想モデル(文献[2]より引用)を用いる(式(8))。路面湿数は、路面温度から路面露点温度を引いた値で定義し、冬期夜間の強い放射冷却と無風や弱風の環境下では、気象観測地点の地上高 1.5m と路面では大気を含む水分量と圧力は、ほぼ同じであると仮定する。また、露点は温度に依存しないため地上高 1.5m の露点温度と路面の露点温度は、ほぼ同じとなるので路面湿数は路面温度から地上高 1.5m で観測する気温と相対湿度から算出する露点温度を引いた値(文献[2]より引用し一部改変)を用いることができる。

冬期夜間の放射冷却時において、大気中に多く存在する浮遊粒子状物質(Suspended Particulate Matter: SPM)と大気中の多くの水蒸気が、路面温度 0°C 以下、かつ路面相対湿度 93% RH 以上(この場合、路面湿数は概ね 1.0°C 以下)の低温・高湿度環境下で凝結・凝集^[5]することによって多くの水滴が生成され、路面が結露する。路面が結露した後に凍結する液状水付着型凍結^[6]や橋梁・高架橋道路で水蒸気が路面に霜とし

*1 いであ株式会社 社会基盤本部 国土保全事業部

*2 いであ株式会社 社会基盤本部 道路橋梁事業部

a) E-mail: mrc21672@ideacon.co.jp

て集積した後に凍結する蒸気状水型凍結^[6]の無降水凍結が発生する可能性が高くなると仮定し、路面温度 0°C以下、かつ路面湿数 1.0°C以下を路面凍結発生条件(仮説)として設定する。

表 1 特徴量

(a) SFFNN 中間層 (LOGR) n = 1, 2

特徴量(説明変数)	重み係数	目的変数
定数項	1	$\beta_{01,n}$
路面温度(°C)	x_1	$\beta_{11,n}$
路面湿数(°C)※	x_2	$\beta_{21,n}$
路面温度(°C) ²	x_1^2	$\beta_{31,n}$
路面湿数(°C) ²	x_2^2	$\beta_{41,n}$
路面温度(°C)×路面湿数(°C)	$x_1 x_2$	$\beta_{51,n}$

(b) SFFNN 出力層 (LOGR)

特徴量(説明変数)	重み係数	目的変数
定数項	1	γ_{0FN}
路面凍結発生確率(LOGR1)	z_1	γ_{1FN}
路面凍結発生確率(LOGR2)	z_2	γ_{2FN}

※ 路面湿数 := 路面温度 - 路面露点温度(文献[2]より引用)

ここでは、気象観測地点の地上高 1.5m における相対湿度を大気相対湿度、露点温度を大気露点温度、湿数を大気湿数と呼び、路面における相対湿度を路面相対湿度、露点温度を路面露点温度、湿数を路面湿数と呼び区別する。ただし、「路面露点温度 ≈ 大気露点温度」とする。

1) LOGR モデル 1 (不完全 2 次元 2 次多項式)

$$\phi_1(x)^T = (1, x_1, x_2^2, x_1 x_2) \quad (1)$$

$$z_1 = \frac{1}{1 + \exp\{-(\beta_{01,1} + \beta_{11,1}x_1 + \beta_{41,1}x_2^2 + \beta_{51,1}x_1x_2)\}} \quad (2)$$

2) LOGR モデル 2 (不完全 2 次元 2 次多項式)

$$\phi_2(x)^T = (1, x_1, x_2, x_1^2, x_1 x_2) \quad (3)$$

$$z_2 = \frac{1}{1 + \exp\{-(\beta_{01,2} + \beta_{11,2}x_1 + \beta_{21,2}x_2 + \beta_{31,2}x_1^2 + \beta_{51,2}x_1x_2)\}} \quad (4)$$

3) LOGR モデル 3 (2 次元 1 次多項式)

$$\phi(z)^T = (1, z_1, z_2) \quad (5)$$

$$y = \frac{1}{1 + \exp\{-(\gamma_{0FN} + \gamma_{1FN}z_1 + \gamma_{2FN}z_2)\}} \quad (6)$$

4) 路面凍結発生条件(仮説)(文献[2]より引用し一部改変)

$$\text{if (路面温度} \leq \kappa \text{°C)} \wedge \text{(路面湿数} \leq \eta \text{°C)} \quad \text{目的変数}(z_1, z_2, y) \quad (7)$$

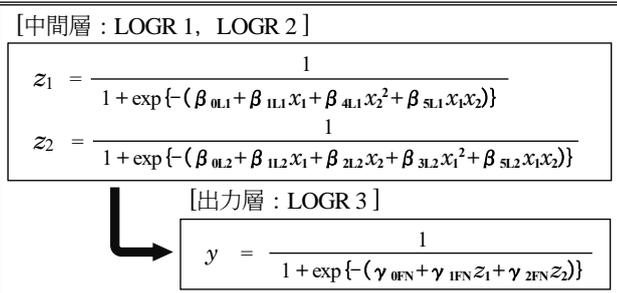
$$\begin{cases} \text{then } 1 \text{ (凍結あり)} \\ \text{else } 0 \text{ (凍結なし)} \end{cases}$$

路面凍結温度レベル: $\kappa = 0^\circ\text{C}$

路面凍結湿数レベル: $\eta = 1.0^\circ\text{C}$

5) SFFNN モデル

[SFFNN]



6) SLR 路面温度予測仮想モデル(文献[2]より引用)

$$x_1 = \alpha_{0S} + \alpha_{1S} x_a \text{ (°C)} \\ = -2.88 + 0.75x_a \text{ (°C)} \quad (8)$$

x_a : 気温(°C), x_1 : 路面温度予測値(°C)

定数項: α_{0S} , 回帰係数(気温): α_{1S}

式(2), (4), (6), (7), (8)に過去の気象観測データ^[7]から「埼玉県秩父市 2017 年 2 月, 2018 年 2 月, 2019 年 2 月」を学習データとして用いて SFFNN 路面凍結発生確率予測モデルを構築した場合の重み係数(パラメータ)を表 2 に、構築モデルとロジット等高線を図 1 に示す。なお、本稿では路面凍結の予兆検知として路面凍結発生確率予測値を用いる。

表 2 SFFNN モデルの重み係数(パラメータ)

(a) SFFNN 中間層 (LOGR1)

特徴量(説明変数)	重み係数	目的変数
定数項	1	$\beta_{01,1}$ 0.2772
路面温度予測値(°C)	x_1	$\beta_{11,1}$ -1.2222
路面湿数予測値(°C) ²	x_2^2	$\beta_{41,1}$ -0.9601
路面温度予測値(°C)×路面湿数予測値(°C)	$x_1 x_2$	$\beta_{51,1}$ 0.7359

(b) SFFNN 中間層 (LOGR2)

特徴量(説明変数)	重み係数	目的変数
定数項	1	$\beta_{01,2}$ -1.2725
路面温度予測値(°C)	x_1	$\beta_{11,2}$ -2.7269
路面湿数予測値(°C)	x_2	$\beta_{21,2}$ -2.0857
路面温度予測値(°C) ²	x_1^2	$\beta_{31,2}$ -0.2546
路面温度予測値(°C)×路面湿数予測値(°C)	$x_1 x_2$	$\beta_{51,2}$ 0.5547

(c) SFFNN 出力層 (LOGR3)

特徴量(説明変数)	重み係数	目的変数
定数項	1	γ_{0FN} -5.6692
路面凍結発生確率予測値(LOGR1)	z_1	γ_{1FN} 5.5572
路面凍結発生確率予測値(LOGR2)	z_2	γ_{2FN} 5.6284

3.3 路面凍結発生確率予測値の平滑化

SFFNN を用いた路面凍結発生確率予測値は、凍結発生リスクが高くなることが想定される路面凍結警戒レベル(路面温度 0°C以下、かつ路面湿数 1.0°C以下)となる時点に達した後、路面温度や路面湿数のわずかな変化により急激な変動を示すため、ESF(式(6))を用いて路面凍結発生確率予測値を平滑化する。これにより、短時間の凍結事象内での急激な変動を抑制する。

$$y_1 = y_0 \quad (i = 1) \quad (9)$$

$$\hat{y}_i = \hat{y}_{i-1} + \alpha (y_{i-1} - \hat{y}_{i-1}) \\ = \alpha y_{i-1} + (1 - \alpha) \hat{y}_{i-1} \quad (i = 2, 3, \dots, n) \quad (10)$$

$$0 < \alpha < 1 \quad (\alpha: \text{平滑化定数})$$

確率予測値を (y_0, y_1, \dots, y_n) とした場合、ある時点 t の確率平滑予測値 \hat{y}_i は「前回の確率予測値 y_{i-1} がその確率平滑予測値 \hat{y}_{i-1} からどれだけ離れていたか。」に平滑化定数 α を乗じた修正値を前回の確率平滑予測値に加算する。

サンプリング時間(間隔)を t , フィルタ時定数を T (単位ステップ入力に対し 63.2%となる時間)とする ESF の単位ステップ応答は、 $1 - \exp(-t/T)$ となり平滑化定数 α とフィルタ時定数 T は式(11)で与えられる。

$$\alpha = 1 - \exp(-t/T), \text{ thus } T = -t / \ln(1 - \alpha) \quad (11)$$

低頻度降雪地域の路面温度が、 $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 程度と想定する環境下において液状水付着型凍結や蒸気状水型凍結の発生を考えた場合、路面湿数が概ね 1.0°C 以下となる路面凍結発生予測時点到達前には、路面に車両の通行に支障をきたす結露や霜などの水分が付着・集積していない(路面凍結に十分な水分が供給されていない)と推測される。また、宮本ら^[8]は路面に十分な水分が供給されている環境を想定した水の凍結試験において、水道水 25cc をガラス製の蓋で水分蒸発を防止したガラスシャーレに入れ、 -5°C (試験温度)の条件下で一部凍結状態(氷と水が分離した状態)を 30 分経過後に観測し、180 分経過後においても一部凍結状態を観測している(柔らかいシャーベット状態は観測していない)ことから路面温度が、 $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 程度の路面(路面露出状態)で、十分な水分が供給されていない環境下(路面湿数が概ね 1.0°C 超)では、路面凍結は発生しないものと推定する。本稿では、サンプリング時間(気象予報データ収集間隔) t を 1 時間とし、フィルタ時定数 T を 2 時間とした場合の平滑化定数を暫定採用する(式(12))。

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 - \exp(-t/T) \\ &= 1 - \exp(-1/2) \\ &\approx 0.393 \end{aligned} \tag{12}$$

3.4 トリガーポイント

前述したように低頻度降雪地域(路面温度は、 $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 程度と想定)における液状水付着型凍結や蒸気状水型凍結の発生を考えた場合、路面湿数が概ね 1.0°C 以下となる凍結発生予測時点到達(凍結予兆検知)前には、車両の通行に支障をきたす水分が付着・集積していない(路面凍結に十分な水分が供給されていない)と推測されるので、凍結発生確率予測値を ESF(平滑化定数 $\alpha \approx 0.393$)により平滑化处理した確率平滑予測値を 5 段階(0~4)に区分し、各段階での対応を警戒レベルとして定義する。この定義した警戒レベルから路面凍結発生の確率平滑予測値が、 $0.6(60\%)$ 以上となる時点を暫定的にトリガーポイント(ここでは、路面凍結発生の事前段階で凍結防止剤を予防散布する時機)とする(表 3)。

表 3 5 段階の警戒レベルとレベル毎の行動(暫定案)

路面凍結発生確率:P	警戒レベル	行動 (確率平滑予測値)
$0.6 (60\%) \leq P \leq 1.0 (100\%)$	4	特別警戒 凍結防止剤予防散布実施
$0.4 (40\%) \leq P < 0.6 (60\%)$	3	警戒 凍結防止剤散布準備
$0.2 (20\%) \leq P < 0.4 (40\%)$	2	注意 監視リスト入り
$0.1 (10\%) \leq P < 0.2 (20\%)$	1	ほぼ日常 なし
$0.0 (0\%) \leq P < 0.1 (10\%)$	0	日常 なし

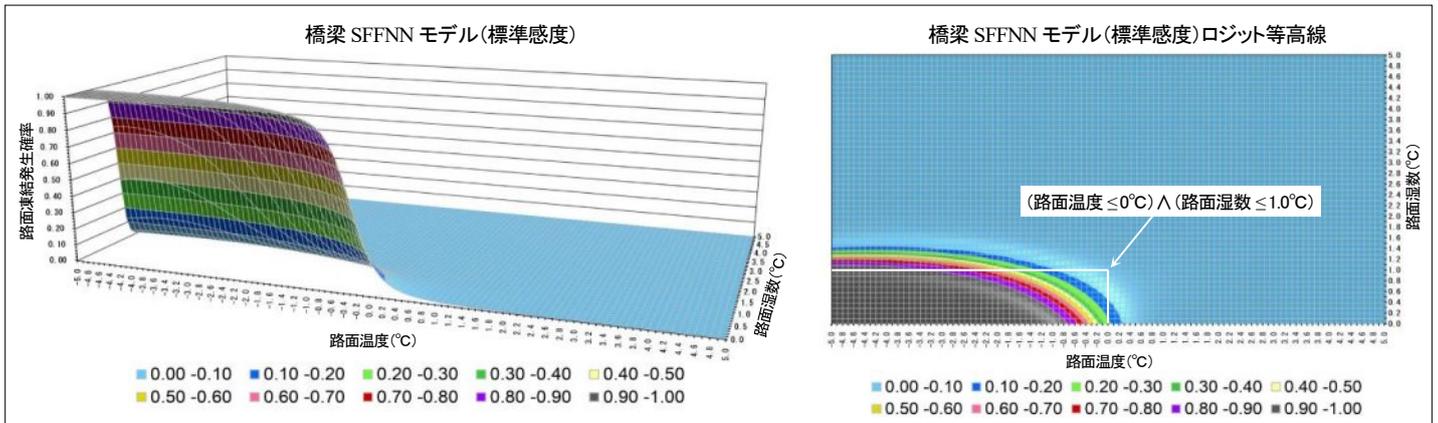


図 1 SFFNN 路面凍結発生確率予測モデル(標準感度)とロジット等高線

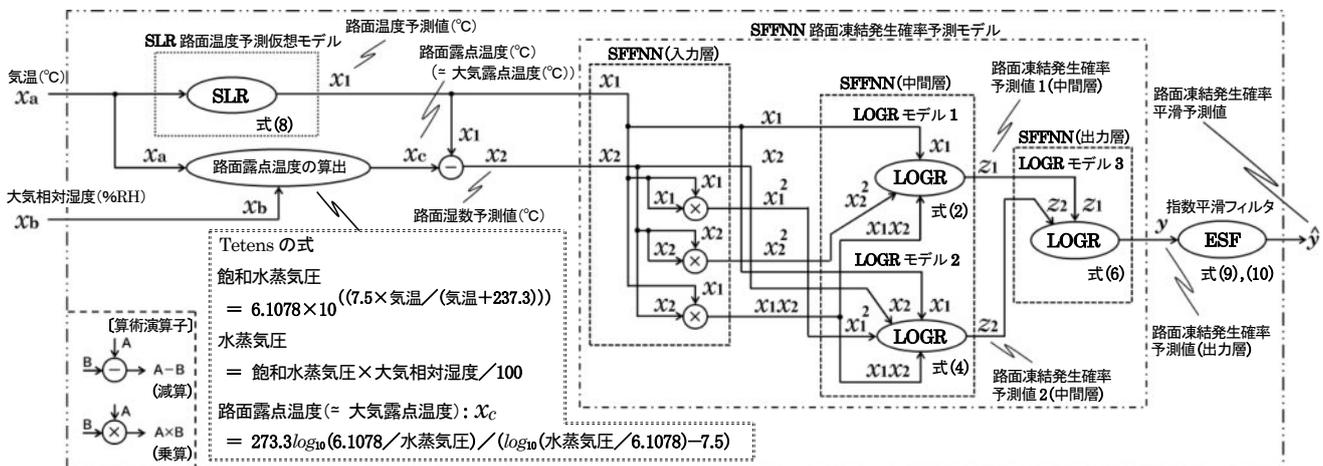


図 2 SFFNN 路面凍結発生確率予測ブロック線図

4. 数値シミュレーション

4.1 目的と条件

本シミュレーションの目的は、筆者らが提案する予測手法に過去の気象観測データを用いて路面凍結発生確率を予測し、道路管理者が路面凍結対策(リスク回避)を効果的に実施するためのトリガーポイントの妥当性を机上検証することである。シミュレーションには、気象庁が Web サイト上^[7]で無料提供している過去の気象データと式(2),(4),(6),(8)を用いて図2のブロック線図の手順で実施した。また、シミュレーションに用いる仮想凍結発生データの生成には式(7)を適用する。ただし、路面凍結発生条件として路面凍結温度レベル： $\kappa=0^{\circ}\text{C}$ 、路面凍結湿数レベル： $\eta=1.0^{\circ}\text{C}$ とする。なお、本シミュレーションでは、ESFに1時点(1時間)の位相遅れ補正を行った。

過去の気象観測データ^[7]から「埼玉県熊谷市 2016 年 1 月、2022 年 1 月」をテストデータとするシミュレーション結果を表4および図3に示す。

4.2 結果と考察

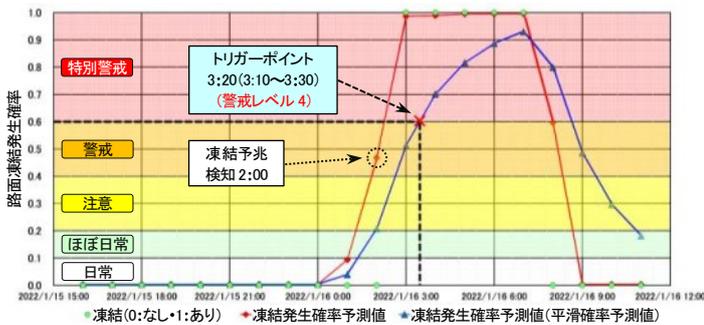
過去の気象観測データ^[7]から「埼玉県熊谷市 2016 年 1 月、2022 年 1 月」をテストデータとするシミュレーション結果を表4および図3に示す。

表4 シミュレーション結果

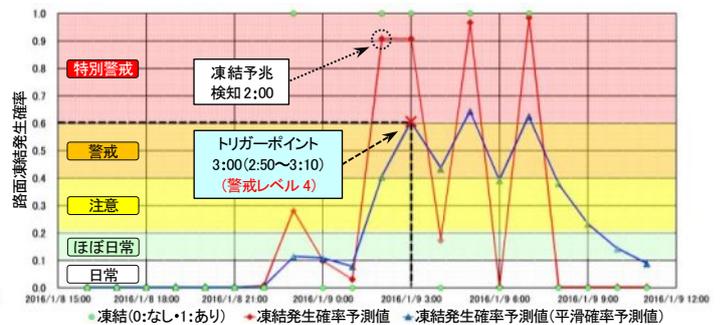
埼玉県熊谷市の気温、大気相対湿度、大気露点温度、降水量、降雪、積雪、風速、風向、日照時間は気象庁 Web サイト^[7]より引用

標本番号	年月日時	気温(°C)	大気相対湿度(%RH)	大気露点温度(°C)	大気湿数(°C)	降水量(mm)	降雪(cm)	積雪(cm)	風速(m/s)	風向	日照時間	路面温度(°C)	路面露点温度(°C)	路面湿数(°C)	凍結発生 0:なし 1:あり	凍結発生 確率 (予測値)	凍結発生 確率 (平滑予測値)
G352	2022/1/15 16:00	8.7	34	-6.3	15	0	0	0	4.2	北北西	0.6	3.69	-6.3	9.99	0	0.00	0.00
G353	2022/1/15 17:00	7	38	-6.3	13.3	0	0	0	3.2	北西	0.2	2.41	-6.3	8.71	0	0.00	0.00
G354	2022/1/15 18:00	5.6	42	-6.3	11.9	0	0	0	3.3	北西	0	1.35	-6.3	7.65	0	0.00	0.00
G355	2022/1/15 19:00	4.5	49	-5.3	9.8	0	0	0	2.1	西	0	0.52	-5.3	5.82	0	0.00	0.00
G356	2022/1/15 20:00	4.1	53	-4.6	8.7	0	0	0	2.7	西	0	0.22	-4.6	4.82	0	0.00	0.00
G357	2022/1/15 21:00	4.7	52	-4.3	9	0	0	0	3.9	北西	0	0.67	-4.3	4.97	0	0.00	0.00
G358	2022/1/15 22:00	4.3	53	-4.4	8.7	0	0	0	3.2	西北西	0	0.37	-4.4	4.77	0	0.00	0.00
G359	2022/1/15 23:00	2.9	59	-4.3	7.2	0	0	0	3	西北西	0	-0.69	-4.3	3.61	0	0.00	0.00
G360	2022/1/16 0:00	1.2	67	-4.2	5.4	0	0	0	1.8	北北西	0	-1.97	-4.2	2.23	0	0.00	0.00
G361	2022/1/16 1:00	-0.2	73	-4.4	4.2	0	0	0	1.6	北北西	0	-3.03	-4.4	1.37	0	0.09	0.04
G362	2022/1/16 2:00	-0.1	74	-4.2	4.1	0	0	0	1.5	西北西	0	-2.96	-4.2	1.24	0	0.47	0.21
G363	2022/1/16 3:00	-1.5	78	-4.8	3.3	0	0	0	0.7	北北西	0	-4.01	-4.8	0.79	1	0.99	0.51
G364	2022/1/16 4:00	-1.1	78	-4.4	3.3	0	0	0	2	西	0	-3.71	-4.4	0.69	1	0.99	0.70
G365	2022/1/16 5:00	-2.1	81	-4.9	2.8	0	0	0	0.5	西南西	0	-4.47	-4.9	0.43	1	1.00	0.82
G366	2022/1/16 6:00	-2.6	83	-5.1	2.5	0	0	0	0.7	南西	0	-4.84	-5.1	0.26	1	1.00	0.89
G367	2022/1/16 7:00	-3	87	-4.8	1.8	0	0	0	1.2	北	0	-5.14	-4.8	-0.34	1	1.00	0.93
G368	2022/1/16 8:00	-1	75	-4.8	3.8	0	0	0	0.8	西	1	-3.63	-4.8	1.17	0	0.60	0.80
G369	2022/1/16 9:00	1.6	60	-5.3	6.9	0	0	0	1.9	北西	1	-1.67	-5.3	3.63	0	0.00	0.49
G370	2022/1/16 10:00	3.9	53	-4.8	8.7	0	0	0	1.2	西北西	1	0.06	-4.8	4.86	0	0.00	0.30
G371	2022/1/16 11:00	5.9	42	-6	11.9	0	0	0	2.2	北北西	1	1.57	-6	7.57	0	0.00	0.18
A184	2016/1/8 16:00	9.5	37	-4.4	13.9	0	0	0	1.6	南	1	4.29	-4.4	8.69	0	0.00	0.00
A185	2016/1/8 17:00	8.5	41	-4	12.5	0	0	0	1.7	南	0.5	3.54	-4	7.54	0	0.00	0.00
A186	2016/1/8 18:00	5.7	54	-2.9	8.6	0	0	0	1.5	北北東	0	1.42	-2.9	4.32	0	0.00	0.00
A187	2016/1/8 19:00	4.7	61	-2.2	6.9	0	0	0	0.6	西北西	0	0.67	-2.2	2.87	0	0.00	0.00
A188	2016/1/8 20:00	4.3	62	-2.3	6.6	0	0	0	1.3	西	0	0.37	-2.3	2.67	0	0.00	0.00
A189	2016/1/8 21:00	3.5	65	-2.4	5.9	0	0	0	1.8	南西	0	-0.24	-2.4	2.16	0	0.00	0.00
A190	2016/1/8 22:00	2.8	69	-2.3	5.1	0	0	0	1.7	西北西	0	-0.77	-2.3	1.53	0	0.01	0.01
A191	2016/1/8 23:00	2.2	73	-2.1	4.3	0	0	0	1.4	南西	0	-1.22	-2.1	0.88	1	0.28	0.11
A192	2016/1/9 0:00	1.8	72	-2.7	4.5	0	0	0	2.4	西	0	-1.52	-2.7	1.18	0	0.10	0.11
A193	2016/1/9 1:00	1.9	71	-2.8	4.7	0	0	0	1.7	南西	0	-1.45	-2.8	1.35	0	0.03	0.08
A194	2016/1/9 2:00	0.9	75	-3	3.9	0	0	0	1.4	西北西	0	-2.20	-3	0.80	1	0.91	0.40
A195	2016/1/9 3:00	1	75	-2.9	3.9	0	0	0	2.3	北西	0	-2.12	-2.9	0.78	1	0.91	0.60
A196	2016/1/9 4:00	0.3	73	-4	4.3	0	0	0	1	西	0	-2.65	-4	1.35	0	0.17	0.43
A197	2016/1/9 5:00	0.2	76	-3.5	3.7	0	0	0	1.7	西南西	0	-2.73	-3.5	0.77	1	0.97	0.64
A198	2016/1/8 6:00	2.7	63	-3.6	6.3	0	0	0	3.3	西北西	0	-0.84	-3.6	2.76	0	0.00	0.39
A199	2016/1/9 7:00	-0.2	77	-3.7	3.5	0	0	0	1.1	東	0	-3.03	-3.7	0.67	1	0.98	0.62
A200	2016/1/9 8:00	2.9	61	-3.9	6.8	0	0	0	1.5	北西	0.9	-0.69	-3.9	3.21	0	0.00	0.38
A201	2016/1/9 9:00	7.3	39	-5.7	13	0	0	0	5.2	西北西	1	2.63	-5.7	8.33	0	0.00	0.23
A202	2016/1/9 10:00	8.7	33	-6.7	15.4	0	0	0	4.2	北西	1	3.69	-6.7	10.39	0	0.00	0.14
A203	2016/1/9 11:00	9.5	30	-7.2	16.7	0	0	0	4.2	西北西	1	4.29	-7.2	11.49	0	0.00	0.09

注) 露点は温度に依存しないので、路面露点温度 = 大気露点温度とする(路面での風の影響は無視できる環境とする)。



(a) 埼玉県熊谷市 2022 年 1 月 15 日 16:00~16 日 11:00



(b) 埼玉県熊谷市 2016 年 1 月 8 日 16:00~9 日 11:00

図 3 シミュレーション結果

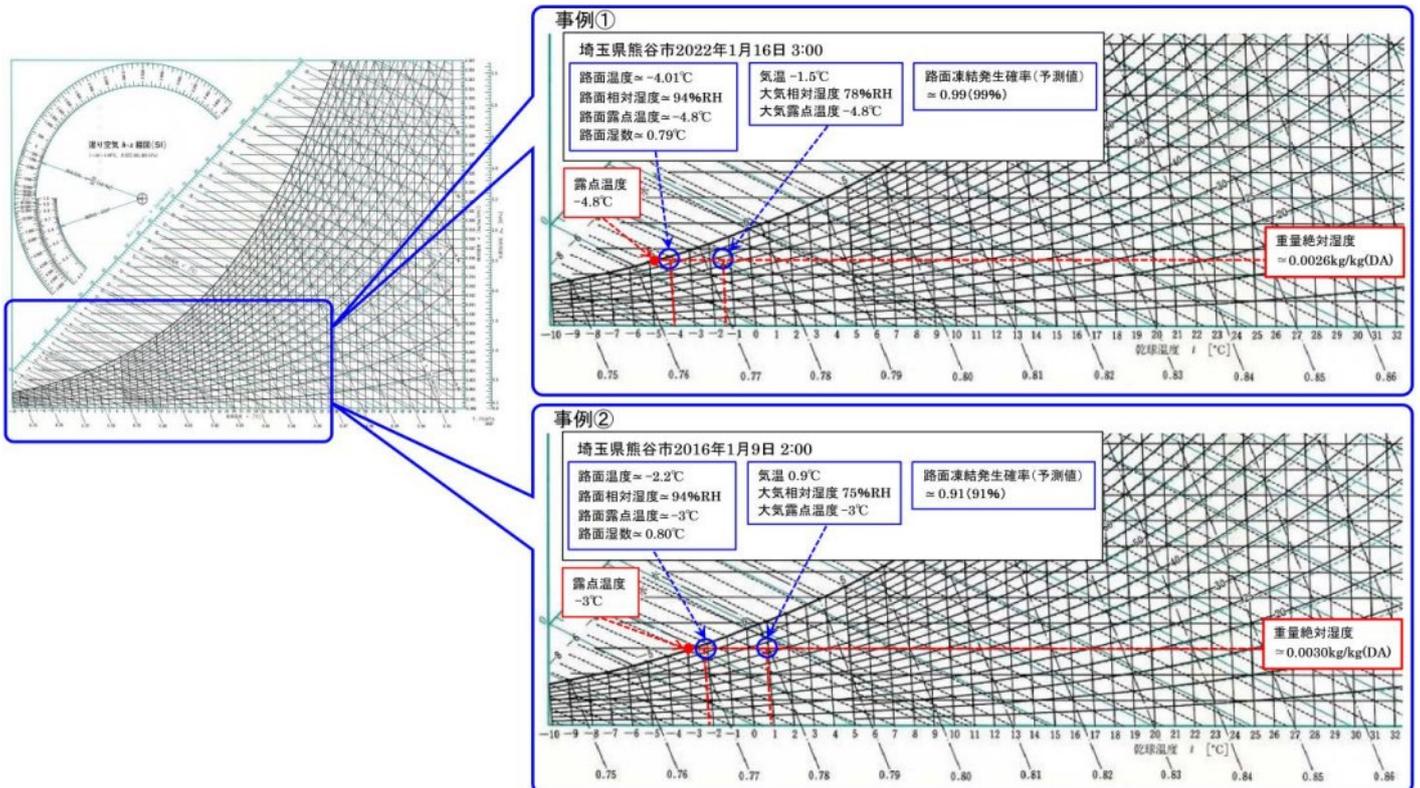


図 4 湿り空気線図(h-X 線図) [-10~+50°C, 大気圧 101.325kPa(標準気圧)] (文献[9]より引用し作成)

1) 事例① 埼玉県熊谷市 2022 年 1 月 15 日~16 日(図 3(a))

2016 年 1 月 16 日 3:00 時点(表 4, 図 3(a))の気温 -1.5°C , 大気相対湿度 78%RH, 大気露点温度 -4.8°C における路面温度予測値は, -4.01°C , 路面相対湿度は, おおよそ 94%RH となる(ここでは, 気圧を単純化し標準気圧で考える. 露点は温度に依存しないので, 路面(地表面)での風の影響を無視できるとすれば, 路面露点温度は, -4.8°C , 路面湿数は 0.79°C となり, 路面凍結発生確率予測値は, $0.99(99\%)$ となる. 大気相対湿度は, 78%RH, 路面相対湿度は, おおよそ 94%RH(図 4)であるが, 過飽和状態ではないので大気中に不純物がなければ水滴になることはない. しかし, 実際の大気中には SPM が多く存在するため, 大気相対湿度が 80%RH 程度の環境でも SPM が水滴の核となることで水蒸気が水滴となり, その多くが路面に結露し, 路面温度が 0°C 以下であれば, 路面凍結が発生・進行することが推定されることから本シミュレ

ーションの路面凍結発生条件(仮説)と概ね一致する. さらに, 本シミュレーションによれば, 路面凍結発生確率予測値の警戒レベル 3(警戒)以上を凍結予兆検知レベルとすると, 同日 2:00 に路面凍結の予兆を検知し, 8:00 まで凍結防止剤予防散布などの凍結防止対策が実施されない場合, 路面凍結発生確率予測値は, $0.47(47\%)\sim 1.00(100\%)$ となり, 高い確率で凍結が発生し, 進行することを示唆している. また, 同日 0:00 以降の ESF を適用した確率平滑予測値は, 3:20 頃に本提案の道路管理者が路面凍結防止対策(リスク回避)を効果的に実施する判断基準であるトリガーポイントの $0.6(60\%)$ に達すると推定され, 8:30 頃まで $0.6(60\%)$ 以上の警戒レベル 4(特別警戒)が継続しており, 3:20 頃に路面凍結防止対策の実施が必要となることを示唆している.

