

プロピオン酸ナトリウムを混合した凍結防止剤 散布に関する検討

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 畠山 乃

筆者らは、防錆効果のあるプロピオン酸ナトリウムの凍結防止剤としての利用可能性を調べている。過年度の研究では、プロピオン酸ナトリウムの湿式剤と固形剤の塩化ナトリウムと9:1で混合して湿式散布を行い、塩化ナトリウム単体の散布と同等の散布効果を確認した。本研究では、湿式散布、乾式散布、溶液散布により散布試験を実施した結果、湿式散布が車両走行後も散布時の混合割合で薬剤が路面に残留し、持続性も良いことを確認した。

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、道庁管理者は安心・安全な冬期道路交通を確保するため、道路の凍結予防、雪氷融解に有効な凍結防止剤散布を実施している。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）や塩化カルシウム等の塩化物が主に使用されている。しかし、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おり、沿道環境への負荷が小さい新たな凍結防止剤が求められている¹⁾。

これまで当研究所では、沿道環境への負荷が少ない新たな凍結防止剤を提案するため、さまざまな化学物質の凝固点、金属腐食、融氷性能、安全性、植物への影響、臭い、価格などを調査し、凍結防止剤として優れた性質を持つ物質を探索した結果、総合的に優れていた、プロピオン酸ナトリウム（以下、プロナト）に着目して研究を実施している²⁾。過年度までの研究では、室内での試験で、凝固点測定、金属腐食抑制効果、植物への影響試験などを行い、凍結防止剤として利用可能であることを確認した³⁾。野外においても当研究所が所有する苫小牧寒地試験道路にて、水溶液状にしたプロナトの湿式剤を使用し、固形剤の塩ナトと重量比9:1で混合して、湿式散布による散布試験を実施し、従来の塩ナト単体での散布と同等の散布効果を確認した⁴⁾、⁵⁾。一方、塩ナト固形とプロナト固形の混合（乾式散布）については、どのような散布効果が得られるか調べられていない。また、塩

ナト水溶液とプロナト水溶液の混合（溶液散布）についても同様である。

本研究では塩ナトとプロナトを9:1で混合し、散布方法を湿式散布、乾式散布、溶液散布と変化させ、車両走行後の路面の残留塩分濃度や、路面に残留している塩ナトとプロナトの割合から防錆効果や散布効果が得られるか検証を行い、どの散布方法がプロナトを混合して散布するのに最適か検討したので試験概要と結果について報告する。

2. プロピオン酸ナトリウムについて

プロナト（写真-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



写真-1 プロピオン酸ナトリウム

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扱いやすい顆粒状への加工も可能である。価格は、250円/kg程度（取引数量10tの場合）であり、塩ナト（30円/kg程度）と比較すると高価である。プロナトの凝固点は、20%濃度の水溶液で-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。金属腐食性については、北海道立総合研究機構工業試験場が定める凍結防止剤の腐食試験（表-1）を実施した結果を図-1に示す。腐食減少量は、プロナト単体ではほぼ腐食は発生しておらず、蒸留水よりも下回り、塩ナトとの重量比で1割のプロナトを混合させた場合は、塩ナト単体に比べ約65%の金属腐食量となることを室内試験で確認している³⁾。現状においてプロナトは塩ナトと比較すると非常に高価であり、塩ナトと混合しても金属腐食抑制効果があるため、各種室内試験、および薬剤のコストなどを考慮した結果、塩ナトとプロナトの重量比を9：1として混合したものを散布して散布効果などの試験を実施している。



写真-2 試験場所（研究所構内）

表-2 散布方法

散布方法	凍結防止剤	散布量
湿式散布	塩ナト(固形剤)+プロナト水溶液(濃度25%) (重量比9:1)	30g/m ²
乾式散布	塩ナト(固形剤)+プロナト(固形剤) (重量比9:1)	30g/m ²
溶液散布	塩ナト水溶液(20%)+プロナト水溶液(20%) (重量比9:1)	0.1L/m ²

