コスト低減に資する新たな凍結防止剤散布方法と防滑材の定着性向上に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 4～令 6
担当チーム：寒地交通チーム
研究担当者：中村浩、畠山乃、大廣智則、
松島哲郎、村上健志、齊田光、
中村裕貴

【要旨】
北海道など積雪寒冷地では、圧雪路面や凍結路面における、すべり摩擦係数(以降μと表記)が低下してすべりやすい路面状態となり、車両のスリップ事故や旅行速度低下の原因となる。それらの対策として防滑材や凍結防止剤を散布することで、路面のすべりやすさの改善、μの向上が図られている。
凍結防止剤は散布方法、散布量や散布のタイミングなどによって路面のすべりやすさを改善する効果(以降、散布効果と表記)が異なるため、散布効果が高い方法での散布が望まれる。よって、①新たな水溶液散布による散布効果の検証。また、凍結防止剤として、一般的に用いられている塩化ナトリウムなどの塩化系の凍結防止剤は、道路標識や鋼橋が腐食するなど、構造物への悪影響が懸念されることから防錆効果の検証、②防滑材散布温度の差異による雪氷路面への定着性向上について報告する。
キーワード：凍結防止剤、防滑材、すべり摩擦係数、防錆効果、中性塩水噴霧サイクル試験

1. はじめに

国土交通省北海道開発局における凍結防止剤散布作業は、路面の凍結が発生しやすく、安全な通行に与える影響が大きい区間を対象として、散布作業を行っている。散布材料は、湿潤式塩化ナトリウムを基本とし、散布量は20g/m^{2}程度とするが、気象条件や地域特性に応じた散布方法を選定することが定められている[1)]。

このことから、温度・濃度・混合率・散布量などの最適化を行い、適切な散布方法を選定することは、コスト縮減に結びつくと同時に冬季道路の安全性が向上することで、交通事故発生件数の低減というアウトカムに結びつくことが期待される。

2. 達成目標①新たな水溶液散布による散布効果の検証および防錆効果の検討

散布方法の最適化に資するため、様々な条件で試験を行い、最適解を求めることを目標として、以下の2項目の検証を行った。

2.1 新たな水溶液散布による定量的な効果の検証

図-1に示す苫小牧寒地試験道路で圧雪路面と凍結路面を再現し、防滑材のみを散布した乾式散布と、防滑材と凍結防止剤を混合した湿潤式散布において、μに差異が生じるか検証を行った。

2.1.1 調査概要

図-2に示す5箇所の区間を設定し、各区間の路面の塩分濃度が0%であることを確認、気温が氷点下へ推移した後に、散水し凍結路面を作成した。凍結防止剤などの散布条件は、図-2に示すとおりである。

その後、実際の道路交通状況を再現するための車両を走行させた後に、図-3に示す連続路面すべり抵抗計測車(Continuous Friction Tester：CFT)で路面のすべり抵抗値(Halliday Friction Number：HFN)を計測し、Saida et al. [2)]で示されている換算式を用いてμを求めた。

