

北海道における凍結防止剤による冬期路面管理について

Maintenance and Management of Road Surfaces During the Winter in Hokkaido
by Applying Deicing Chemicals

宮本 修司* 高木 秀貴** 大沼 秀次***

Shuji MIYAMOTO, Hideki TAKAGI and Hidetsugu ONUMA

凍結防止剤の散布は、冬期間の路面凍結対策のひとつとして重要である。北海道においても、塩化カルシウム（塩化カルシウム・2水塩 以下特に断わらない限り、塩化カルシウムとは、塩化カルシウム・2水塩を示す）を凍結防止剤として急勾配の坂道や急カーブ、日陰、覆道の出入口などの危険個所を中心に散布を実施してきた。

他方北海道においては、スパイクタイヤの使用規制が実施され、路面凍結対策がより一層重要となっている。しかし凍結防止剤の大量散布は、金属の腐食や動植物への影響があるといわれ、散布にあたっては道路管理のニーズを踏まえ、最小限の使用とすべきである。

また、現在環境への影響が少ない凍結防止剤として、酢酸塩を主成分としたCMA（酢酸カルシウムと酢酸マグネシウムの混合物）やKAC（酢酸カリウム）が欧米諸国で用いられており、今後、日本においてもその使用を検討する必要性がある。

本文は、凍結防止剤の種類別の効果と2次的影響について取りまとめを行ったものである。それらの結果を、以下に示す。

- ①塩化カルシウムは、現在北海道で行われているようなスポット的な事後散布に適しているが、ある一定の延長に対しての散布や事後散布には、塩化ナトリウムを用いるべきである。
- ②凍結防止剤の湿式散布は、運用方法によって非常に有効な手法となる。
- ③塩化カルシウムや塩化ナトリウムには金属腐食性があるが、一定量以上の金属腐食防止剤を混合することによって、かなり減少させることができる。
- ④2種類の酢酸化合物（CMAとKAC）については、それぞれCMAは、ある一定の延長に対する散布や事後散布に適しており、KACについては、スポット的な事後散布に適している。

また、二次影響に関しては金属腐食を防止する効果があり、その他の二次的影響についても影響が少ないと考えられる。

《冬期道路管理；冬期路面管理；凍結防止剤；塩化カルシウム；塩化ナトリウム；CMA；KAC；金属腐食；金属腐食防止剤；すべり摩擦係数；スタッドレスタイヤ》

Application of deicing chemicals is very important as one of the measures against frozen roads during winter. In Hokkaido calcium chloride (in this study it means calcium chloride 2-hydrate unless specifically mentioned) has been applied as a deicing

*交通研究室員 **同室長 ***同室副室長

chemical, mainly at dangerous points, such as steep slopes, sharp curves, shade and entrances and exits of tunnels. The enforcement of the regulation against studded tires in Hokkaido has also made measures against frozen roads more important. However, since the application of large amounts of deicing chemicals is said to cause metal corrosion and have a negative effect on animals and plants, the use of deicing chemicals should be minimized for road management.

In western countries CMA (a mixture of calcium acetate and magnesium acetate) and KAC (potassium acetate) have been used recently as deicing chemicals with little effect on the environment. In the future we have to examine their use in Japan as well.

This paper reports on the effects of each deicing chemical and their harmful effects. The results of the study are as follows.

- (1) While calcium chloride is suitable for spot salting, which is usually conducted at present in Hokkaido, for roads of over a certain length or as an agent preventing road surfaces from freezing, sodium chloride should be used.
- (2) Pre-wetting of deicing chemicals is very effective when applied in the proper way.
- (3) Metal corrosion by calcium chloride and sodium chloride can be considerably reduced by mixing in a corrosion inhibitor of over a certain amount.
- (4) CMA is suitable for prevention of frozen roads of a certain length, while KAC is suitable for spot salting in order to melt of ice. They have the effect of preventing metal corrosion and environment from harmful effects.

Keywords: winter road maintenance, maintenance and management of road surfaces during winter, deicing chemicals, calcium chloride, sodium chloride, CMA, KAC, metal corrosion, corrosion inhibitor, coefficient of skid friction, studless tires.

まえがき

積雪寒冷地域では、冬期間の交通安全と交通の円滑性確保の面から、凍結路面の融解や路面の凍結防止などの路面凍結対策が重要である。特に北海道においては、平成3年度の冬から札幌市などでスパイクタイヤの使用が法律で禁止（罰則適用は、平成4年度から）され、今後、スタッドレスタイヤ交通へのスムーズな移行を推進するために、冬期道路管理のグレードアップが求められているところであり、特に道路雪氷の融解と道路の凍結防止に関する要求は今後特に強くなると思われる。

現在のところ路面凍結対策としては、ロードヒーティングシステムと路面凍結防止剤の散布が、それぞれ実施されている。この2種類の工

法を比較すると、ロードヒーティングシステムは、道路交通にまったく影響を与えず、しかも安全で確実な路面凍結対策を行うことができる反面、コストが非常に高いため、設置可能な延長に限られる。つまりロードヒーティングは、線としての延長を有する道路において、点としての対策にならざるを得ない。これに対して凍結防止剤の散布は、道路に特別な設備投資を行う必要がないため、より広い範囲の道路管理に適用することができる。

しかしこれまで凍結防止剤として、塩化ナトリウムや塩化カルシウムなどの塩化物が用いられていたため、凍結防止剤の大量散布は、金属腐食や動植物への影響、コンクリート構造物などへの影響などが発生する可能性があり、より

効果的な使用によって必要最小限の散布としなければならない。またこれらの塩化物に変わり、二次的影響のほとんどない酢酸塩を主成分とした凍結防止剤もアメリカを中心に用いられ始めている。今後、これらの使用についても、橋梁や動植物への配慮が必要な場所などを中心に、使用を検討する必要がある。

1. 現在市販されている凍結防止剤の種類

現在、凍結防止剤としてさまざまなものが市販されているが、その主なものを表-1に示す。これらについて、現在のところ主に使用されているものは、塩化ナトリウム（主に道路公団と建設省で使用量が多い）、塩化カルシウム（北海道開発局、建設省、地方自治体）、塩化マグネシウム（建設省、道路公団）、尿素（運輸省）の4種類である。

また、CMA（酢酸カルシウムと酢酸マグネシウムを3：7の割合で混合したものを主成分に、直径約3mmのペレット状にしたもの）とKAC（酢酸カリウム溶液を主成分とする凍結防止剤）については、現在のところ日本国内では生産が行われていないため、かなり高価なものとなっ