表-1 金属腐食性試験方法

i)各試料を蒸留水100mlに対して3.0gの割合で溶解し水溶液を作る
ii) 各水溶液に垂鉛メッキを除去した鉄片を1枚入れ、24時間浸漬した後に取り出し、24時間放置する
iii) ii)を7日間(3.5サイクル)行い、8日目に取り出す
iv) 鉄片の錆を完全に取り、試験前と後で鉄片の重量の変化をみる

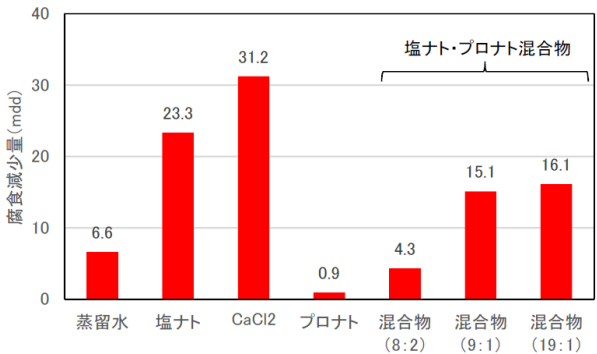


図-1 金属腐食性試験結果

3. 散布試験

(1) 試験概要

車両走行後、路面上で塩ナトとプロナトが9：1の状態

を保ち続けているか、および路面上の塩ナト濃度を確認するため、2021年2月24日～3月8日の期間で、寒地土木研究所構内（写真-2）において試験を実施した。試験箇所の路面の横断勾配は2%である。凍結防止剤は路面凍結前に事前散布を実施した。散布試験は、アスファルト上に作製した湿潤路面に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上の溶媒を採取し、路面の残留塩分濃度と路面に残留している塩ナトとプロナトの割合を分析した。

(2) 散布方法

散布方法は、表-2の3ケースで試験を実施した。過年度の散布効果試験では、プロナト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、固形剤の塩ナトと混合して散布（湿式散布）を行っていた。本研究では、湿式散布以外に塩ナト固形剤とプロナト固形剤を混合して散布する乾式散布、塩ナト水溶液とプロナト水溶液を混合して散布する溶液散布により散布した場合も含めて試験した。散布量は除雪・防雪ハンドブック（除雪編）⁶⁾における路面凍結対策の凍結防止剤の散布基準を参考にして、湿式散布、乾式散布は30g/m²、溶液散布は0.1L/m²とした。各散布方法の特徴⁷⁾を表-3に示す。湿式散布とは固形剤に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、

表-3 各散布方法の特徴

		湿式散布	乾式散布	溶液散布
持続性		良い	良い	やや劣る
即効性		良い	やや劣る	良い
散布の均一さ		比較的均一に撒き易い	均一に撒きにくい	比較的均一に撒き易い
路面の 付着性	横断勾配等の影響	影響されない	それほど影響がない	流れ易い
	風・交通による影響	影響されない	路肩に飛散し易い	影響されない

即効性や持続性が優れた散布方法である。乾式散布は、固形物のみを散布する方法で、飛散しやすく、即効性はやや劣る特徴がある。溶液散布は、水溶液のみを散布する方法で、即効性が良いが、持続性はやや劣る特徴がある。