2.1.2 調査結果

図-4 a)に車両が走行した箇所(以下、走行輪と表記)、図-4 b)に車線中央のμの計測結果を示す。

走行輪と車線中央の計測位置の違いによりμに差異が生じた。これは、タイヤが走行することで路面温度

図-1 作成した凍結路面

図-3 すべり抵抗計測車

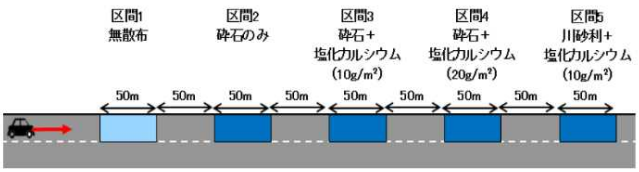


図-2 5箇所の散布区間と散布条件

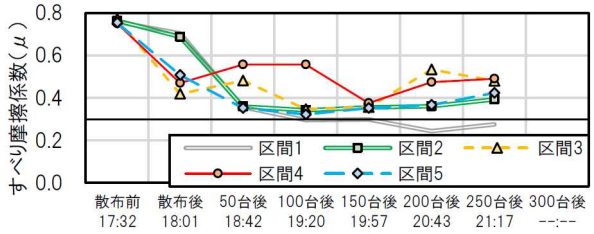
に変化が生じ、同一区間内でも凍結状況に変化が生じた可能性を有する。

図-4 c)に路面状態を示すが、散布前は湿潤路面であり、後に凍結路面となった。150台走行後以降は道路の路肩に積雪が発生していたことが確認できる。

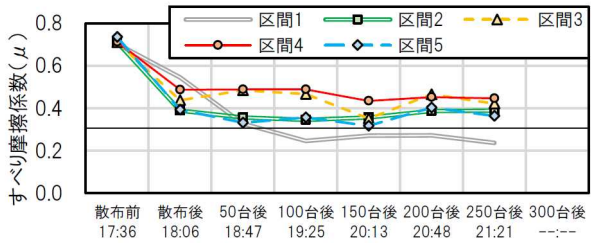
走行輪の散布直後は、区間2：採石のみが散布効果が高い。しかし、車両走行後は、区間3、4：湿潤式散布の方が、高い散布効果が得られた。これは、気温・路面温度の変化や降雪があっても、塩化カルシウムの散布効果が持続したことと、区間2：採石のみ箇所は、車両走行により採石が飛散した可能性があり、散布効果が低下したと考えられる。

結論としては、走行輪と車線中央ともに、区間4：防滑材(砕石)＋凍結防止剤(塩化カルシウム水溶液20g/m^2)による湿潤式散布が、高い散布効果が得られた。

a) 路面のすべり摩擦係数（μ）の推移[走行輪]



b) 路面のすべり摩擦係数（μ）の推移[車線中央]



c) 路面の画像

図-4　凍結防止剤散布前後のμの推移と路面状況

2.2　防錆効果のある物質の適用性検証

凍結防止剤として、一般的に用いられている塩化ナトリウムなどの塩化系の凍結防止剤は、道路標識や鋼橋が腐食するなど、構造物への悪影響が懸念される。

凝固点が0℃以下である化学物質の一例を表-1に示す。既往研究から得られた知見[3), 4), 5)]から、凍結防止剤として利用可能な以下の2種類を選択し、鋼材に与える影響を検証した。いずれの水溶液も濃度は20%とした。

- ✓　塩化ナトリウム水溶液(北海道開発局標準)
- ✓　炭酸カルシウム水溶液
- ✓　コハク酸二ナトリウム・六水和物水溶液

2.2.1　調査概要

防錆効果の調査方法は、様々な手法が提案されているが、本調査ではJIS H 8502に規定される、めっきの耐食性試験方法[6)]を採用した。JISでは様々な水溶液の試験方法が定義されているが、JIS Z 2371に規定される中性塩水噴霧サイクル試験[6)]を行った。

表-1　凝固点が0℃以下である化学物質の一例

分類	化学物質名	凝固点	価格 (円/1kg)	採用
塩化物	塩化カルシウム	-22	5,600	
	塩化ナトリウム	-19.1	160	○
	塩化アンモニウム	-14.5	4,220	
アンモニア塩	カルバミン酸アンモニウム	-13.8	396,000	
	硝酸アンモニウム	-8	4,500	
	炭酸アンモニウム	-4.9	6,000	
ギ酸	ギ酸ナトリウム	-16.2	5,200	
	ギ酸アンモニウム	-15.7	5,900	
酢酸	酢酸ナトリウム	-19.2	3,100	
	酢酸アンモニウム	-16.1	3,800	
	酢酸カリウム	-15.1	5,900	
	酢酸カルシウム	-10.5	440,000	
	酢酸マグネシウム	-8.6	160,000	
コハク酸	コハク酸二ナトリウム	-11.6	3,300	
	コハク酸二ナトリウム六水和物	-5.9	6,100	○
	コハク酸カリウム三水和物	-6.3	20,000	
	コハク酸二アンモニウム	-10.6	20,000	
クエン酸	クエン酸トリアンモニウム	-6.6	12,000	
	クエン酸三カリウム一水和物	-5.1	4,600	
	クエン酸三ナトリウム二水和物	-4.9	5,060	
	クエン酸水素二アンモニウム	-4.5	5,000	
	クエン酸二水素カリウム	-4	11,100	
	クエン酸	-3.2	3,740	
その他酸系	マレイン酸二ナトリウム	-7.5	18,400	
	炭酸カルシウム	－－	3,000	○
	プロピオン酸ナトリウム	-16.4	9,000	
	酪酸ナトリウム	-15.2	30,200	
	シュウ酸カリウム一水和物	-6.9	6,700	
	マロン酸二ナトリウム	-10.3	20,600	
	乳酸ナトリウム	-5.1	7,400	
	グルコン酸カリウム	-3.7	13,400	
	グルコン酸ナトリウム	-3.9	5,200	
	安息香酸ナトリウム	－－	7,200	
	酒石酸水素カリウム	－－	7,600	