ているが、大量輸入によっておおよそ半額に、国内生産を行うことによって、CMAは約100円/kg、KACは約200円/ℓほどまでのコストダウンが可能であるといわれている。これらは、従来の凍結防止剤（塩化ナトリウム、塩化カルシウム、尿素など）の持つ2次的影響のない凍結防止剤として、アメリカやヨーロッパなどで用いられ始めているものである。

なおこの報告では、塩化カルシウムについては、すべて一般的な2水塩の塩化カルシウムを示している。

また塩化マグネシウムについては、過去塩田法による塩の生産を行う際の副産物として大量に入手できたが、現在、日本国内での塩田による塩の生産はほとんど行われていないため、今後、大量に入手することが困難であるため、この報告ではここでの紹介にとどめる。

2. 北海道における凍結防止剤散布の現状

現在、北海道の国道管理者（北海道開発局）は、凍結防止剤を急勾配、日陰、カーブ、その他の危険個所に散布をしており、現在のところ主に塩化カルシウムを使用している（図-1）。

表-1 凍結防止剤の種類

平成4年8月現在

主成分	薬剤名	価格(円/kg)	備 考
塩化カルシウム	塩化カルシウム	60	2水塩が主成分
	製品 A	100	2水塩が主成分、防錆剤配合
	製品 B	70(円/ℓ)	液体 濃度約35%、防錆剤配合
	製品 C	948	無水塩が主成分
	製品 D	70(円/ℓ)	液体 濃度約35%、防錆剤配合
	製品 E	31(円/ℓ)	液体 濃度約35%、防錆剤配合
塩化ナトリウム	原 塩	35	日本たばこ産業購入量 1t～10t、塩化ナトリウム95%以上
	粉 碎 塩	36	〃, 原塩を粉碎したもの
	製品 F	140	防錆剤、固結防止剤配合
	製品 G	200	塩化ナトリウムとCMAを混合
塩化マグネシウム	塩化マグネシウム	53	6水塩 北海道での入手はむずかしい
酢酸化合物	C M A	300	アメリカ価格 750\$/t
	K A C	660(円/ℓ)	液体 濃度約50%、アメリカ価格1.65\$/ℓ
尿 素	尿 素	120	工業用尿素 純度99.5%以上

出典：雪と対策'92-'93

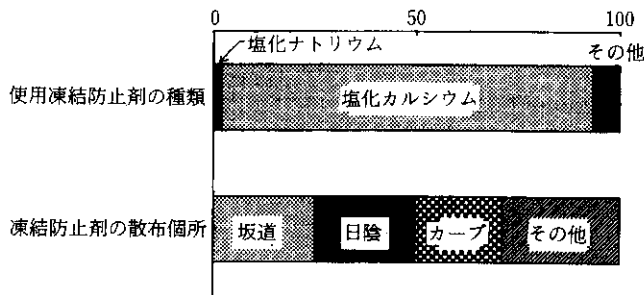


図-1 北海道における凍結防止剤散布の現状(平成2年度)

これに対して、高速道路の道路管理者や北海道以外の国道管理者は、路線延長に沿っての凍結防止剤散布（全線散布）もかなりの割合で実施しており、現在、主に塩化ナトリウムを凍結防止剤として使用している。

この全国と北海道の違いは、冬期の気象条件と道路利用者の路面管理水準に関する要求度合いの違いによると思われる。すなわち、冬期の気象条件の違いについては、北海道は本州地方と比較して積雪審冷の度合いが厳しいこと、そして路面管理の要求水準については、これまで北海道の国道に関しては道路利用者は路面上の雪水を完全に取除くまでの道路管理水準を要求していないのに対し、本州以南の国道や高速道路に関しては、北海道の国道よりも路面管理の要求水準が高いので、凍結防止剤の全線散布も実施されている。

この報文で詳しく述べるが、危険箇所へのスポット的事後散布には、速効性が期待できる塩化カルシウムが適しており、逆に塩化ナトリウムはスポットの事前散布や全線散布などの長い距離にわたる散布に適している。すなわち、北海道の国道管理者が凍結防止剤として塩化カルシウムを選定している理由は、危険箇所へのスポット的事後散布を行ってためである。

3. 凍結防止剤による雪氷の融解

3-1 凍結防止剤のメカニズム

凍結防止剤による雪氷の融解については、初期効果に影響を与える要因がそれぞれ違っていることが特徴である。以下、それぞれについて簡単に説明するとともに、そのときの水温の変化を図-2に示す。

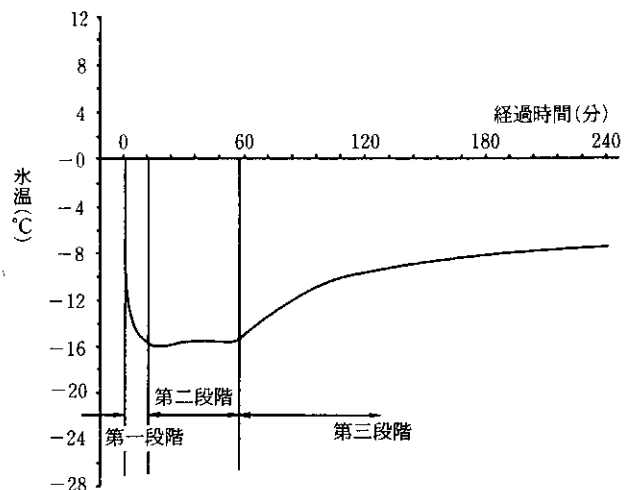


図-2 薬剤散布後の温度変化図

まず散布直後については、急激な温度低下が起こるとともに飽和水溶液が生じる(第一段階)。そしてこの段階における融水量に影響を与える要因は、以下のものである。

- ①凍結防止剤溶液の最低融（共融点）
- ②凍結防止剤の水溶熱
- ③凍結防止剤の水への溶けやすさ

以上3つの要因である。つまり最低融点がより低く、水溶熱がより多く、さらに水に溶けやすいほど凍結防止剤の効果が大きい。

次にある程度時間が経過した後(第二段階)では、急激に温度の低下した雪氷に対して、周辺の空気や道路のアスファルトからその温度差に応じた熱の移動が起こる。つまり、この段階での融水速度に影響を与える要因は、