低頻度降雪地域における路面凍結の多くは, 路面温度が, $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 程度と想定する範囲で発生・進行するものと推定で

きるが、警戒レベル0(日常)から車両の通行に支障をきたす路面凍結は、2時間以内に発生しないものと推測されるので、同日1:00の警戒レベル0(日常)から3:20の警戒レベル4(特別警戒)までの時間的猶予は2時間あり、路面凍結防止対策(凍結防止剤予防散布)準備を含めた時間を確保できる。

2) 事例② 埼玉県熊谷市2016年1月8日～9日(図3(b))

2016年1月9日2:00時点(表4, 図3(b))の気温0.9°C, 大気相対湿度75%RH, 大気露点温度-3°Cにおける路面温度予測値は、-2.2°C, 路面相対湿度は、おおよそ94%RH(図4)となる。露点は温度に依存しないので、路面(地表面)での風の影響を無視できるとすれば、路面露点温度は、-3°C, 路面湿数は、0.8°Cとなり、路面凍結発生確率予測値は、0.91(91%)となる。これは事例①同様、SPMの影響により水滴が路面に結露し、路面温度が0°C以下であれば、路面凍結が発生・進行することが推定されることから本シミュレーションの路面凍結発生条件(仮説)と概ね一致する。さらに、本シミュレーションによれば、同日2:00に路面凍結の予兆を検知し、7:00まで凍結防止剤予防散布などの凍結防止対策が実施されない場合、路面凍結発生確率予測値は、0.00(0%)～0.98(98%)となり、短時間の凍結事象内で大きく、かつ急激に変動するケースであることを示している。この変動は、路面温度が0°C以下の環境であっても路面相対湿度が低下し、路面湿数が1.0°C超となることによって、路面凍結発生確率予測値が大きく低下することに起因するが、凍結発生後も路面温度は、0°C以下であることから凍結は進行しているものと推定できる。また、前日22:00以降のESFを適用した確率平滑予測値は、同日2:00～7:00の時間帯において、0.4(40%)～0.6(60%)の警戒レベル3(警戒)に極めて近い0.39(39%)の警戒レベル2(注意)～0.64(64%)の警戒レベル4(特別警戒)を示しており、路面凍結防止対策(リスク回避)の実施は確率平滑予測値が、0.6(60%)のトリガーポイントに達する3:00頃に必要となることを示唆している。事例①同様、同日1:00の警戒レベル0(日常)から3:00の警戒レベル4(特別警戒)までの時間的猶予は2時間あり、路面凍結防止対策(凍結防止剤予防散布)準備を含めた時間を確保できる。

これらの結果より冬期の路面温度が、-5～0°C程度と想定する低頻度降雪地域では、大気相対湿度が80%RH程度の環境でもSPMに大気中の水蒸気の多くが凝結・凝集し、その多くが路面に結露することや霜として付着・集積することにより路面凍結が発生・進行するが、警戒レベル0(日常)から車両の通行に支障をきたす路面凍結は2時間以内に発生しないものと推測されるので、警戒レベル0(日常)から警戒レベル4(特別警戒)までの最小時間的猶予として2時間の確保ができれば路面凍結防止対策(凍結防止剤予防散布など)が必要となる路線への対応が可能になると推察される。本提案のSFFNNによる路面凍結発生確率予測を用いた意思決定支

援手法の妥当性を不十分ではあるが、机上にて検証した。さらに精度を高めるためには、特微量である路面温度と路面露点温度の予測精度の改善が望まれる。また、路面凍結発生確率スコアに基づく警戒レベルの管理限界(閾値)の決定については、本提案手法の利用シーンを想定しながら慎重に選定する必要がある。

5. おわりに

本提案は、過去の気象観測データ^[7]を用いた限定的な条件下でのシミュレーションではあるが、道路管理者が路面温度と路面湿数を特微量とするSFFNNによる路面凍結発生確率予測を用いて路面凍結防止対策を合理的、かつ効果的に実施することが期待できる。今後、本提案手法の有効性と妥当性を実フィールドで検証を行い、将来の路面凍結防止剤散布の自動指示や自動散布に繋げていきたい。

参考文献

- [1] 川畑 貴義, 吉永 創, 戸部 明, 竹内 茜:局地的な凍結に対する独自気象予測の提供, 第31回ゆきみらい研究発表会,(2019)
- [2] 森近 守, 齋藤 靖史, 古堅 雄士:ニューラルネットワークによる路面凍結発生確率の簡易予測手法, 第33回ゆきみらい研究発表会,(2022)
- [3] 李 瑾, 阿部 雅人, 杉崎 光一, 中村 一樹, 上石 勲: AI技術を活用した冬季道路路面判別の効率化, AI・データサイエンス論文集(土木学会), Vol.J1, pp.210-216, (2020)
- [4] 一般財団法人日本気象協会:「AI路面状態判別技術」の精度向上を目的とした新たな実証実験を開始～全国初となる画像解析と気象データを組み合わせた3社共同実験～,(2021)
<https://www.jwa.or.jp/news/2021/12/15437> (参照2022-3-18)
- [5] 溝畑 朗, 伊藤 憲男, 楠谷 義和: 道路沿道における大気浮遊粒子状物質の物理的・化学的特性, 大気環境学会誌, Vol.35(2), pp.85-87, (2000)
- [6] 福原 輝幸, 渡邊 洋, 藤本 明宏: 路面凍結の発生メカニズム, 日本雪工学会誌, Vol.21-2, pp.110-115, (2005)
- [7] 気象庁: <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl> (参照2022-8-25)
- [8] 宮本 修司, 佐藤 圭洋, 徳永 ロベルト: 凍結防止剤の室内凍結試験について—凍結防止剤の種類、濃度及び温度と氷の凍結状態との関係—, 国土交通省北海道開発局第52回(平成20年度)北海道開発技術研究発表会, No.ふ10, (2009)
- [9] 一般財団法人省エネルギーセンター: 省エネチューニングガイドブック 付図-1, p.103, (2007)
https://www.eccj.or.jp/b_tuning/gdbook (参照2022-8-31)

次世代技術を活用した雪氷作業マネジメント

宮澤 正隆*1 山本 貴文*1 中村 貴男*2

1. はじめに

NEXCO中日本では従来の大雪時雪氷対策に加え、2021年度からの基本的な考え方である「人命を最優先に、幹線道路上で大規模な車両停滞を徹底的に回避する」を方針に据えて、一層の強化を図っている。具体的には、短期間の集中的な大雪への備え、予防的通行止めの実施、集中除雪の実施や情報提供の強化、関係機関との連携強化等となっている。しかし、日常における雪氷対策である路面凍結・積雪の防止・抑制、除雪等の作業（以下、「雪氷作業」という）による高速道路の安全な交通確保は今後も取り組むべき課題であり、除雪体制の強化や立ち往生車両を早期に発見するための監視カメラを増設等ハード面の対策も日々進めているところである。

本件は、この運用のために状況把握及び作業の判断支援を目的とした「車両位置情報システム（VPIS：Vehicle position information system）」と関連システムの開発内容を紹介するものがある。VPISは通常のナビゲーションシステムと異なり、図1に示す様々なセンサ、カメラ、集中操作機能で構成され、更に気象観測データ等と組み合わせることによって「現状把握」「作業予測」「タイムスケジュール」「現地作業のアシスト」などを提供が可能となる機能となっている。



●図1-車両位置情報システム（VPIS）の構成

2. 雪氷体制構築時の課題と取り組み

雪氷体制構築時においては、高速道路上の今後の気象予測に加えて、気象観測局、CCTVカメラ、雪氷巡回等から得られる道路情報を基に、雪氷対策本部で雪氷作業の実施方法や具体的なタイミング、招集する人員も含めた

体制の規模など、雪氷作業計画が決定される。現在、雪氷作業計画立案における判断基準については降雪量などにより作業内容を決定するなど明確な基準が定められているものがある一方で、過去の知識・経験値から判断されるものもあり、これらは暗黙知となっている。この社員の知識・経験に頼る部分について適切な判断を実施できるように、システムにて「雪氷体制の判断支援」「作業運行計画支援」を開発したものである。

システムでの支援は、図2に示す「支援部分」が気象予測の発表時に体制、人員、作業内容を対策本部の判定会議に過去の経験値も反映した提示をし、これを基にした的確な判断を可能としている。また、初期の雪氷作業に重要な「凍結防止剤散布作業」はその効果を高めるために重要なタイムスケジュールについても、システムで気象予測が変更されるたびに、図4に示すようなタイムスケジュールを提供することが可能であり、作業の効率化が期待できる。



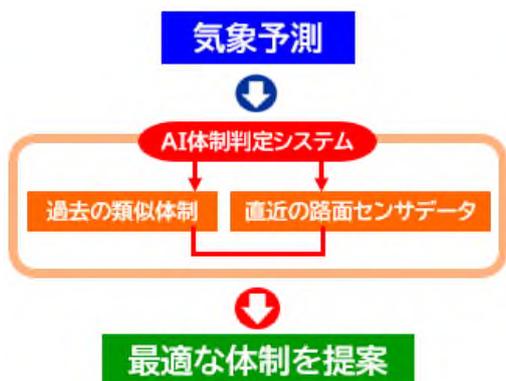
●図2-雪氷体制構築時のシステム支援

*1 中日本高速道路(株) 保全企画本部

*2 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 技術開発部

2.1 AI体制判定支援

気象予測から決定される体制は、必要な作業員、設備の配備状況、地域の特性による気象条件など多岐に渡る知識を基に判断する必要があり、個人の経験や技能差により左右されるケースもある。この判断差を解消するため気象予測に加え、過去の体制実績と直近の測定データをAIシステムで処理し、最適な体制を提示できるものとした。



●図3-AI体制判定支援

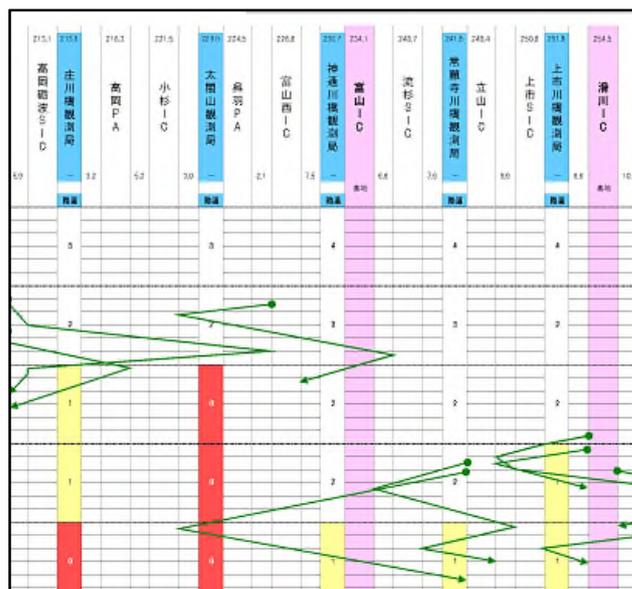
2.2 作業運行計画支援

雪氷作業の体制の決定により、1事務所で管轄する雪氷基地（4～5基地程度）の作業内容も気象予測に従って、基本的なタイムスケジュール図4が策定される。この際重要となるのが路面凍結を防ぐための凍結防止剤散布作業となる。作業は凍結予測の1時間前付近で行うことが望ましいとされており、これは路面に圧雪が密着し、その除去作業に多大な労力を費やすことを防ぐためであり散布タイミングを捉えることが重要となる。

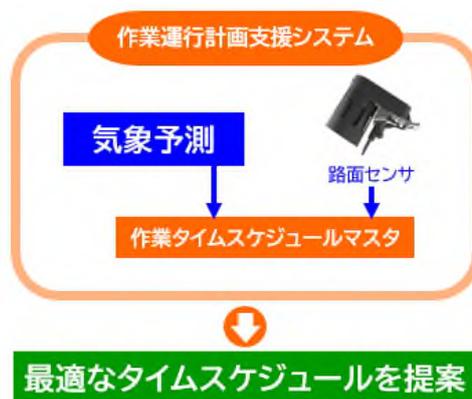
当社が採用している路面センサは初期段階での氷の生成を捉えることが可能で凍結防止剤の早期散布が可能となる。また、昨今取り上げられている「ブラックアイスバーン（無降水凍結）」の生成も事前に把握することが期待できる。

各基地では、刻々と変化する気象予測に対してタイムスケジュールを柔軟に変更する必要があるが、従来は基地単位に気象状況の把握、計画への反映を経験に基づき実施されていた。これら変更を迅速化するために、雪氷巡回車両に取り付けられた路面センサから現地の気象データを連続的に取得し、気象予測とのズレを系統的に検証することで、更に精度が高く、気象状況の変化に柔軟に対応できるタイムスケジュール図5の作成が可能となった。今年度はこのシステムを活用し、すべての関連データをシステムにリンクさせ、自動的に気象予測

対応タイムスケジュールを自動的に出力させ、現地の運用に反映させる。



●図4-タイムスケジュール



●図5-I作業運行計画支援

3. まとめと今後の展望

従来の雪氷作業は、気象予測に基づき、人的な判断によって体制が決められ作業を実施していた。しかし、従来から様々な課題が指摘されていた。主なものとして

- 1) 高速道路が通過する地域の個々の気象変化への対応
- 2) 個人の経験差による作業のバラツキ
- 3) 過度な作業の実施（凍結防止剤散布等）

などである。課題には常に先手先手で機械力を投入し、絶え間なく作業を行うことで可能となるが、昨今の人員不足、環境対策からその様な作業の実施は益々難しくなってくる。NEXCO中日本では革新的な高速道路保全マネジメントの実現のためのDXを推進することとしている。本取り組みでも様々なIT技術を駆使し、新たな雪氷作業マネジメントを構築し、冬期の高速道路機能の維持を目指して行く。

無降水凍結に対する路面管理手法

片岡創一郎* 1

1. はじめに

冬季の路面において、晴れていて路面が乾燥しているにも関わらず、路面が凍結することがある。いわゆる、「無降水凍結」と呼ばれる現象である。この無降水凍結の発生は目視では分かりづらいブラックアイス状で発生するため、ドライバーにとって非常に危険な状態となる。冬季路面管理においても予測が難しく、一旦発生してしまうと事故に直結してしまうため、路面管理においてその発生を捉える事は非常に重要と言える。本論文では、この無降水凍結に対する効果的な路面管理手法を考察していきたい。

2. 無降水凍結とは？

「無降水凍結」とは一言でいうと、「降水がない状態で路面が凍結する現象」である。雨や雪等、上空からの降水物が発生していないにも関わらず路面が凍結する現象である。では、降水(雨、雪等)がないのになぜ路面凍結が発生してしまうのか？これは大気中に含まれる水蒸気に起因するものである。

3. 無降水凍結の発生要因

無降水凍結の発生要因は路面上に発生する結露で、結露発生時の路面温度が0℃以下であると路面が凍結してしまう。結露とは、大気中に含まれていた水蒸気が気体として留まらなくなり、液体となって出てきてしまう現象である。なぜ気体から液体となるのかについては大気の仕組みを理解する必要がある。

まず、大気中に最大限含むことのできる水蒸気量は温度によって異なるという特徴を持っている。温度が高ければ高いほど、大気中に水蒸気(気体)として含むことのできる量は多くなり、温度が低いほどその含まれる量は少なくなる。この最大限大気中に含むことのできる水蒸気量は「飽和水蒸気圧」と呼ばれている。例えば、気温が+10℃の場合には飽和水蒸気圧は約12hPaとなり、+30℃の場合には約43hPaと、気体として含むことのできる水蒸気量は約3.5倍の違いがある(地上気圧1013hPa時における試算)。

このため、温度が急速に低下した場合、ある温度に達成した時点から結露が発生する。この結露が発生し始め

る温度を「露点温度」という(露点温度の詳細は後述する)。一例として、ビールジョッキを思い浮かべていただきたい。冷蔵庫内で冷やしていたビールジョッキは冷蔵庫内では水滴が付着していなかったにも関わらず、冷蔵庫から取り出した途端に、ジョッキの表面に水滴が発生する。これは大気中に存在していた水蒸気が液体となる、いわゆる結露が発生したためである。ではなぜ結露が発生したのだろうか。この理由を、図1を使用して解説する。

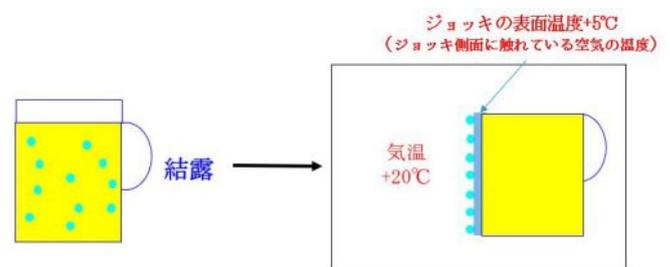


図1 ビールジョッキへの水滴付着例

このケースは室温が+20℃、ジョッキ表面温度が+5℃だった場合を示している。冷蔵庫から取り出したジョッキは冷やされており、冷えたジョッキ表面に触れた薄い空気層が急速に冷やされ、その層内に存在していた水蒸気が気体として留まらなくなり、液体となってジョッキの表面に発生した。これが水滴が付着した要因である。このビールジョッキと同様の現象が路面でも発生する。

4. 路面での結露発生要因

路面温度は大気温度よりも急速に低くなることもある。特に冬季の晴れた夜間の日などでは放射冷却の影響を強く受け、急速に路面が冷やされる傾向がある。また、橋梁などではその度合いがさらに強い。先ほどのビールジョッキの例を路面表面に置き換えて解説する(図2を参照)。

* 1 ヴァイサラ株式会社 ウェザーセールス

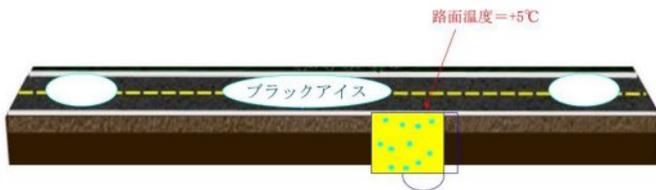


図2 ビールジョッキを路面表面に置き換えた例

急速に路面温度(ビールジョッキ)が冷やされた場合、路面表面(ビールジョッキの表面)に触れていた薄い空気の層も急速に冷やされ、そこに存在していた水蒸気が気体として留まれなくなり液体となって現れる(=結露の発生)。その時の路面温度が氷点下以下であった場合、路面に発生した結露が凍結し、いわゆる路面凍結の状態となる。これが無降水凍結の発生メカニズムである。急速に路面表面が冷やされ低下すると、ある温度より路面上に結露が発生する。この結露が発生する時の温度を「露点温度」といい、無降水凍結に対する路面管理においては、いつ路面が結露するかを把握する上で非常に重要な要素である。

5. 無降水凍結への路面管理方法

これら事例を実際の路面管理において考えていきたい。まず、露点温度とは現在の大気中に存在している水蒸気圧が結露し始める温度のことである。路面管理の面から考えると、路面温度が露点温度よりも低くなると(路面温度<露点温度)、路面上に結露が発生する。この時の路面温度が0°C以上であれば濡れが発生するのみで特に危険リスクはないが、この時の路面温度が0°C以下の場合には凍結となる。このため、路面管理においては、「路面温度と露点温度の差」と「路面温度が0°C以下とならないか」、この2点の指標を把握しておくことが非常に重要となる。

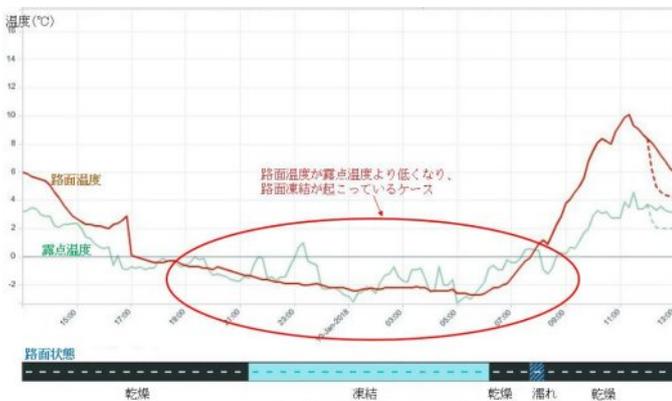


図3 無降水凍結が発生した例

図3は、ある場所で無降水凍結が実際に発生した一例

である。降水がなく晴れた夜間の日であるが、路面温度が露点温度よりも低くなるケースが発生した。21:00頃より路面が結露し、その際の路面温度が-2°C近辺であったため、瞬時に凍結となった。

もしこの路面温度が露点温度よりも低くなるのが分かっていたら、事前に薬剤散布を行うなどの対策がとれ、無降水凍結の発生は防げたものと思われる。

このように無降水凍結の発生有無を予測する上で、路面温度と露点温度の時間推移の傾向を把握しておく事は非常に重要である。路面温度と露点温度の差が少ない場合には結露リスクが高まり、その差が大きい場合には結露リスクは低いといえる。逆にいえば、路面温度と露点温度の差が大きければ、仮に路面温度が0°C以下の予報であったとしても凍結リスクはなく散布作業等も不要と考えることができる。このように路面温度と露点温度の差を見ておくことは無降水凍結を把握する上で非常に重要であり、欧米諸国においても、路面管理時には必ず把握している指標の一つである。

6. 各種センサ群の活用方法

露点温度とは湿度の別の表現方法ともいえるが、路面管理においては露点温度を活用の方が視覚的に路面状況を把握しやすいため、露点温度が使われている。これについて、図4と図5を使って解説する。図4は相対湿度と路面温度をグラフ化したものであるが、どの時点で結露が発生するかが視覚的にもよく分からない。一方で、図4と同時間帯での露点温度と路面温度をグラフ化した図5では、路面温度が露点温度よりも低くなったポイントが明確であり、どの時点より結露が発生するかが分かりやすい。

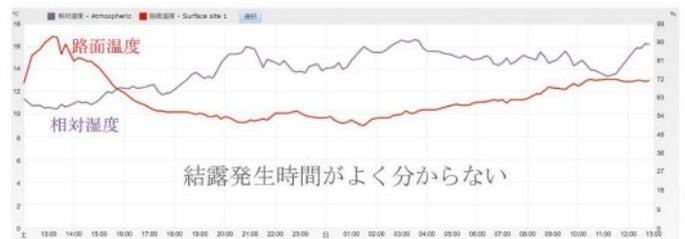


図4 相対湿度と路面温度のグラフ (×)

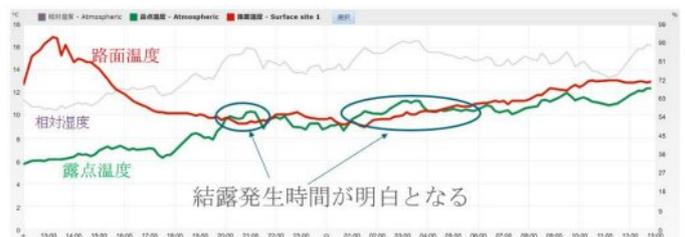


図5 露点温度と路面温度のグラフ (○)

屋外用の温湿度計で露点温度の計測が可能なセンサもあり、これらセンサ群を活用することによって計測データをグラフ化でき、視覚的にも無降水凍結の発生リスクの把握が可能となる。

このように「路面温度と露点温度の差」を把握しておくことは結露発生の予測を行う上で重要であるが、実際に路面に水や氷が発生しているかどうかを併せて把握しておく必要がある。

各種センサには精度範囲があり、また自然界の現象であるため、「路面温度<露点温度」となったとしても瞬時に結露が発生しないケースや「路面温度>露点温度」の状態でも結露が発生するケースもある。

このため、実際に路面上に水や氷の層が発生していないかどうかを見ておく必要がある。現在市場には、路面状態(乾燥、湿潤、濡れ、雪、氷、シャーベット等)や路面膜厚(水、氷、雪等)を、髪の毛一本分程の非常に薄い膜厚発生時でも計測可能なセンサがある。これら「路面状態」「路面温度」「露点温度」を同時に計測しておくことによって、より凍結路面に備えた路面管理が可能となる(各種センサ群の例は写真1、写真2を参照)。



写真1 モバイル式センサの一例



写真2 固定式センサの一例

これらのモバイル式センサと固定式センサには、それぞれメリットとデメリットが存在する。モバイル式は車両取り付けタイプである。その主なメリットは走行路面全体の状況把握が可能となる点が挙げられ、デメリットとしては走行時の値しか計測ができない点が挙げられる。一方固定式センサの場合、24時間365日常にその地点での計測が行える点が主なメリットとして挙げられ、反対にデメリットとしては設置箇所の値しか把握ができない点が挙げられる。このように各センサにはそれぞれの長所と短所があるため、効果的に使用する必要がある。理想としては、固定式センサを管理対象路線の中で最も凍結リスクの高い箇所(橋梁部やトンネル出入口付近等)に設置し、24時間365日の常時監視を行い、モバイル式センサで他路面の状態を定期的に計測するという運用方法が推奨される。

7. 屋内用露点温度計について

少し話は逸れるが、露点温度とは湿度の別の表現方法であると前項で述べたが、低湿度環境の計測にも湿度計の代わりに露点温度計がよく使われている。これらは主に恒温槽内やチャンバー内等の非常に微量の水蒸気量を計測する際に採用されている。理由としては、湿度0.002%、湿度0.03%よりも、露点温度 -80℃、露点温度-60℃とした方が分かりやすいという点がある(詳細は図6を参照)。

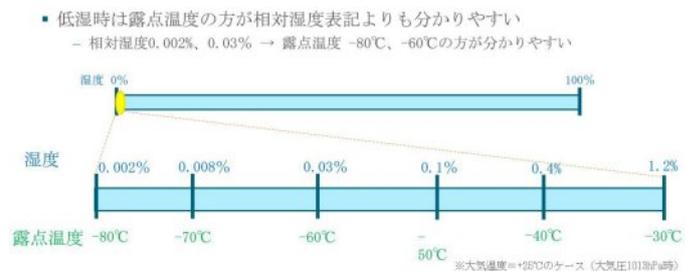


図6 相対湿度と露点温度(低湿度時)

露点温度計をネット等で検索すると、ほとんどのケースでこの低湿度用の産業計測用露点温度計がヒットする。路面管理における露点温度の管理に使用されるのは、屋外用の露点温度計である。ただし、屋外用温湿度計で露点温度を出力するモデルがほとんどであるため、選定時には露点温度の出力が可能なモデルの屋外用温湿度計を選定するよう注意が必要である。

8. 終わりに

これまで解説してきたように、今後の天気予報が晴れ予報であったとしても、路面温度が露点温度よりも低く

なり且つ路面温度が氷点下以下となる場合には、無降水凍結発生リスクがある。このため「路面温度>露点温度」を終始キープできるかどうかを散布作業判断時には確認しておく必要がある。

また、路面温度が今後0℃以下となる予報が出ている場合でも、散布が不要なケースがある。①現状路面に水が残っていない、②今後の降水予報がない、③路面温度と露点温度の差が大きい、この3つの条件が当てはまるケースでは、路面温度が氷点下以下となったとしても無降水凍結リスクはなく、薬剤散布作業は不要となる。

このように今後の天気予報が晴れであったとしても、路面温度と露点温度の差を監視しておくことは必要で、この差を監視することにより無降水凍結の発生リスクの回避や不必要な薬剤散布を減らすことにも繋がる。

路面管理においては路面温度と露点温度での管理は重要な指標といえる。

暫定2車線通行区間の排雪処理について 空気圧縮機による排雪処理

濱本 耕亮*1徳島 翔太*1

1.はじめに

九州管内の高速自動車国道の暫定2車線通行区間（以下、「暫定区間」という。）は延長約230km有り、反対車線と完全分離構造になっておらず、中央線部には区画柵や突起型路面標示（「写真1」）、ラバーポール（「写真2」）（以下、「付属物等」という。）が設置されている。