図-5に示す「複合サイクル試験機」と呼ばれる試験機器を用い、表-2[6]に示す条件で水溶液の噴霧、乾燥、湿潤を繰り返し、鋼材に与える影響を検証する試験である。以下の6種類の供試体を作成し検証した。試験時間は、各水溶液とも168時間(約7日間)とした。

- ✓ 銅C 1100P t=4.00mm
- ✓ アルミニウムA 1100P t=4.00mm
- ✓ ステンレスSUS304 (日本国内規格) t=4.00mm
- ✓ トタン t=0.25mm
- ✓ 亜鉛引き 溶融亜鉛メッキ t=4.00mm
- ✓ 鉄 ハルセル陰極版 t=0.30mm

2.2.2 評価方法

試験片の評価対象面の腐食発生状態を評価する方法は、JIS Z 2371に規定されるレイティングナンバ(Rating number、以下RNと表記)を付与した。

RNとは、腐食面積を実測して評価する。腐食形状が複雑な場合、腐食部の長径・短径を測定し、腐食面積=(長径*短径*π)/4として腐食面積合計を求める。

表-3にRNと孔食の腐食面積率との関係を示すが、RNの数値が小さいほど腐食が進行し、供試体が損傷を受けている状況にある

2.2.3 調査結果

RNを表-4、調査結果の概要を以下に示す。

- ✓ 塩化ナトリウム水溶液と炭酸カルシウム水溶液 アルミニウム・ステンレス・トタンで高いRN値を示し腐食への影響が小さい。一方、銅・亜鉛引き・鉄はRN値が低く、腐食への影響が大きい。
- ✓ コハク酸二ナトリウム・六水和物 銅・アルミニウム・ステンレス・トタン・鉄で比較的高いRN値を示し腐食への影響が小さい。一方、亜鉛引きのみRNが値0であり腐食への影響が大きい。
- ✓ コハク酸二ナトリウム・六水和物は、亜鉛引きを除き腐食への影響が小さい。一方、塩化ナトリウムと炭酸カルシウムは、腐食への影響は同程度であった。

なお、本調査結果で、凍結防止剤の種類により、腐食の発生に違いが生じた供試体、および道路標識などで多数使用されている溶融亜鉛メッキの供試体写真を、図-6に示す。写真判別からも、コハク酸二ナトリウム・六水和物は、腐食への影響が小さいことが明らかとなった。

図-5 本調査で使用した複合サイクル試験機

表-2 複合サイクル試験機を用いた試験方法[6]

段階	時間 (h)	温度 (℃)	条件	備考
1	2	35±1	塩水噴霧	30 分以内に段階 2 へ移行。
2	4	60±1	乾燥 20～30%RH	15 分以内に段階 3 へ移行。
3	2	50±1	湿潤 95%RH 及びそれ以上	30 分以内に段階 1 へ移行。
4	段階 1 に戻る。			段階1～3のサイクルで8時間を要する。

3. 達成目標②防滑材の散布温度の差異による雪氷路面への定着性向上

防滑材と高温の水溶液を混合して散布することで、飛散量が減少し雪氷路面への定着性が高まり、散布効果が向上することを検証した。2.1と同様に、凍結路面を再現し、防滑材と凍結防止剤を混合した湿潤式散布において、各水溶液の散布温度を複数種類設定し、μに差異が生じるか検証を行った。

3.1 調査概要

基本的な調査方法は2.1.1に示した手法と同様にμの計測を行った。本調査で使用した凍結防止剤は、2.1.2に示した、最も散布効果が高い配合方法、防滑材(砕石)＋凍結防止剤(塩化カルシウム水溶液20g/m^2)に統一し、散布温度を変化させてμを計測した。散布箇所、散布温度を図-7に示す。

表-3 レイティングナンバと腐食面積率[6]