- ①凍結防止剤を散布した場所の比熱・熱伝導率
- ②空気の熱伝導率

すなわち、初期の急激な融氷が起こった後は、散布を実施した場所の状態が最も重要であることがわかる。

最後に、十分な時間が経過した後(第三段階)の融水量（凍結防止効果）について述べる。凍結防止剤散布後十分な時間が経過すると、そのときの気温が溶液の凍結温度となるまで、凍結防止剤溶液の濃度が薄くなりつり合う。溶液の凍結温度は、溶質の種類（この場合は凍結防止剤の種類）に無関係に、一定量の溶媒（この場合は水）に溶けている溶質粒子の量（mol）だけに比例する。つまり凍結防止効果は、その凍結防

表-2 凍結防止剤の基本的性質

凍結防止剤	水への溶けやすさ**	水溶熱* (cal/g)	最低融点温度 (°C)	イオンモル数 (mol)	溶液の飽和温度 (%)	備 考
塩化ナトリウム	△	-20.7	-21	3.42	23.8	
塩化カルシウム	◎	+68.0	-55	2.04	39.6	2 水塩
塩化マグネシウム	◎	+14.5	-33	1.47	44.0	6 水塩
尿 素	○	-55.9	-12	1.67	32.0	
C M A	×	+44.3	-25	2.05	33.0	
K A C	◎	+34.1	-60以下	2.04	50.0以上	無水塩

* 発熱量のプラスは水溶時の発熱反応、マイナスは水溶時の吸熱反応を表わす。

**◎…空気中の水分によって、潮解する。

○…非常に溶けやすい。

△…溶けやすい。

×…多量に溶かすためには、攪拌などが必要である。

止剤が単位重量当たりどれだけの粒子 (mol) からできているかということが重要である。ただし実際の散布では、濃度が希釈されることを考慮する必要がある。

3-2 凍結防止剤の基本的性質

まず、各種凍結防止剤の基本的性質 (表-2) を示す。この表より、各種凍結防止剤の融氷について、以下のように推定することができる。

- ①塩化カルシウムと KAC は、最低融点温度が低く、水溶発熱性であるため融氷効果の出現が早く速効性が期待できる。
- ②塩化ナトリウムは、塩化カルシウムや KAC と比較して効果の出現が遅いが最終的な融氷量と凍結防止効果については逆に約1.7倍の効果がある。
- ③尿素は融氷効果の出現が遅く、また凍結防止効果も塩化カルシウムと比較して約0.8倍と効果が小さい。
- ④CMA は、最低融点温度がほぼ塩化ナトリウムに等しく、しかも水溶発熱性であるが、水に溶けるまでに時間がかかるため速効性はあまり望めない。
- ⑤最終的な融氷量と凍結防止効果については、塩化ナトリウムが最も効果があり、塩化カルシウム、CMA、KAC がそれぞれほぼ等しく、尿素が最も効果が少ない。

4. 凍結防止剤の室内試験

各種凍結防止剤の性能を調査するため、室内

の低温施設を用いて凍結防止剤による水の融氷性能に関する室内試験を行った。

試験は温度センサー (タイプ T 熱電対) を中必部に取りつけた氷の供試体 (寸法 15 cm×9 cm×2 cm, 重量 200 g) に一定量の凍結防止剤を散布した後の、凍結防止剤による氷の融氷量を経時測定した。

以下、その概要について述べる。なお、ここで用いた凍結防止剤のうちで、KAC については市販されている溶液状のものではなく、他の凍結防止剤との比較のため固体のものを用いている。また、各試験とも凍結防止剤の量は 10 g (固体の重量) で、凍結防止剤の温度は、試験温度は -5°C と -10°C である。なお、凍結防止剤の温度と水の温度は、それぞれ試験温度と同一の温度に調整している。

4-1 凍結防止剤種類別の融氷性能

凍結防止剤の融氷性能は、凍結防止剤の種類によって大きく異なる。そこで、塩化カルシウム、塩化ナトリウム、CMA、KAC、尿素の 5 種類について融氷性能を比較した。その結果を図-3 (試験温度 -5°C) と図-4 (試験温度 -10°C) に示すが、このように塩化カルシウムと KAC は散布直後から効果が現われるが、塩化ナトリウムと CMA は効果が現われるまで時間がかかる。また尿素については、他の凍結防止剤と比較して効果が少ないことがわかる。

また、それぞれの試験結果を試験温度別に比較した場合には、散布後 3 時間経過時までは、

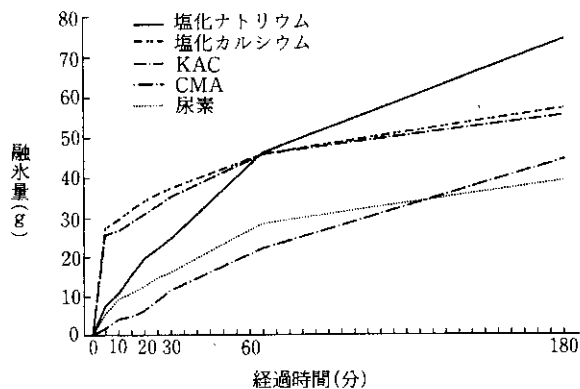


図-3 凍結防止剤の融氷試験の結果(-5°C)

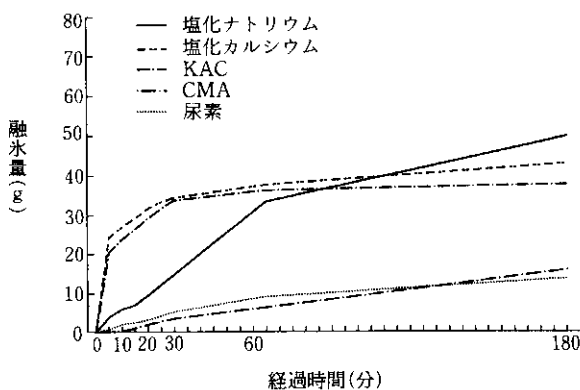


図-4 凍結防止剤の融氷試験の結果(-10°C)

塩化カルシウムと KAC の融水量の低下割合が他の 3 種類の凍結防止剤と比較して小さく、この 2 種類の凍結防止剤は、他の凍結防止剤と比較して低温時での効果減少の割合が小さいことがわかる。

次に、このときの温度変化を図-5 (試験温度-5°C) と図-6 (試験温度-10°C) に示す。これらの図から、塩化カルシウムと KAC は散布直後の水温の低下量が大きく、供試体の中心部に温度センサーを設置しているにも係わらず、試験温度-10°C のときには-20°C 以下にまで水温が低下している。また、この 2 種類の凍結防止剤の水温変化を見ると、いずれも融氷メカニズムの第二段階がまったく起こっておらず、散布直後に固体の凍結防止剤がすべて融解したことがわかる。