「写真1」

九州管内の大部分の雪氷対策作業時の路面の管理基準は、舗装面が見えるまで除雪する黒管理である。

本稿は、黒管理を行ううえで暫定区間の中央線部の付属物等周辺の排雪処理の手法について、令和4年度に試行した結果を報告するものである。

2.暫定区間での排雪処理時の課題

暫定区間の中央線部は、付属物等が設置されており、通常の除雪車のスノープラウでは除雪ができず「写真2」のように付属物等の周辺に残雪が発生する。

その残雪の排雪は、主に散水車による溶液散布や作業員による人力での作業となる。

その残雪の排雪は、主に散水車による溶液散布や作業員による人力での作業となる。

作業員の現状として、若手世代の作業員が少なく、60歳以上の作業員が多いことから、労働力不足が課題となった。

また、そのため時間を要し通行止めの解除時間の遅延等にも大きく影響することも課題であった。



「写真2」

3.課題に対する対応

現在、除雪車等の様々な機械の自動運転化など技術開発が行われているが、付属物等周辺の狭小箇所の排雪は、作業員による人力での排雪処理（「写真3」）をせざるを得ないのが現状である。



「写真3」

そこで、作業員の負担軽減、作業時間の短縮を目的とし、中央線の付属物等周辺の残雪に対して、空気圧縮機を用いた排雪処理を検討した。

検討の結果、トラック（クレーン装置付・積載質量4t積・2.9t吊）の荷台に空気圧縮機を積載し圧縮空気を噴出する排雪処理補助用具（「写真4・5」）を試作することとした。

付属物箇所の残雪を圧縮空気により、対向車線に散らし、その後除雪車で除雪を行う排雪処理方法の試行することとした。



「写真4」



「写真5」

試行する上で、排雪処理補助用具（「写真6」）の噴射口の角度を一定の角度の構造にすると、道路の横断勾配で適切に圧縮空気を当てられないという問題が想定されたため、任意の角度に調整できるような構造（「写真7」）とした。



「写真6」



「写真7」

4. 検証結果及び評価

令和4年度の雪による通行止め区間にて、圧縮空気による排雪処理補助用具を使用し、中央線部のラバーポール・縁石設置区間で検証を行った。

検証の際の現場状況及び作業内容・機材は、以下のとおりである。

○現場状況：「天候曇り、路面湿潤、中央線部側残雪（W150 mm/H80 mm）」



「写真8」

○使用機材：「4tユニック、コンプレッサー、エアースホース、圧縮空気排雪処理補助用具1基」

検証結果及び評価は以下のとおりである。

- ①湿潤状態の残雪であったが、反対車線の中央付近まで散らすことができた。
- ②圧縮空気による排雪処理補助用具1基装着で移動速度（噴射時）は、約5 km/h程度であった。
- ③基地での作業前準備、現場到着時の準備は容易であり、作業中の作業性は効率的であった。

（今後の課題）

- ①縁石の反対車線側の側面を散らすことができなかった。
- ②排雪処理補助用具の幅が約800 mmあり、道路交通法施行令第二十二條の積載の制限を超過するため、通行止め時しか作業ができない。



「写真9」

5. おわりに

今回、暫定区間での効率的な機械作業による「新たな排雪処理方法」を試行し、得られた検証結果及び評価からも通行止めの早期交通開放へ寄与することが分かった。また、人力での作業は今後熟練作業員の高齢化や、担い手不足等が課題となることが想定されるため、機械作業の技術開発は必要不可欠である。



「写真10」



「写真11」

圧縮空気による排雪処理補助用具は、通常の維持修繕作業である路面清掃（「写真10」）の狭小箇所の清掃や、台風・強風による落ち葉等の清掃作業（「写真11」）等への活用も期待できるため、今後も更なる改善・改良を行い、作業の効率化を図りたい。

以上

* 1 西日本高速道路メンテナンス九州(株) 保全事業本部 保全計画部 保全計画課

ラウンドアバウトエプロン端部の模擬除雪試験 ーラウンドアバウトにおける冬期道路管理手法の検討ー

吉田 智*1 植野 英睦*1 飯田 美喜*1

1. はじめに

ラウンドアバウトは、環状交差点のことであり、交差点内に侵入する車両より、環道を走行している車両に優先権があるため、交差点に信号機などの施設を必要としない（写真1）。また、一般的な無信号交差点と比較すると車両同士の交錯点が少ないため¹⁾（図1）、安全性に優れていることから欧米では広く普及している。

日本では、平成26年度に道路交通法が改正され、環状交差点の通行方法が定められたことから、全国的にラウンドアバウトが導入されてきている。しかし、国土の約6割以上が積雪寒冷地域に指定されている日本²⁾において、冬期間における道路管理の課題やその対応策について検討が必要である。国内に導入されている多くのラウンドアバウトは、環道とエプロンに段差を設けており、この環道とエプロンの端部にコンクリート製品を用いている。なお、積雪でエプロン端部（以下、「端部」という。）の段差境界位置が認識できなくなり、除雪作業時に除雪装置が段差に接触したと思われる端部の損傷が確認³⁾されている。今後、損傷した端部の交換作業が必要と考えられるが、高齢化によ

る労働人口の減少が懸念される中、端部の交換作業は困難になることが想定される。

そこで寒地土木研究所（以下、「寒地土研」という。）では、補修が可能な樹脂モルタル素材等を用いて端部を作製し、模擬除雪試験を実施したので報告する。

2. ラウンドアバウトのエプロン端部

2.1 ラウンドアバウトの幾何構造

ラウンドアバウトは、環道、エプロン、中央島、分離島、流入部等で構成される環状交差点である（図2）。

環道は、小型自動車等が走行可能な幅員であり、エプロンは、環道の幅員だけでは走行が困難な牽引車両等が、環道と合わせた幅員として走行してよいエリアとなる。もし、利用者が環道とエプロンの違いを認知できなければ、交差点内を直線的に通行する小型自動車等が現れ、交差点内を走行する際の速度が上昇することが懸念される。交差点内を通行する車両の走行位置を安定させ、速度も抑制するには、利用者が認知できるように環道とエプロンに段差を設けることが基本とされている¹⁾。また、マニュアルにおいて¹⁾、段差構造は、大型車が頻繁に乗り上げても破損することのないように、強固な構造とするなど配慮が必要であるとされていることから、ラウンドアバウトの端部は、縁石等のコンクリート製品で施工されることが多く、長期的



写真1 ラウンドアバウト全景
(北海道浜頓別町)

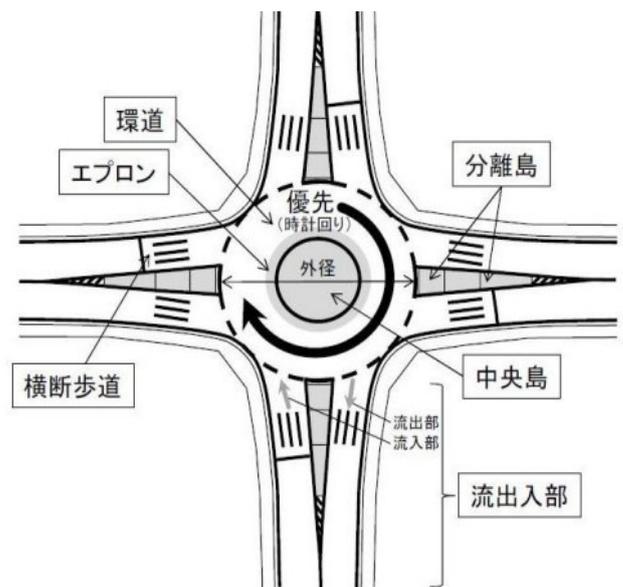


図2 ラウンドアバウト標準図⁴⁾

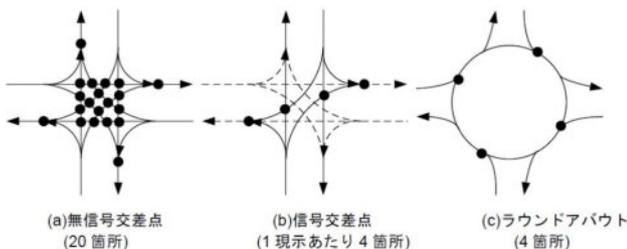


図1 平面交差部制御方式による車両間交錯点¹⁾

*1 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

に運用していくと損傷した端部の交換作業が生じることが想定される。

2.2 ラウンドアバウトのエプロン端部の課題

積雪寒冷地域では、積雪でラウンドアバウトが埋没すると、除雪作業時に段差部分を把握することが困難となる。過去に寒地土研が実施した除雪試験では、端部段差のすりつけ傾斜角が大きくなるほど除雪装置による欠損は大きいことを確認している⁵⁾ (図3)。なお、積雪寒冷地に導入されたラウンドアバウト端部の現地調査においても、傾斜角が大きい箇所で損傷を確認しており³⁾ (図4)、今後、ラウンドアバウトを運用する際に、端部の交換などの維持管理が必要になることが想定される。

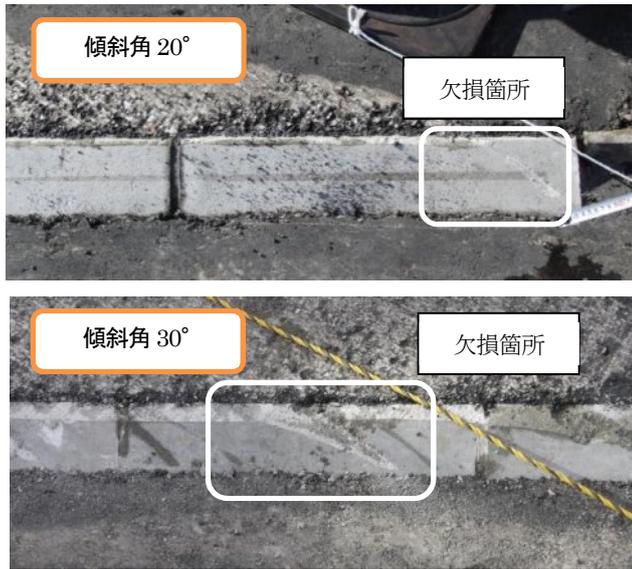


図3 端部の損傷状況 (除雪グレーダ)



図4 端部損傷状況
(上：テーパ型、下：曲線型)

そこで、強度に優れ、損傷した端部の補修が可能な樹脂モルタル等を用いて端部を作製し、模擬除雪試験を行った。

3. 模擬除雪試験

3.1 試験概要

試験は、寒地土研が所有する石狩吹雪実験場に数種類の模擬端部を作製して、除雪装置の端部への接触を再現した模擬除雪試験を実施した。なお、試験は、条件が一番厳しいと考えられる積雪がない状態で行い、その損傷度合いを計測した。

3.2 試験方法

試験で使用した材料は、樹脂モルタルのほか、密粒度アスファルト混合物 (13F) (以下、「アスコン」という。) とし、端部を作製した。なお、端部の構造は、すりつけ形状とし、すりつけ面の傾斜角をそれぞれ 20° と 30° としている (図5)。

試験に使用した車両は、北海道の国道において新雪除雪等で使用されている除雪グレーダ (4.0m 高速型) 及び、交差点等の除雪で使用されている除雪ドーザ (13t 級 U ブレード) とした (図6)。なお、各試験車両の除雪装置の推進角は、進行方向に対して 90° とし、除雪速度は、5km/h 程度としている。また、端部への進入角を 10° とした除雪試験を複数回繰り返し、その損傷度合いを計測した (図7)。



図5 エプロン端部構造



図6 試験に使用した車両
(左：除雪グレーダ 右：除雪ドーザ)



図7 試験走行方法

4. 模擬除雪試験結果

樹脂モルタルで作製した端部には、大きな欠損は確認できなかったが、すりつけ面に傷が残っていたため、傷の最大奥行き距離と、長さ、幅、深さの計測を行った。なお、アスコンで作製した端部は、大きく欠損していた。そのため、欠損箇所のすりつけ面からの最大奥行き距離と欠損幅、最大深さについて計測を行った(図8)。その結果を表1に示す。

樹脂モルタル形状では、傾斜角に関係なく各試験車両共に大きな欠損は確認できず(図9、10)、すりつけ面に沿って線状の傷が残る程度であったが、傾斜角20°の方が



図8 計測方法

すりつけ部の面積が大きくなるため、傷はより長い結果となった。なお、樹脂モルタル形状の損傷が小さいのは、除雪装置切刃がすりつけ面に沿って滑り抜けたことが要因と考えられる。

アスコン形状では、各試験車両共に、大きく欠損しており、除雪ドーザに比べ除雪グレーダの方が、除雪装置の押付圧が高い分、欠損が大きい結果となった。なお、傾斜角20°の方が、すりつけ部の面積が大きくなる分、より大きく欠損したものと考えられる(図11、12)。アスコン形状が樹脂モルタル形状に比べ大きく欠損した要因は、除雪装置切刃がすりつけ面に沿って滑り抜けず、食い込んだことが要因と考えられる。

過年度に行ったコンクリート素材による試験では、除雪グレーダでの傾斜角30°のケースで欠損を確認した⁵⁾。しかし、本試験のような樹脂モルタル形状の場合、傾斜角30°でも傷跡程度で欠損等の破損がなかったことから、端

表1 模擬除雪試験結果

機種	エプロン端部形状		損傷部計測結果			
	材質	傾斜角度・高さ	傷の長さ(cm)	傷の深さ(mm)	傷の幅(mm)	損傷状況
除雪グレーダ	樹脂モルタル	20°・5cm	101.0	3.0	20.5	すりつけ面は、線状に削れた
		30°・5cm	75.0	6.5	17.0	
除雪ドーザ	樹脂モルタル	20°・5cm	99.0	2.0	22.0	すりつけ面は、線状に削れた
		30°・5cm	86.0	9.5	16.0	

機種	エプロン端部形状		損傷部計測結果				
	材質	傾斜角度・高さ	幅(cm)	奥行(cm)	最大深さ(mm)	最小深さ(mm)	損傷状況
除雪グレーダ	アスコン	20°・5cm	153.6	26.6	33.0	1.1	縁石下端部(路面)から削られて欠損
		30°・5cm	114.2	19.9	31.0	0.0	
除雪ドーザ	アスコン	20°・5cm	103.7	22.4	22.7	0.0	縁石下端部(路面)から削られて欠損
		30°・5cm	73.2	16.1	19.8	0.0	

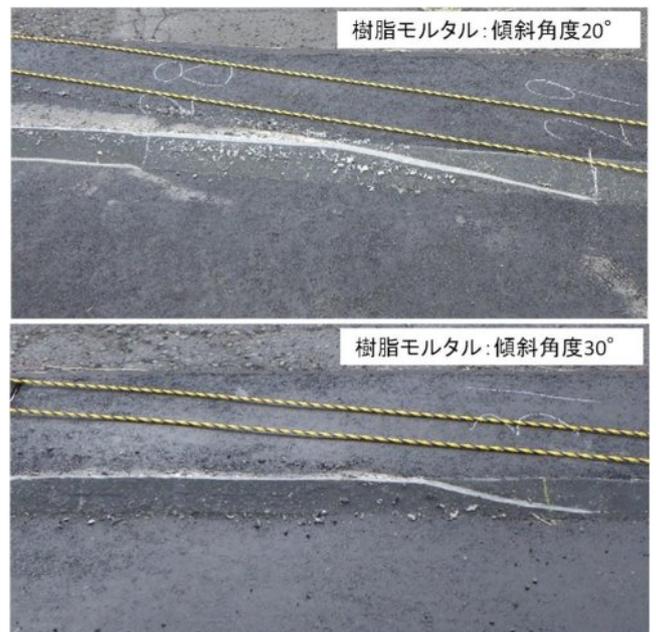


図9 樹脂モルタルの損傷状況(除雪グレーダ)



図10 樹脂モルタルの損傷状況
(除雪ドーザ)



図12 アスコンの損傷状況
(除雪ドーザ)



図11 アスコンの損傷状況
(除雪グレーダ)

あれば、除雪作業時に線状に傷が発生することは予想されるが、欠損等の大きな破損はないと考えられる。そのため、高齢化による労働人口の減少が懸念される中、端部が損傷したとしても、手間の掛かる端部の交換作業ではなく、補修での対応が期待できる。

今後は、ラウンドアバウトを導入する地域に適応した、適切な端部構造について検討していきたい。

参考文献

- 1) 一般社団法人交通工学研究会、ラウンドアバウトマニュアル、2016
- 2) 日本建設機械化協会：2005除雪・防雪ハンドブック（除雪編）、p. 112、2004
- 3) 吉田智、植野英睦、飯田美喜：ラウンドアバウトの除雪作業におけるエプロン端部への影響調査、第66回（2022年度）北海道開発技術研究発表会
- 4) 国土交通省道路局通知、望ましいラウンドアバウトの構造について、2014. 8. 8
- 5) 佐藤信吾、高本敏志、牧野正敏：除雪作業と乗り上げ抑制効果を考慮したラウンドアバウトのエプロン端部形状に関する検討、寒地土木研究所月報、No. 774、pp. 40-46、2017

部を交換するのではなく補修での対応が期待できる。

5. まとめ

模擬除雪試験の結果から、樹脂モルタルで作製した端部では、大きな欠損は見受けられなかった。しかし、傾斜角 20° では、すりつけ部の面積が大きくなるため、傾斜角 30° に比べ、損傷の程度が大きくなる結果となった。アスコンで作製した端部は、各試験車両共に大きく欠損していたが、除雪グレーダは、除雪装置の押付圧が高い分、除雪ドーザより欠損が大きい結果となった。

これらより、樹脂モルタルによるすりつけ形状の端部で

運搬排雪工区における排雪速度の分析

飯田 美喜*1 吉田 智*1

1. はじめに

積雪寒冷地では、冬期の路肩堆雪による道路有効幅員の減少(写真1)などにより走行環境が悪化し、渋滞発生要因の1つとなっている¹⁾。冬期道路交通の確保のため、道路管理者などは、効率的に路肩堆雪の運搬排雪を行うことが求められる。そのためには、早めにその時期や工法を決定し、除雪機械、オペレータ、ダンプトラックや交通誘導員などを確保する必要がある。

また、除雪作業従事者の減少や高齢化などにより、除雪作業の担い手の確保²⁾³⁾や技術伝承が困難になっている⁴⁾ことから、除雪作業量や実施時期の判断について経験に依存しない定量的な指標が必要であると考えられる。

ロータリ除雪車で排雪を予定している堆雪の断面積(以下、「排雪断面積」という。図1)と排雪速度の関係を把握できれば、該当工区の運搬排雪作業に必要な作業時間の推

定が可能となり、運搬排雪計画立案の基礎データとして活用できる。そこで、運搬排雪計画立案の支援技術提案のため、運搬排雪データから運搬排雪を実施した区間での排雪量、作業時間と作業区間延長を整理し、排雪断面積と排雪速度の回帰分析を行った。

2. 既往研究と本稿の位置づけ

本稿の類似研究として、除排雪作業の効率化や運搬排雪計画立案を支援するため、車両の走行速度や作業時間の算出を可能とする既往研究を整理した。

宗広ら⁵⁾は、札幌市内の道路において、定点カメラの画像解析により堆雪幅、交通量、通行車両の走行速度等を計測し、堆雪幅別の交通量-走行速度モデルを構築した。モデルから想定した冬期道路サービス水準に対して、適切な運搬排雪作業の実施タイミングの計画立案及び効率的な実施への活用が期待される。

大上ら⁶⁾は、除雪トラック等による新雪除雪において、地域・路線特性に応じた基準除雪速度算定式を算出し、サービスレベルの地域間の平準化を図る経済的な除雪機械配置計画を策定する手法を提案した。

岸ら⁷⁾は、ダンプトラックのETC2.0プローブデータを活用し、ダンプトラックの台数、運搬排雪作業現場と雪堆積場の距離、運搬排雪作業区間の距離等から運搬排雪作業時間を算出するモデルを構築した。モデルから、想定した時間内に該当区間を排雪処理するために、最低必要なダンプトラック台数が把握可能なことを示した。

いずれも、通行車両、除雪トラック等による新雪除雪、ダンプトラック台数による走行速度や作業時間の解析を行っており、排雪断面積と排雪速度を対象に研究を行った事例は見当たらない。

飯田ら⁸⁾は、平成25年度から平成29年度に北海道開発局の札幌・小樽・旭川開発建設部管内の国道で行われた運搬排雪のデータ(3,596件)から、排雪量、作業時間と作業区間延長(ロータリ除雪車が実際に作業した延長)を整理し、ロータリ除雪車における排雪断面積と排雪速度の回帰分析(相関検討手法①べき乗、②対数、③指数、④ロジスティック)を行った。なお、ロータリ除雪車の稼働(排雪)時間のみの場合と、稼働時間(排雪)と非稼働(移動、待機、休止)時間を含めた一連の運搬排雪作業時間について分析した結果を比較した。その結果、より高い相関が確認できた稼働(排雪)時間のみの場合の相関検討手法①べ



写真1 道路有効幅員の減少

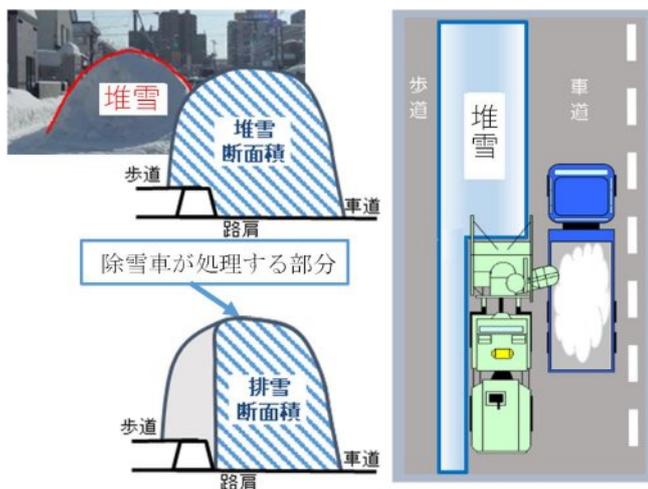


図1 排雪断面積イメージ

*1 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

き乗による回帰式を排雪速度予測式として算出した（図 2）。

本稿では、平成 30 年度から令和 2 年度に、北海道開発局の札幌・小樽・旭川開発建設部管内の国道で行われた運搬排雪データ（920 件）から、排雪量、作業時間と作業区間延長（運搬排雪作業を実施した区間の延長）を整理し、ロータリ除雪車における排雪断面積と排雪速度の回帰分析（相関検討手法①べき乗、②対数、③指数、④ロジスティック）を行った。なお、ロータリ除雪車の稼働（排雪）時間のみの場合と、稼働時間と非稼働（移動、待機、休止）時間を含めた一連の運搬排雪作業時間について分析した結果を比較した。

3. 分析データの取得と整理

運搬排雪工区の排雪速度と排雪断面積の関係性を把握するため、以下のデータを取得し整理した。

3.1 分析データの取得

平成 30 年度から令和 2 年度に、北海道開発局の札幌・小樽・旭川開発建設部管内の国道で行われた運搬排雪について、除雪機械等情報管理システム（以後「システム」という。）と排雪日報から運搬排雪データを取得した。ロータリ除雪車の位置情報とロータリ装置の稼働状況をシステムから出力し、排雪量については、該当日時の排雪日報から抽出した。取得データは、ロータリ除雪車毎に運搬排雪作業 1 回当たりを 1 件とし、取得した 4,358 件のうち、運搬排雪工法や作業区間延長毎に排雪量を算出できないデータ等を除き、920 件を分析データとした。

運搬排雪に使用されたロータリ除雪車の規格には、一車線積込型、2.2m 級、2.6m 級等があった。なお、取得したデータでは、堆雪の全てを排雪する巻出工法と、車道部を排雪する拡幅工法が実施されていた（図 3）。

ロータリ除雪車の運搬排雪サイクルを確認するため、システムのロータリ除雪車移動履歴から時間変化に対する距

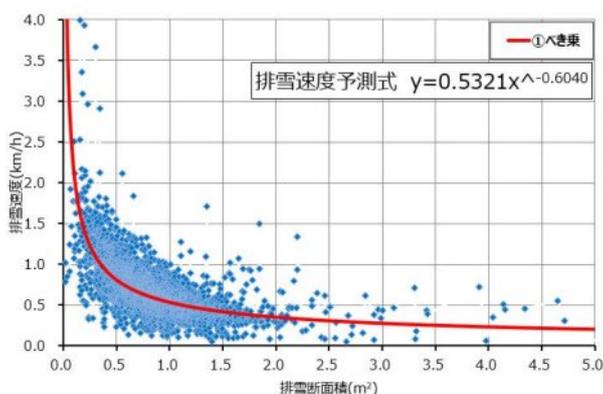


図 2 ロータリ除雪車が実際に作業した作業区間長に対する分析結果⁸⁾：相関検討手法①べき乗（作業区分なし・全機種・全地域・5ヶ年分）

離標（KP）と速度をグラフ化した例を示す（図 4）。低速で移動している箇所は排雪（ダンプトラックへ堆雪を積込）、速度が 0 の箇所では待機（ダンプトラック待ち等）または休止（休憩等）、速度が大きい箇所では移動（区間内の他箇所への移動等）していると推測され、排雪、待機または休止、移動を繰り返すことで運搬排雪を実施している（図 5）。なお、システム上での位置情報等の取得間隔は 1 分である。

3.2 分析データの整理

取得した運搬排雪データ（920 件）において、除雪日報から 1 回当たりの排雪量を抽出し、システムから作業時間と作業区間延長を整理し、排雪断面積と排雪速度を算出した（表 1）。

ロータリ除雪車の稼働時間のみを対象とした排雪 A、非稼働時間（移動、待機、休止等）も含めた排雪 B のそれぞれについて作業時間合計を整理し、それぞれの排雪速度を算出した。なお、排雪断面積の平均値は 2.26 m²、排雪速度（排雪 A）の平均値は 0.79km/h、排雪速度（排雪 B）の平均値は 0.26km/h だった（表 1）。

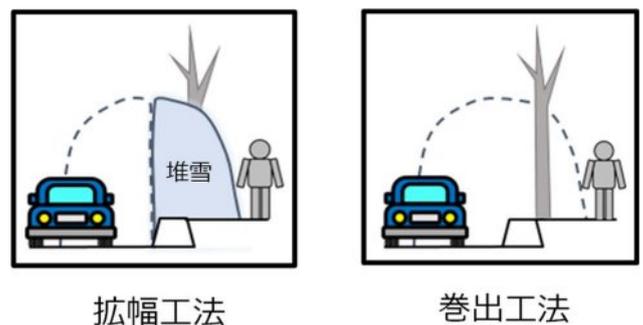


図 3 運搬排雪工法（拡幅、巻出）

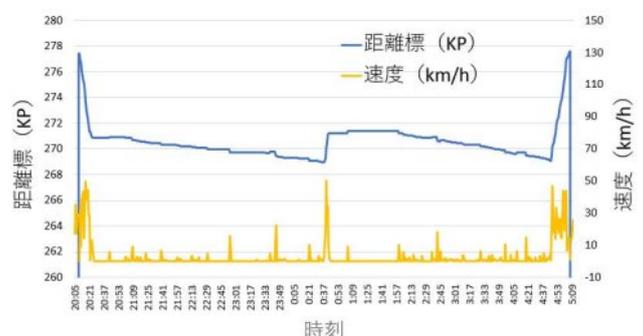


図 4 ロータリ除雪車の位置情報の履歴例（1件）

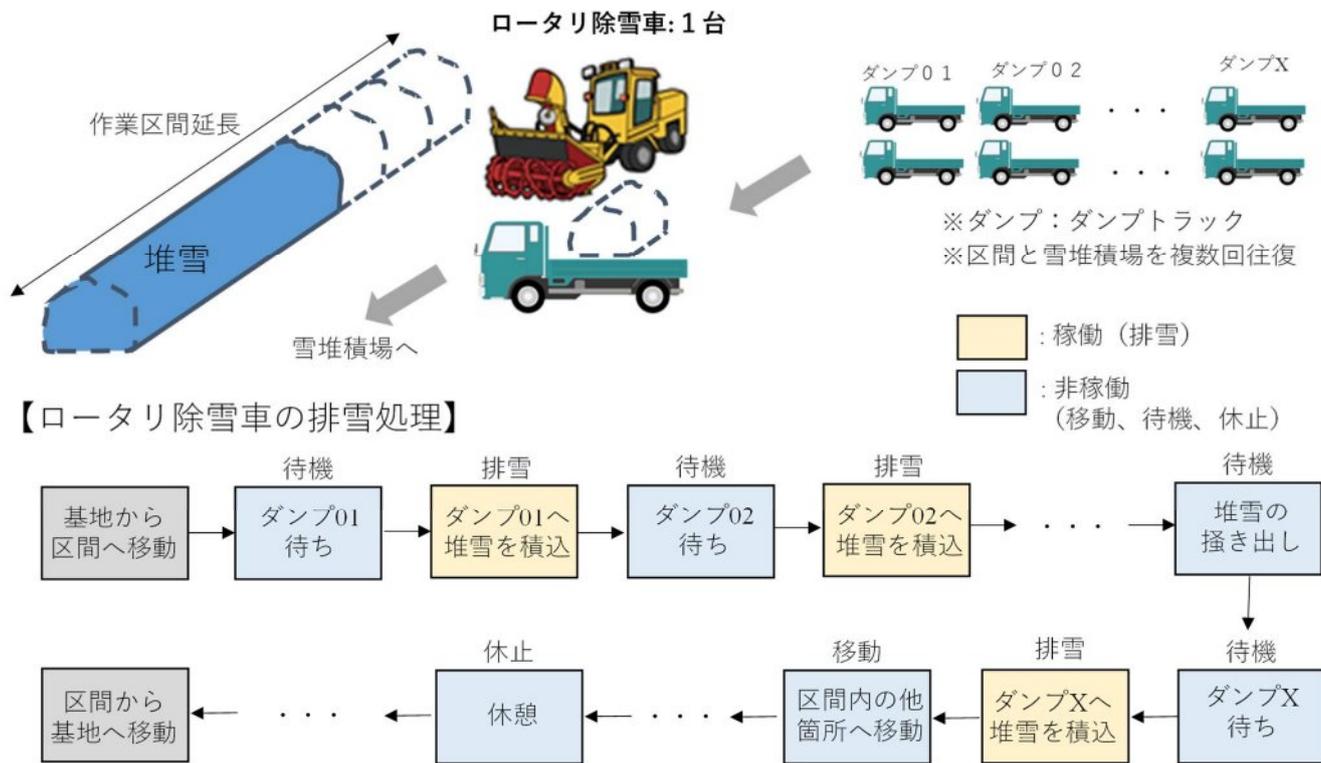


図5 ロータリ除雪車からみた運搬排雪サイクル（1件）

表1 排雪断面積と排雪速度の一覧表（抜粋）

No.	年度	地域	ロータリ除雪車の規格	作業区分	A		B		C		D		E=A/(D*1000)		F=D/B		G=D/C	
					排雪量 (m)	作業時間 (排雪A) (時)	作業時間 (排雪B) (時)	作業区間延長 (km)	排雪断面積 (m)	排雪速度 (排雪A) (km/h)	排雪速度 (排雪B) (km/h)							
1	H30	札幌	一車線積込型	巻出	3,892	2.08	9.12	1.879	2.07	0.90	0.21							
2	H30	札幌	一車線積込型	巻出	3,248	2.68	8.98	2.105	1.54	0.78	0.23							
3	H30	札幌	一車線積込型	巻出	3,472	0.65	2.60	0.367	9.46	0.56	0.14							
4	H30	札幌	一車線積込型	巻出	2,730	2.60	8.50	1.709	1.60	0.66	0.20							
5	H30	札幌	一車線積込型	巻出	2,842	2.48	8.25	1.529	1.86	0.62	0.19							
6	H30	札幌	一車線積込型	巻出	3,206	0.90	5.88	0.630	5.09	0.70	0.11							
917	R2	旭川	2.2m級	拡幅	4,326	2.90	6.63	1.192	3.70	0.79	0.26							
918	R2	旭川	2.2m級	拡幅	4,172	2.92	8.03	3.485	1.20	1.19	0.43							
919	R2	旭川	2.2m級	拡幅	4,970	2.83	7.44	3.253	1.53	1.15	0.44							
920	R2	旭川	2.2m級	拡幅	1,652	1.63	6.47	1.973	0.84	1.21	0.31							
最大値					8,680	8.13	19.10	13.71	14.90	8.84	1.54							
最小値					182	0.03	0.52	0.08	0.14	0.08	0.01							
平均値					3,273	2.84	7.97	2.03	2.26	0.79	0.26							