ﾚｲﾃｨﾝｸﾞﾅﾝﾊﾞ	孔食の腐食面積率 (%)	ﾚｲﾃｨﾝｸﾞﾅﾝﾊﾞ	孔食の腐食面積率 (%)
10.0	0.00 孔食なし	6	0.50 ～ 1.00
9.8	0.00 ～ 0.02	5	1.00 ～ 2.50
9.5	0.02 ～ 0.05	4	2.50 ～ 5.00
9.3	0.05 ～ 0.07	3	5.00 ～ 10.00
9	0.07 ～ 0.10	2	10.00 ～ 25.00
8	0.10 ～ 0.25	1	25.00 ～ 50.00
7	0.25 ～ 0.50	0	50.00 を超える

表-4 本調査でのレイティングナンバ

レイティングナンバー	塩化ﾅﾄﾘｳﾑ 水溶液	炭酸ｶﾙｼｳﾑ 水溶液	ｺﾊｸ酸二ﾅﾄﾘｳﾑ 六水和物水溶液
銅C 1100P	2.0	0.0	8.0
アルミニウムA 1100P	8.0	10.0	10.0
ステンレスSUS304	9.5	9.3	10.0
トタン	9.8	10.0	10.0
亜鉛引き 溶融亜鉛ﾒｯｷ	0.0	0.0	0.0
鉄 ハルセル陰極版	0.0	0.0	9.8

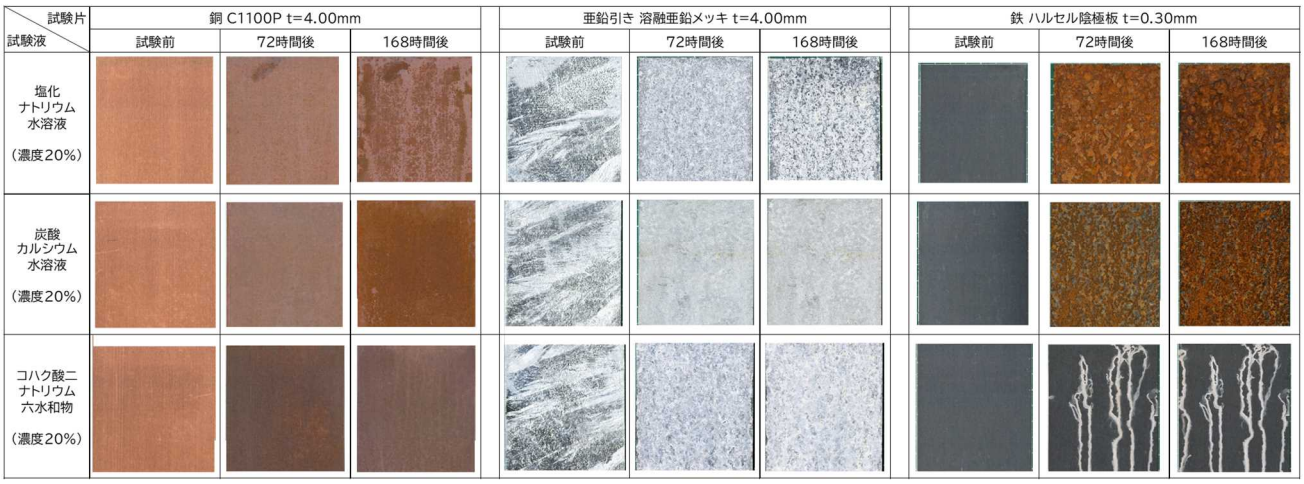


図-6　凍結防止剤の種類により腐食の発生に差異が生じた供試体の状況

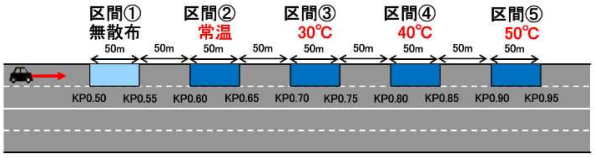
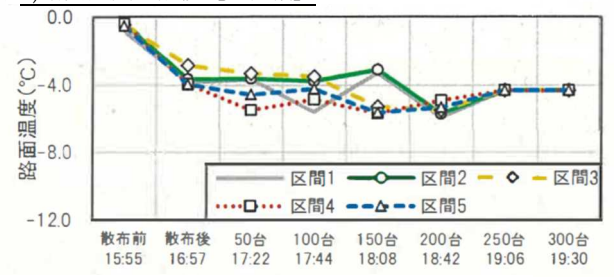