次に、塩化ナトリウムについて見ると、やはり水温の低下が見られるが、塩化カルシウムや KAC と比較して特に試験温度-10°C のときに水温の低下割合が小さくなっている。また、塩化ナトリウムについては、いずれの試験温度のときも融氷メカニズムの第二段階が見られる。

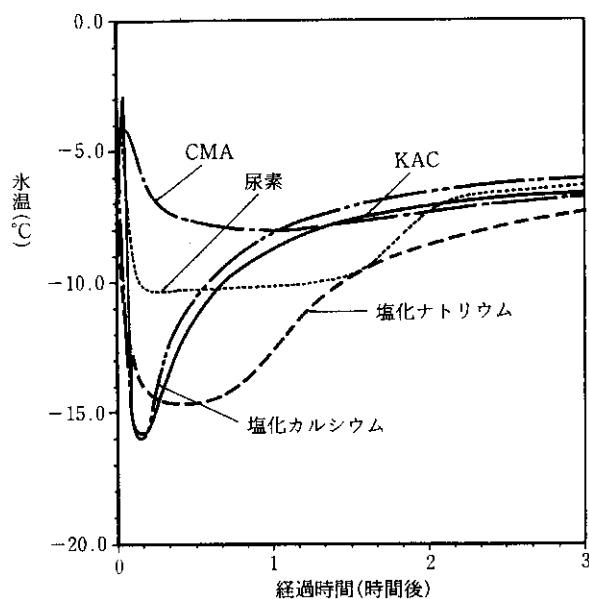


図-5 凍結防止剤融氷試験の水温変化図(-5°C)

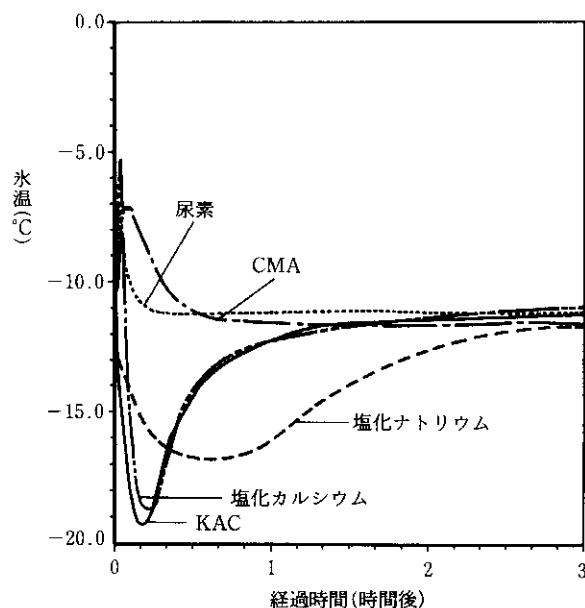


図-6 凍結防止剤融氷試験の水温変化図(-10°C)

きも融氷メカニズムの第二段階が見られる。

尿素に関しては、最低融点温度が-12°C と他の凍結防止剤と比較して高いため、塩化ナトリウムよりも融氷メカニズムの第二段階の継続時間が長くなっており、特に試験温度-10°C のときには試験開始後 3 時間が経過した場合でも融氷メカニズムの第二段階が継続している。

最後に CMA に関してであるが、CMA 溶液の最低融点温度が約-25°C と塩化ナトリウムや尿素よりも低いにも係わらず、水温の低下が非常に少ない。これは、他の凍結防止剤が水に溶け

やすいため、融水メカニズムの第一段階がただちに終了するのに対して、CMA は水に溶けるために時間がかかるため、融水メカニズムの第一段階に時間がかかるためである。

これらのことから、凍結防止剤を融水に用いる場合には、危険箇所に対するスポットの事後散布など、凍結防止剤の初期効果が重要な場合には塩化カルシウムと KAC が適しており、凍結防止剤の事前散布や道路延長の沿っての全線散布など、初期効果よりも持続効果が重要な場合には塩化ナトリウムが適している。また CMA に関しては、融水に必要な時間が非常に長いため、特に事前散布用に敵しており、事後散布用としては、温度の高い条件の下でのみ用いるべきであると考えられる。

4-2 市販凍結防止剤の融水性能

塩化ナトリウムや塩化カルシウムに、さまざまな添加物を加えた凍結防止剤が市販されている。そこで、市販凍結防止剤製品として製品 F (塩化ナトリウム系) と製品 A (塩化カルシウム系) の 2 種類の融水性能を調査した。その結果、図-7 に示すように製品 F の融水性能は塩化ナトリウムとほぼ同等であり、製品 A の融水性能は塩化カルシウムの融水性能とほぼ同等であることがわかる。

すなわち防錆剤などの添加物は、凍結防止剤の性能にほとんど影響を与えないため、塩化ナトリウム系の凍結防止剤は、塩化ナトリウムとほぼ同じ性質を示し、塩化カルシウム系の凍結防止剤は塩化カルシウムとほぼ同じ性質を示す。この性質は、他の種類の市販凍結防止剤につい

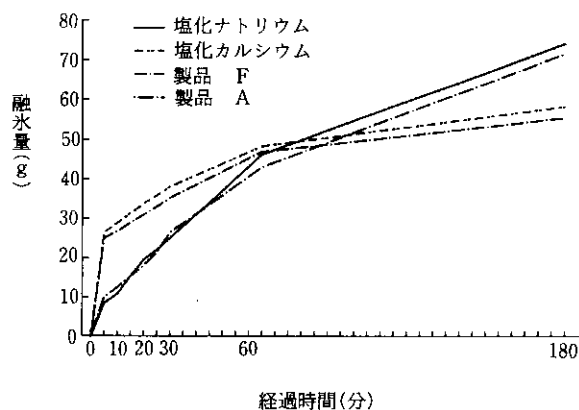


図-7 市販凍結防止剤の融水性能試験の結果(-5°C)

ても同様であると思われるので、今後、これらを用いる場合には、基本的にその主成分と同じ使い方とし、使用量は主成分のみを散布したと考えると散布するのがよい。一例をあげると、塩化カルシウム系の凍結防止剤で主成分が塩化カルシウムで、その配合割合が 90% であるものを使用するときの必要散布量は、 $1/0.9=1.1$ で塩化カルシウムの約 1 割増しの散布量とする。