A：排雪日報より

B～D：除雪機械等情報管理システムのロータリ除雪車履歴より

4. 排雪断面積と排雪速度の回帰分析方法

データを分析するパターンを作業区分、ロータリ除雪車の規格、地域、年度により12パターンとした(表2、(1)～(12))。分析パターン毎に、前項で整理した排雪断面積と排雪速度を分類し、既往研究⁸⁾により相関があると想定

された相関検討手法(①べき乗、②対数、③指数、④ロジスティック)による回帰分析を行った。なお、排雪A、Bのそれぞれについて分析した。

5. 排雪断面積と排雪速度の回帰分析結果と考察

5.1 相関検討手法の妥当性評価

分析の結果、排雪 A、B のそれぞれについて、相関検討手法毎の修正済重相関係数（以後、「修正 R」という。）を表 3、4 に示す。

排雪 A（表 3）では、各分析パターン毎の相関検討手法①～④の修正 R の最大値は、約 0.3～0.8 であり、同様に排雪 B（表 4）では、修正 R の最大値が 0.7 以上となり、排雪 A に比べて高い相関があることを確認した。

一般的に修正 R が 0.7 以上で高い相関があると判断されることから、データ件数が 920 件と最も多く、作業区分、ロータリ除雪車の規格、地域等により分類せずに適用可能な排雪 B の分析パターン(1)での排雪断面積と排雪速度の相関図を示す（図 6）。図 6 において、相関検討手法②対数

表 2 回帰分析パターン（12 パターン）

分析パターン	作業区分	ロータリ除雪車の規格	地域	年度
(1)	区分なし	全機種	全地域	3ヶ年分
(2)	区分なし	全機種	全地域	H30
(3)	区分なし	全機種	全地域	R1
(4)	区分なし	全機種	全地域	R2
(5)	区分なし	全機種	札幌	3ヶ年分
(6)	区分なし	全機種	小樽	3ヶ年分
(7)	区分なし	全機種	旭川	3ヶ年分
(8)	区分なし	2.2m級	全地域	3ヶ年分
(9)	区分なし	2.6m級	全地域	3ヶ年分
(10)	区分なし	一車線積込型	全地域	3ヶ年分
(11)	拡幅	全機種	全地域	3ヶ年分
(12)	巻出	全機種	全地域	3ヶ年分

表 3 回帰分析による修正済重相関係数の一覧表
（排雪 A、相関検討手法①～④）

分析パターン (排雪A)	データ 件数	修正済重相関係数(修正R)			
		①べき乗	②対数	③指数	④ロジスティック
(1)	920	0.5175	0.3580	0.3427	0.3359
(2)	394	0.7160	0.5492	0.6053	0.5988
(3)	178	0.3023	0.0818	-	-
(4)	348	0.6677	0.5986	0.5403	0.5361
(5)	244	0.3555	0.2174	-	-
(6)	237	0.7136	0.6621	0.6244	0.6204
(7)	439	0.5330	0.3951	0.4274	0.4233
(8)	546	0.6726	0.5675	0.6019	0.5969
(9)	6	0.7545	0.8290	0.4358	0.4373
(10)	359	0.3933	0.2648	0.2437	0.2382
(11)	452	0.4517	0.3299	0.2561	0.2508
(12)	468	0.5385	0.3581	0.3661	0.3584

では排雪速度がマイナスになるため妥当性は低く、最も高い相関があった相関検討手法①べき乗に妥当性があると判断した。

5.2 異なる分析パターンとの比較

異なる分析パターンとの差異を確認するため、排雪 B における分析パターン(2)での分析結果を示し（図 7）、図 6 の分析パターン(1)と比較した。分析パターン(1)では（図 6）、排雪断面積 2.0 m²で約 0.20km/h となり、図 7 の分析パターン(2)では約 0.19km/h であり、ほぼ同様の傾向を示した。

5.3 排雪速度予測式の算出

5.1 により妥当性があるとした、排雪 B での分析パターン(1)の相関検討手法①べき乗による回帰式を排雪速度予測式とし、式(1)に示す。排雪速度予測式より運搬排雪を

表 4 回帰分析による修正済重相関係数の一覧表
（排雪 B、相関検討手法①～④）

分析パターン (排雪B)	データ 件数	修正済重相関係数(修正R)			
		①べき乗	②対数	③指数	④ロジスティック
(1)	920	0.7755	0.7469	0.7105	0.7097
(2)	394	0.7939	0.7628	0.7241	0.7235
(3)	178	0.7870	0.7394	0.7127	0.7116
(4)	348	0.7150	0.7046	0.6891	0.6885
(5)	244	0.8611	0.7620	0.7475	0.7458
(6)	237	0.7971	0.7494	0.6734	0.6722
(7)	439	0.7279	0.7160	0.7015	0.7011
(8)	546	0.7418	0.7320	0.6379	0.6373
(9)	6	0.7878	0.8680	0.4551	0.4555
(10)	359	0.7813	0.7393	0.7127	0.7122
(11)	452	0.8054	0.7469	0.7013	0.7000
(12)	468	0.7561	0.7337	0.7122	0.7116

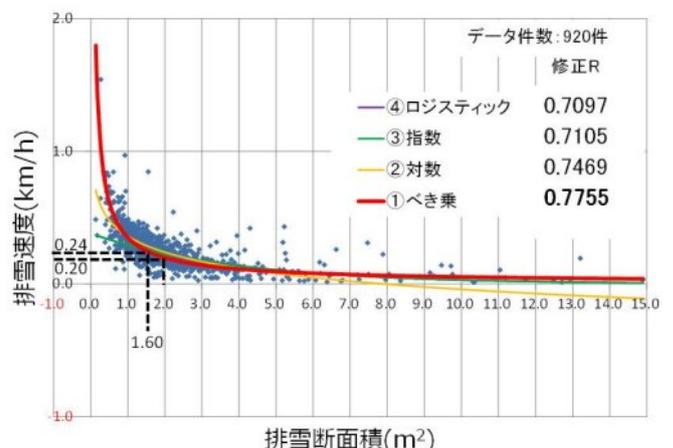


図 6 運搬排雪作業を実施した作業区間延長に対する分析結果：相関検討手法①～④
（排雪 B、分析パターン(1)）

実施した区間での路肩堆雪の排雪断面積から、排雪速度とさらに作業区間延長を加味することで作業時間の把握が可能となる。

例えば、運搬排雪工区での平均排雪断面積が 2.0 m²の場合、約 0.2km/h で排雪処理が可能であり、運搬排雪工区 2.0km を処理するのに約 10 時間程度が必要であると想定される。なお、作業区分、ロータリ除雪車の規格等に限定されず、予測式の使用が可能である。

$$Y = 0.3487X^{-0.8194} \quad \text{式(1)}$$

6. 精度検証

a) 予測式から算出した作業時間と実作業時間の比較

予測式の適用性を確認するため、システムと排雪日報から札幌市内の現道における運搬排雪作業の 1 例を検証データとして抽出した。検証データでは、令和 4 年 1 月 19 日 20 時 53 分から 1 月 20 日 5 時 2 分（約 8 時間）まで、ロータリ除雪車（一車線積込型）により、排雪量 3,458 m³、作業区間延長 2.191km を運搬排雪されていた。これから、排雪断面積が約 1.6 m²（区間排雪量/作業区間長）であり、5.3 で算出した排雪速度予測式（式（1））から、排雪速度は 0.24km/h（図 6）、運搬排雪作業時間は約 9 時間と算出された。実際の非稼働時間を含む作業時間は 8 時間だったため、1 時間（約 11%）の差が生じた。その理由として、ダンプトラックの台数や雪堆積場までの距離等による影響が考えられるため、他工区でも適用性の検証が必要である。

b) 運搬排雪作業を実施した作業区間延長に対する排雪 A、B との比較

非稼働時間の有無による差異を確認するため、分析パターン(2)における排雪 A と排雪 B での排雪速度を比較した。排雪 B での排雪断面積 1.6 m²で約 0.23km/h に対して（図 7）、

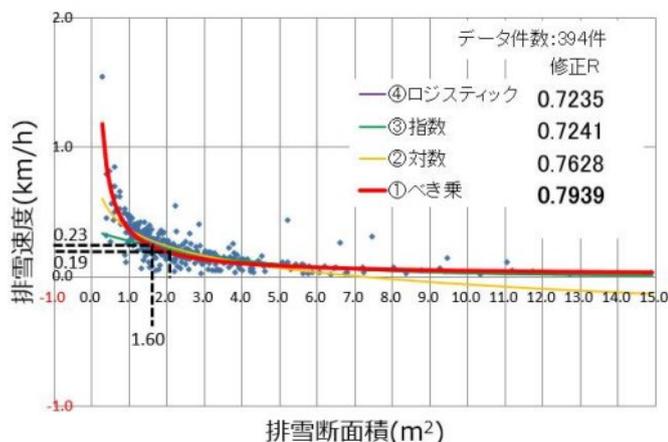


図 7 運搬排雪作業を実施した作業区間延長に対する分析結果：相関検討手法①～④（排雪 B、分析パターン(2)）

排雪 A では約 0.85km/h となった（図 8）。実際の排雪速度は約 0.27km/h（2.191km/8h）であったことから、排雪 B では排雪 A に比べ、より実態に近い排雪速度の予測が可能となった。これにより、排雪 B では稼働時間（排雪）と非稼働（移動、待機、休止）時間を含めた一連の運搬排雪作業としての作業時間が算出可能であり、運搬排雪計画立案に活用できると考える。

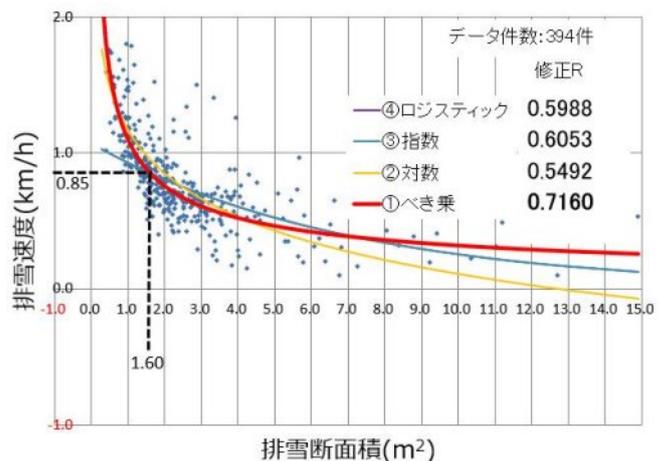


図 8 運搬排雪作業を実施した作業区間延長に対する分析結果：相関検討手法①～④（排雪 A、分析パターン(2)）

7. まとめ

運搬排雪計画立案の支援技術提案のために、運搬排雪データから運搬排雪を実施した箇所での排雪量、作業時間と作業区間延長を整理し、排雪断面積と排雪速度の回帰分析を行った。その結果を以下に示す。

- ロータリ除雪車の稼働時間（排雪）のみを対象とした排雪 A、非稼働時間（移動、待機、休止等）も含めた排雪 B のそれぞれについて、分析パターン毎に排雪断面積と排雪速度の回帰分析（相関検討手法①べき乗、②対数、③指数、④ロジスティック）を行い、修正 R の最大値を比較した結果、排雪 B での最大値は 0.7 以上となり、排雪 A に比べて高い相関があることを確認した。

- 作業区分、ロータリ除雪車の規格、地域等により分類せず、データ件数が 920 件と最も多い、排雪 B の分析パターン(1)での相関検討手法①べき乗による回帰式を排雪速度予測式とした。これにより、稼働時間（排雪）と非稼働（移動、待機、休止）時間を含めた一連の運搬排雪作業時間を算出できることから、運搬排雪計画立案に活用できる可能性を確認した。

- 札幌市内の現道における運搬排雪作業の 1 例を検証データとして、排雪速度予測式を用いた一連の運搬排雪の作業時間と実際の作業時間を比較した。その結果、予測した作

業時間は約 9 時間で、実際の作業時間は約 8 時間であり、1 時間（約 11%）の差があった。その理由として、ダンプトラックの台数や雪堆積場までの距離等による影響が考えられ、他工区にも適用させるため、さらなる検証が必要である。

今後、排雪速度予測式を用いた運搬排雪計画立案の支援技術の提案について、検討を進めたい。

謝辞：本検証では、北海道開発局から除排雪作業実施に関するデータ提供を頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建設機械化協会：2005 除雪・防雪ハンドブック（除雪編）、P. 112、2004
- 2) 国土交通省：第5期国土交通省技術基本計画、p. 9、2022。
https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000891.html (2023年9月6日確認)
- 3) 国土交通省冬期道路交通確保対策検討委員会：大雪時の道路交通確保対策 中間とりまとめ、pp. 14-15、2018（2021 改定）。
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokanri/> (2023年9月6日確認)
- 4) 日本政策金融公庫総合研究所：中小建設業におけるデジタル化と技能継承、pp. 1-5、2023
- 5) 宗広一徳，倉田和幸，伊東靖彦：札幌市内における堆雪形成に伴う交通流変動について，寒地土木研究所月報，No. 835，pp. 12-20，2022.
- 6) 大上哲也，佐々木憲弘，牧野正敏，柳沢雄二：地域・路線特性に応じた基準除雪速度による除雪機械配置計画手法，寒地土木研究所月報，No. 694，pp. 12-20，2011.
- 7) 岸邦宏：ダンプトラックプローブカーデータを用いた運搬排雪計画策定支援技法の開発，研究成果報告書，科学研究費助成事業，2021
- 8) 飯田美喜，植野英睦，久慈直之：運搬排雪作業計画支援のための排雪速度試算について，第35回寒地シンポジウム，2019.

薬液量測定装置設置による業務効率化について

相坂 祐樹* 1

1. はじめに

仙台東管理事務所は、常磐自動車道、仙台東部道路、三陸自動車道、仙台南部道路、仙台北部道路の5路線の総延長85.3kmを管理しており、その内20.8kmが橋梁区間という特徴がある。東北支社管内の橋梁比率平均値は9%であるが、管内の橋梁比率は24%で東北支社管内1位である(図-1)。

管内は太平洋側に位置し、冬期は比較的温暖で降雪が少ない区間ではあるが、長い橋梁区間における床版下部からの冷え込みから凍結が懸念され、雪氷作業は凍結防止剤散布が主となっている。年間の凍結防止剤散布量は約1,500t、凍結防止剤散布作業は約3万kmで、除雪作業の約3千kmと比較すると9割が凍結防止剤散布作業となっている。

本報告は、凍結防止剤散布作業に必要な薬液量測定の合理化を目的に薬液量測定装置を試行導入した成果を報告するものである。



図-1 仙台東管内路線図

2. 現状と課題

凍結防止剤散布作業に必要な凍結防止剤の薬液量管理は、確認のため毎日、作業員が約40kgある薬液槽の蓋(写真-1)を開けて、測定器を薬液槽の中に入れ薬液量の水位を測定し(写真-2、写真-3)、薬液換算表(薬液槽の図面からの容量を算出し、水位から薬液量に換算する表)(図-2)を基に薬液量を算出する作業があり、毎日の重い蓋の開閉は作業員の腰痛発生と天候が悪い時には、足元の凍結等で転倒や指はさみ等の事故発生の課題があった。



写真-1 薬液槽の蓋(約40kg)

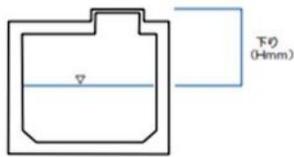


写真-2 薬液量の測定状況①



写真-3 薬液量の測定状況②

* 1(株)ネクスコ・メンテナンス東北 仙台東事業所



H (mm)	積算 (m ³)						
1110	52,560	1480	43,680	1850	34,800	2220	25,920
1120	52,320	1490	43,440	1860	34,560	2230	25,680
1130	52,080	1500	43,200	1870	34,320	2240	25,440
1140	51,840	1510	42,960	1880	34,080	2250	25,200
1150	51,600	1520	42,720	1890	33,840	2260	24,960
1160	51,360	1530	42,480	1900	33,600	2270	24,720
1170	51,120	1540	42,240	1910	33,360	2280	24,480
1180	50,880	1550	42,000	1920	33,120	2290	24,240
1190	50,640	1560	41,760	1930	32,880	2300	24,000
1200	50,400	1570	41,520	1940	32,640	2310	23,760
1210	50,160	1580	41,280	1950	32,400	2320	23,520
1220	49,920	1590	41,040	1960	32,160	2330	23,280
1230	49,680	1600	40,800	1970	31,920	2340	23,040
1240	49,440	1610	40,560	1980	31,680	2350	22,800
1250	49,200	1620	40,320	1990	31,440	2360	22,560

図-2 薬液換算表



写真-6 薬液量測定装置本体（子機）

3. 課題解消のための薬液量測定装置の試行

上記の課題解消を検討し、測定方法を人力から自動化することで、作業員の負担軽減及び作業上のリスクの除去になると考え、仙台東、山田、利府しらかし台の3基地で薬液量測定装置を試行導入した（写真-4、写真5、写真6）。

薬液量測定装置とは、薬液槽の蓋裏に超音波式水位計（写真-7）を取付け、薬液水面との跳ね返りの距離を定期的（15分更新）にクラウドへ送信できるもので、薬液量をスマートフォンまたはPCで適宜確認ができ、各基地の薬液換算表のデータをシステムに取り込むことで基地ごとの薬液量把握が可能となった（図-3、図-4）。



写真-4 薬液量測定装置設置状況（山田基地）



写真-7 超音波式水位計



写真-5 薬液量測定装置本体（親機）



図-3 薬液量測定装置イメージ



図-4 実際のスマートフォンの画像

スマートフォンまたはPCでは、薬液水面との跳ね返りの距離、容量、電圧、更新時間が表示となり、複数箇所を一つの画面で管理することも可能で、指定した数値になった場合、特定のスマートフォンに通知することも可能である(図-5)。

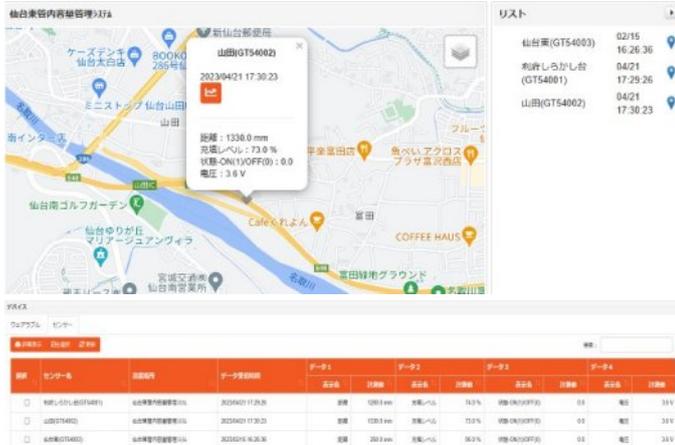


図-5 実際のPCの画像

4. 薬液量測定装置試行の検証内容

薬液量測定装置の試行に伴い、下記の3項目を検証した。

- ① 人力測定と薬液量測定装置との測定精度の比較
- ② 測定装置の耐久性 (塩化ナトリウムの影響でセンサー部が錆びたり故障したりしないのか。)
- ③ 測定装置導入による業務効率化及び危険リスクの回避の効果

5. 試行検証の結果

- ① 測定精度

導入当初は、人力との測定と比較して若干誤差があったが、各基地の薬液換算表のデータをシステムに取り込む際に設定変更を行い簡単に修正ができた。

薬液製造中に異常値(図-6)が出る時もあったが、薬液製造後では異常値の発生は無かった。



図-6 異常値時の表示

② 測定装置の耐久性

薬液槽の蓋裏に装置を取付けるため、塩分による影響で超音波式水位計のセンサー部が錆びることが懸念されたが、4ヶ月使用した結果、錆びることはなかった(写真-8)。

また、薬液槽の蓋に装置を取り付けているため、忘れてそのまま降ろして破損させることを懸念して、破損防止の工夫として注意喚起用の表示ラバーコーンを設置した(写真-9)。(破損事象の発生なし)



写真-8 センサー部の状況



写真-9 注意喚起標示

③導入効果（作業員及び雪氷管理員へのヒアリング）

毎日の薬液量測定作業が無くなったので、作業員は別の作業に早期に着手できるようになった。

薬液残量が定期的に表示されるため、各基地からの電話報告が不要となり確認が簡易になった。

重たい薬液槽の蓋の開閉が無くなったので、作業員の手足の挟まれや転倒等の危険リスクも無くなった。

6. 費用対効果

薬液量測定装置 1 箇所当たりの費用は、月額約 6 万円のレンタルである。人力測定は、普通作業員の時間単価 2,500 円（宮城県労務単価 R4.3 月）、薬液量測定時間 10 分、雪氷期間 150 日で算出すると年間約 20 万円となる。薬液量測定装置では、月額 6 万円、期間 5 ヶ月で算出すると年間 90 万円となり、費用は約 70 万円増加することになるが、薬液量管理は毎日確認するため、150 日の 3 基地分で 450 回の危険リスクを回避することができる（表-1）。

表-1 人力測定と薬液量測定装置の比較

人力測定		薬液量測定装置	
普通作業員	2,500 円/h	測定装置	60,000 円/月
測定時間	10 分		
雪氷期間	150 日	期間	5 ヶ月
合計時間	1,500 分		
	25 h		
金額	62,500 円	金額	300,000 円
×3基地	187,500 円/年	×3基地	900,000 円/年
危険リスク	450 回	危険リスク	0 回

7. まとめ

今回の薬液量測定装置の試行導入の結果、薬液量測定を人力から自動化に見直したことにより、従前の作業と比較して、作業員の負担軽減や労働災害防止に大きく貢献する効果を検証できた。仙台東管理事務所では、今回の効果検証により、装置導入は有効と判断できたことから来年度すべての 6 基地に薬液量測定装置を導入し、塩分濃度管理（図-7、図-8）もできるよう更なる業務効率化に努めていく。

また、この取り組みは、全ての雪氷基地の薬液槽でも採用が可能であることから、作業員の高齢化の進む雪氷作業における業務の効率化及び作業員の安全性向上効果を踏まえ、他の事務所へも取り組みを紹介して広めていきたい。

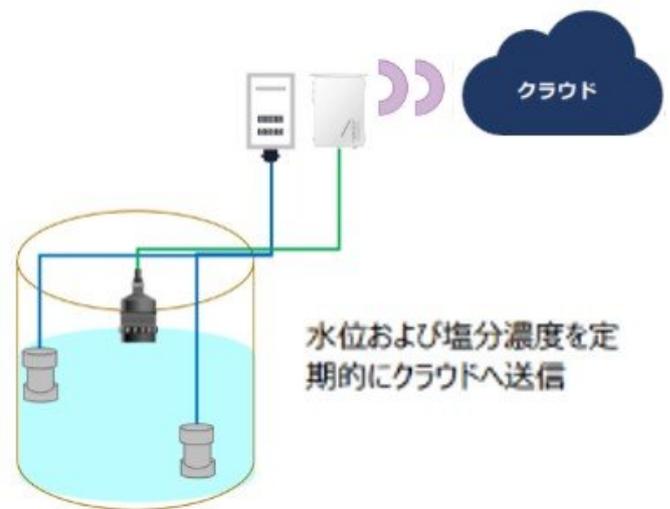


図-7 来年度の薬液量測定装置イメージ



図-8 来年度のスマートフォンイメージ

凍結防止剤 塩化ナトリウムの固結防止対策について

大竹 晴也*1 小野 秀樹*2 吉田 隆紘*2

1. はじめに

高速道路における凍結防止剤は塩化ナトリウム（以下、「塩ナト」という。）を使用しているが、塩ナトは低温や高湿度により水分と結合して固結してしまう欠点がある（写真-1）。固結防止のため薬剤庫内をジェットヒーターで暖房も行っているが、雪氷作業時に固結した場合は作業員が「かけや」や「エア－ハンマー」により粉砕作業を行っており、雪氷作業の時間ロスや粉砕作業時の安全対策に課題があった（写真-2～4）。本報告は上記課題解消のため、青森中央基地のサイロ式薬剤倉庫で試行した塩化カルシウム（以下、「塩カル」という。）の混合による固結対策を報告するものである（写真-1）。



写真-1 青森中央基地サイロ



写真-2 かけやによるトンパック粉砕イメージ

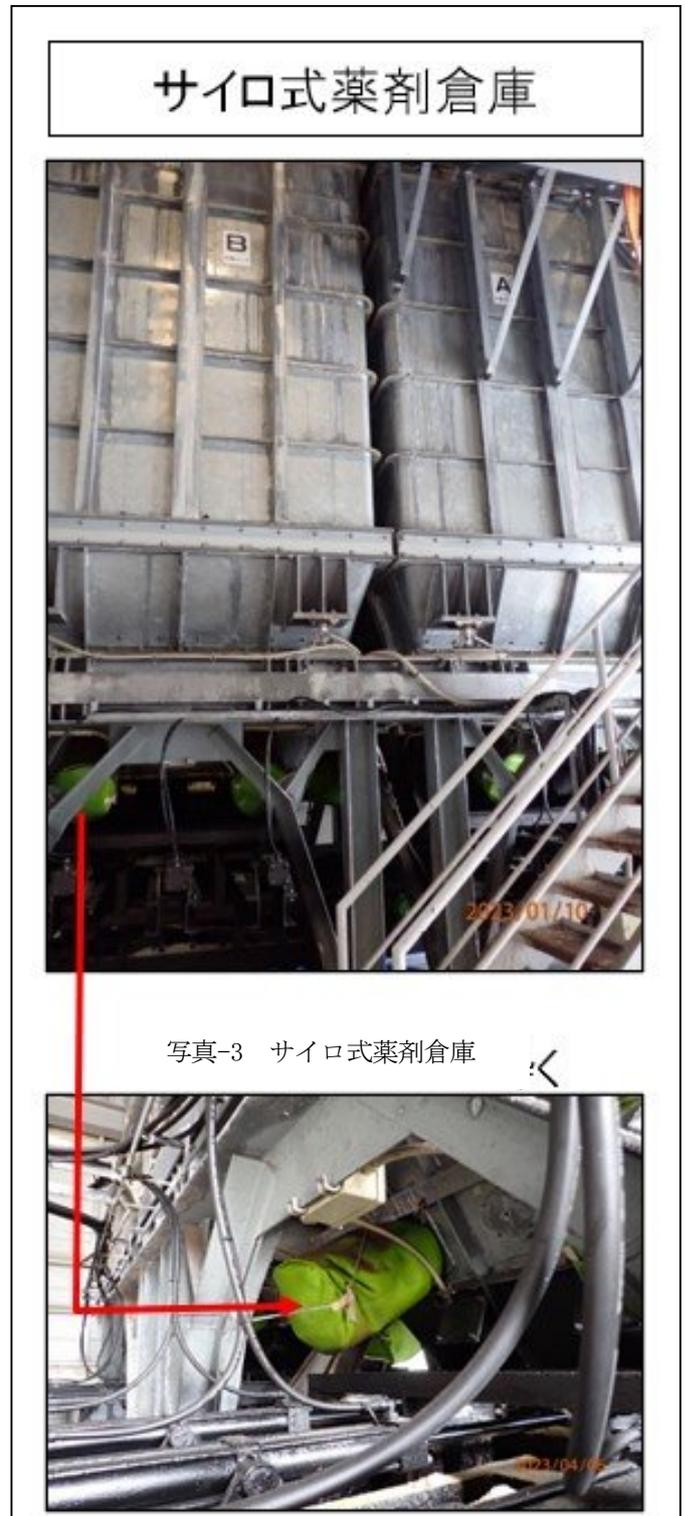


写真-3 サイロ式薬剤倉庫

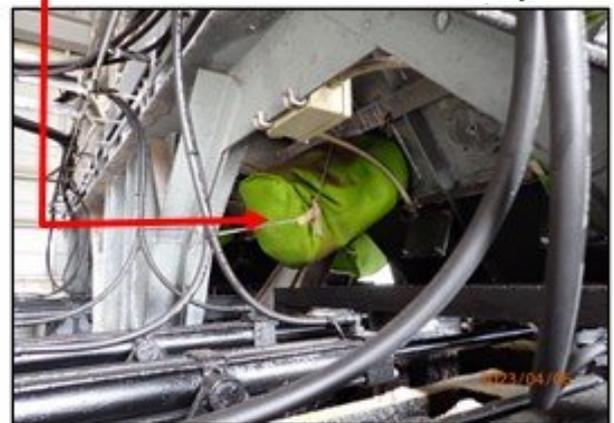


写真-4 エア－ハンマーによる粉砕状況

*1 ネクスコ・メンテナンス東北 南東北総合事務所

*1 ネクスコ・メンテナンス東北 青森事業所

2. 固結対策（塩カルの添加）

固結対策として、東日本高速道路株式会社技術部総合技術センター技術開発チーム（以下、「技術開発T」という。）の紹介で、塩カルの水と結合して発熱する効果を利用した塩ナトに塩カルを混合する対策を採用した（図-1）。