(3) 試験手順

試験の手順は以下の通りである。散布は、湿式散布、乾式散布、溶液散布、それぞれ同じ試験を3回実施した。

- 試験区間（幅3.0m×延長10m）の舗装上に、散水を行い、湿潤路面を作製する。
- 散布前の路面の溶媒を採取、塩ナト濃度を計測（濃度0%を確認）する。

iii) 試験区間に凍結防止剤を散布（幅3.0m×延長10m）

（写真-3（a）（b））する。湿式散布の場合は、固形剤の塩ナトを散布した後、溶液のプロナトを散布した。乾式散布の場合は、散布直前に塩ナトとプロナトの固形剤を混合して散布した。溶液散布の場合は、塩ナト水溶液とプロナト水溶液を混合して散布した。

iv) 散布直後の路面の溶媒を吸水紙で採取、塩ナト濃度を計測する。

v) 車両の走行による路面上の各薬剤の割合および塩ナト濃度を計測するため、交通模擬車両100台を走行させる（写真-3（c））。交通模擬車両は普通乗用車を使用した。

vi) 100台走行後の路面の溶媒を採取（写真-3（d）（e））、塩ナト濃度を計測する。

vii) 手順v)～vi)を通過台数が300台（100台×3セット）に達するまで繰り返す。

viii) 試験終了後、採取した溶媒に含まれる塩ナトおよびプロナトの含有量を試験機関で分析（写真-3（f））し、割合を算出する。

4. 試験結果



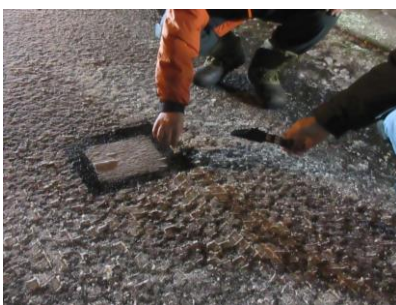
(a) 固形剤散布



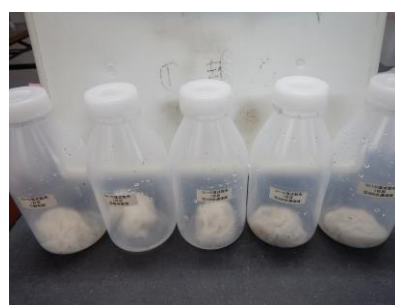
(b) 溶液散布



(c) 交通模擬車両走行



(d) 路面の溶媒採取



(e) 溶媒保管



(f) 薬剤含有量分析

写真-3 試験実施状況

表-4 計測結果（湿式散布）

月日 天候		気温 (°C)	路温 (°C)	路面の 塩分濃 度(%)	路面上の割合 塩ナト:プロナト
(1回目) 2月24日 晴れ	散布前	-4.4	-1.5	0.0	—
	散布直後	-4.7	-2.5	2.8	4:1
	100台通過後	-5.2	-6.7	1.8	8:1
	200台通過後	-5.4	-7.8	1.2	10:1
	300台通過後	-5.7	-8.3	1.2	6:1
(2回目) 2月25日 曇	散布前	-2.0	-3.6	0.0	—
	散布直後	-2.1	-4.1	2.0	21:1
	100台通過後	-1.6	-5.4	1.8	8:1
	200台通過後	-2.7	-5.8	2.0	7:1
	300台通過後	-2.8	-6.8	1.6	8:1
(3回目) 2月26日 小雪	散布前	-3.1	-0.6	0.0	—
	散布直後	-2.7	-1.7	4.8	16:1
	100台通過後	-2.7	-3.2	2.8	7:1
	200台通過後	-3.0	-3.0	2.8	6:1
	300台通過後	-3.8	-3.5	1.2	11:1
平均	散布前			0.0	—
	散布直後			3.2	14:1
	100台通過後			2.1	8:1
	200台通過後			2.0	8:1
	300台通過後			1.3	8:1

(1) 湿式散布の試験結果

表-4 に塩ナト固形剤とプロナト水溶液を湿式散布により散布した場合の計測結果を示す。散布直後は手撒きでの散布のため、散布にムラがあった可能性があり、路面上の塩ナトとプロナトの割合は 14:1 (3 回平均値) であり、塩分濃度は 3.2% であった。

交通模擬車両 100 台通過後の路面上の塩ナトとプロナトの割合は 8:1 (3 回平均値)、塩分濃度は 2.1% となった。散布直後は散布にムラがあったが、交通模擬車両により路面上の薬剤が攪拌され、路面上の塩ナトのプロナトの割合が混合時の 9:1 に近づいたと思われる。