4-3 湿式凍結防止剤の融水試験

新しい凍結防止剤の散布方法として、凍結防止剤の固体と溶液 (水の場合もある) を混合して散布する方法が行われ始めている。図-8 は、塩化ナトリウムと塩化カルシウムの固体と固体を水で湿らせた場合の融水試験の結果 (5 g の水で湿らせた) である。この図では、このように凍結防止剤を湿らせることによる効果は見られない。

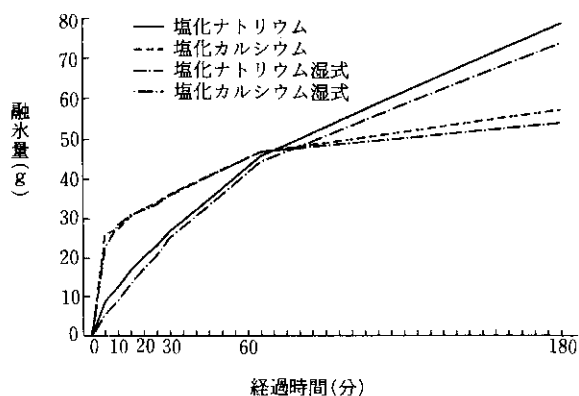


図-8 凍結防止剤の湿式試験(-5°C)

しかし湿式散布は、凍結防止剤が路上に付着しやすく、また散布時に風などの影響を受けにくいという特長を持っており、今後、室内試験ではわからなかったこれらの特長を定量的に調査する必要がある。

4-4 凍結防止剤の溶液散布試験

凍結防止剤の散布手法として、凍結防止剤を水に溶かして凍結防止剤の溶液を散布する手法も一般的に用いられている。一般的に凍結防止剤の溶液散布は速効性に優れているが、持続性が悪いといわれている。

図-9 は、塩化カルシウムと塩化ナトリウムを溶液で散布した場合と、固体で散布した場合の融水量を調査したものであるが、このように塩

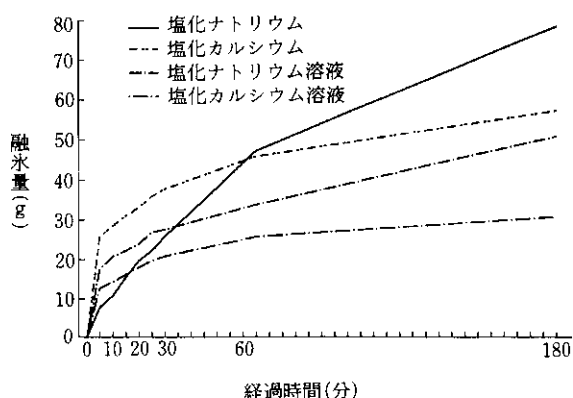


図-9 凍結防止剤の溶液散布試験の結果(-5℃)

化ナトリウムについては速効性が大きくなっているが、塩化カルシウムについては、そのような効果は見られない。しかしこの実験は、溶液の温度を-5℃にしているため、溶液の持つ熱による融氷量がないことを留意する必要がある。つまり、実際の現場において散布を行う場合には、凍結防止剤溶液の温度は気温より高くなる。そして溶液の水温は瞬時に低下し、塩化ナトリウム溶液および塩化カルシウム溶液の双方とも、その熱量が融氷に使われると考えられるため、この室内試験の結果よりもさらに初期効果が高まると考えられる。

4-5 凍結防止剤種類別凍結試験

凍結防止剤には融氷効果のほかに、凍結防止効果もある。溶液の凍結温度は、溶質（この場合は、凍結防止剤）の種類とは無関係に、一定量の溶媒中に含まれる溶質分子の量(モル濃度)に比例する。しかし、凍結の状態にはさまざまな形状が考えられる。そこで、凍結防止剤溶液の凍結状態を目視観察した結果を報告する。

試験は各凍結防止剤の溶液 20 g をシャーレ(直径 58 mm×深さ 10 mm)に入れ、一定の試験温度の下で、一定時間経過した後の溶液の様子を目視観測した。ここで凍結防止剤の混合割合については、すべて 2.68 mol/kg(凍結温度-5℃)にしている。

表-3 はその結果を示したものであり、() 内の数字は、水 100 g に対する凍結防止剤の量を表わしている。このように、-5℃ の凍結温度の溶液を作成するために必要な凍結防止剤の量は、塩化ナトリウムが最も少なく、塩化カルシウム、

表-3 溶液凍結試験の結果

薬剤 \ 時間	温度	10分	30分	1時間	3時間
塩化ナトリウム (7.9 g)	-5℃	○	△	△	△
	-7℃	○	△	△	△
	-15℃	△	△	△	△
	-20℃	△	△	×	×
塩化カルシウム (13.2 g)	-5℃	○	△	△	△
	-7℃	○	△	△	△
	-15℃	△	△	△	△
	-20℃	△	△	×	×
尿 素 (16.1 g)	-5℃	○	△	△	△
	-7℃	○	△	△	△
	-15℃	△	△	△	△
	-20℃	△	△	×	×
K A C (13.2 g)	-5℃	○	△	△	△
	-7℃	△	△	△	△
	-15℃	△	△	△	△
	-20℃	△	△	×	×
C M A (12.7 g)	-5℃	○	△	△	△
	-7℃	○	△	△	△
	-15℃	○	△	△	△
	-20℃	△	△	△	×
蒸 留 水	-5℃	△	△	△	△
	-7℃	△	△	×	×
	-15℃	△	×	×	×
	-20℃	×	×	×	×

() 内の数字は、水 100 g に対する凍結防止剤の量

×…完全凍結

△…シャーベット状または一部凍結

○…未凍結

CMA, KAC の必要量がほぼ同量、そして尿素の必要量が最も多く必要である。

次に試験結果についてであるが、溶液の凍結形状と溶液の凍結時間は、溶液の凍結温度、すなわちモル濃度によって決定されており、凍結防止剤の種類とは無関係であることが明らかとなった。

したがって、凍結防止剤の事前散布(凍結防止散布)を行う場合には、同じ凍結温度の溶液を作成するために必要な凍結防止剤の量が最も少ない、塩化ナトリウムが最も効果的であることを示唆するものである。