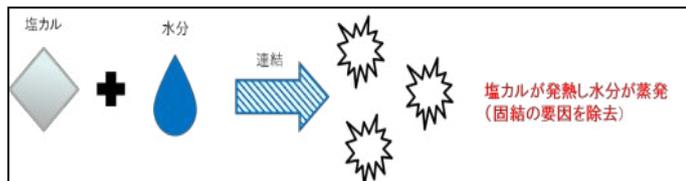


図-1 塩カルと水分の結合による発熱イメージ



写真-6 ダンプによる塩ナト納入状況

3. 塩カルの混合率

技術開発Tの試験結果（表-1）より、青森管内は過去の気象データからマイナス20℃以下にならないことから塩ナトと塩カルの混合率は99：1を採用した。

表-1 混合率による温度・固結状況の変化

凍結防止剤+混合剤	含水率	混合率	固結状況				
			0℃	-5℃	-10℃	-15℃	-20℃
塩化ナトリウム (混合剤なし)	3.0	0	0	0	2	2	3
	5.0	0	0	0	3	3	3
	8.0	0	0	0	3	3	3
塩化ナトリウム +塩化カルシウム	3.0	99:01	0	0	0	0	1
		98:02	0	0	0	0	0
	5.0	99:01	0	0	0	0	3
		98:02	0	0	0	0	0
	8.0	99:01	0	0	0	0	3
		98:02	0	0	0	0	3

【固結状況】0：固結が無い状況。1：弱い固結。2：手で崩す事が可能な固結。3：硬い固結



写真-7 ホッパーへの投入状況

4. 塩カルの混合

塩ナトは10tダンプトラック1台で8t納品されることから、塩カルは約1%に当たる75kg（小袋：3袋）を納品の都度、ホッパー内に混合した（写真-5～7）。



写真-5 塩カルの混合状況

5. 試行結果

青森中央基地における気象状況と塩ナトの納入及び塩カルの混合は表-2の通りである。気象状況は令和3年度と比較して平均気温・平均湿度は同程度の条件であり、試行結果を作業員にヒアリングしたところ、令和3年度は塩ナトの固結が2回発生した（写真-8）が、令和4年度は固結が無く順調に薬剤散布車への積込・散布作業ができたとのことであった。

表-2 気象と塩ナト納入・塩カル混合状況

	平均気温 (°C)	平均湿度 (%)	塩ナト納入 (t)	塩カル混合 (t)
11月	8.7(9.0)	76(79)	40	0.375
12月	0.8(1.7)	85(82)	248	2.325
1月	-1.1(-1.2)	82(82)	304	2.85
2月	0.0(-0.8)	81(78)	248	2.325
3月	5.9(3.7)	70(71)	0	0
合計			840	7.875



写真-8 令和3年度 サイロ内固結状況

6. 経済比較と評価

表-3より、塩カルの混合は、1シーズン当たりの固結対策としては従前のジェットヒーター（写真-9）による暖房よりもコストがかかる結果となったが、これまで年に数回見られていた塩ナトの固結が解消したことにより粉砕作業の追加がなくなり、雪氷散布作業の時間ロス解消や作業員の安全確保の向上に貢献できた。

表-3 塩カルの購入費とジェットヒーターの経済比較

塩カルの混合			ジェットヒーターによる暖房		
塩カル使用量	単価	金額(税抜き)	灯油の使用量	単価	金額(税抜き)
7,875kg	110	866,250	3,155L	100	315,500
			リース代1式	123,600	123,600
866,250			439,100		



写真-9 ジェットヒーターによる暖房状況

7. 今後の取り組み

今後、青森管内では、サイロ式薬剤倉庫からトンパック式薬剤倉庫へと改築していくことから、0.1t単位で計量・積み込みできるDDホッパーを活用している（写真-10～15）。そこで、サイロ式とトンパック及びDDホッパー式の塩カルの混合対策について、経済比較を行った。薬剤倉庫に塩ナ

トが40tあると仮定した時、サイロ式の場合は、ストック量の40tに対して、その1%に当たる0.4tの塩カルの混合をするため、塩カルの材料費は44,000円必要となる（図-2）。

しかし、トンパック及びDDホッパー式の場合は、薬剤散布車に塩ナトを2.5t積み込みした際に、DDホッパー内に残った0.5tに対して、その1%に当たる0.005tの塩カルを混合することになる。これを40tに換算すると塩カルの混合は0.04tとなり、塩カルの材料費は4,400円の費用となる。

更に、雪氷対策作業において一日を通して塩ナトの散布作業を行う場合は、DDホッパー内に残った0.5tは、短時間で使用することから、塩ナトの固結の可能性が低く、塩カルの混合による固結対策を必要としないため、サイロ式に対して大幅なコスト削減ができると期待している（図-3）。

また、本取り組みは、DDホッパー内に残った塩ナトの固結対策にも有効であると思慮する。



図-2 サイロ式の場合



図-3 トンパック及びDDホッパー式の場合



写真-10 DDホッパー



写真-13 DDホッパーからの投下調整状況



写真-11 DDホッパー1t塩ナト投入状況



写真-14 塩ナト投下状況



写真-12 投入後



写真-15 DDホッパー内のメモリ

門型標識着雪対策

鈴木 優崇*1、鶴田 悠斗*1、佐藤 信昭*2

1. はじめに

東日本高速道路（株）東北支社北上管理事務所は、東北自動車道一関 IC～花巻 IC 間、秋田自動車北上 JCT～湯田 IC 間、釜石自動車道花巻 JCT～東和 IC 間の合計 102.7km の維持管理・料金サービスを行っている。

北上事業所管内には本線を横断する門型柱が複数設置されており、雪氷期には門型柱に着雪した雪塊が落下し通行するお客様車両に損傷を与えることが想定される(写真1)。人力により門型柱の雪落としを行っているが、降雪の状況によってすぐに雪落としができない場合がある。本論文はシートによる門型柱の着雪を自然落下させ、作業の安全性向上と落雪による事故の防止を目的として試行した結果を報告するものである。



写真2 足場を使った除去状況



写真3 車線規制での除去 写真4 丸形鋼構造着雪除去



写真1 門型柱に着雪した状況

2. これまでの対策方法と問題点

北上管内の門型柱には、点検用足場が設置されている門型柱と設置されていない門型柱がある。点検用足場がある門型柱は足場を使い人力で着雪を除去(写真2)しているが、足場のない門型柱は、車線規制を実施し高所作業車を用いて雪落としをしている(写真3)。丸形鋼構造の門型柱においては、塩化ビニル管にロープを接続し人力で引っ張り雪落としをしているが追い越し車線まで横断しながら作業するため危険が伴う(写真4)。

着雪除去作業は1日に1,2箇所ほどしか作業できず、除去作業に時間がかかるため全ての門型柱に手が回らない状況であり、天候不順によっても除去作業ができず、門型柱の雪塊が成長する状況であった。

3. 着雪防止シートの効果検証

3-1 着雪防止シート概要

降雪状況により除去作業ができない場合を考え、門型柱の着雪抑制を目的とし、雪塊になる前に落雪させる着雪防止シート設置を試行した。試行設置の対象としては、トラス構造(写真1)の門型柱を対象とし、東北道の8か所でそれぞれ2タイプの着雪防止シートを検証した(表1)。着雪防止シートの素材は、横断幕と同じ撥水性に富んでいるターポリンを採用し、被覆ワイヤロープにシートを被せるような形で、インシュロックにてシートを固定設置した。プラン①のシートは、風による影響を大きくするため側面をインシュロックで固定せず、バタつきによる振動を目的とした構造(図1)。プラン②のシートは、側面を固定し傾斜を作り、着雪した雪の重みにより自然落下する構造(図2)として試行設置した。

項目	プラン①	プラン②
設置目的	風を利用し、自然落下	傾斜利用で、自然落下
備考	側面を固定せず、風によるシートのバタつきによる落雪効果	△形状として、傾斜を利用し着雪を防ぐ
材料費 (シートのみ)	42,000円	43,000円

表1 着雪防止シート概要

*1 (株)ネクスコ・メンテナンス東北 北上事業所 *2 東日本高速道路(株)東北支社 秋田管理事務所

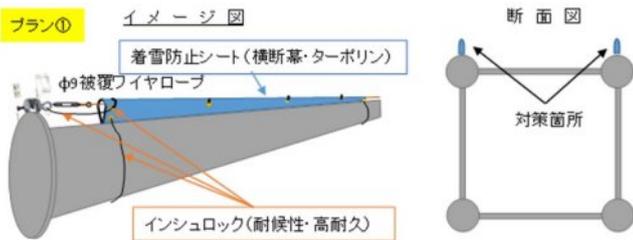


図1 プラン①概略図

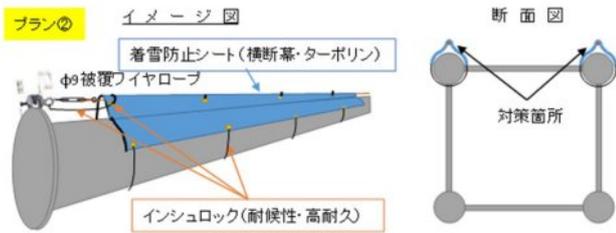


図2 プラン②概略図

3-2 着雪防止シート試行結果

試行の結果、2タイプのシートともに一定の効果は得られた。雪質や風向風速により着雪状況は変化するものの、設置前に比べ設置後は多量に着雪することはなかった（写真5）。また、車線規制や人力による雪落とし作業が軽減したため作業の安全性も向上した。しかし、プラン①はシートのバタつきは大きい反面めくれ上がりが発生、プラン②は傾斜による自然落下に加えて、風力によるバタつき効果も確認された。



写真5 タイプ別シート設置効果

3-3 今後の対策

試行結果として、着雪抑制効果と門型柱に対するシートの安定性ともにプラン②の方が優れているため、今後はプラン②のシート設置を検討していく。新たな課題として、対策未実施の門型柱のフランジ部とその直下のトラス部に着雪が確認された（写真6）。課題の着雪箇所は人力で雪落としを実施したが、前述した問題からプラン②のシート設置を検討。今後の対策として、対象としていた東北道8箇所以外の門型柱にもシート設置を実施し、作業の効率化と安全性向上に努めていく。



写真6 フランジ部・トラス部の着雪状況

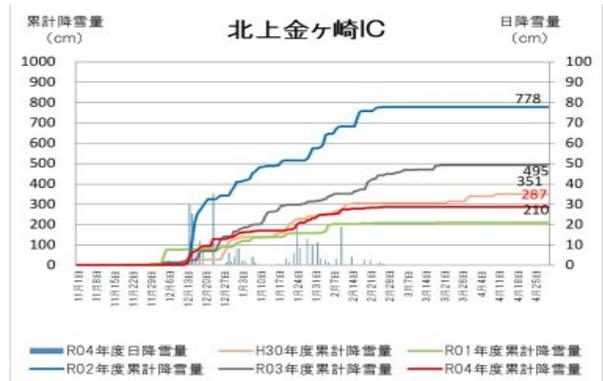


図3 北上金ヶ崎 IC 累計降雪量

4. まとめ

今回試行した2タイプの着雪防止シートは、着雪防止対策として一定の効果が確認されたがプラン①に比べプラン②の方が門型柱に対するシートの安定性及び効果が良好なものであった。フランジ部とその直下のトラス部に雪塊が残ることが確認されたためその部分にもプラン②の着雪防止シートを設置する案で検討する。令和3年度トラス構造門柱からの落雪による第三者被害が3件であったのに対し令和4年度は0件であった。北上金ヶ崎 IC の気象観測データによると累計降雪量は令和3年度が495 cmに対して令和4年度が287 cmであったため門型柱に着雪するリスクも低減したとも考えられる（図3）。

令和5年度の雪氷期も同対策を実施検証し落雪によるお客様への損傷事故「ゼロ」の高速道路空間提供を目指していきたい。

山内PAに新たに設置した通用路の活用報告について

成田俊也*1 伊藤和明*1 佐々木淳矢*1

1. はじめに

高速自動車道（秋田自動車道）の湯田IC～横手IC間は弊社が管理する管内屈指の豪雪地帯となっている。区間内に存在する山内PAは冬季に入ると日平均20cm以上の積雪を記録する地域であり、お客様が高速自動車道の休憩施設を利用できるよう、休憩施設内の歩道部及び駐車マスの除雪作業を行う必要がある。

山内PAの除雪作業ではタイヤショベル（1.3m³）を利用しているが、施設を供用しながらの除雪は、お客様の通過により作業が一時停止するなど気を配ることが必要で、作業時間が伸びてしまい、歩行するお客様は靴が埋まりながら利用する状況であり、お客様サービスの低下がみられるため、作業時間の短縮など対策が必要である。

作業時間の短縮やお客様サービスの向上を目的とし、山内PAに通用路を設置することで、除雪作業の効率化・時間短縮・安全性を向上させることができると考え、実施したので報告する（写真-1, 写真-2）。

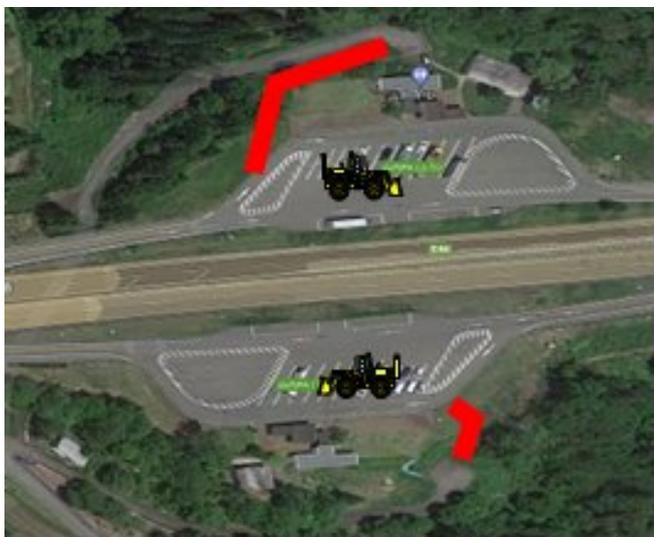


写真-1 山内PA通用路作成図



写真-2 山内PA タイヤショベル(1.3m³)作業状況

2. 現況と課題

現在、山内PA内の除雪作業は、上下線を1日で行っている。片一方の作業箇所完了後、約30分の移動時間、上下線で約4時間の作業時間、合計約4時間30分作業の時間に費やしている現状で、2箇所（上下）・1回/日が限界である。

このような現況から豪雪時には片一方の作業が完了した後も山内PAの駐車マスは圧雪状態が続いてしまい、お客様サービスの低下がみられる現状である。豪雪時は、お客様サービスの低下と併せ、冬季問題となる車両のスタックが発生することもある（写真-3）。



写真-3 山内PA除雪作業完了後（豪雪時）

※1 (株) ネクスコ・メンテナンス東北 横手事業所

課題解決のための除雪作業を2箇所・2回/日とすることを目標として、車両規格変更・作業経路の見直し・作業手順の再確認等を検討した。また、作業性向上と併せ作業時の安全対策として作業危険箇所の把握・作業エリアの明示方法・作業方法の見直し等を検討した（写真-4）。



写真-4 作業エリアの明示

検討の結果、山内PAに通用路を設置することで従前より懸念されていた作業効率向上・作業時の安全対策の課題解決を図った。

3. 結果報告

今回、山内PAに通用路を設置・使用した結果を下記に記載する（表-1）。

表-1 年度比較表

	施工性	安全性	経済面
R3年度	4.0h/回	1回/日	300万/年
R4年度	3.0h/回	2回/日	240万/年
比較値	-1.0h/回	+1回/日	-60万円/年

作業効率（施工性）は、車両（タイヤショベル）の規格を1.3m³から2.0m³にサイズアップし、バケット幅が2340mmから2550mmと広くなったことで除雪幅が広くなり、作業エリア内の除雪回数が削減した。それにより、R3年度に比べ、R4年度は約1時間（60分）の作業時間短縮を行うことができた（写真-5、写真-6）。



写真-5 変更前 タイヤショベル (1.3m³)



写真-6 変更後 タイヤショベル (2.0m³)

作業経路は、通用路を設置したことにより回送時間が短縮された。以前は、上り線の山内PA作業後、最寄りの湯田ICを経由し、下り線の山内PAへの回送を行っていたが、作業経路見直し後は、通用路から下り線山内PA近くのボックスカルバートを経由し上り線山内PAへの回送となり、作業経路が短くなったことで約20分の時間短縮ができた（図-1）。

図-1 作業経路簡略図



作業効率の結果と合わせると、合計1時間20分の作業時間短縮を行うことができた。これにより、作業1回あたり約3時間での施工（作業・回送）が可能となったため目標としていた2箇所・2回/日を行うことができ、豪雪時におけるお客様サービス向上も行うことができた（表-2）。

表-2 作業効率詳細比較表

	R3	R4
上下線	時間	時間
上 山内P A	2.0h	1.5h
回送	0.5h	0.1h
下 山内P A	2.0h	1.5h
合計	4.5h	3.1h
比較値		-1.4h

作業時（お客様及び作業）の安全対策（安全性）については、お客様が利用する際には、除雪作業の作業エリアを明確にすることで、お客様の作業エリア内誤侵入・車両に轢かれるなどの二次災害防止を行った。

（写真-7, 写真-8）



写真-7 山内P A 車両誘導状況



写真-8 作業エリア明示状況

作業を行う際には、通用路をタイヤショベル(2.0m3)が通行するため、縁石（構造物）等への接触による損傷を防止（明示）する必要性があり、縁石設置箇所へ棒状の視線誘導標を設置し、夜間及び冬季における視認不良対策を行った（写真-9）。また、洗堀予防対策のワラ芝

を設けることで雨粒等での衝撃を和らげ、緑化の促進も行った（写真-10、写真-11）。



写真-9 山内P A通用路（冬季状況）



写真-10 ワラ芝設置状況



写真-11 通用路現況写真

また、経済性においても下表のとおり改善された（表-3）。

表-3 経済性比較表（1シーズン当たり）

	規格	台数	金額	合計
R3	1.3m ³	2台	150万円	300万円
R4	2.0m ³	1台	240万円	240万円
差額		-1台		-60万円

R3年度は、タイヤショベル(1.3m³)を2台使用しており、1台当たり約150万円を2台使用していたため、約300万円の費用がかかっていた。R4年度は作業効率向上に合わせ車両の規格をサイズアップし、タイヤショベル(2.0m³)の1台で作業が可能であったため車両減少を行った結果、約240万円となり、約60万円もの費用削減を行うことができた。

4. まとめ

今回、山内PAの通用路を設置したことで、山内PA内除雪作業が効率化し、お客様サービスを向上できた。また、作業時（作業及びお客様）の安全対策を実施することができた。

本件は、高速道路のIC間距離が長い区間での除雪作業における作業の効率化を図ったものであるが、同様の課題を抱えている箇所が多いと思われる。上記のような事象が発生した際には本稿を参考としていただければ幸いである。

今後は、弊社の主な作業である維持修繕作業を更に効率化させ、お客様サービスに努め、高速道路の安全・安心・快適・便利をお客様へ提供するため日々精進していく（写真12、写真13）。



写真-12 通用路 完成写真（下り線）



写真-13 通用路 完成写真（上り線）

信頼性向上に向けた除雪機械整備の課題と対応について

藤巻 聡*¹ 中田 京之介*¹

1. はじめに

現在、新潟国道事務所は、新潟県下越地方の国道7号、8号、49号、113号、116号の5路線を管理しており、冬期間は108台の除雪機械で、延長236.8kmの道路交通確保を行っている（図-1、写真-1）。一般国道7号、8号は日本海沿岸を縦断する唯一の国道であり、49号、113号は福島、山形県との県境を持ち、そのうち113号については高速自動車国道等の代替え路線を持たない。このように、当事務所は、地整管内において、極めて重要な冬期交通確保の使命を持つ環境の事務所である。



図-1 新潟国道事務所管内図



除雪機械 計108台

写真-1 保有する除雪機械

2. 除雪機械整備の現状

除雪シーズン中の機械の故障は、冬期道路交通確保に大きな影響を及ぼしかねないことから、故障を未然に防止するため、シーズン前の4月から10月の間に整備作業受注者と打合せを密にしながら万全の整備を行っている。

一方で整備の予算には限りがあり、労務費及び部品費の高騰から1台当たりの費用を抑制する必要もある。この「万全の整備」と「費用の抑制」という、相反する要素についてバランスをとるため、従前より以下の取り組みを実施している。

2.1 機械返納時の状態把握

除雪機械は除雪シーズン前に除雪作業受注者へ貸付け、シーズン終了の後に返納してもらうが、この返納に機械担当職員が立ち会い、除雪作業受注者に直接、不具合箇所を確認して、その内容を整備作業受注者に伝える。その際に整備内容に漏れや齟齬が生じないようにするため、立ち会いを行っている（写真-2）。



2.2 年間定期整備計画打合せ

年度当初に整備作業受注者と年間定期整備計画（表-1）の打合せを行い、部品メーカーの欠品及び納期長期化を踏まえて、年式が古く、整備内容が多そうな機械や、返納立ち会い時に大規模な整備が必要なことが判明している機械をなるべく前倒しで実施し、十分な作業時間・部品調達時間が確保できるよう配慮する等、計画的な整備の進捗管理を実施している。

* 1 国土交通省 北陸地方整備局 新潟国道事務所 防災情報課

表-1 年間整備計画表の例

機械名	機械番号	月	4	5	6	7	8	9	10	11
凍結防止剤散布車	21-2410		引取	整備	納車					
凍結防止剤散布車	22-2402		引取	整備	納車					
凍結防止剤散布車	22-2401		引取	整備	納車					
凍結防止剤散布車	29-2427		引取	整備	納車					
凍結防止剤散布車	R02-2412		引取	整備	納車					
凍結防止剤散布車	28-2419		引取	整備	納車					
凍結防止剤散布車	28-2420		引取	整備	納車					
凍結防止剤散布車	R04-2414		引取	整備	納車					

引取 ■ 整備 ■ 納車 ■

2.3 整備への立ち会い

基本及び、軽微な整備しか必要のない機械を除き、定期整備への立ち会いは、原則現場での立ち会いとしている。

その際、機械の劣化や損傷の状態を直接確認しながら、効果的、経済的な整備内容を整備作業受注者と打合せしながら整備を行っている（写真-3）。



写真-3 整備立ち会い状況

なお、2022年度の年間の立ち会い回数は40回程度、整備工場への移動時間や立ち会い時間を含め、延べ80時間程度を費やしていることから、2023年度からは、立ち会いの効率化のため、工事で実施されている「遠隔臨場」についても試験的に実施したところ、整備箇所が少ない車両には適応可能であることを確認できた（写真-4）。

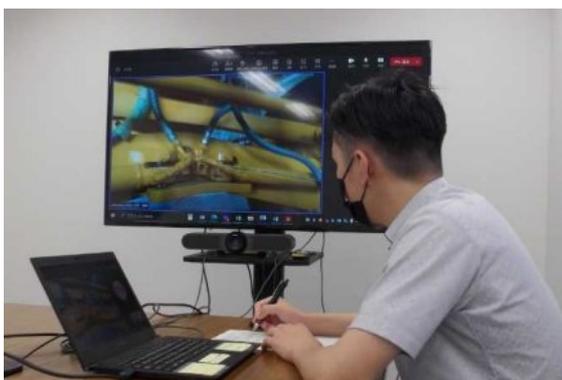


写真-4 遠隔臨場の状況

3. 近年の課題

現在の社会情勢や雇用情勢の変化により、除雪機械の整備に関して新たな課題が顕在化している。

3.1 サプライチェーンのグローバル化

除雪機械の構成部品についても、一般の工業製品と同様にサプライチェーンのグローバル化（部品調達の国際化）が進んでいる。

その中で世界経済の回復やロックダウン、半導体不足の影響等を受け、部品の納期が遅延し（表-2）、納車が冬期に間に合わず、本来なら下取り車として整備の必要が無い更新予定の車両を整備しなければならないケースが増えてきている。

表-2 納期のかかる部品の例

機種	部品名	期間
除雪トラック	ABSセンサー	2ヶ月
除雪グレーダ	サークルリバースギア	2ヶ月
	ブレードスライドレールガイド	1ヶ月
凍結防止剤散布車	フロントリーフスプリング	2ヶ月

3.2 働き方改革の影響

新潟国道事務所で現在契約している整備作業受注者は、除雪シーズン中の故障時には夜間・休日においても対応している。

しかし、近年の働き方改革により、製作メーカー直系（トラック系のベースマシン本体）のディーラー及び部品販売会社では、夜間・休日における対応はしていない。これにより、例えば金曜日の夕方に故障が発生すると、部品取替が必要な場合は、修理完了は月曜朝以降となり、復旧までに時間を要する状況となっている（図-2）。

また、エンジン等で電子制御機器が複雑化し、製作メーカーの専用機器でしか故障内容を判別できないため整備の待ち時間が発生するケースが散見される。これらは対応期間の長期化の一因となっている。

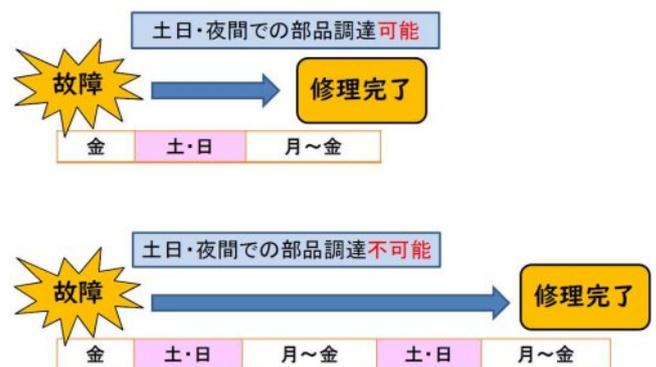


図-2 整備遅延のイメージ

3.3 整備作業受注者の労働環境

除雪機械の整備にあたっては後述の夜間回送や、除雪シーズン中に故障が発生した際には夜間対応を依頼することもある。

しかしながら、除雪機械の整備に携わる自動車整備工は不人気職種であり、就職希望が少なく有効求人倍率が高い(図-3)。そのため現在自動車整備業界では人員確保のため給与条件の改善や労働条件の向上(休日の確保、夜間作業の制限など)等を積極的に取り組んでおり、除雪車整備においても受注者への配慮が必要となっている。



図-3 自動車整備職種の有効求人倍率(2021年度)

4. 課題に対する対応

顕在化してきている新たな課題について、下記のような対応を検討・実施している。

4.1 予防保全の実施、補修部品の事前確保

昨シーズン故障の多かった凍結防止剤散布車(図-4)を対象とし、過去の部品交換実績を整理し、交換サイクルや交換頻度の高い部品の把握を行った(表-3)。

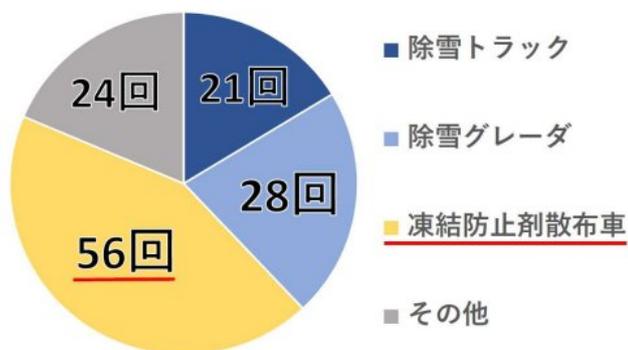


図-4 機種別の故障発生件数(2022年度シーズン)

表-3 部品交換頻度の例(凍結防止剤散布車)

管理番号	工区	ST	ファンベルト			エンジンブロー			フロントリーフスプリング			リアリーフスプリング			フロントタイヤ			リアタイヤ					
			R2	R3	R4	R2	R3	R4	R2	R3	R4	R2	R3	R4	R2	R3	R4	R2	R3	R4			
21-2409	水原	津川	○	○		○	○		○														●
22-2402	新潟	新潟	○	○		○	○				○											○	○
21-2408	新潟	豊栄	●			●																●	
21-2410	新発田	加治川	○	○	○	○	○	○					○										
22-2401	黒埼	白根	○			○					○			●									
23-2405	水原	安田			○																		●
24-2405	黒埼	巻	○	○		○	○	○	○	○	○												
25-2402	新潟	豊栄			●																	○	

【凡例】
● 除雪シーズン中に交換
○ 定期整備時に交換

今年度は一定間隔で交換している部品は、あらかじめ交換し、故障頻度が高く、手配に時間がかかる部品(フロントリーフスプリング:2ヶ月、スピードメータ:1ヶ月など)は事前に確保を行い、除雪シーズン中の故障防止及び対応の迅速化を図ることとした。

4.2 夜間作業の抑制

除雪機械の一部機種は、幅や重量が車両制限令を越えることから、除雪ステーションから整備工場までの運搬に特車申請が必要となっている。許可条件によっては、夜間の回送や先導車の配置が必要となり、本来の機械の整備業務を圧迫している(表-4、写真-5)。

これらの回送業務については、運搬作業受注者へ再委託することを認め、整備工の夜間作業抑制を図った。

また、整備完了後の納車は燃料満タンとしていたが、夜間に納車する場合、翌日に再度ステーションへ行き給油を実施していたことから、この運用を廃止した。

表-4 運搬時の条件

機械名	特車申請の理由	走行許可条件
除雪トラック	幅が制限値超え	先導車付きで自走(経路により夜間走行)
除雪グレーダ	重量が制限値超え	自走(昼夜問わず)
除雪ドーザ	幅が制限値超え	夜間かつ先導車付きで自走