図-7　5箇所の散布区間と散布温度

a)路面温度の推移［走行輪］



b)路面のすべり摩擦係数(μ)の推移［走行輪］

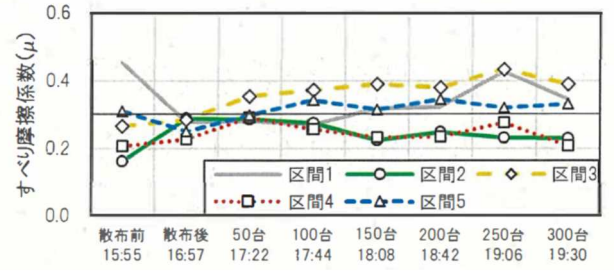


図-8　複数種類の温度で散布した後のμの推移

なお、区間②の常温とは、加熱せず散布した箇所であり、概ね外気温と同一温度である。実際に道路に散布する場合の状況を模している。

3.2　調査結果

図-8に車両が走行した箇所(以下、走行輪と表記)の路面温度とμの推移を示すが、区間③：30℃に加熱して散布した場合に、高い散布効果が得られた。

理由は、凍結防止剤を含む溶液を加熱して混合散布することで、凍結路面の氷が融解し、凍結防止剤が路面に残存したことが推定される。しかし、区間③：30℃よりも、区間④：40℃、区間⑤：50℃の方が、μが低いことからも、散布温度とμの相関関係は不明な点が多い。

よって、散布効果を定量的に評価するためには、様々な現場条件や散布方法、散布温度、路面温度などを考慮し、更なる検討が必要である。

参考文献

1) 国土交通省北海道開発局：道路の維持管理について、道路の維持管理計画（案）Webサイト、2024.2. https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/dou_iji/ud49g70000008f31.html（令和7年5月1日閲覧）

2) Saida, A., Okumura, K., Ohiro, T., Matsumoto, K., Mura-kami, K. and Konishi, K.: Road friction coefficient estima-tion system using road surface images and a convolutional neural network, Proceedings of the XXVIIth World Road Congress, 2023.

3) 佐藤賢治、徳永ロベルト、高橋尚人、中島範行：コハク酸二ナトリウム・六水和物の凍結防止剤としての適用性に関する研究、寒地土木研究所月報、第787号、pp.2-11、2018.12.

4) 村上健志、大廣智則、伊東靖彦：防錆効果を有する新たな凍結防止剤の散布効果試験、第66回(2022年度)北海道開発技術研究発表会、pp.805-809、2023.02.

5) 佐藤昌哉、畠山乃、大廣智則、徳永ロベルト、佐藤賢治、齊田光、髙田哲哉、村上健志：非塩化物系凍結防止剤の活用促進と開発に関する研究、(国研)土木研究所、研究成果報告書、2021.04.

6) (一財)日本ウエザリングテストセンター：促進暴露試験ハンドブック平成21年4月1日版、〔II〕促進腐食試験、腐-7、2009.4. http://jwtc.or.jp/gijutsu/09.pdf（令和7年5月1日閲覧）

STUDY ON A NOVEL COST-REDUCING METHOD FOR APPLYING DEICING AGENTS AND ENHANCING THE ADHESION OF ANTI-SKID MATERIALS

Research Period: FY2022-2024
Research Team: Traffic Engineering Research Team,
Winter Road Research Group
Author: NAKAMURA Hiroshi
HATAKEYAMA Osamu
OHIRO Tomonori
MATSUSHIMA Tetsuro
MURAKAMI Takeshi
SAIDA Akira
OKUMURA Kota
NAKAMURA Yuki

Abstract: In snowy and cold regions such as Hokkaido, the development of compacted snow or ice on roads leads to decreases in the road surface friction coefficient (μ), which results in hazardous, slippery conditions. These conditions contribute to vehicle slip accidents and travel speed decreases. To mitigate these problems, anti-skid materials and deicing agents are applied to improve surface traction and increase μ.

The efficacy of deicing agents is highly dependent on factors such as their application method, quantity, and timing, making it desirable to apply them in a manner that maximizes their effectiveness. This study (1) proposes a new method of aqueous solution application designed to contribute to cost reductions. Furthermore, considering that commonly used chloride-based deicing agents, such as sodium chloride, can induce corrosion in road signs, steel bridges, and other infrastructure, this study examines rust prevention measures. The study also (2) reports on improvements in the adhesion of anti-skid materials to snow- and ice-covered road surfaces.

Keywords: deicing agent, anti-skid materials, coefficient of sliding friction, anti-corrosion effect, neutral saltwater spreading cycle test