4-6 まとめ

①塩化カルシウムは、その融氷効果について速効性があり、スポット的な融氷用散布（事後散布）に適している。

②塩化ナトリウムは、速効性がないため、凍結防止用散布（事前散布）が有効である。しかし、溶液散布を行うことによってこの欠点を補うことができると思われる。

③CMAは融氷に非常に時間がかかるので、凍結防止を目的とする事前散布が有効である。また、事後散布については、温度の高い条件のときにかざるべきである。

④KACは、塩化カルシウムとほぼ同じ融氷性能であるので、その使用方法については、塩化カルシウムと同様の使用を行う。

⑤凍結防止剤の湿式散布や溶液散布は、凍結防止剤を湿らせる水や薬液の水温に影響を受けるが、速効性の発現や凍結防止剤の路面付着が期待でき、一般的に有効な散布手法である。

5. 凍結防止剤による二次的影響

凍結防止剤の散布は、さまざまな二次的影響の原因となることが知られており、そのため古くから凍結防止剤として大量の塩化ナトリウム（岩塩）の散布を行ってきた欧米諸国では、散布量の削減が重要な課題となっている。

凍結防止剤散布に伴う二次的影響としては、金属腐食の問題、植物への影響、河川等の水質への影響、舗装及びコンクリートへの影響などがある。

今後、凍結防止剤散布に伴う二次的影響がさらに重要な課題となることが予想され、詳しい調査研究が必要になると思われる。

5-1 金属腐食

凍結防止剤散布による二次的影響のひとつに、金属腐食の問題がある。この問題は、橋梁や道路標識およびコンクリート中の鉄筋、そして走行している自動車などに大きな影響を与える。北海道においては、鋼構造の橋梁の割合が他の地方と比較して多くなっており（表-4）、北海道においては特に重要な問題である。

凍結防止剤による金属腐食は、溶液中のイオンの働きによって起こるものであるが、凍結防

表-4 北海道の橋梁現況

		鋼 橋	そ の 他	合 計
	数 (割合)	2,664 (66.2%)	1,357 (33.8%)	4,021 (100.0%)
北海道	延長 (割合)	179,701m (69.6%)	78,466 (30.4%)	258,167m (100.0%)
全 国	数 (割合)	19,839 (43.9%)	25,389 (56.1%)	45,228 (100.0%)
	延長 (割合)	1,910,455m (55.8%)	1,513,983m (44.2%)	3,424,438m (100.0%)

出典：北海道の道路ポケットブック1992

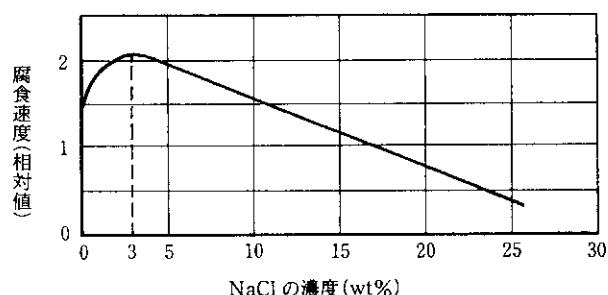


図-10 塩化物(NaCl)の濃度と金属腐食の関係
(文献4) , 5)より引用)

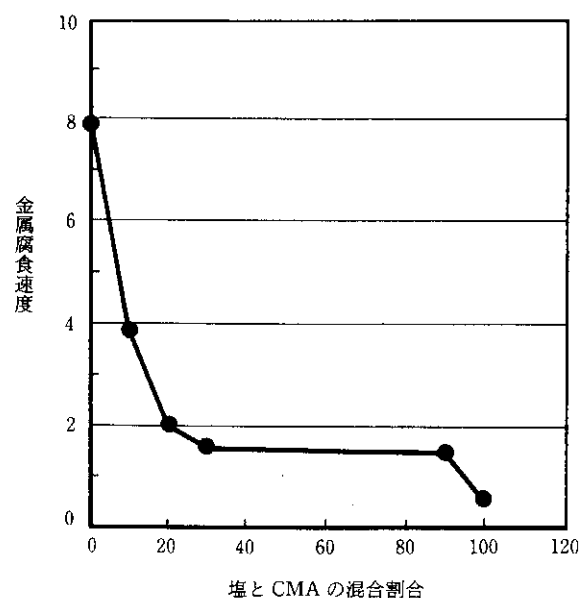


図-11 塩化物に金属腐食防止剤を混入したときの金属腐食量(CMAのパフレットより引用)

止剤の種類、濃度、湿度、溶液中の溶存酸素量などさまざまな要因によって大きな影響を受ける。

ここで、塩化物濃度と金属腐食量の一般的な関係を図-10に示す(参考文献4)より)。このように凍結防止剤散布による金属腐食は、他の二

次の影響と違い溶液濃度の薄い範囲で問題が大きい。

しかし金属腐食は、ある種のインヒビター（金属腐食防止剤）を混合するとによってかなりの低減が期待できることもまたよく知られている。混合金属腐食防止を期待できる物質はかなりの種類があり、一般的な効果と混合比率の割合を示すと図—11 のようになる。このように金属腐食防止剤は、わずかな混合によって金属腐食速度をかなり遅くすることができ、また混合比率をある値よりも多くすることによってほぼ完全に金属腐食を防止することができる。

ここでは凍結防止剤による金属腐食について、簡単な試験を行った結果を報告する。

5—1—1 凍結防止剤種類別金属腐食試験

凍結防止剤の種類と金属腐食速度との関係を相対的に調査するため、凍結防止剤による金属腐食に関する室内試験を実施した。試験はあらかじめ酸を用いて表面を磨いた後、アルコールで脱脂した金属（鉄）の試験片（6.68 cm×9.96 cm）を1日サイクルで凍結防止剤水溶液に浸し、7日間経過した後（8日目）に金属腐食部分を停止剤を混合した弱酸を用いて溶解し、金属腐食量を測定し、この結果から1日当たりの金属腐食速度を求めた。

表—5 は、その試験結果を示したものであるが、このように塩化カルシウムと塩化ナトリウムの金属腐食速度が速く、尿素はほぼ蒸留水の金属腐食速度となっている。また、CMA と KAC については、ほとんど金属腐食が発生しておらず、これらについては金属腐食を防止する効果が見られる。

表—5 室内金属腐食試験の結果
(平成4年度調査)

濃度 種類	1%濃度	3%濃度	5%濃度	10%濃度
塩化ナトリウム	31.7mdd*	47.3mdd	49.3mdd	37.5mdd
塩化カルシウム	40.9	70.2	72.7	36.0
C M A	0.1	0.3	0.1	0.1
K A C	0.1	0.2	0.1	0.0**

*mdd: mg/dm²/day (1日100 cm² 当たりの金属腐食量)

