

凍結防止剤散布作業の最適化をめざして

— 地域特性を考慮した濃度管理図試行 —

酢谷 浩*1・阿部 公一*2・氏原 安美*3内川 真*4

1. はじめに

NEXCO東日本秋田管理事務所管内の高速道路において、冬期間の雪氷対策に様々な施策が講じられている。雪氷対策はともすれば、長年の経験値に頼る部分が多いとされてきたが、高速道路の路面を、目標をもって管理する重要性についてはよく指摘される場所である。

冬期間、高速道路での事故発生が特に多く、ある時期の例を挙げると、事故率は56件/億台・Kmと、夏期の事故率32件/億台・Kmに比較して1.7倍も高い(NEXCO東日本東北支社管内)。冬期に高速道路が通行止めになる原因の大半は、交通事故の発生である。

そして、こうした交通事故の原因はスリップ即ち「すべり」や視程の障害である。また、時として長い登り坂で登坂不能に陥る車両がいるが、これもすべり摩擦係数の低さに起因している。

一方、最近、従来の目視観察や離散的で限定的なデータに甘んじることなく、効果的なデータを収集活用し、路面管理の高度化を目指す機運が生まれつつある。

残留塩分濃度や路面温度を連続的に測定する技術は既に多くの路線に導入されているし、路面状態を連続的に判別できる非接触型センサや、様々なタイプのすべり摩擦測定装置なども入手しやすくなってきた。これらの機器を駆使して、路面温度、残留塩分濃度、路面状態(乾燥、湿潤、シャーベット、凍結、圧雪、ほか)並びに路面のすべり摩擦係数といった各種の路面状態指標の相互関係やすべり摩擦の出現実態などを十分に知っていることが、路面管理に欠かせないといえる。

その上で、「望ましい路面状態」、「回避すべき路面状態」を明確に認識し、目標とする路面を積極的に実現すべく、NEXCO東北支社の管内では、さまざまな取組みを行っている。

さらに、冬期の路面管理を効果的に行うには、除雪はもとより、凍結防止剤の追加散布など、凍結防止作業を高度化する必要がある。

そのための一つの試みとして、路面温度と残留塩分濃度を連続測定し、得られたデータを基に、必要な追加散布量を的確に判断し、適宜、必要な凍結防止剤量を散布する取組みを、秋田自動車道で試行した。

橋梁に代表されるように、構造物の老朽化・損傷の原因に凍結防止剤(NaCl)が大きく関与しているのは間違いなく、凍結防止剤の散布量を必要にして最小限にとどめる必要がある。

また、冬期間、雪氷作業に携わるベテラン技術者が高齢化・退職するのに合わせ、経験の浅い技術者の判断を支援する新たな手法も必要にせまられている。

本稿では、こうした「濃度管理図」を用いた凍結防止追加散布手法の試行結果を紹介する。

2. 濃度データの活用原理

必要な凍結防止剤の散布量を的確に判断するには、路面の状態に適合する塩分濃度を算出する必要がある。この基準となるのがNaCl凝固点曲線を基にしたNaCl溶液状態図(相図)

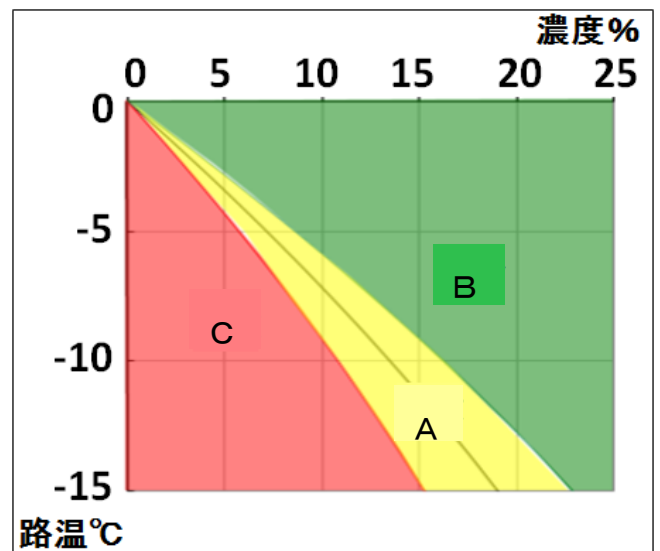


図1 NaCl溶液状態図

である(図1)。

この図は理論的な路面状態を塩分濃度(%)と路面温度(°C)との相関により表したものである。“注意”の領域(A)の中心線が凝固点曲線であり、“安全”の領域(B)は溶液状態、“危険”の領域(C)は氷が析出し始める状態を表す(すべて凍るわけではない)。凍結防止剤を散布し、氷が析出し始める凝固点曲線より上の状態に路面を管理できれば、理論上全面凍結といった状態を回避できる。