写真-5 夜間回送の状況(先導車付)

4.3 日常管理の徹底

除雪シーズン中の故障発生を抑制するには、事前の整備とあわせ、日々、除雪機械を運転する除雪作業受注者における点検、清掃、給脂等の日常管理も重要となってくる。

そのため、定期整備の結果から日常管理の留意事項をとりまとめた資料(図-5)をシーズン前に各除雪作業受注者へ配付・説明し、適切な日常管理の指導を実施している(写真-6)。



図-5 日常管理留意事項説明資料の例



写真-6 除雪会議・安全教育訓練での留意事項説明の様子

また、近年納入された凍結防止剤散布車には、写真-7のように車体に洗浄用の配管・散水ノズルがあらかじめ設置されており、通常では洗車が困難な車体の奥まで容易に洗浄可能なため、この機構の活用についても指導をしている。

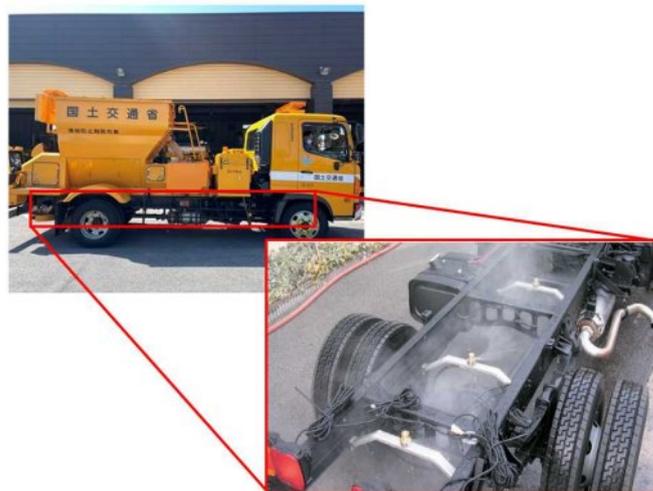


写真-7 凍結防止剤散布車の洗浄機構(共同特許取得済)

5. まとめ

今回の報告した取り組みは、一部の整備作業受注者や一部機種で試行的に実施しただけの事例も含まれており、今後、効果を確認しながら見直しや適応の拡大が必要と考えている。

除雪機械整備の課題への対応については、官側だけでは限界があるため、今後も整備作業受注者、製作メーカーと協議・連携しながら、社会情勢、雇用情勢の変化に対応できるよう、柔軟で迅速、効果的な対応策を模索していきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省自動車局：自動車整備の高度化に対応する人材確保の対策【中間取りまとめ】(案)本文(令和5年3月自動車整備技術の高度化検討会)。
- 2) 範多機械株式会社：散布車・散布機総合カタログ

冬期気象変動からみた消融雪施設の今後に向けて

富樫尚仁，菅野亜寿真，山口正敏，福井秀樹*1

1. はじめに

積雪地域や寒冷地域においては、車道や歩道を中心に消・融雪施設が多く導入されている（写真1、写真2）。消・融雪施設は、当該地における過去の気象条件（降雪量、降雪日数、最低気温、風速）を整理して必要とする熱量を設定し、これに応じた機器選定により施設計画が実施される。

地球温暖化が叫ばれる昨今、冬期の気象状況に変化が見られるようになってきた。例えば、比較的温暖な地域において、いわゆる“ドカ雪”による交通障害の発生が、また、寒冷な地域においても暖冬による降雪量の減少などである。気象条件が異なれば、機器能力も変わり、消・融雪施設の

施設計画ならびに、ランニングコストなどの運用面においても大きな影響を及ぼすことは言うまでもない。特に、近年は、電気料金の高騰によるランニングコストの増大が懸念され、いかに効率的かつ効果的に運用するかについても、施設導入時から考慮する必要がある。

著者らは、過去の冬期気象状況がどのように変化してきたかについて整理しその傾向を分析することで、今後の消・融雪施設計画において役立てられることを目指している。そこで、本報では、3地域（北海道札幌市、山形県山形市、富山県富山市）を取り上げ、各地の過去30年に亘る冬期気象観測結果を整理・分析を試みた。

2. 各地気象条件の整理

2.1 長期的推移

一般的に、消融雪施設の施設計画では、当該地における直近過去10年間分程度の気象データを用いて熱量設定される。これを踏まえ、まずは、長期的な冬期気象変化のトレンドを把握するために、3地域（北海道札幌市、山形県山形市、富山県富山市）における過去30年分（1992年度～2022年度の12月～3月）の冬期観測データを整理した（図1～4）。観測データは、気象庁ホームページ（<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>）より取得した。

図1に、降雪量および降雪日数の推移状況を、下記に集約結果を示す。

<降雪量>

山形市：410(2000, 2011)～58(2019) [cm/シーズン]
平均292 [cm/シーズン]

札幌市：638(1995)～312(2020) [cm/シーズン]
平均444 [cm/シーズン]

富山市：504(2005)～34(2019) [cm/シーズン]
平均265 [cm/シーズン]

<降雪日数>

山形市：68(2010)～21(2019) [日/シーズン]
平均48 [日/シーズン]

札幌市：85(2005, 2009)～48(2001) [日/シーズン]
平均67 [日/シーズン]

富山市：58(2005)～6(2019) [日/シーズン]
平均30 [日/シーズン]



写真1 山形県鶴岡市の歩道融雪状況
(2023/1/21 8時)



写真2 青森県弘前市の歩車道融雪状況
(2022/12/15 11時)

* 1 日本地下水開発株式会社

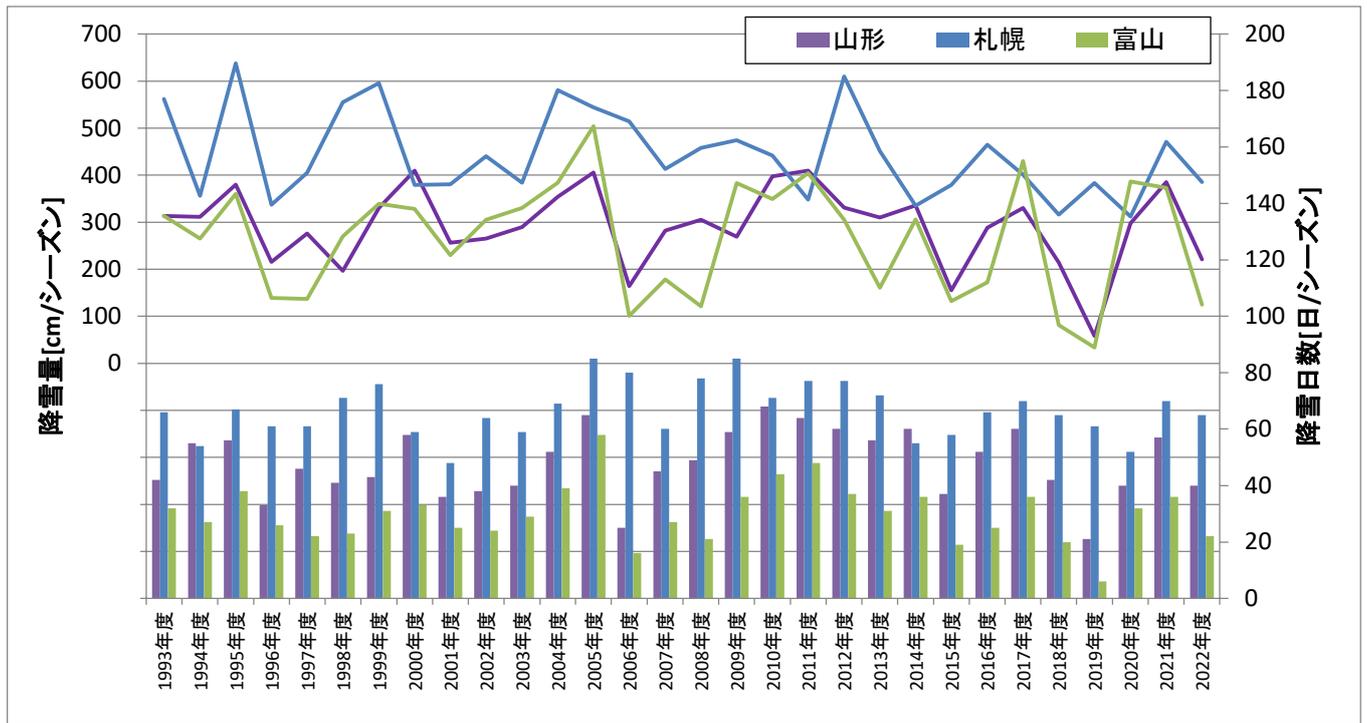


図1 過去30年の降雪量および降雪日数の変化（山形市，札幌市，富山市；1993年度～2022年度）

なお、過去30年間の内、特に2019年度は山形市や富山市で降雪量・降雪日数も少ない状況で、気象庁発表でも“東・西日本で記録的な暖冬となった”旨があったが、札幌市では例年同様な降雪量，降雪日数であった。

図1の降雪量の推移状況から、3都市に於いて過去30年間で減少する傾向が見られる一方で、降雪日数については、年度別のバラツキがあるものの、減少もしくは増加傾向は見られない。シーズン当りの降雪量は札幌市が多く、降雪日数も多い。山形市と富山市では、幾分、山形市で多い状況である。実際の消・融雪施設設計においては、降雪量を降雪日数で除すことで求められる平均日降雪量を基に融雪熱量が設定される。各地での平均日降雪量を算出し図2に示すとともに、各地の降雪傾向の分析を試みた。

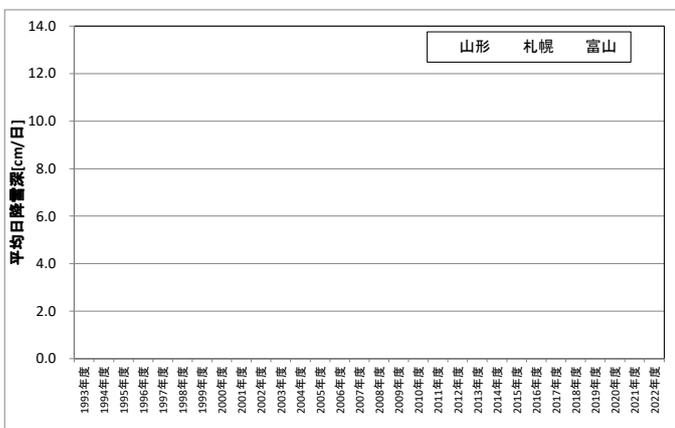


図2 過去30年の平均日降雪深変化（山形市，札幌市，富山市；1993年度～2022年度）

各地での最大値～最小値、平均値は次のようになった。

山形市：7.7(1999)～2.8(2019) [cm/日]

平均6.1[cm/日]

札幌市：9.5(1995)～4.5(2011) [cm/日]

平均6.7[cm/日]

富山市：12.7(2002)～4.1(2018) [cm/日]

平均8.5[cm/日]

平均日降雪量は、富山市が最も多く、また、変動も大きい状況が伺える。富山市では、降雪量の割には降雪日数が少ないため、日当り降雪量（平均8.5cm/日）が大きくなっている。降雪日数が少ないため、普段は降雪が無い状況であるものの、降雪があった場合には1回に降る量が多い傾向が確認できる。一方、札幌市では、降雪量が多いものの、降雪日数も多いため、日当り降雪量（平均6.7cm/日）としてみれば、富山市ほどではない。富山市と概ね同程度の降雪量であった山形市では、降雪日数が富山市より多いため、日当り降雪量（平均6.1cm/日）で見れば、札幌市と同様な傾向が伺える。

図3には、平均日最低気温の推移状況を示す。各地の位置状況を表す様に、札幌市では氷点下で推移する様子が、富山市ではプラス温度で推移する様子が見て取れる。直近では、30年前に比べて年度によっては大きく変動する状況が見られるとともに、札幌市を除き、幾分、全体的に気温上昇の傾向も見られる。

降雪データと平均最低気温の傾向から、比較的温暖と言える富山市においては、少ない頻度の降雪であるが、その際の量は多く、いわゆる“ドカ雪”となる傾向が多いもの

と推察される。一方、札幌市や山形市では、降雪量が多いものの、降雪日数も多いため、大きな変動は見られない。

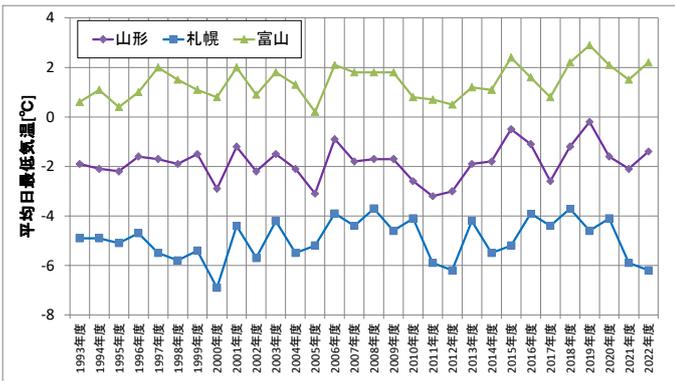


図3 過去30年の平均日最低気温変化
(山形市, 札幌市, 富山市; 1993年度~2022年度)

図4には、平均風速の推移状況を示す。過去30年において、降雪や平均日最低気温ほど年度での大きな変化は見られない。なお、札幌市(札幌管区气象台)においては、2000年9月26日に風向風速計感知部の移設を行っており、これ以降のデータはそれ以前よりも大きく観測されており、観測値にもその影響と考えられる部分が確認できる。

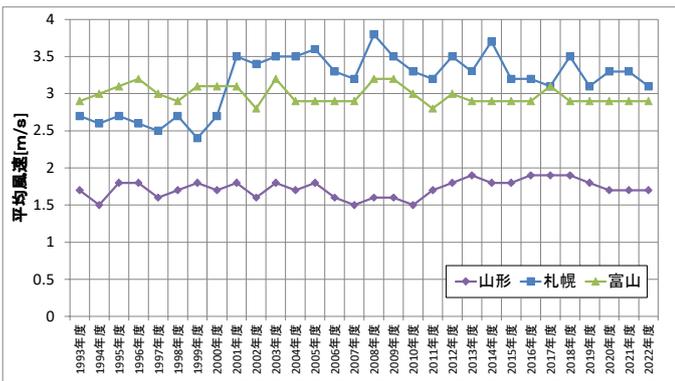


図4 過去30年の平均風速変化
(山形市, 札幌市, 富山市; 1993年度~2022年度)

以上より、過去30年間に亘る長期的トレンドとしては、次の様に総括される。

比較的温暖と言える富山市では、降雪頻度は少ないが1回当たりの降雪量が多いことから、“ドカ雪”となる傾向が見られる。

札幌市や山形市では、降雪量、降雪日数も多いことから、富山市ほど平均日降雪深にバラツキは見られない。

2.2 10年間隔での推移

前述した様に、消・融雪施設では、直近の10年間程度の気象データを基に施設設計が行われる。そこで、直近10年間(2013~2022年度)、その前の10年間(2003~2012年度)、更に前の10年間(1993~2002年度)に分割して整理・分析を試みた。また、それぞれ算出された気象要素を基に、融雪熱量および凍結防止熱量についても試算した。表1~3に取りまとめて示す。

表1 10年毎の気象状況推移(山形市)

	1993年度~ 2002年度	2003年度~ 2012年度	2013年度~ 2022年度
降雪量	2,954cm	3,209cm	2,595cm
降雪日数	448日	527日	465日
平均日降雪深	6.6cm	6.2cm	5.4cm
平均最低気温	-1.9°C	-2.2°C	-1.4°C
平均風速	1.7m/s	1.7m/s	1.8m/s
熱量	融雪 134W/m ² 凍結防止56W/m ²	融雪 134W/m ² 凍結防止56W/m ²	融雪 134W/m ² 凍結防止56W/m ²

表2 10年毎の気象状況推移(札幌市)

	1993年度~ 2002年度	2003年度~ 2012年度	2013年度~ 2022年度
降雪量	4,649cm	4,768cm	3,898cm
降雪日数	627日	741日	634日
平均日降雪深	7.4cm/d	6.5cm/d	6.1cm/d
平均最低気温	-5.3°C	-4.8°C	-4.8°C
平均風速	2.8m/s	3.4m/s	3.3m/s
熱量	融雪 127W/m ² 凍結防止150W/m ²	融雪 137W/m ² 凍結防止154W/m ²	融雪 128W/m ² 凍結防止152W/m ²

表3 10年毎の気象状況推移(富山市)

	1993年度~ 2002年度	2003年度~ 2012年度	2013年度~ 2022年度
降雪量	2,686cm	3,059cm	2,201cm
降雪日数	281日	355日	263日
平均日降雪深	9.5cm/d	8.4cm/d	7.7cm/d
平均最低気温	1.1°C	1.3°C	1.8°C
平均風速	3.0m/s	3.0m/s	2.9m/s
熱量	融雪 197W/m ² 凍結防止 -	融雪 198W/m ² 凍結防止 -	融雪 188W/m ² 凍結防止 -

2003年度~2012年度の10年間は、降雪量(降雪日数)が多くなっているものの、平均日降雪深で見れば、3地域で年々少なくなっている状況が確認できる。

平均最低気温の観点でも、年々温度が高くなる傾向が見られることから、上記と併せ、日本全体で暖冬・小雪傾向に向かっていることが伺える。

図5および図6には、各地の融雪熱量および凍結防止熱量を示した。なお、融雪熱量算定には、雪の密度の値が必要となるが、これは、文献（路面・消融雪施設等設計要領）に示される、平均日降雪深と平均日最低気温から設定している。

平均日降雪深が大きく求められた富山市では、融雪熱量がひととき大きく算定されている。30年間で3分割して比較したところ、多少の変動はあれ、直近10年では30年前より融雪熱量が、富山市、札幌市で5%程度、山形市で13%程度小さくなっている。

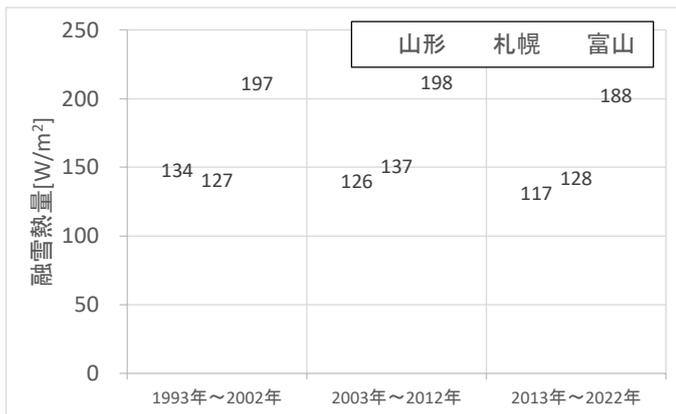


図5 各地の融雪熱量

凍結防止熱量は、30年前に比べ札幌市で1%程度大きくなる一方で、山形市では16%程度、小さくなっている。

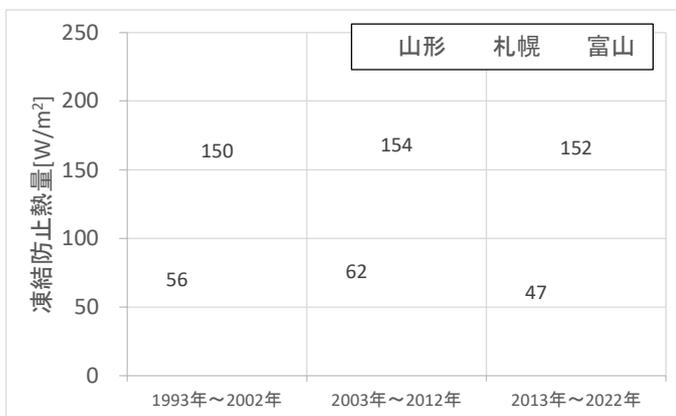


図6 各地の凍結防止熱量

3. おわりに

過去30年の気象データを基に、各地での冬期気象傾向を分析した結果、少雪・温暖化傾向にあることがわかった。これを踏まえ、今後も同様な傾向が続くとすれば、消融雪施設計画に際しては、施設規模の考え方や重要度等についても議論を深めることが必要になると考える。

しかし、少雪・温暖化傾向にあっても、安全な通行区間の確保のためには、交通の要所部などへの消・融雪施設導

入は必要不可欠であり、他の雪対策手法と併せてより効果的な適用が望まれる。特に、少子高齢化の進む現代社会においては、機械除雪・人力除雪の担い手が確保しづらくなっており、人手に頼らない消融雪施設の存在意義はこれまで以上に増していくと考えられる。

ロードヒーティング自動制御装置の測定データによる路面分析・ 気象観測への活用と移動体測定データとの融合

岩橋 拓海*1・長原 俊介*2・秋田 隼希*2・酢谷 浩*1・徳永 透*1

1. はじめに

中日本高速道路金沢支社管内の高速道路において、雪氷対策に様々な施策が講じられている。例えば、融雪・凍結防止を目的とするロードヒーティング（以下RH）は、機械除雪が難しいトンネル坑口等で多く施工されている。RHは設備容量（一般的に200W/m²前後）が決まっており、設備容量を超える降雪時は融雪が追いつかず、路面が積雪状態となる事がある。そのため、降雪強度の把握はRHを管理する上で重要な要素になる。そこで、熱量値（W/m²）を用いて降雪強度を測定し（熱量式冬期気象センサを使用、以下ウィンターセンサ）融雪などの必要能力を把握する事で、RHの自動制御を行うシステムを金沢支社管内では一部RHで行っている。

一方、凍結防止剤の散布作業も雪氷対策の代表的なものの1つである。現在、路面温度と残留塩分濃度を連続測定（車載式塩分濃度測定システムを使用、以下塩分システム）し、その路面判定結果を参考にして、追加散布の判断をサポートする仕組みも金沢支社管内では取入れている。

今回、上記金沢支社管内に設置しているRH自動制御装置の測定データと移動体の測定データを融合させ気象がもたらす路面状況の変化などを分析したので紹介する。

2. 金沢支社管内の各測定機器について

2.1 ウィンターセンサ・路面性状センサ（ロードアイ）

RH自動制御装置としてウィンターセンサと路面性状センサ（以下ロードアイ）の2種類が北陸道の清水谷第1トンネル上り坑口（図1-①、以下清水谷W・R）で稼働している（写真1）。また、北陸道石川・富山の県境に位置する高窪トンネル下り坑口付近（図1-②）では、ロードアイをRHの自動制御用ではなくリアルタイム路面積雪情報センサとして運用（レーザー距離計を用い路面横断・面的に本線上積雪深を計測）している（以下高窪ロードアイ）。

ウィンターセンサは、降ってきた雪を融かすのに必要な熱量値である「融雪熱量」、路面の凍結を防ぐのに必要な熱量値である「凍結熱量」、そして雪の粒子1つずつを計測する「雪粒子数」の主な3つの項目を計測している。

ロードアイは、「気温」「路面温度」「路面状態（乾燥・湿潤・積雪・凍結注意）」の3つを計測している。「路面温度」と「路面状態」を計測する部分は回転するため、これら2つ

のデータは路面を横断的に計測した結果を得られる。このようにして、ウィンターセンサでは融雪・凍結防止の必要能力、ロードアイでは路面性状の把握を行え、各センサの情報からRHを最適に自動制御している。このウィンターセンサとロードアイによる制御方法は、従来の3要素（気温・路温・水分感知）制御に比べ、50%以上電力量削減が見込まれるため導入された。

この他、WEBカメラによる静止画像の取得も行っており、各センサの測定データ及び取得した画像は、制御盤内にある通信装置を利用しクラウドへ情報伝送を行っている。



図1 各センサ位置図

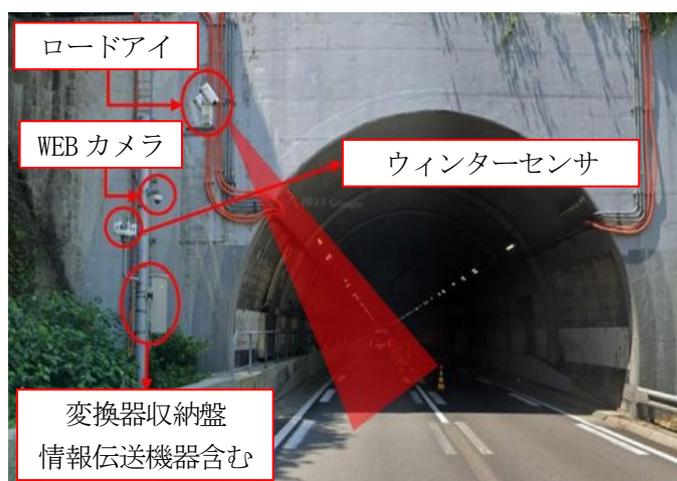


写真1 清水谷第1トンネル上り坑口
RH自動制御装置 設置概要

*1 山田技研株式会社 *2 中日本高速道路株式会社 金沢支社

そしてWEB画面では、ウィンターセンサ及びロードアイが測定したデータが表示されるとともに、RHを3要素で制御した場合のシミュレーションによる稼働状況と、ウィンターセンサとロードアイによる制御で行った実際の稼働状況を比較する事ができるようになっている（図2～図3）。

2.2 塩分システム

塩分システムは、写真2にある通り巡回車の後輪に塩分濃度を計測するセンサを取付け、タイヤが跳ね上げた水から塩分濃度を計測する。その他、気温や路温の計測、車載画像の取得も同時に行い、計測・取得したデータは車両からクラウドへ情報伝送を行っている。



写真2 塩分濃度センサ取付イメージ図

3. 降雪強度と路面状況の変化

清水谷W・Rの測定データを用いて、降雪強度と路面状況の変化をRHの設備容量(200W/m²)を踏まえて見てみる。

令和5年1月30日0時00分～2時00分に測定したデータを見ると、この時間帯は、RHが連続的に稼働していた事が分かり<図2：ロードアイ制御結果(点線ワク内 ←→ 部分)>、RHの設備容量を超える降雪を4回測定していた(表1)。そのため、これら測定した時間の路面は積雪状態となってもおかしくない状況であったが、静止画像を分析すると2時00分の降雪時でしか積雪状態となっていなかった(図3)。

この事から次の2つの疑問点が生じたため、考察を行った。
①設備容量を超える降雪であったにもかかわらず、路面は積雪状態とならなかったのか。
②設備容量を超える降雪の中では、一番弱い降雪強度だった図4の時間だけなぜ路面は積雪状態となったのか。

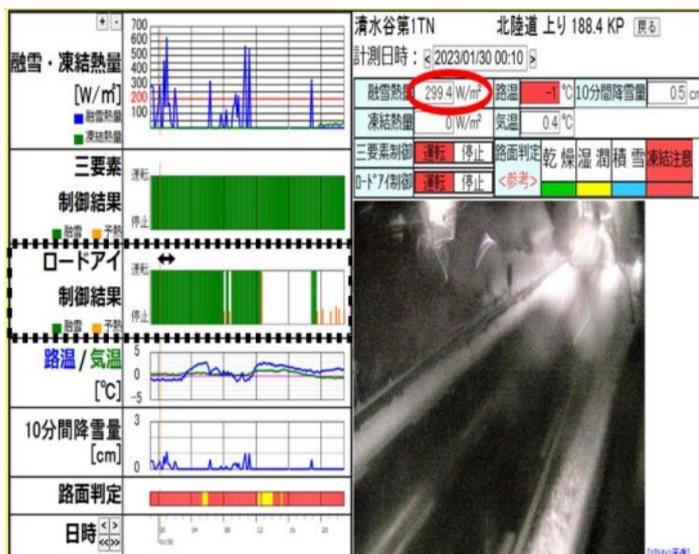


図2 0時10分の画面



図3 2時00分の画面

表1 設備容量を超える降雪時の状況

時刻	降雪強度 (W/m ²)	気温 (°C)	路温 (°C)	路面状況 (積雪の有無)
0時10分	299.4	0.4	-1.0	無し
0時40分	466.6	0.5	-0.8	無し
1時00分	626.8	0.4	-0.9	無し
2時00分	276.2	0.2	-0.8	有り

3.1 RHの蓄熱がもたらす融雪効果

まず①の疑問点について、RHが稼働している環境下で設備容量を超える降雪があったにも関わらず路面が積雪状態とならなかったというのは、RHが加えた熱量（この場合だと 200W/m^2 ）に何かしらの熱量がプラスされたことによって融雪が進んだ事が考えられる。先ほどのデータを分析した時間帯<0時10分～2時00分、図3：ロードアイ制御結果点線ワク内（←→部分）>の前である1月29日20時00分～23時50分において、RHが連続的に稼働していた事が分かる（点線枠内の○部分）。この時間帯は、ところどころ設備容量を超える降雪があった（融雪・凍結熱量グラフ参照）が、平均融雪熱量を算出すると約 183W/m^2 である事から、この3時間では設備容量を下回る降雪強度であった。さらに、23時20分～23時50分の30分間は融雪熱量が 100W/m^2 未満（23時30分は 0W/m^2 ）であったことから、RHの加えた熱量は全て融雪には使われず過剰分のいくらかはそれ以降の余熱として作用した事が考えられる。そのため、RHが加えた熱量に蓄熱がプラスされ

た事で、0時10分～1時00分の降雪は設備容量を超える降雪であったが、路面は積雪状態とならなかったと推察される。

3.2 RHでの融雪と凍結防止剤

次に②の疑問点については、定点の測定データではなく移動体の測定データ（路面の残留塩分濃度）を用いる。

図4は、令和5年1月29日23時59分に塩分システム搭載車によって計測されたデータで、清水谷W・R箇所では1.0%の塩分濃度を計測していた（グラフ内垂直実線部分）。この事から、0時10分から1時00分までの設備容量を超える降雪時は、上記地中内の蓄熱に加えて路面に凍結防止剤が残留しており、路温は 0°C 付近でも湿潤状態が保たれていた事で、路面が積雪状態になりにくい環境となっていたと思われる。ただ、時間の経過とともに凍結防止剤が希釈した事で、路面は湿潤状態を保つのが難しくなっていき、塩分濃度計測から約2時間経過した2時00分の降雪では路面が積雪状態となった事が考えられる。



