

防錆効果を有する新たな凍結防止剤の 散布効果試験

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○村上 健志
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 大廣 智則
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 伊東 靖彦

筆者らは防錆効果を有するプロピオン酸ナトリウムやコハク酸二ナトリウム・六水和物の凍結防止剤としての利用可能性を調べている。本研究では、塩化ナトリウムとプロピオン酸ナトリウムを9:1、塩化ナトリウムとコハク酸二ナトリウム・六水和物を19:1で混合して、苫小牧寒地試験道路において路面凍結後の事後散布による散布効果試験を実施した結果、従来の塩化ナトリウム単体の散布と同等のすべり抵抗値改善効果を確認した。

キーワード：凍結防止剤、非塩化物、散布効果、防錆効果

1. はじめに

北海道などの積雪寒冷地においては、降雪や路面凍結により路面の摩擦係数が低下し、スリップ事故の発生や車両速度の低下による交通渋滞が発生する。このため、冬期の凍結路面对策として凍結防止剤散布が広く行われている。凍結防止剤には、価格、融氷性能、取り扱いやすさおよび入手性が優れている塩化ナトリウム（以下、塩ナト）や塩化カルシウム（以下、塩カル）などの塩化物が主に使用されているが、これら塩化物系の凍結防止剤は、道路構造物、走行車両、植生などの沿道環境への負荷が懸念されている¹⁾。

寒地土木研究所では、沿道環境への負荷が少ない新たな凍結防止剤を開発するため、プロピオン酸ナトリウム（以下、プロナト）とコハク酸二ナトリウム・六水和物（以下、コハク）を対象として、凍結防止剤としての利用可能性を調べてきた^{2), 3)}。

令和2年の散布試験では、当研究所が所有する苫小牧寒地試験道路にて、プロナトもしくはコハクを使用して塩ナトと混合し湿式散布を行い、路面凍結前の事前散布による散布試験を実施した。その結果、プロナトを混合して散布しても塩ナト単体の散布と同程度の路面すべり抵抗値を得ることができた。コハクを混合して散布した場合は、低温時に凝固点の違いから塩ナト単体の散布より低いすべり抵抗値となることもあった²⁾。また令和元年の試験では、路面凍結後の事後散布による試験を行った結果、プロナトもしくはコハクを混合した場合においても、散布2時間後までは塩ナト単体での散布と同程度のすべり抵抗値改善がみられたが、試験の途中で降雪の影響を受けすべり抵抗値が低下し、散布効果の持続性の

差は明らかにできなかった³⁾。そこで本研究では、事後散布による散布効果試験を実施し、プロナトもしくはコハクを混合して散布した場合の路面すべり抵抗値の変化および持続性を、塩ナト単体の散布と比較したので報告する。

2. 試験対象薬剤について

(1) プロピオン酸ナトリウム

プロナト（図-1）は、細菌や真菌の増殖を抑制する効果があるため、食品保存料として使用されている。食品以外にも化粧品、飼料、塗料、接着剤としての用途もあり、日本国内での年間流通量は約40 tと見積もられている。外観は白色であり、形状は一般的に粉状であるが粒状への加工も可能である。プロナトの凝固点は、20%濃


外観	
分子式	C ₃ H ₅ NaO ₂
質量	96.06 g/mol
溶解度	995 g/L (20°C)
水素イオン指数(pH)	8 - 9.5

図-1 プロナトの特性⁴⁾

度の水溶液で-16.4℃となり、塩ナトの-19.7℃と比べて高いが、塩ナトとプロナトを混合することで凝固点の差は僅かとなる。塩ナトとプロナトの重量比8：2混合物の凝固点は-18.9℃である⁵⁾。金属腐食性については、図-2に示すとおり、プロナト単体ではほぼ腐食は発生しておらず、塩ナトと混合しても塩ナト単体よりも金属の腐食を抑えることができる。