ただし、凝固点よりさらに温度低下しても、塩散布により塩水全部は凍らなくなるため、“危険”の領域でも完全凍結には至らない。いわゆる「完全氷化防止作用」と呼ばれる状態である。¹⁾ なお留意点としては、この図の適用には路面が溶液状態である必要があり、シャーベット・積雪・圧雪状態では、その後の気象状況により濃度が上下するため、判定の適用には注意を要する。

*1山田技研(株) *2(株)初ソ・エンジニアリング東北 *3東日本高速道路(株)東北支社 *4株式会社初ソ・メンテナンス 秋田事業所

3. 地域特性を考慮した濃度管理図

路面温度と残留塩分濃度を連続測定する装置（以下塩分濃度測定システム、写真1）の活用によりリアルタイムで連続



写真1 塩分濃度測定車と濃度センサ

したデータの取得が可能になり、そのデータを基に凍結防止剤の散布量を考慮するが、その際、路面温度の時間的変化も考慮することができれば、塩分濃度のデータと連動させて、予測に基づいた凍結防止剤の追加散布量とすることが可能である。このような考えのもとに、高速道路総合技術研究所（以下ネクソ総研）において、地域ごとの「濃度管理図」作成の提案がなされた。²⁾

濃度管理図の作成方法については、参考文献に詳しいので、ここでは割愛する。

4. 濃度管理図を用いた凍結防止剤散布作業の最適化試験施工

ネクソ総研作成の「地域特性を考慮した凍結防止剤の濃度管理運用マニュアル（以下「運用マニュアル」という）を基に、車載式の塩分濃度測定システムと濃度管理図を活用した路面管理手法の現地定着を目指すため、ネクソ東北支社秋田管理事務所にて、試験施工を実施した。濃度管理図は凍結防止剤散布作業の最適化を目指して考えられたものであり、その現場での活用にあたっては、具体的な運用方法を検討して実践し、その結果を検証する必要がある。

そのため試行を実施するにあたっては、本格運用ではないため現存する設備を用い、追加散布タイミングを判断するための必要情報の提供、散布量を効率的に調節するための追加散布量の試算など、必要なステップを確認し、実用化に向けた取り組みを行なっていくこととした。それに先立ち運用マニュアルを基に、秋田道独自の濃度管理図を作成した（図2）。