図4 塩分システム画面

4. 凍結防止剤による路温低下

凍結防止剤によって路温が低下するメカニズムは、塩の吸熱反応が大きく関わっている事が分かっている¹⁾。室内実験を行った文献はいくつかあるが、現場での事例報告はなかなか見当たらない。これは、塩分濃度や路温などを測定したデータを融合する機会が無かったためと推測する。そこで、RH自動制御装置の測定データと移動体測定データを融合させ、凍結防止剤による路温低下の様子について分析を行ってみた。

図5-1は高窪ロードアイが測定した令和4年12月22日23時20分のデータである。これによると、路面積雪深は 0.2cm で積雪状態だった事が分かる。気温は 1.4°C 、路温は -0.9°C となつて

おり、気温・路温グラフ内に明示した → が示すように時間の経過とともに気温・路温ともに緩やかに右肩下がりとなっている。

続いて図6-1は同じく高窪ロードアイが測定した令和5年1月25日15時30分のデータである。これによると、路面積雪深は 0.0cm で路面に雪は無かった（ロードアイの判定では凍結注意）。気温は -1.3°C 、路温は -2.7°C となっており、気温・路温グラフ内に明示した → が示すように気温は横ばいであるが、路温は時間の経過とともに右肩下がりになっている。

気温と路温の時間推移による変化量に違いが見受けられ、気温と路温は通常は正の相関にあり、気温が横ばいで経過すれば路温も横ばいで経過し、気温が低下すると路温も同じよ

うに低下をする（図5-1のような事例）。図6-1の事例は、気温は横ばいで経過していたが路温は低下しており、路面において何かしら温度を下げる作用があった事が考えられる。

気温よりも路温が大きく下がる要因として放射冷却があるが、路温が下降をしている時間帯<17時00分~18時00分。図

6-1：路温（実線ワク内 → 部分）>に積雪状態となっていたため（図6-1：路面判定点線ワク内○部分）、路温が下降している時間帯は少なからず降雪をもたらす雲が存在していたと思われる。この局面では放射冷却が要因だったとは考えにくい。

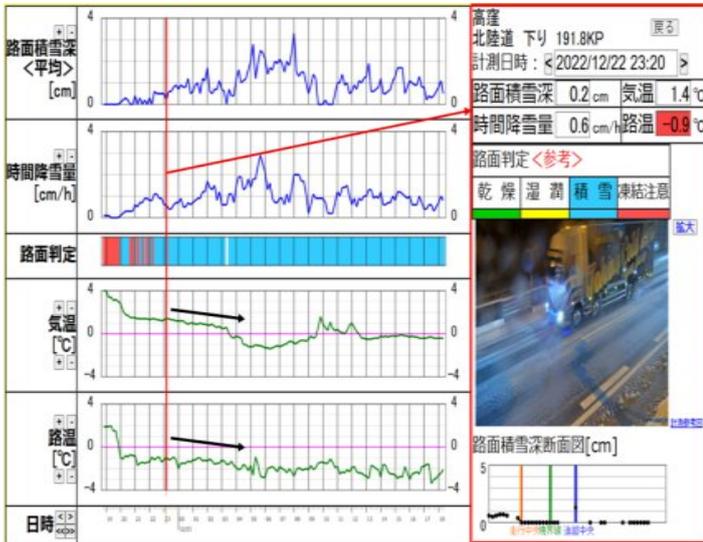


図5-1 23時20分のロードアイ画面



図5-2 23時21分の塩分システム画面

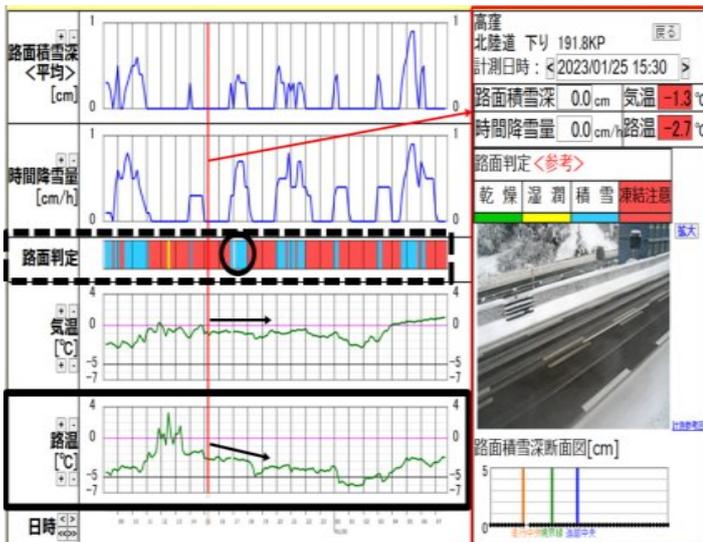


図6-1 15時30分のロードアイ画面



図6-2 15時27分の塩分システム画面

次に路面に残留していた凍結防止剤のデータとして、高窪ロードアイ箇所ではほぼ同時刻に塩分システムが測定した図5-2では、塩分濃度は0.3%となっていることからほとんど路面に塩が無かったと思われる。

また、同じく塩分システムが同地点ではほぼ同時刻に測定した図6-2では、この時の塩分濃度は2.5%となっており測定した路温から算出する凍結防止濃度(1.5%)を上回っているため、凍結を防止するのに必要な塩分が残留していたと推察される。

このことから、図6-1における路温の低下は路面に塩分が残留していた事によって塩の吸熱反応が起き、それを手掛かりとした温度の低下である事が考えられる。なお、路面に塩が残留している事によって氷点降下が起きるため、路温が0°C未満より低下したとしても凍結するリスクは低く、路面は安全な状態に保たれる。

最後に、図7-1の高窪ロードアイ測定データ(令和5年1月24日12時00分)では、路面積雪は0.0cmであるが路面は薄っすら白くなっており、ロードアイの判定では積雪となっている。気温は2.2°C、路温は-1.3°Cとなっており時間の経過による変化は、グラフ内 → が示すように気温は大きく右肩下がりとなっているが、路温は緩やかな右肩下がり経過している。

この時の路面状態として、塩分システムがほぼ同時刻に同地点で測定したデータ(図7-2)によると、塩分濃度は0.5%であった。

このことから、塩の吸熱反応による路温の低下は(図5-1や図7-1の事例)、塩分濃度1%未満では発生しにくかったと思われる。

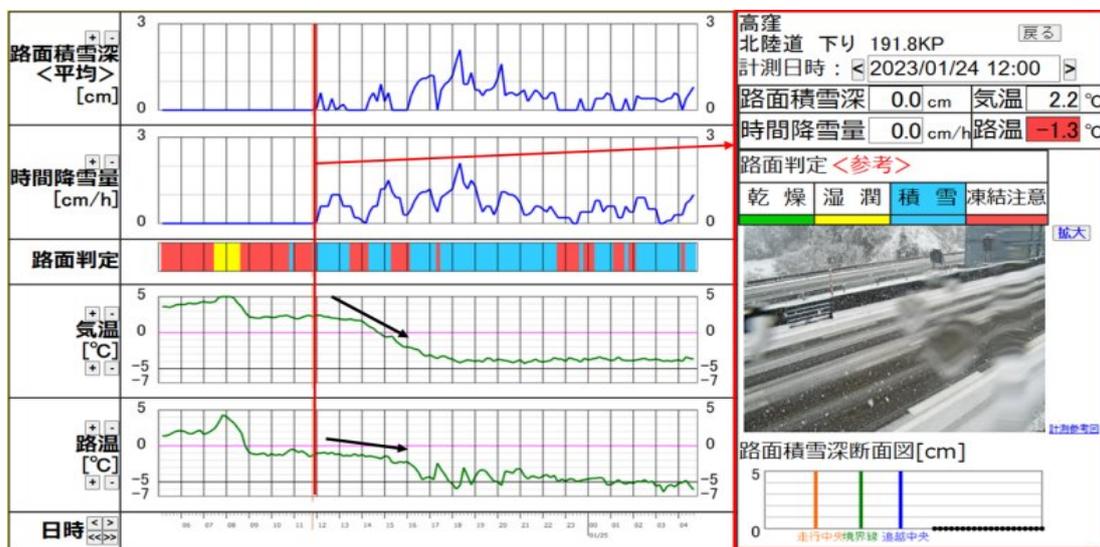


図7-1 12時00分のロードアイ画面



図7-2 12時00分の塩分システム画面

5. まとめ

RHの設備容量を超える降雪時は融雪が追いつかず、路面が積雪状態になっている事が、分析の結果多く見受けられていた。それに対して、RH地中内に蓄熱が存在する場合や、路面に凍結防止剤が残留している環境では、設備容量以上の融雪エネルギーが生じ路面が積雪状態にはならない事例があることが本分析で分かった。ただ、地中内の蓄熱や凍結防止剤の希釈に関して、定量化しての分析までは着手しておらず、今後はRHの稼働によってどの程度の蓄熱が存在し、そこからどれほど融雪に影響を与えたのかというような分析が必要と思われる。

凍結防止剤によって路温が低下していく事例に関しては、ロードアイ及び塩分システムのデータから傾向性を捉える事が出来た。本分析では、塩分濃度約0%~3%の事例を用いたので、中・高濃度路面での路温の変化についても分析を進めていきたい。また、ロードアイの測定データを活用し路温以外に気温の時間推移による変化も観測する事ができた。このような定点測定で得られた気象観測データを活用し、高速道路の本線における気温・路温の低下局面について地点毎の相違等についても分析していきたい。

参考文献

- 1) 村國 誠:路面凍結防止剤の効用、日本雪工学会誌 Vol. 14 No. 2、23-28、1998

冬用タイヤ自動判別装置の実地検証 ～現場作業の安全性向上に向けて～

佐野 凌汰 * 1 大坂 中 * 1

1. はじめに

NEXCO中日本 松本保全・サービスセンター（以下「松本HSC」）が管理する中央自動車道（小淵沢IC～伊北IC）および長野自動車道（岡谷JCT～安曇野IC）では（図-1）、冬期に関東圏や中京圏から防滑装備のない車両の利用が見込まれるため、降雪時にお客さま車両の冬装備状況を確認し、装備のないお客さま車両を本線から流出させる冬用タイヤ規制作業を実施している（写真-1）。その中でお客さまの安全の確保と渋滞等の抑制、積雪時の規制作業の更なる安全性向上を目的に、2019年度より西日本高速道路エンジニアリング四国（株）開発の冬用タイヤ自動判別装置（以下「自動判別装置」）を用いた冬用タイヤ規制を、IC流入部にて実地検証している。本文は、2022年度の検証結果を報告するとともに、これまでの取り組み結果および今後の展望について報告するものである。



写真-1 冬用タイヤ規制状況

2. 自動判別装置について

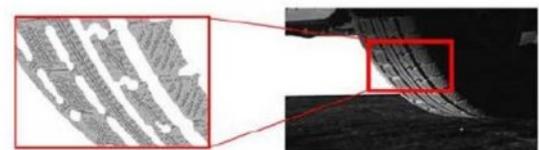
従来のタイヤチェック方法は、対象車両を一旦停止させ作業員による目視確認でタイヤ種別を判定するものである。これに対し、自動判別装置を用いたタイヤチェックでは、目視確認の代わりに自動判別装置を導入することでタイヤ

種別を機械的に判定するものである。これにより、チェック作業の負担軽減や人員削減および安全性の向上が期待される他、通過車両捌け率が向上することで、お客様の待ち時間の短縮など、提供サービスの向上も望まれる。

システム概要は（図-2）に示す通りで、対象車両のタイヤに照明を当てタイヤトレッド面を鮮明にした上で、PCカメラで撮影しタイヤ種別を自動判定するものである。判定結果は規制員の近傍に設置されたモニターに表示され、逐



図-1 松本保全・サービスセンター 管内図



(溝読取処理イメージ)

図-2 冬用タイヤ自動判別装置 概要

* 1 中日本高速道路株式会社

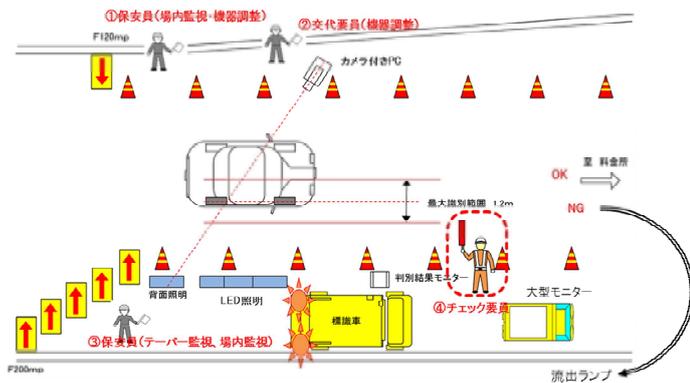


図-3 冬用タイヤ自動判別装置 機器等配置図

一確認できるようになっている。作業人員としては、保安員2名、チェック要員1名の計3名で、保安員が場内監視およびPCカメラ等の機器調整を行い、チェック要員にてタイヤチェックおよび防滑装備未装着車両の誘導を行う、というような運用形態となっている(図-3)。なお、現段階では試験的導入のため、自動判別装置による判定がOK(スタッドレスタイヤ装着)となった場合でも、最終的な判定は規制員の目視確認で行っている状況である。

3. 実地検証の目的

2019年度より行っている実地検証の主たる目的は以下の通りである。

- ・試験導入で得られた判別データの蓄積により、天候や路面状況等の各条件下での判定正答率を比較し、システムの技術的課題を明確化する。
- ・人員や機器配置及び作業内容の見直しなど、システム運用の改善に向けた取り組みの実施。

以上により、本格運用における課題を整理し、改善に向けた施策の実施やシステム開発側への技術的提案を行うものである。

4. 2022年度検証結果

2022年度は中央自動車道諏訪IC流入ランプにおいて、自動判別装置を用いたタイヤチェック作業を計5回実施した(図-4)。実施時間は合計約80hで判定台数は20,670台、正答率は、平均80.3%であった(表-1)。累計降雪量の多かった実施日①⑤について、他の実施日と比較して正答率が若干低くなっているものの、2021年度検証時(78.9%)とほぼ同水準の値となった。

また、システム運用効率の改善に向けた取り組みとして、2021年度から大型モニターを試行導入している(写真-2)。現状システムでは車両の前輪と後輪でそれぞれシステムが判別することから、モニター情報を提供することが有益ではなく、判定結果等の拡大表示は行っていないが、今後システム改修により「車両単位での判別」が可能となれば、



図-4 自動判別装置実施箇所 位置図

表-1 2022年度 実施結果

回数	実施日	時間	判定台数	正答率 (%)	諏訪IC
					累計降雪量 (cm)
①	2022年12月17日 20:20	8.7h	435台	76.7	10
	～ 12月18日 5:00				
②	2022年12月24日 3:20	9.7h	2,539台	81.5	0
	～ 12月24日 13:00				
③	2023年 1月24日 16:00	27.5h	8,458台	88.1	6.5
	～ 1月25日 19:30				
④	2023年 1月27日 11:00	26.5h	6,626台	79.3	6
	～ 1月28日 13:30				
⑤	2023年 2月10日 9:00	7.5h	2,612台	75.8	25
	～ 2月11日 16:30				
合計		79.9h	20,670台	—	—
平均		—	—	80.3	—



写真-2 大型モニターの設置

お客様車両誘導の効率性向上が期待される。また、従前からモニターを用いて規制員が通過車両のタイヤ情報を事前に確認可能なため、タイヤトレッド面を凝視する必要が無いなど、規制員の負担軽減に繋がる面もあった。

5. 本線導入に向けたデモ検証の実施

松本HSC管内において、2022年1月11日(火)冬用タイヤ

規制時に最大渋滞長約9kmが発生したことを受け、渋滞改善を目的とし自動判別装置を用いた冬用タイヤ規制が本線運用可能か検討するため、以下の検証を行った。

- ・本線運用を想定し作業員の安全な作業を考えた機器配置3ケース（図-4）における判別精度の検証。
- ・タイヤチェック後の振分け作業について、チェック要員3名（振分けケース①）の場合と冬用タイヤ自動判別装置+チェック要員1名（振分けケース②）との車両捌け効率の比較検証（写真-3）。

結果として、判定正答率に関しては機器配置ケース①②③ともに本来の機器配置と比較すると、大幅に低下する結果となった（判別装置の機器配置ケース①では判定率0%）。これは、システム想定外の撮影距離・角度となったため、タイヤレッド面の読取処理が不可となったためと考えられる。また、振分け作業効率の検証結果について、100台通過した際の振分け作業時間の比較を行い、振分けケース①で10分30秒だったのに対し、自動判別装置を導入した振分けケース②では10分5秒となり、僅かながら自動判別装置導入による時間効率短縮の効果が確認できた。ただし、実際個々のお客様の運転状況により車両の流れが一定でないことが想定されるため、本件については更なる検討が必要となると考えている。

6. これまでの取り組みの総括

6.1 システム面について

判定正答率に関して、路面状況により大きく変動し、路面状況が悪い場合、正答率が著しく低下（正答率：約60%）することが分かった。判定エラーが発生する根本要因は、タイヤレッド面がPCカメラで鮮明に捉えられないため、雪の付着や水膜、水飛沫の発生、カメラ自体の汚れ・曇り、ピントずれなどが原因となることが分かっている（写真-4）。改善策として、路面・タイヤ状態を良好に保つことが第一に考えられ、そのための施策として屋根や雪落とし用マットの設置、カメラ位置の調整による水飛沫の影響を回避するなどの措置を検討した。しかし、いずれもシステム構造上の課題等により、導入に至っていないのが現状である。また、チェック要員の作業負担軽減に向け、機器配置の入替（左：カメラ、右：照明→左：照明、右：カメラ）・片寄配置や、30Km/h以上走行時の判定の可能性について、システム開発者との調整を図ったが、いずれもシステム構造上難しいとの回答を得ている。

6.2 運用面について

判定正答率が100%にならない現状においては、チェック要員の完全な削減は難しい状況である。ただし、これまでの実績として危険側判定（ノーマルタイヤをスタッドレス

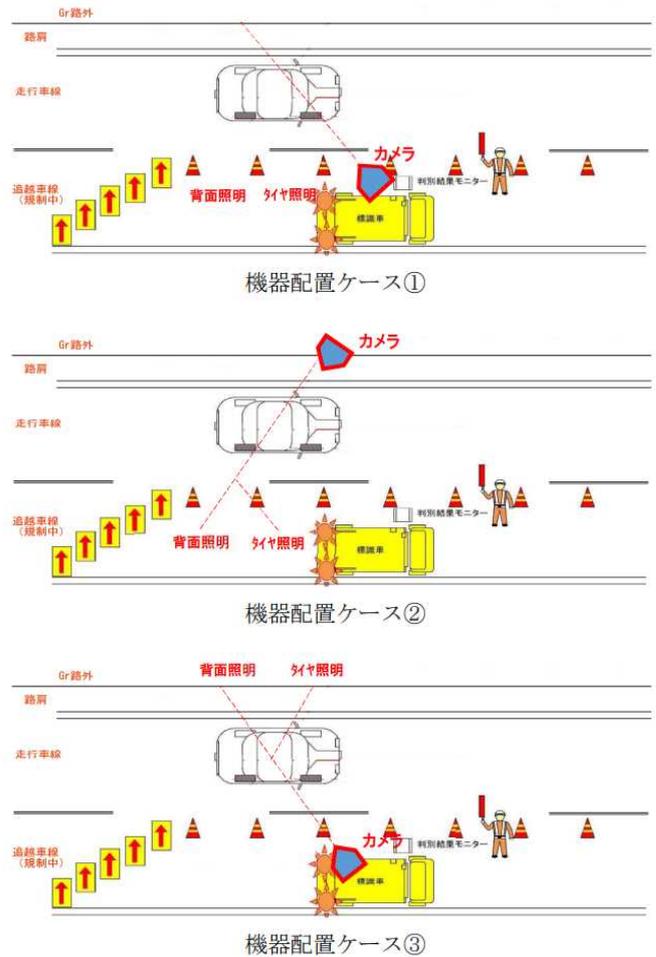


図-4 本線導入を想定した機器配置



振分けケース①



振分けケース②

写真-3 振分け作業効率の比較

率を示しているということを知っている。そのような、よりシステムに適した環境下・地域での運用が効果的であることを踏まえ、導入を検討していく必要があると考える。また、これまでの検証と今後のシステム改善によって、将来的にはICランプ部のみならず冬タイヤ規制時に規制員の負担が大きい本線でのチェック作業時にも導入可能となれば、規制時の渋滞回数の減少や捌け率向上、規制時の安全性向上が期待できる。

以上が2019年から4シーズンの実地検証で得られた知見のまとめである。松本HSCでは2022年度を節目として自動判別装置に関する検証を終了することとし、今後は自動判別装置に限らず、雪氷対策作業の安全性向上および作業効率化の観点から、新たな取り組みについて検討を進めていく。

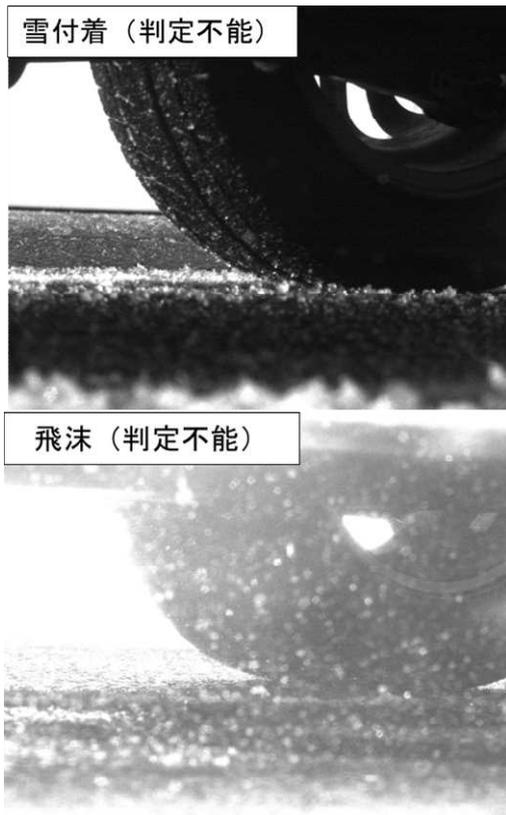


写真-4 判定結果 画像例

タイヤとする誤判定)が発生していないことを踏まえ、OK判定の場合に規制員による最終的な目視確認が不要となれば、格段に捌き率が向上し、お客さまの快適性、作業員の安全性・効率性の向上に繋がることを期待される。本格導入に向けては、交通管理者との協議を含め更なる検討・検証が必要である。

7. まとめと今後の展望

冬用タイヤ規制は、降雪等気象条件により路面状況が悪い状況下での実施が主で、現行システムでの作業には適さない環境下での運用が多くなってしまっているのが現状である。よって、前述したシステム上の課題解決・改善が図られなければこれまで以上の正答率を得ることは難しいと思慮される。ただし、他現場での実施状況では、降雪地域の上流側でシステムが路面状況に左右されない箇所では高い正答

「除雪トラック操作技術の更なる向上へ」

水口 大司*1

1. はじめに

当社は中日本高速道路(株)金沢支社管内(図1)において維持修繕業務作業を行っており、昨今の異常気象に伴う甚大な災害等への迅速な対応も行っているが、中でも冬期の交通確保は最重要課題である。今回は、雪氷対策作業における更なる技術力の向上として、当社で取り組んでいる『除雪トラック操作技術の向上』の活動について紹介をするものである。



図1 金沢支社管内図

2. コロナ禍や異常気象に対する講習会の有り方

これまで雪氷車両における操作技術等の向上については、2012年度より「雪氷塾」と題した技術習得へ向けた講習会を行っており、毎年各基地から計100名程度の雪氷作業従事者を対象に開催している。内容としては、長年豪雪地域で作業従事している熟練オペレーターと雪氷車両メーカーの方を講師として招き、基礎的な座学と実車を用いた講習会である。(写真1)(写真2)



写真1 雪氷塾での座学講習の様子



写真2 雪氷塾での講師による実車講習の様子

しかし、2020年度には社会的なコロナ禍へ突入した事によって大人数での集まりに制限がされたため、講師を招いての講習会は中止としていたが、近年頻発している日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)に対する冬期路面確保に関して、より高度な除雪技術を求められた事もあり、コロナ感染症対策を含めた新たな講習会を開催する方法を検討する必要性に迫られた。

3. 圧雪処理技術とコロナ対策を重点にした計画

前述の観点から、講習の重点項目を路面圧雪処理技術に特化し、且つコロナ感染症対策の講習方法として、直接各基地へ講師と赴き、除雪トラック(以下、「除トラ」という)の運転手と助手を対象に基地ヤード内での実技講習と、降雪次第になるが講師を乗せた黄色パトロールカーで本線除雪作業に追尾し、無線機にて細かな技術指導を行う「出前講習」なる講習を計画した。(図2)

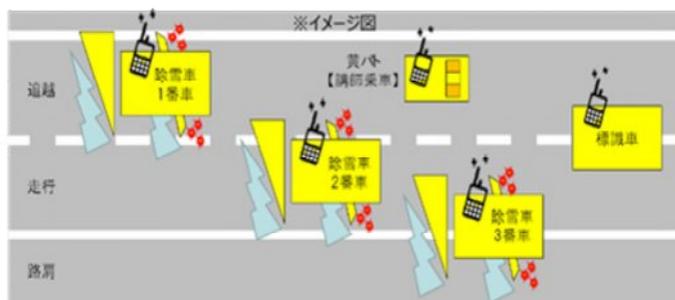


図2 本線における技術指導のイメージ

*1 中日本ハイウェイ・メンテナンス北陸(株) 保全事業部

4. 出前講習にあたっての計画留意事項

開催に関しては、主に以下の条件に留意して計画した。
なお、コロナ感染症対策は大前提である。

- ① 除トラの運転手と助手の常駐期間。
- ② 過去3年で大雪による滞留車が発生した基地を優先。
- ④ 大雪時は基地が繁忙となるため開催は避ける。
- ⑤ 本線での講習を想定し、降雪予報のある日。
- ⑥ 講師との夜間を含む日程調整。

5. 出前講習の実施

留意事項の結果、2021年度については金津基地と砺波基地、2022年度については黒部基地と福光旧基地と福光新基地の計5基地にて出前講習を実施した。

内プラにおける講習を実施するにあたり、効率よく講習を進めるため2名の講師を招き、それに合わせて基地の除トラも2台用意し、各基地にはグレーダーの操作方法に違いのあるフルオート車とセミオート車（写真3）が混在して配置されているため、この2種類の除トラを用意する事で、受講者には普段自分達が実際に作業で使用している操作方法の車両に乗車して講習を受講してもらう方法とした。



写真3 各グレーダーの操作盤

実際の内プラでの講習の進め方に関しては、運転手と助手の各ペアと講師が除トラに乗り込み、圧雪処理に対する普段の操作全般に関するおさらいや、車両全般に関する注意点に至るまでの質疑応答を行った。（写真4）



写真4 講師同乗による質疑応答の様子

従来の雪氷塾では参加人数が多い事もあり、各2名ずつで約15分程度の時間制限を設けていたが、今回の出前講習は少人数で講習を実施している事から、特に時間の制限を設けずに、運転手と助手が疑問点等を納得するまでの時間設定とした。

次に運転手と講師だけが除トラに乗り込み、講師指導の下に内プラで圧雪処理作業を想定したトラックグレーダー（以下、「TG」という）操作を実際に低速走行で実施し、同席している講師から適宜技術指導を行ってもらい、普段の操作よりも効果的な路面へのスチールエッジの当て方や、その当て方による車体の振動や音の変化に関する説明と質疑応答を行った。なお、こちらに関しても先ほどと同様に時間制限を設けずに行った。（写真5）



写真5 講師同乗による低速でのTG操作の様子

内プラでの講習後は、防災対策室より本線除雪作業の指示があった除雪梯団に対して、講師を乗せた黄色パトロールカーで追尾を行い、圧雪処理作業中の各除トラへ圧雪に効果的なTG操作の技術指導を講師からリアルタイムに無線機を使用して行った。（写真6）（写真7）

ただし2022年度については、開催日時や天候、その他との調整などの折合いがつかなかった事から、不本意ながら本線における講習に関しては未実施となってしまった。



写真6 無線機を利用したTG操作指導の様子



写真7 無線機を利用したTG操作指導の様子

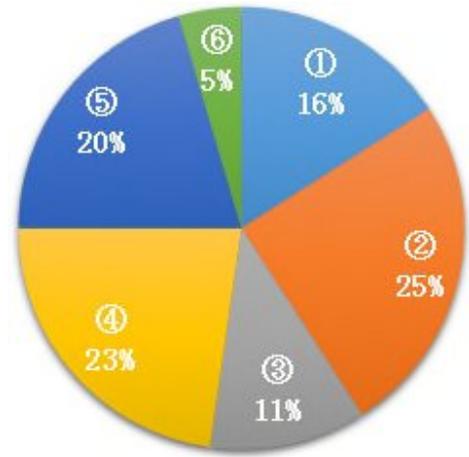


図4 運転手の経験年数の割合一覧

6. 出前講習の評価

今回の出前講習の受講者数については、2021年度と2022年度を合わせ88名である。この内、除トラの運転手は52名であり、作業経験年数が10年以上の受講者の割合は56%である。(図3)

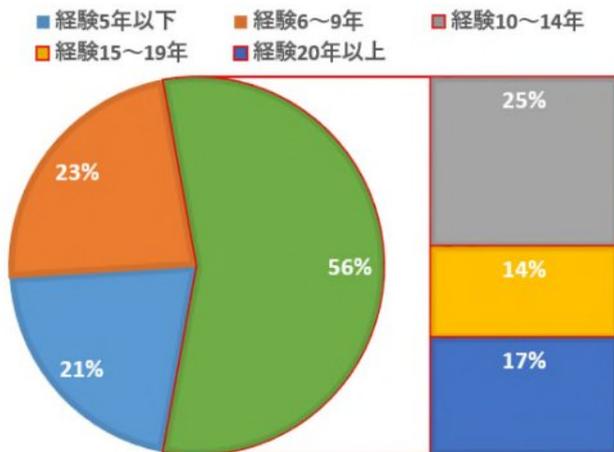


図3 運転手の経験年数の割合一覧

講習終了時に受講者へ出前講習の感想等について直接ヒアリングした結果、以下の様な意見が聞けた。(図4)