(2) コハク酸二ナトリウム・六水和物

コハク（図-3）は、国内で主に食品添加物やメッキ剤の原料として流通しており、国内の年間流通量は約3,000 tである。外観はプロナトと同様に白色である。コハクの凝固点は、20%水溶液で-5.9℃で塩化ナトリウム（-16.4℃）より高いが、塩ナトとコハクを混合することで塩ナトの凝固点に近づくため、積雪寒冷地域で適用可能と考える。塩ナトとコハクの重量比19：1混合物の凝固点は-17.8℃である⁶⁾。金属腐食性に関しては図-2に示すとおり、プロナトと同様にコハクは、塩ナトと混合しても塩ナト単体よりも金属の腐食を抑えることができる。

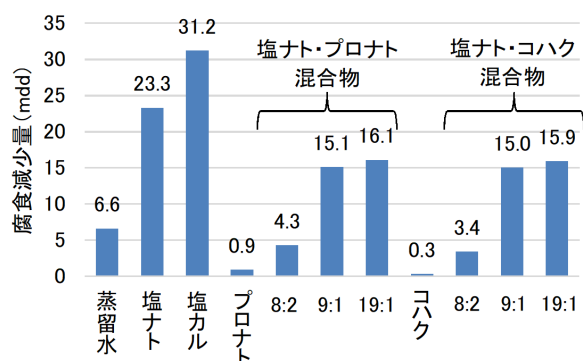


図-2 金属腐食性確認結果⁶⁾


外観	
分子式	$C_4H_{16}Na_2O_{10}$
質量	270.142g/mol
溶解度	349kg/m ³ (35℃)
水素イオン指数(pH)	7 - 9

図-3 コハクの特性⁷⁾

3. 散布試験

(1) 試験概要

プロナト及びコハクの散布効果を確認するため、2022年1月17日および20日、当研究所が所有する苫小牧寒地試験道路（写真-1）において散布試験を実施した。試験走路は1周L=2,700m（直線部L=1,200m、曲線部L=160m）である。散布試験では試験道路に作製した凍結路面に薬剤の種類が異なる凍結防止剤を散布し、一般の道路交通を再現するため交通模擬車両（ダミー車）を走行させ、一定台数通過ごとに路面のすべり抵抗値を計測することで散布効果を検証した。

(2) 散布方法

散布量は冬期路面マニュアル（案）⁸⁾における凍結防止剤の散布基準のうち事後散布を想定して30g/m²とし、散布方法は湿式散布とした。湿式散布とは塩ナト等の固形剤を、水溶液状にした塩ナトや塩カル等の凍結防止剤溶液に混合して散布する方法で、路面への付着性がよく、風や通行車両による飛散を少なくし、即効性や持続性が優れた散布方法である。プロナトおよびコハクは、塩ナトと混合しても金属腐食の進行を抑えることができ、単体で使用した場合、従来の塩ナト単体の散布よりも散布コストが高むことから、塩ナトと混合して散布することとした。また、プロナトおよびコハクは固形剤としての散布ではなく溶液状にした湿式剤として、固形剤の塩ナトに混合して散布を行った。混合比率については、凝固点測定結果、金属腐食性試験結果、剤の価格等を考慮した結果、表-1に示すとおりとし、塩ナト固形剤にプロナト水溶液（濃度25%）を付加した湿式散布（塩ナト：プロナトの重量比は9：1）、塩ナト固形剤にコハク水溶液（濃度15%）を付加した湿式散布（塩ナト：コハクの重量比は19：1）を実施した。また、これらとの比較のため、従来実施している塩ナト固形剤に塩ナト水溶液（濃度20%）を付加した湿式散布を実施した。



写真-1 苫小牧寒地試験道路

表-1 使用薬剤（凍結防止剤）

固形	使用薬剤	散布混合比 (固形:湿式剤)
	湿式剤	
塩ナト	塩ナト水溶液(濃度20%)	2.5:1
塩ナト	プロナト水溶液(濃度25%)	2.5:1
塩ナト	コハク水溶液(濃度15%)	2.5:1