交通模擬車両 200 台通過後の路面上の塩ナトとプロナトの割合は 8:1 (3 回平均値) で塩分濃度は 2.0%、交通模擬車両 300 台通過後の路面上の塩ナトとプロナトの割合は 8:1 (3 回平均値)、塩分濃度は 1.3% となった。交通模擬車両 100 台以降は、路面上の塩ナトとプロナトの割合は散布時の 9:1 に近い状態で推移し、溶液状態で散布したプロナトの割合が低下することはなかった。

(2) 乾式散布の試験結果

表-5 に塩ナト固形剤とプロナト固形剤を乾式散布により散布した場合の計測結果を示す。散布直後の路面での塩ナトとプロナトの割合は 30:1 (3 回平均値) であった。散布時は塩ナトのプロナトを混合して散布したが、固形状の塩ナトと粉状のプロナトの粒径の違いや風の影響により、散布にムラがあった可能性が考えられる。散

表-5 計測結果（乾式散布）

月日 天候		気温 (°C)	路温 (°C)	路面の 塩分濃 度(%)	路面上の割合 塩ナト:プロナト
(1回目) 3月1日 小雪	散布前	0.0	1.3	0.0	—
	散布直後	0.0	2.2	2.2	10:1
	100台通過後	-0.7	-1.1	2.4	12:1
	200台通過後	-0.7	-1.4	0.8	13:1
	300台通過後	-0.6	-1.8	0.2	18:1
(2回目) 3月3日 小雪	散布前	-1.8	0.1	0.0	—
	散布直後	-0.8	-0.6	4.0	29:1
	100台通過後	-2.7	-2.5	2.0	19:1
	200台通過後	-2.3	-3.3	1.6	14:1
	300台通過後	-2.3	-3.5	1.5	13:1
(3回目) 3月4日 晴れ	散布前	2.7	0.5	0.0	—
	散布直後	2.6	1.4	5.8	50:1
	100台通過後	1.9	0.4	2.0	11:1
	200台通過後	1.9	-1.1	0.8	10:1
	300台通過後	2.4	-1.9	0.5	12:1
平均	散布前			0.0	—
	散布直後			4.0	30:1
	100台通過後			2.1	14:1
	200台通過後			1.1	12:1
	300台通過後			0.7	14:1

布直後の塩分濃度は 4.0% であった。

交通模擬車両 100 台通過後の路面上の塩ナトとプロナトの割合は 14:1 (3 回平均値)、塩分濃度は 2.1% となった。散布直後は散布に大きなムラがあったが、交通模擬車両により路面上の薬剤が攪拌され、路面上の塩ナトのプロナトの割合が散布時の 9:1 に近づいたと思われる。

交通模擬車両 200 台通過後の路面上の塩ナトとプロナトの割合は 12:1 (3 回平均値) で塩分濃度は 1.1%、交通模擬車両 300 台通過後の路面上の塩ナトとプロナトの割合は 14:1 (3 回平均値)、塩分濃度は 1.3% となった。交通模擬車両 100 台以降は、路面上の塩ナトとプロナトの割合は散布時の 12:1~14:1 で推移した。

(3) 溶液散布の試験結果

表-6 に塩ナト水溶液とプロナト水溶液を混合して、溶液散布により散布した場合の計測結果を示す。散布直後は路面上の塩ナトとプロナトの割合は 9:1 (3 回平均値) であり、塩分濃度は 4.9% であった。

交通模擬車両 100 台通過後の路面上の塩ナトとプロナトの割合は 10:1 (3 回平均値) で塩分濃度は 2.6%、交通模擬車両 200 台通過後の塩ナトとプロナトの割合は 9:1 (3 回平均値) で塩分濃度は 0.5%、交通模擬車両 300 台通過後の路面上の塩ナトとプロナトの割合は 10:1 (3 回平均値) で塩分濃度は 0.2% となった。溶液散布の場合は、散布直後から 300 台通過後まで、路面上の塩