**腐食量が多量にも少ないため、測定不可能

***参考: 蒸留水 5.4 mdd 水道水 10.0 mdd

また、凍結防止剤濃度と金属腐食速度の関係についてみると、初めに示した一般的性質のとおりに、1%濃度から3%濃度にかけては濃度が高くなるにつれて金属腐食速度が増加しているが、5%濃度についてはほぼ3%濃度の場合と同じ金属腐食速度、さらに10%濃度では、逆に金属腐食速度が減少している。これは5%以上の濃い溶液では、溶液中の溶存酸素量が減少するためであり、さらに溶存酸素量は温度や気圧などに影響を受ける。したがって、金属腐食防止を考慮する場合には、3~5%濃度に焦点をあてる必要がある。

5—1—2 金属腐食防止室内試験

5—1—1で報告した凍結防止剤種類別の金属腐食試験の結果によると、塩化物（塩化ナトリウム、塩化カルシウム）については、金属腐食を引起す性質が見られ、逆に酢酸化合物（CMA, KAC）については、金属腐食を防止する効果が認められた。

そこでこれらの酢酸化合物とともに、主な金属腐食防止剤の金属腐食防止効果を調査した。試験方法は5—1—1で行った試験と同様の方法で、3%の塩化ナトリウム溶液と塩化カルシウム溶液に各種の金属腐食防止剤を混入した溶液の金属腐食速度を測定した。

ここで金属腐食防止剤としては、カルボン酸（製品A）、リグニンスルホン酸（製品B、以下リグニン酸と略す）、亜硝酸ナトリウム、ピロリン酸ナトリウム、CMA、KACの合計6種類である。これらの選定は、入手の容易さと価格から選定した。なお、これらの価格はおよそ製品A 600円/kg、製品B 300円/kg、亜硝酸ナトリウム約270円/kg、ピロリン酸ナトリウム320円/kgほどである。これらの中で製品Aについては、液体のものをを用いている。

これらのほかに、クロム酸塩、ケイ酸ソーダ、モリブデン酸塩、トリエタノールアミンなども効果が期待できる物質ではあるが、クロム酸塩については毒性があるため、実際に使用することができないという問題があり、その他のものは価格が高いため今回の報告から除いている。

試験の結果を表—6に示す。なお、ここで示した金属腐食防止剤の混合割合は、凍結防止剤の

表—6 室内金属腐食防止試験

凍結防止剤	混合割合	1.00%	3.00%	10.00%	30.00%	100.00%
	腐食防止剤					
塩化ナトリウム	カルボン酸(製品A)	11.1mdd	11.9mdd	3.4mdd	1.2mdd	0.3mdd
	リグニン酸(製品B)	—	38.7	22.7	33.5	30.8
	亜硝酸ナトリウム	8.6	12.9	12.0	10.6	7.0
	ピロリン酸ナトリウム	21.4	18.0	12.0	10.6	7.0
	C M A	—	—	39.2	19.8	6.4
	K A C	—	29.9	25.8	17.5	2.6
塩化カルシウム	カルボン酸(製品A)	17.8mdd	16.1mdd	6.8mdd	4.6mdd	0.9mdd
	リグニン酸(製品B)	—	38.8	26.1	21.3	15.2
	亜硝酸ナトリウム	20.0	20.9	4.7	1.5	1.7
	ピロリン酸ナトリウム	—	—	43.3	62.4	41.4
	C M A	—	—	50.9	30.6	16.9
	K A C	—	36.6	39.6	23.7	1.1

※カルボン酸(製品A)については、液体の製品をそのまま用いている。表中におけるカルボン酸の1%とは、個体の凍結防止剤100に対して、液体のカルボン酸1を混合したものである。

量に対する金属腐食防止剤の割合である(すなわち、表中の混合割合10%とは、凍結防止剤100に対して金属腐食防止剤10の割合で混合した結果であり、凍結防止剤と金属腐食防止剤の合計に対しては、約9.1%である)。

この結果を見ると、塩化ナトリウムに対してはカルボン酸と亜硝酸ナトリウムは金属腐食速度を水道水とほぼ同量の約10 mddとするためには、おおよそ1%の混合でよく、さらにほぼ完全な金属腐食防止を行うためには、10%の混合が必要であることが明らかになった。また、ピロリン酸ナトリウムについては、水道水とほぼ等しくするために10%以上の混合、CMAとKACに関しては30%以上の混合が必要であることも明らかとなった。また、リグニン酸については金属腐食速度が若干遅くなっているものの、それほど効果が期待できないことが明らかとなった。

次に塩化カルシウムに対してであるが、全体的に必要な混合比率が高くなっており、塩化ナトリウムに対してよりも金属腐食防止剤の混合比率を高くする必要がある。これを腐食防止剤種類別に見ると、塩化ナトリウムのとくと同様にカルボン酸と亜硝酸ナトリウムが効果的であるが、必要な混合比率が塩化ナトリウムに対してよりも多く、水道水とほぼ等しい金属腐食量

とするためには3%から10%の範囲で混合する必要がある、さらに蒸留水なみの約5 mddとするためには、約10%の混合をする必要がある。また、この2種類以外の金属腐食防止剤については、リグニン酸とKACはある程度の効果が期待できるが、必要な混合割合が非常に大きく腐食速度を水道水なみにするためには、リグニン酸で100%以上の混合(1:1の割合)が必要であり、KACについては30%から100%の混合割合が必要である。また、ピロリン酸ナトリウムとCMAについては、塩化カルシウム溶液にこれらの2種類の金属腐食防止剤が非常に溶けにくいいため、これ以上の混合は事実上不可能である。

結論として、金属腐食防止に有効な物質は、カルボン酸と亜硝酸の2種類であることが明らかとなった。これらの2種類を比較するとカルボン酸は価格がいくぶん高いが、必要な混合割合を考えると大きな問題とはならないと思われる。また、取扱いや散布に当たっての安全性や二次的影響についてカルボン酸は非常に安全性の高い物質であり、まったく問題点はないが、亜硝酸ナトリウムは取扱いが非常にむずかしく、また散布にあたっての安全性が疑問がある。すなわち今回の調査結果によると、金属腐食防止剤としてカルボン酸を使用するのが望ましいと

考える。ただし、これはカルボン酸を主成分とする製品一つであるので、製品A以外のカルボン酸については別途に確認試験を実施する必要がある。また必要な混合割合は大きいですが、CMAやKACの使用については、混合割合を大きくしても凍結防止剤の性能に影響を及ぼすことがないため、一考の価値がある。