(3) 試験手順

散布試験のレイアウトは図-4のとおりである。各凍結防止剤の散布区間は幅3.5m×延長100mである。散布区間同士の干渉を避けるために、各区間の間には100～200mの無散布区間を設けた。試験の手順を述べる。

- i) 夕方、試験道路の直線区間に散水車を利用して散水を行い氷膜路面を人工的に作製する（写真-2）。
- ii) 散水した水が凍結し氷膜路面になった後に各凍結防止剤の散布を行う（写真-3）。
- iii) 路面すべり抵抗値を計測する。
- iv) 車両の走行による路面状態の変化を観測するため、交通模擬車両50台を走行させる（写真-4）。交通模擬車両の速度は50km/hとし、普通乗用車を使用した。
- v) 路面すべり抵抗値を計測する。
- vi) 手順iv)～v)を通過台数が200台（50台×4セット）に達するまで繰り返す。

(4) 計測装置

散布効果の把握は、連続路面すべり抵抗値計測装置（写真-5）を用いてすべり抵抗値を計測した。連続路面すべり抵抗値計測装置とは、車両後部に計測輪（左右外側の2輪）を設け、計測輪を車両進行方向に対して1～2°程度の角度を与え、計測輪が回転する際に発生する横力を計測し、連続的に路面のすべり抵抗値を計測する装置である。なお、すべり抵抗値とは、当該装置の開発者が独自に設定したHFN（Halliday Friction Number）と



写真-2 氷膜路面作製



写真-3 凍結防止剤散布



写真-4 交通模擬車両走行

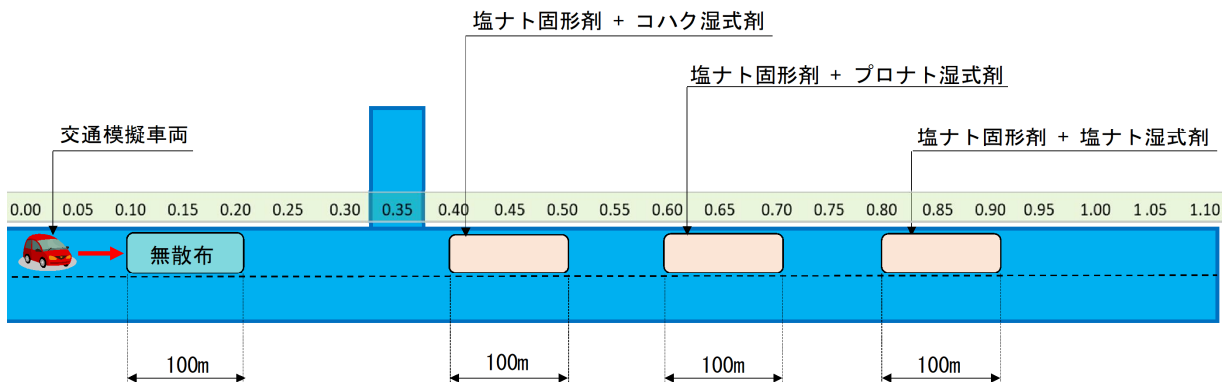


図-4 散布試験のレイアウト



写真-5 連続路面すべり抵抗値計測装置

呼ばれる値であり、すべり難い路面ほど高い値を示し、すべり易い路面ほど低い値を示す。HFNはすべり摩擦係数との相関が高いことがわかっており⁹⁾、計測値はすべり摩擦係数換算値を用いた。

4. 試験結果について

(1) 試験結果① (気温-10~-7°C)

表-2 すべり摩擦係数計測値 (試験結果①)

	散布前	散布直後	交通模擬車両走行後			
			50台	100台	150台	200台
塩ナト単体	0.17	0.15	0.13	0.14	0.16	0.17
プロナト混合	0.18	0.13	0.14	0.16	0.17	0.17
コハク混合	0.16	0.12	0.12	0.12	0.12	0.14
無散布	0.15	0.16	0.13	0.13	0.12	0.13