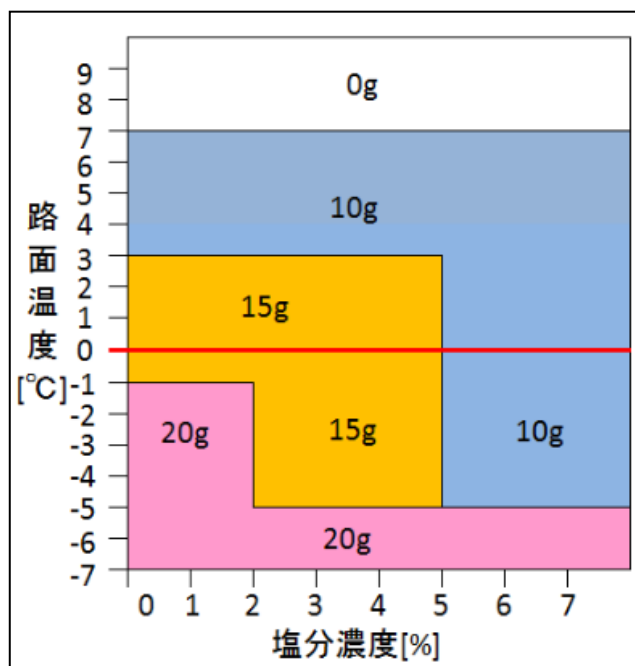


図2 秋田管理用濃度管理図

4.1 試行内容

(1) 工区及び散布条件

秋田道（協和 IC—秋田中央 IC 間、片道 18km）、
15g/m²を全線散布する場合は 3.5t 積載

(2) 試行期間

平成 27 年 3 月 11 日～12 日

(3) 使用したシステム

「塩分濃度測定システム」を使用し、NEXCO秋田管理事務所に設置したサーバーソフトウェアに以下の機能を追加した。

- 濃度管理図により算出される必要散布量を 3 kmごとに平均し、各区間の追加散布量を色別(0g/m²を白、10g/m²を青、15g/m²を橙、20g/m²を桃)に表示する機能。
- 散布作業者が実際に散布作業を行う際に利用する「散布量切替リスト」(区間ごとの散布 g 数を明示)を作成する機能(図3)。

散布量切替リスト (測定範囲全体)		散布量切替を路線・キロポストで絞り込む	
秋田道	上り 106.0 ~ 102.0 15g/m²	秋田道	94 KP ~ 114 KP
	102.0 ~ 101.0 10g/m²		
	101.0 ~ 095.0 15g/m²		
	095.0 ~ 123.0 15g/m²		
	上り 122.0 ~ 106.0 15g/m²		
		秋田道	上り 106.0 ~ 102.0 15g/m²
			102.0 ~ 101.0 10g/m²
			101.0 ~ 095.0 15g/m²
			095.0 ~ 123.0 15g/m²
			上り 114.0 ~ 106.0 15g/m²
			散布量20g/m²に対する削減率:25.5%

図3 散布量切替リスト

(4) 試行手順

①事前測定と追加散布判断

塩分濃度測定システム搭載車にて、路面の塩分濃度と路面

温度を測定し、NEXCO 管理事務所にて、追加散布実施の判断及び実施する場合の区間ごとの散布量（散布量切替リスト）と必要積載量を決定する。

②散布作業

上記①で決定した量の凍結防止剤を散布車に積載し、作業者は受け取った「散布量切替リスト」を基に作業実施。

③検証測定

散布後 30 分～1 時間以内に、再度、残留塩分濃度の巡回測定を行ない、散布前①の結果からの変化量（路面判定）を確認する（追加散布指示のための測定ではない）。



写真 2 防災対策室からの指示状況

4.2 試行結果

計 5 回試行のうち、代表的な例を示す。

(注) 管理図の最大必要散布量は 20 g/m^2 だが、秋田道での実績から 15 g/m^2 が基本のため、可能削減率 (図 3 参照) を基に実際の追加散布量に換算した。

(1) 3 月 11 日 14:40 試行 : 散布作業を見送り

①事前測定と追加散布判断

全区間の路温が 4°C 以上あり、散布量 0 g と表示された。追加散布の必要なしと判断し、散布作業は実施せず。(図 4 の散布量グラフは白色 0 g 表示 : 楕円囲み部)

従って②散布作業③検証測定はなし。

(2) 3 月 11 日 17:10 : 通常通りの散布

①事前測定と追加散布判断

一部区間で散布量 10 g 表示だったが、全区間で概ね 15 g 表示だった。(図 5 の散布量グラフはほとんどが橙色 15 g 表示 : 楕円囲み部のみ 10 g/m^2)

②散布作業

10 g/m^2 での散布を行わず、全線 15 g/m^2 の散布を実施した。

③検証作業 : 20:00 に実施

路温が 0°C 前後に低下したが、濃度は概ね 2% 以上あり、安全であったことが確認できた。

(3) 3 月 12 日 23:40 : 通常より積載量を減らした散布

①事前測定と追加散布判断

一部区間で散布量 15 g/m^2 表示だったが、おおむね 10 g/m^2 表示なため、可能削減率を元に約 3 割少ない 2.5 t を積載した。(図 6 の散布量グラフはほとんどが青色 10 g 、一部に橙色 15 g 表示 : 楕円囲み部のみ 15 g)