表-6 計測結果（溶液散布）

月日 天候		気温 (°C)	路温 (°C)	路面の 塩分濃 度(%)	路面上の割合 塩ナト:プロナト
(1回目) 3月5日 晴れ	散布前	7.8	5.5	0.0	—
	散布直後	7.8	4.0	4.8	10:1
	100台通過後	7.4	3.2	2.8	10:1
	200台通過後	6.9	3.0	0.2	10:1
	300台通過後	6.1	1.7	0.0	10:1
(2回目) 3月8日① 晴れ	散布前	2.5	3.1	0.0	—
	散布直後	2.4	7.3	3.8	9:1
	100台通過後	3.2	4.8	3.0	9:1
	200台通過後	2.7	4.5	0.6	8:1
	300台通過後	2.1	4.2	0.5	10:1
(3回目) 3月8日② 晴れ	散布前	2.2	4.2	0.0	—
	散布直後	2.5	1.8	6.0	9:1
	100台通過後	1.5	3.1	2.0	9:1
	200台通過後	1.4	1.4	0.6	9:1
	300台通過後	2.8	0.1	0.0	10:1
平均	散布前			0.0	—
	散布直後			4.9	9:1
	100台通過後			2.6	10:1
	200台通過後			0.5	9:1
	300台通過後			0.2	10:1

ナトとプロナトの割合は9:1に近い状態で推移した。

5. まとめ

沿道環境への負荷が小さい非塩化物系凍結防止剤のプロナトについて、塩ナトとプロナトを9:1に混合し、湿式散布、乾式散布、溶液散布で散布試験を行い路面の残留塩分濃度および、路面に残留した塩ナトとプロナトの割合について検証したところ、以下の結果が得られた。

- (i) 湿式散布、溶液散布でプロナトを混合して散布した場合、車両走行後も路面上に残留したプロナトの割合が大きく低下することはなく、散布時の9:1に近い状態を保っていた。

- (ii) 乾式散布で散布した場合、路面に残留した塩ナトとプロナトの割合は、薬剤混合時の割合である9:1の状態を保つことができなかった。これは、プロナトは顆粒状で、粒状の塩ナトと比べて風の影響を受けやすいため飛散した可能性が考えられる。

- (iii) 交通模擬車両300台走行後の路面の塩分濃度は、湿式散布や乾式散布と比較して溶液散布の塩分濃度が低く、湿式散布もしくは乾式散布による散布のほうが車両走行後の持続性が良かった。

以上により、プロナトを混合した凍結防止剤散布は、固形剤の塩ナトと水溶液状のプロナトを混合した湿式散布で散布するのが最も効果的と考えられる。ただし、本研究で得られた結果は、限られた条件およびデータによるものであるため、撒きムラ等の影響を受けた可能性がある。今後、広範囲の区間で同様な散布試験を実施し、データの妥当性を確認したい。

参考文献

- 1) 土木研究所：非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書、共同研究報告書第293号、平成15年8月。
- 2) 佐藤賢治、藤本明宏、切石亮、徳永ロベルト、高橋尚人、中島範行：新たな非塩化物系凍結防止剤の利用可能性に関する研究、第31回日本道路会議論文集、No2029、2015。
- 3) 佐藤賢治、藤本明宏、中島知幸、徳永ロベルト、高橋尚人、石田樹、中島範行：新しい非塩化物系凍結防止剤の融氷性能と植物の生育への影響に関する研究、寒地土木研究所月報、No770、pp8-12、2017。
- 4) 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。
- 5) 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。
- 6) 日本建設機械化協会：2005除雪・防雪ハンドブック（除雪編）、2005。
- 7) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案）、1997。