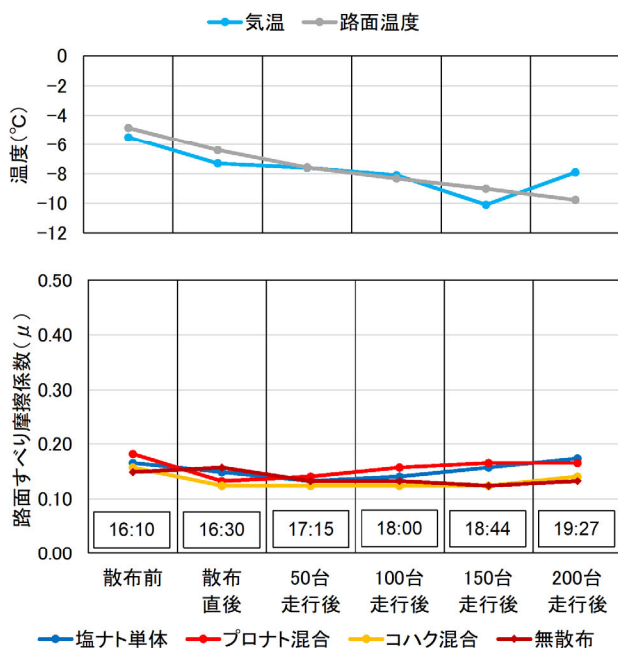


図-5 すべり摩擦係数の変化 (試験結果①)

表-2に1月20日のすべり摩擦係数計測値、図-5に交通模擬車両通過台数の増加に伴う路面すべり摩擦係数（ μ ）と外気温・路面温度の変化を示す。散布直後から試験終了までの外気温は、-10.1~-7.3°C、路面温度は-9.8~-6.4°Cで推移した。

散布前（路面凍結）の μ は0.15~0.18であり、散布直後の μ は、塩ナト単体区間は0.15、プロナト混合区間は0.13、コハク混合区間は0.12の値を示した。交通模擬車両50台走行後から200台走行後（散布後約3時間）までは、塩ナト単体区間の μ は0.13~0.17の間で推移（平均値0.15）、プロナト混合区間の μ は0.14~0.17の間で推移（平均値0.16）、コハク混合区間の μ は0.12~0.14の間で推移（平均値0.13）し、凍結防止剤散布前の μ とほぼ同等がやや低い値となり、無散布区間の μ と同程度の値であった。凍結防止剤（塩ナト）を散布する適応温度は-8°C以上⁸⁾であり、低温のため各薬剤ともに散布効果が得られなかった。

(2) 試験結果② (気温-4~-2°C)

表-3に1月17日のすべり摩擦係数計測値、図-6に交通模擬車両通過台数の増加に伴う路面すべり摩擦係数（ μ ）と外気温・路面温度の変化を示す。散布直後から試験終了までの外気温は、-4.4~-2.1°C、路面温度は-

表-3 すべり摩擦係数計測値 (試験結果②)

	散布前	散布直後	交通模擬車両走行後			
			50台	100台	150台	200台
塩ナト単体	0.27	0.28	0.36	0.34	0.31	0.28
プロナト混合	0.24	0.31	0.42	0.39	0.37	0.39
コハク混合	0.26	0.27	0.36	0.32	0.30	0.27
無散布	欠測					