②散布作業

$10 \text{ g/m}^2 \cdot 15 \text{ g/m}^2$ の散布を散布量切替リスト通りに切替えながら作業を実施した。

③検証作業

路温は若干低下したが、 0°C 以上であったため、路面は安全であることが確認できた。

5. まとめ

これまで、残留塩分濃度と路温の測定結果を基にした合理的な追加散布を目指した「運用マニュアル」を得ながら、様々な事情から、現場での試行実施にまで至っていなかった。今回の試行は現状可能なツールを用いて、まずは「濃度管理図」を用いた実践を試み、その実効性と課題等を確認することに意義があった。

最終目標は測定データに基づき散布区間・散布量の切替を散布車において自動で行なう「自動散布」としているが、现阶段で使用可能なソフトウェアやツールのみでは、作業を完結できない。

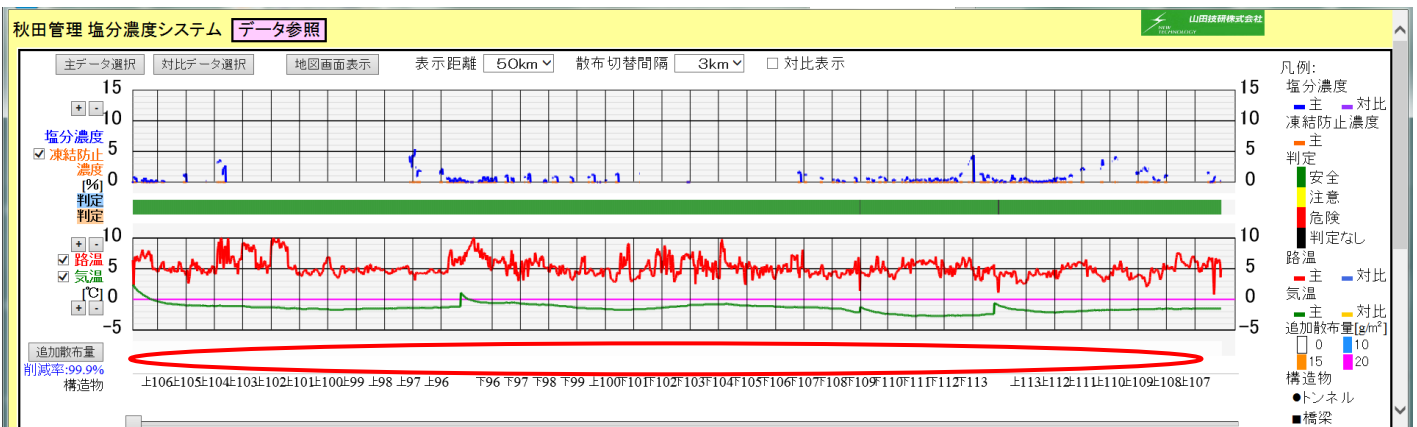


図 4 3 月 11 日 14:40 に計測を開始した時の測定結果



写真3 試行時の秋田南 ICの様子

そのため、雪氷判断担当者や作業員の手作業に頼るところもあった。

車載式の塩分濃度測定システムの利用にあたっては、これまでともすれば濃度測定のみ比重が置かれ、路温測定や位置情報計測に関する意識は濃度ほど高くはない傾向があった。濃度管理図はあくまでも濃度と路温の関係によるものであり、今回の試行を通し路温測定の重要性を改めて認識させられた。

今回試行を実施した終冬期においては、夜間でも路温が大

きく低下しない場合が多い。このようなとき、残留塩分濃度によっては凍結の恐れがないため、追加散布の必要がないことはこのシステムから容易に判断できる。

試行回数は多くはなかったが、実際の積込量に関しては、5回の試行のうち2回ほど、散布量の削減示唆がなされた。実際に、通常より少なく積み込み、その後の安全路面を確認できた。このことにより、必要な箇所に必要な量だけ散布するように積み込めば、積み残しなく作業を完了できることが、今回の試行で検証できた。

現場の雪氷担当者から種々な意見・アドバイスが出され、課題も明確になった。自動散布システムが実現できれば、課題もかなり解決できると思われる。今後他の路線・区間でも試行を重ね、異なる路線・気象特性で試行の内容を深めていながら、さらに実用化に向けて取り組む所存である。

(参考文献)

- 1) 村國 誠：“冬期路面管理に使用する「塩」の散布効果に関する試験”と“「凍結防止作用」・「融雪氷作用」の考察”、福井雪技術研究会論文報告集 第6号 2013.6
- 2) 吉江 誠吾：地域特性を考慮した凍結防止剤散布の濃度管理図の作成とその活用方法について、ゆきみらい2009 高岡