- ①講師に専門的な事を直接聞いて勉強になった。
- ②マンツーマンで時間制限も無かったので、色々と細かな事まで質問が出来て良かった。
- ③今までは経験でTG作業を行っていたが、講師から路面状況に応じた効果的な操作方法や、その理由が聞けて良かった。
- ④分かっているつもりでいたが、TG操作に関して再認識が出来て良かった。
- ⑤本線での講習は出来なかったが、内プラでのTG技術指導訓練だけでも勉強になった。
- ⑥元々慣れているため講習の必要を感じなかった。

当初、出前講習を開催するにあたって各対象基地の管理員からは、5年以下の作業経験者に対しては有効だとは思いますが、10年以上の経験者には改めて講習を行う意味が余り無いのではないかとと言われていた。

確かにヒアリングの意見にもある通り、自分は以前より除トラの操作には慣れているので、講習の意味は余り無かったと思うと答えた受講者も5%居た。

しかしながら、そのほか95%もの大半の受講者の意見においては、直接講師にマンツーマンで何でも質問出来て良かった等や、操作に関する再確認が出来て良かった等の内容が非常に多く聞けた事から、経験年数などは関係なく、受講者に対して出前講習の開催は効果的であった事が確認できた。

7. 今後の課題

2023年5月8日以降からは、コロナ禍による制限等が無くなった事もあり、従来に開催していた雪氷塾を再開する予定である。また、今回の新たな講習会として開催した出前講習についても非常に効果的であったと思われる事から、こちらも順次各基地に対して開催を予定している。

そして、出前講習を2年間実施した事で、色々と新たな発見や確認が出来た事もあったため、今後の雪氷塾に関しては、従来の基本を大切にしつつ新たな取り組みも勘案して開催出来るように努めたいと思う。

また、出前講習については、内プラのTG訓練だけでも勉強になったと答えた方が20%であったものの、2022年度は本線での講習が未実施となってしまった事や2年間で5基地しか開催出来なかった事から、今後の課題としては、天候やその他に関する調整の精度をより向上させ、より多くの基地に対して内プラと本線における技術講習の両方を実施出来るよう努めたいと思う。

8. おわりに

当社が維持修繕業務を行っている区間については、表日本から裏日本への移動等小雪地域と豪雪地域の境界付近を走行されるお客さまが多いため、冬道の走行に不慣れなお客さまのご利用が多く感じられる。このことから、ご利用頂くお客さまに安心して高速道路をご利用して頂けるようグループ一体となり、時代変化に応じたドライバーシティを取入れながら対応し、安全・安心の高速道路空間を提供していきたい。

雪氷車両の保守・整備に関する取り組みについて

出口 誠*¹

1. 概要

中日本高速道路㈱では、冬期の高速道路をお客様に安心・安全に走行していただくため、湿塩散布車や除雪車(以下「雪氷車両」という。)による作業を実施しているが、故障の削減、修理日数の短縮、整備・修理費の削減が課題となっている。

雪氷車両は、雪氷作業中の塩分付着や、雪氷期間外の高温多湿な気象による錆の発生・進行等が故障や修理費増加の要因ともなっており、年間を通しての対策が必要となっている。

発錆による車両への悪影響の軽減を図るため、交換が困難で車両の健全性に大きく影響を及ぼすシャーシ部(人間で云う背骨で車両本体を支えるのに不可欠な部分)に着目し、雪氷期間中の車両洗浄の塩分除去効果を確認し、対策を検討した。

現在の洗浄作業は使用者が高压洗浄機等を使い人力で行うことが多いことから、人力作業軽減をするための洗浄装置機械化と除塩効果向上の取組みや、シャーシ部塗装の部分的強化による錆の発生遅延の効果などの一例を報告する。

2. 錆の発生要因

2.1. 錆の発生

錆が発生する条件は、1. 金属、2. 水、3. 酸化剤の3条件(図1)が揃うことにより発生して進行する。よって、防錆対策としては3条件の中からいずれか一つを分離すればよい。一般的には「塗装」によって金属から水と酸素を遮断していることが多い。

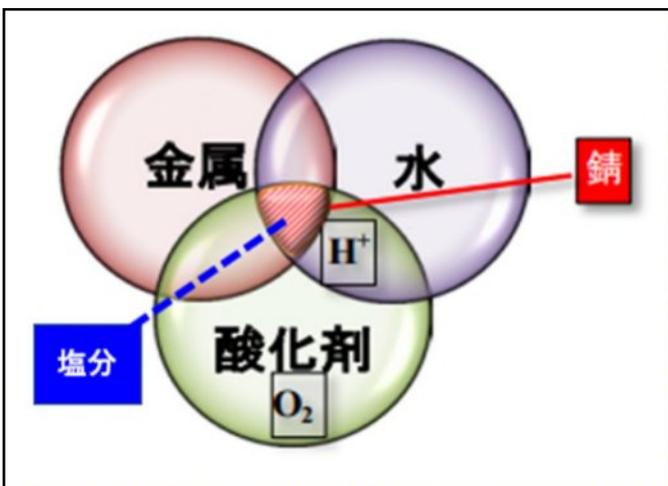


図1 錆が発生する3条件と塩分

錆の進行は、腐食電流が流れることに起因し、金属に付着した塩水はイオンが移動しやすい環境をつくり腐食電流をよく流すことから腐食促進剤の役割を果たしている。したがって、塩分を除去することも防錆対策の一つである。

2.2. 車両基地(代表6か所)の腐食環境

腐食が進行しやすい環境の対比としてクライモグラフ(図2)は、横軸に相対湿度、縦軸に平均気温をとった直行座標において、各月平均値に基づいた12点を月順に結び付けた線図である。同グラフでは、赤枠内の平均気温20℃以上、相対湿度65%以上の範囲が腐食ゾーンであり、この範囲内においての棒線の延長が長いほど腐食しやすい環境である。よって、いずれの場所も6月から9月の間に腐食が進行しやすいと考えられ、敦賀、彦根、静岡、富山、松本、高山の順で腐食が進行しやすい環境と考えられる。

化学反応の速さの指標で用いられるアレニウスの定義においては、「10℃二倍則(10℃半減則)」が経験則として使われる。温度が10℃上昇または下降すると、材料の劣化スピードや寿命が、二倍または半減するという経験則であり、温度と湿度を低く保つことも防錆対策の一つといえる。

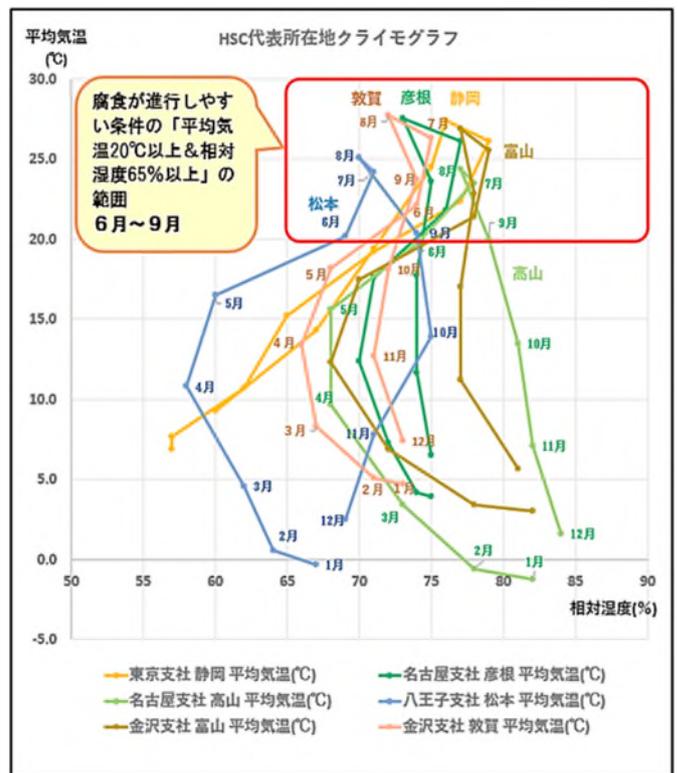


図2 クライモグラフ(6基地のデータ)

*¹中日本高速オートサービス株式会社 本社 事業部 事業課

3. シャーシの錆の発生要因と対応策

3.1. シャーシの錆の発錆要因

シャーシは錆の進行が早く、部材が交換出来ないため、腐食防止対策を優先して行う箇所である。

シャーシは鋼材が重なる構造になっており、鋼材の隙間に水分と塩分が滞留しやすく乾きにくい。

また、シャーシフレーム内側は、車両の下部内面にあり、洗浄が難しい部分であるため洗浄後も塩分が残留しやすい状況にある。(図3)

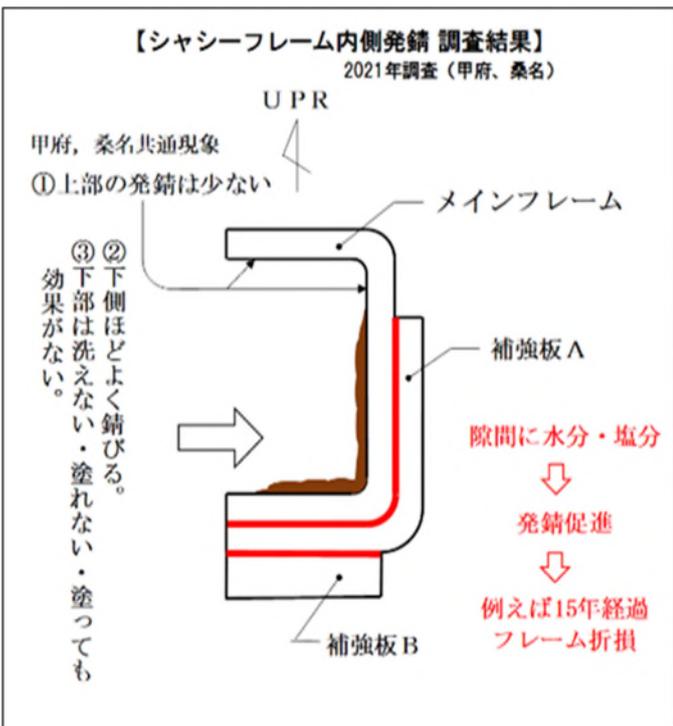


図3 シャーシフレーム内側 錆の説明図

シャーシ内側の鋼材重なり部に発生する錆の特徴として層状剥離錆(図4)がある。錆と塗膜が年輪状に進行し、腐食が進行するとシャーシが変形していく。



図4 層状剥離錆 (雪氷車両)

3.2. シャーシの腐食進行抑制対策事例

シャーシの重ね部に侵入した水分及び塩分は、除去が難しいと考えられるため、納車時に侵入防止対策を行った。シャーシの重ね部にシリコン樹脂をシール施工し、その後の経過を観察した。

金沢支社管内において、シリコン樹脂を施工した雪氷車両(表1)で、施工3年後のシャーシの状況を確認した写真(図5:シール施工、図6:シール未施工)では、シール施工車両に発錆は少ないが、未施工車両には発錆が多く見られたことから、約3年の錆の発錆遅延効果があると推定され、今後の採用が望まれる。

表1 シール施工比較車両データ

	拠点	登録 ナンバー	機械名	取得 年度
シール 施工車	森本 基地	金沢 は305	湿塩 散布車	2019
シール 未施工車	小矢部 基地	金沢 は298	除雪 トラック	2019



図5 シール施工車両 金沢 800 は 305

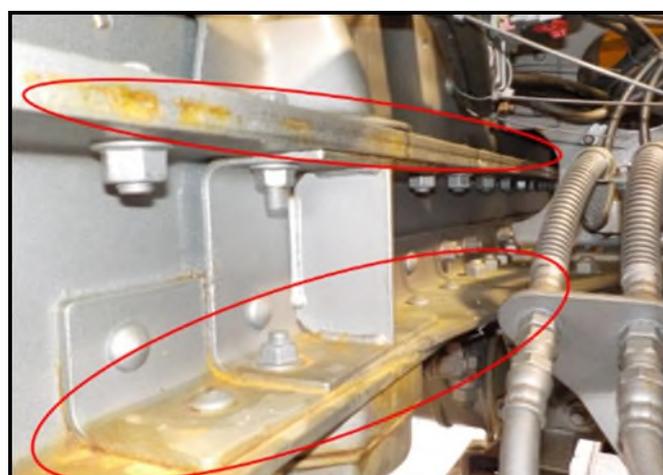


図6 シール未施工車両 金沢 800 は 298

4. 洗浄方法に関する検討

4.1. 車庫内洗浄装置の除塩効果検証

車庫内に設置された車両洗浄装置(図7)について、洗浄による除塩効果を検証するため、洗浄前後の塩分濃度の測定を実施した。



図7 車庫内洗浄装置の全景

本装置がある高山HSCは厳冬地区であり、洗浄前後の水の凍結等を考慮して車庫内に洗浄装置を設置している。

洗浄時は車両を静止し、車両全体に対して上面、側面、下面の順に分けて洗浄し、タイマーで洗浄時間と部位を自動化している。

車庫内洗浄装置試験については、第一回目を2022年2月14日～16日に行い、第二回目を2022年11月29日～2022年12月2日に行った。

4.2. 車庫内洗浄装置の試験方法

車庫内洗浄装置の試験方法は、表2のとおりである。

表2 車庫内洗浄装置試験方法

装置名	車庫内洗浄装置
試験回数	各パターン3回ずつ
試験方法	塩分を付着させた試験片を各測定箇所に取り付け、車庫内洗浄装置で洗浄を行い、洗浄前後の塩分付着量を測定する
試験片	概ね1,000mg/m ² の塩分濃度
洗浄時間	90秒・180秒・270秒の3パターンを測定 (上面・側面・下面の合計洗浄時間) (各面の洗浄時間は合計の1/3)
洗浄方法	車両全体が洗浄出来る位置に停止させ、上面・側面・下面の順に洗浄を行う

4.3. 車庫内洗浄装置の塩分濃度測定箇所

塩分濃度の測定箇所(図8)は合計15箇所とし、うち4箇所はシャーシ内側とした。

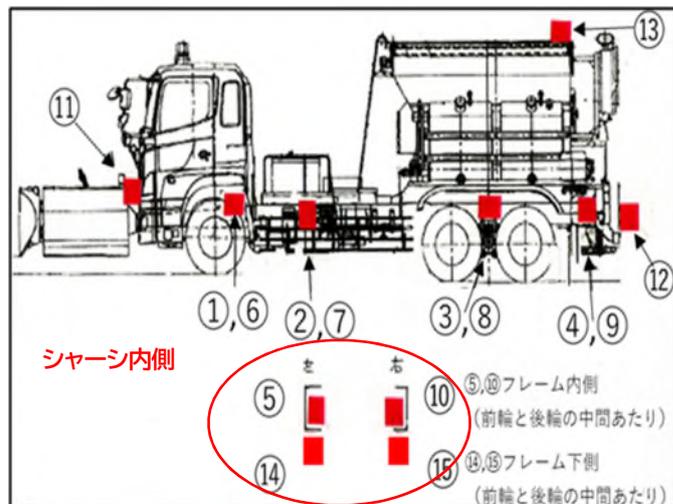


図8 塩分濃度測定箇所

4.4. 車庫内洗浄装置の測定結果

4.4.1 第一回洗浄試験の測定結果

洗浄時間毎の全測定箇所平均値(表3)であるが、今回の試験では洗浄時間の差による除塩効果の明確な傾向は確認が出来なかった。

表3 洗浄時間別全箇所測定値

洗浄時間	全測定箇所平均値(mg/m ²)
90秒	219
180秒	243
270秒	187

各測定箇所別の平均値(図9)からは、上面および下面は洗浄による効果が高いが、シャーシ部の5、10、14、15は洗浄効果が低いことが判明した。

これは、ノズルからの洗浄水が車両下部の部材等が支障で届いていない状況であった。

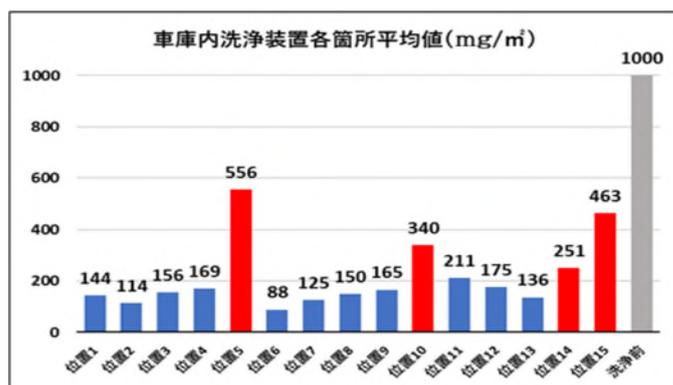


図9 車庫内洗浄装置箇所別平均値

4.4.2 第一回洗浄試験の結果後の装置改良

第一回洗浄試験でシャーシ部の洗浄効果が低いことが判明したため、シャーシ部の洗浄効果を高める目的で車両の中央下部にあたる場所にノズル（図10）を追加した。



図10 車庫内洗浄装置追加ノズル

車庫内洗浄装置追加ノズルの噴射状態は、図11、図12. であり、青テープの位置がシャーシ内側の位置を示したものである。

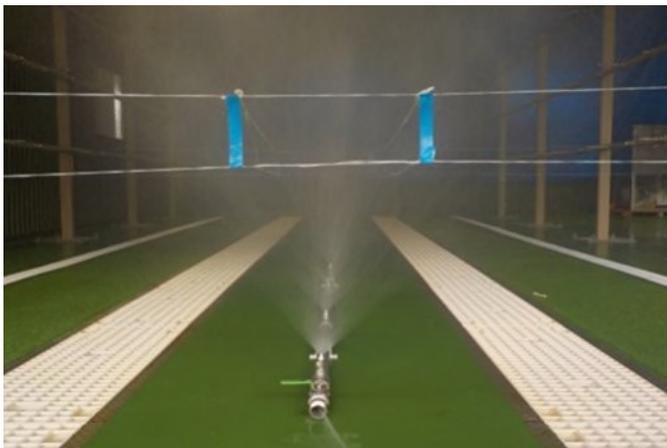


図11 車庫内洗浄装置追加ノズル噴射 正面



図12 車庫内洗浄装置追加ノズル噴射 側面

4.4.3. 第二回洗浄試験の箇所別測定結果

（中央ノズル追加後）第一回との比較

第二回洗浄試験と第一回洗浄試験の測定結果比較（図13）では、シャーシ部の5、10、14、15の残留塩分濃度は追加した中央ノズルの洗浄効果の確認ができた。なお、第二回試験の位置13の残留塩分濃度が高いのは、洗浄車両配置のズレにより上部ノズルの洗浄水が届いていなかったと考えられる。

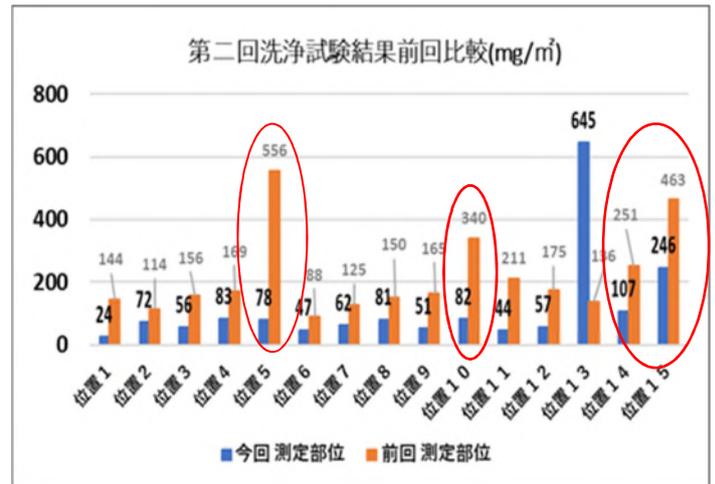


図13 第二回洗浄試験結果前回比較

4.5. 貯水槽前洗浄装置の除塩効果検証

貯水槽前洗浄装置（図14）の洗浄試験は、車庫内洗浄装置試験の第二回に合わせて高山HSCにて同日程で行った。

貯水槽前洗浄装置は上部からの散水装置と下部のノズルからの噴射水による洗浄である。



図14 貯水槽前洗浄装置全景

車庫内洗浄装置試験の第一回目の試験結果より、重要部位のシャーシ部内側に洗浄水が届いていないことを確認したことから、洗浄効果を向上させるため、下部噴射ノズル中央部の2箇所を真上方向からシャーシ部に向けて斜めに角度変更し（図15、図16）、洗浄水がシャーシ部に届

くようにして試験を行った。図 15、図 16 にあるカラーコーンはシャーシ内側の位置を示したものである。



図 15 貯水槽前洗浄装置下部ノズル噴射 正面



図 16 貯水槽前洗浄装置下部ノズル噴射 側面

4.6. 貯水槽前洗浄装置の塩分濃度測定箇所

塩分濃度の測定箇所は車庫内洗浄装置と同様であり、各測定箇所は図 8 のとおりである。

4.6.1. 貯水槽前洗浄装置の試験方法

貯水槽前洗浄装置の試験方法は表 4 のとおりである。

表 4 貯水槽前洗浄装置試験方法

装置名	貯水槽前洗浄装置
試験片	各パターン 3 回ずつ
試験片	概ね 1,000 mg / m ² の塩分濃度
洗浄時間	90 秒・180 秒・270 秒の 3 パターン
洗浄方法	貯水槽前洗浄装置に対して 車両を前後に移動
備考	水量不足のため下面洗浄のみ実施

4.7. 貯水槽前洗浄装置の測定結果

4.7.1. 洗浄箇所別の残量塩分濃度

貯水槽前洗浄装置の箇所別全平均結果(図 17)であり、測定箇所 4・10・12 の塩分濃度が特異値として高い理由は表 5 のとおりである。

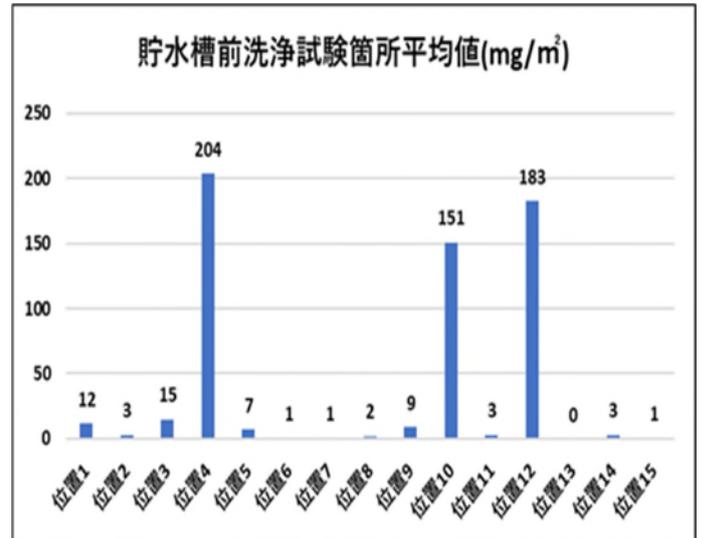


図 17 貯水槽前洗浄試験箇所平均値

表 5 貯水槽前洗浄箇所特異値分析

位置 4	左側面部のノズルの斜噴出がなく、 位置の左側ズレ
位置 10	洗浄時の車両位置の左側ズレ
位置 12	洗浄時の車両前進距離不足で未洗浄

測定箇所 4・10・12 の残留塩分が高い箇所は洗浄時の車両の位置を正確にすることで除塩効果が見込まれることから、路面標示等により移動位置を明示し、速度を一定に保てば洗浄効果を得られると考えられる。シャーシ部についても位置 10 を除けば洗浄効果の確認ができた。

4.7.2. 洗浄時間による残留塩分濃度

洗浄時間別の全測定箇所平均値について、特異値を含んだものは図 18、含まないものは図 19 のとおりである。

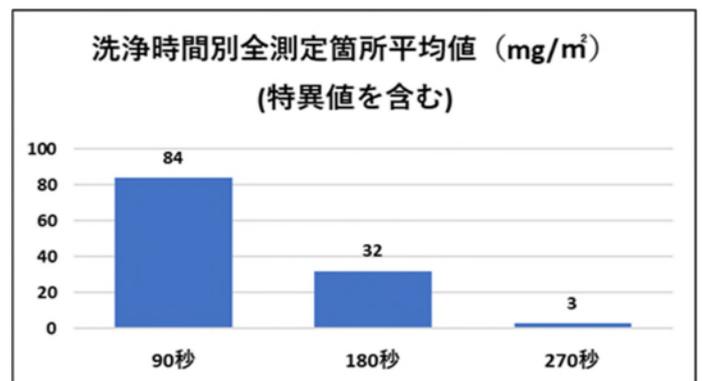


図 18 洗浄時間別全測定箇所平均値 (特異値含む)

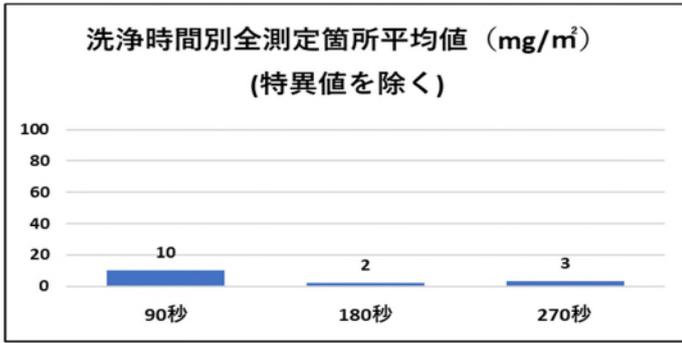


図 19 洗淨時間別全測定箇所平均値(特異値除く)

残留塩分濃度は、洗淨時間が長いほど低下しているが、特異値を除くと洗淨時間による差は殆ど無くなる。よって、貯水槽前洗淨装置においては、適切な洗淨位置と速度で洗淨を行うことが出来れば、洗淨時間による差異は殆どないことから洗淨時間は 90 秒で良いと思われるが、車両の移動速度の調整範囲により設定することが適切と思われる。

なお、残留塩分濃度の目標値は、鋼道路橋塗装便覧（日建連技術資料 B-6-3）では一般橋梁で 100mg/m²以下の許容値であることから、100mg/m²以下は大差がないと判断することができる。

また、洗淨時間を検討するうえで、国土交通省のリコール情報や自動車メーカーの水密試験情報から、水の侵入による電気・電子システムのトラブル等車両の洗い過ぎによる故障リスクを考慮する必要もある。

4.8. 散布作業後の塩分濃度

湿塩散布車が実作業を行った直後の塩分濃度を測定(図 20)し、前記洗淨装置の試験前の塩分濃度 1,000mg/m²程度に対して実態がどのような値かを確認した。測定箇所については図 8 と同じである。

湿塩散布車の散布作業直後の塩分付着濃度は、100mg/m²から 2,000mg/m²以上(測定で使用した塩分濃度測定機器の測定上限値は 2,000mg/m²)であり、路面塩分の巻き上げが激しい箇所は 1,000mg/m²を超過していた。

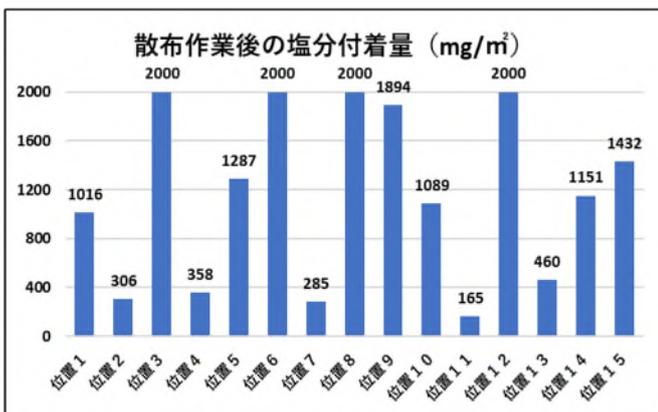


図 20 散布作業後の箇所別塩分濃度

5. 今後の課題

雪氷車両は、腐食や未使用期間中の劣化の進行などで故障や修理費用も多く、今までの検討成果を基に今後は下記の成果を目的として検討を進める。

5.1. 雪氷車両の納車から廃車までの管理手法の検討

- (1) シャーシ部の管理方法を考慮した初期防錆塗料の選定
- (2) 洗淨方法・錆落とし・塗装補修の実施体制と材料や実施方法の検討
- (3) 雪氷期間外の車両保管方法の検討
- (4) 納車から廃車までの管理計画(補修・交換)及びカルテ化(計画と実行対比・改善)
- (5) 腐食車両の安全性評価についての検討
- (6) 車両更新判定の評価方法についての検討

5.2. 効率的な洗淨方法の検討

- (1) シャーシ部を主体とした洗淨基本方針
- (2) 雪氷作業期間中の洗淨方法
- (3) 気象・車両配置台数・作業状況・立地条件を考慮した洗淨装置の機械化と更なる装置の改良
- (4) 効率的な洗淨方法による洗淨水の削減
- (5) 雪氷期明けの入念な洗淨による腐食進行抑制
- (6) 洗い過ぎ(水の侵入による電気・電子系のトラブル)リスクの排除

6. おわりに

高速道路における冬期交通の確保は、社会的にも期待されており、NEXCO グループとしての重要な役割でもある。

雪氷作業時の雪氷車両のスムーズな稼働が交通の確保に直結していることから、弊社の使命として車両の故障防止に努め、関係グループ会社のご理解とご協力をいただき、効率的な保守整備手法の確立に向け取り組んでいく所存である。

車両洗淨装置の試験について、中日本高速道路(株)高山保全・サービスセンター様、中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)高山道路事務所様、中日本ハイウェイ・メンテナンス名古屋(株)高山事業所様のご協力いただき実施できましたことをこの場を借りてお礼を申し上げます。

出典：『車両の腐食分析・対策の検討 報告書』
2023年3月 中日本高速オートサービス(株)