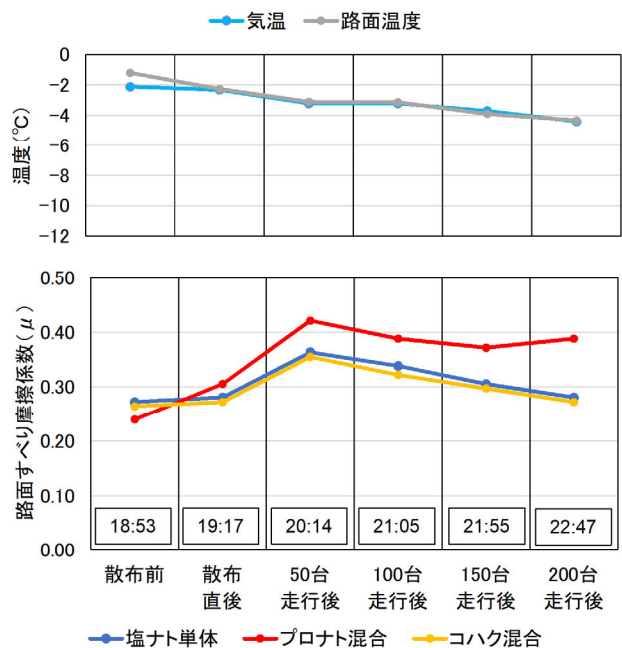


図-6 すべり摩擦係数の変化 (試験結果②)

4.3~-1.2°Cで推移した。

散布前（路面凍結）の μ は0.24~0.27であり、散布直後の μ は、塩ナト単体区間は0.28、プロナト混合区間は0.31、コハク混合区間は0.27の値を示した。交通模擬車両50台走行後（散布後約60分）から散布効果が大きく表れ、交通模擬車両50台走行後から200台走行後までは、塩ナト単体区間の μ は0.28~0.36の間で推移（平均値0.32）、プロナト混合区間の μ は0.37~0.42の間で推移（平均値0.39）、コハク混合区間の μ は0.27~0.36の間で推移（平均値0.31）し、各薬剤散布区間は、散布前より高い値であった。交通模擬車両200台走行後（散布後約3時間30分）までの全走行を通して最も μ が高かったのは、プロナト混合区間であり、コハク混合区間についても塩ナト単体散布区間とほぼ同程度の μ となった。

5. まとめ

防錆効果を有するプロナトとコハクについて、湿式散布により塩ナトと混合して事後散布により散布効果試験を実施した結果、プロナトもしくはコハクを混合して散布した場合においても、塩ナト単体で散布した場合と同様に路面のすべり抵抗値が改善し、散布効果の持続性もあることが確認できた。

本研究により、塩ナトにプロナトまたはコハクを混合し散布した場合においても従来の塩ナト単体と同様の散布効果が得られ、道路構造物の長寿命化や沿道環境への負荷を軽減できる可能性が示された。また、塩ナトに対

して5%~10%程度の混合で防錆効果が得られるので導入コストの上昇も緩和できる。プロナトを混合した凍結防止剤散布は、NEXCO中日本の一部区間で試験散布を行っており、今後、利用の拡大に向けて取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会報告書、NEXCO 東日本・NEXCO 中日本・NEXCO 西日本、2014.
- 2) 村上健志、徳永ロベルト、佐藤昌哉：非塩化物系凍結防止剤の事前散布効果について、令和3年2月、第64回北海道開発技術研究発表会.
- 3) 高田哲哉、徳永ロベルト、佐藤昌哉：塩化物系の凍結防止剤散布試験、令和2年2月、第63回北海道開発技術研究発表会.
- 4) ChemicalBook：[http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_JP_CB9290129.htm]（最終閲覧日：2023年1月5日）
- 5) 佐藤賢治、藤本明宏、切石亮、徳永ロベルト、高橋尚人：新しい非塩化物系凍結防止剤の環境性能と路面すべり抵抗改善効果について、寒地土木研究所月報、No. 753、pp. 34-38、2015.
- 6) 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、No. 787、pp. 2-11、2018.
- 7) 昭和化学株式会社：こはく酸二ナトリウム六水和物、安全データシート、<http://www.st.rim.or.jp/~shw/MSDS/19546250.pdf>（最終閲覧日：2023年1月15日）
- 8) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案）、1997.
- 9) 切石亮、徳永ロベルト、高橋尚人：冬期路面状態評価手法の比較試験について、寒地土木研究所月報、No. 702、pp. 50-55、2011.