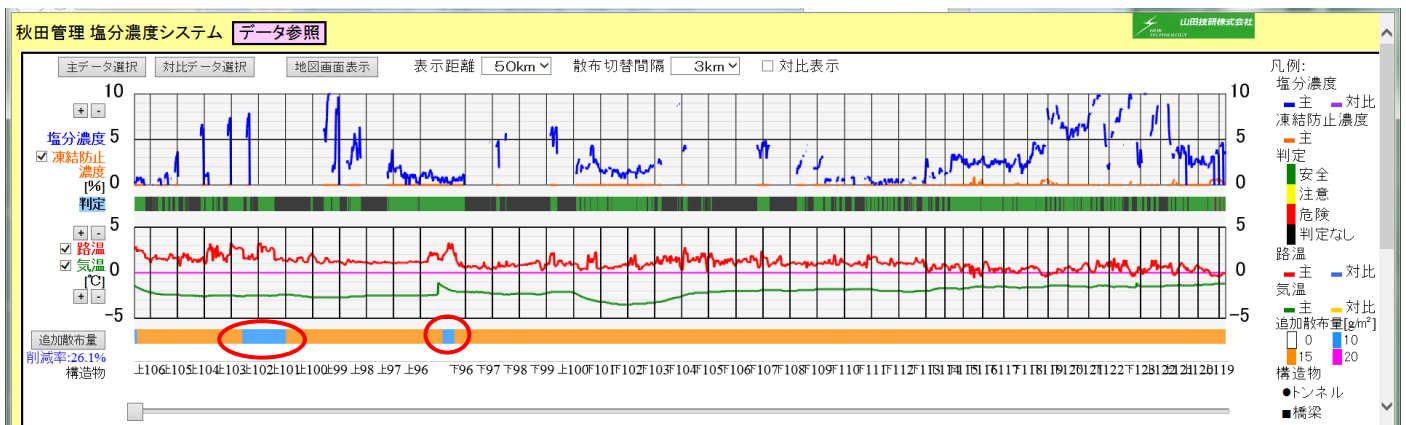


図5 3月11日 17:10に計測を開始した時の測定結果

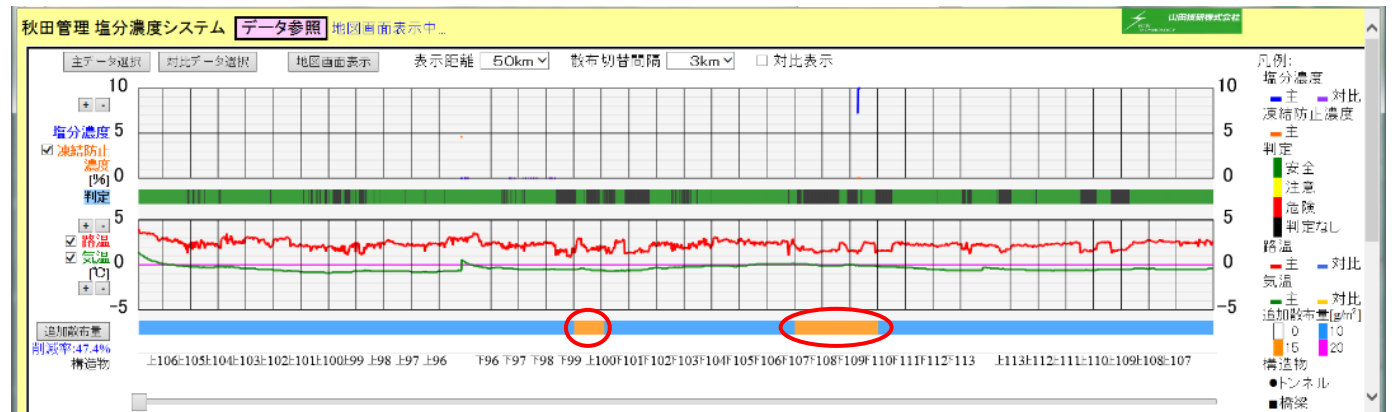


図6 3月12日 23:40に計測を開始した時の測定結果