今後、凍結防止剤の散布を実施するときには、金属腐食防止剤を表-7に示すように混合することを提案するものである。また、これらの防錆剤があらかじめ混合されている市販凍結防止剤の使用を行ってもよい。ただし、市販品の使用にあたっては、防錆剤の種類や混合割合などを明確にする必要がある。

5-2 植物に対する影響

凍結防止剤散布による二次的影響の中で、植物に対する影響は最も懸念されているもののひとつである。これは、植物の種類、生育の時期、土壌の状況などさまざまな要因によって影響の度合いが大きく異なる。凍結防止剤が植物に影響を与える要因については、以下のようなもの

が考えられる。

- ①多量の凍結防止剤による直接的作用
- ②土壌水分中の塩分濃度増加による栄養吸収障害

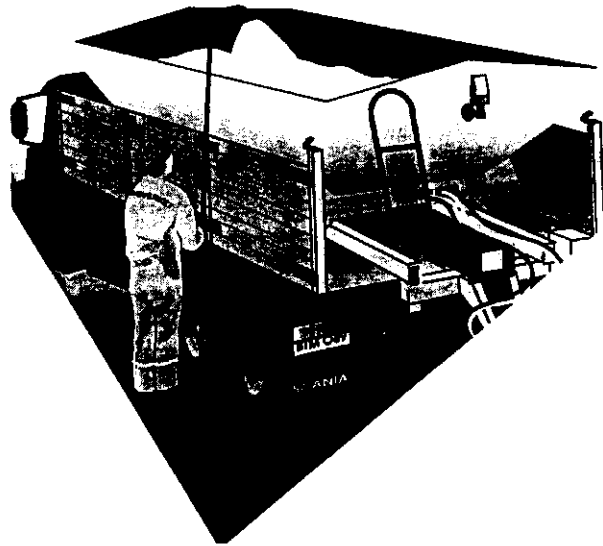


図-12 乾式散布車を使った簡単な湿式散布
(文献19)より引用)

表-7 凍結防止剤と防錆剤の混合割合(案)

凍結防止剤	防 錆 剤	粒状散布	溶液散布	湿式散布
塩化ナトリウム	カルボン酸 (製品A)	混合しない	塩ナト溶液：防錆剤溶液 100：1	3倍に薄めて湿式散布
	C M A	塩ナト：防錆剤 2：1	混合しない	混合しない
	K A C	混合しない	塩ナト溶液：防錆剤溶液 3：1	混合しない
塩化カルシウム	カルボン酸 (製品A)	混合しない	塩カル溶液：防錆剤溶液 100：5	原液で湿式散布
	C M A	混合しない	混合しない	混合しない
	K A C	混合しない	混合しない	混合しない

乾式散布車を使って、カルボン酸やKACを防錆剤として使うときには、簡単な湿式散布(図-12)を行う。ただし、凍結防止剤の固結には十分気をつける。

KACの溶液濃度は50%濃度、カルボン酸の溶液濃度は原液(製品A)とする(製品A以外のカルボン酸については、別途確認試験を要する)。

解 説

- ①各混合割合については、水道水なみの金属腐食速度である10 mddを目安にしている。
- ②溶液散布について、塩化ナトリウム溶液は25%濃度、塩化カルシウム濃度は45%濃度(無水塩換算35%濃度)を想定している。つまり固形塩に換算したときには、それぞれ約1/4と約1/2の塩分量である。
- ③この案は、表-6に示した室内金属腐食防止試験をもとに考えたものである。ただし、金属腐食試験では固体のKACを用いているが、案では市販されている液体のKACを想定している。
- ④案を作成するにあたっては、経済的に無理のある混合を除いている。
- ⑤湿式散布の固体と液体の比率は、10：1(凍結防止剤：液体)である。
- ⑥粒状の散布時に、粉体のカルボン酸やKAC(酢酸カリウム)を混合することも考えられるが、特に風のあるときや高速で凍結防止剤散布を行うときの散布時の均一性の確保がむずかしいと考えられるので、ここでは混合比率を示していない。

- ③塩素イオンやナトリウムイオンなどの生体への蓄積による毒性による障害
 - ④土壌と凍結防止剤との化学反応による土の性質の変化
 - ⑤土壌中の pH の変化
- などが考えられる。

国内においては、東北自動車道で周辺の果樹園に凍結防止剤が飛散し影響を与えた事例もある。この事例は①の直接的作用によるものであったため、対策として飛散防止ネットが設置された。

現在のところ凍結防止剤散布の植物への影響を考える際には、この直接的作用が最も重要であり、凍結防止剤の散布を実施するにあたっては、散布された凍結防止剤の飛散を防止する必要がある。またこれは、植物の葉や芽に直接凍結防止剤がかかったり、凍結防止剤を多量に含む霧がかかるため発生するものであるから、特に常緑樹など散布実施時期に葉や芽のあるものに対して気をつける必要がある。

5-3 河川や湖沼などの水質への影響

凍結防止剤の大量散布によって、河川や湖沼の水質に影響を与える可能性が懸念されている。この問題は、他の二次的影響と同様に凍結防止剤の種類による違いが大きく、単純に述べることはできない。また現在のところ、凍結防止剤の散布量と河川や湖沼への流入量との関係が明らかにされておらず、この点を詳しく調査する必要がある。

凍結防止剤による水質への影響で、問題となる可能性がある項目は、

- ①塩分濃度の上昇
 - ②富栄養化の問題
 - ③ BOD, COD の問題
- の3つの項目である。

塩分濃度の上昇については、日本国内においても小規模な河川において、塩化物イオンの量が夏期間には約 5 ppm であったものが、冬期間に約 30 ppm に上昇した例も報告されている²⁵⁾。通常の場合、魚類の致死濃度は 400 ppm (鱒) ~ 10,500 ppm (ブルーギル) とされており、この点では問題はない。ただし、これらの餌となるプランクトンなどへの影響については現在の

ところ不明であり、今後の課題である。

次に富栄養化の問題であるが、これは N (窒素) や P (リン) を含む凍結防止剤に特有の問題である。現在これらを含むものとしては尿素があり、これを使用するには十分な考慮が必要である。

最後に BOD と COD の問題であるが、これは酢酸化合物に特有の問題であり、これらが大量に河川や湖沼に入り込んだ場合には重要な問題となると思われる。簡単な室内試験の結果では、BOD と COD の合計値が 0.1% (1000 mg/ℓ) 水溶液で、それぞれ約 3.5 mg/ℓ と約 2.5 mg/ℓ であった。

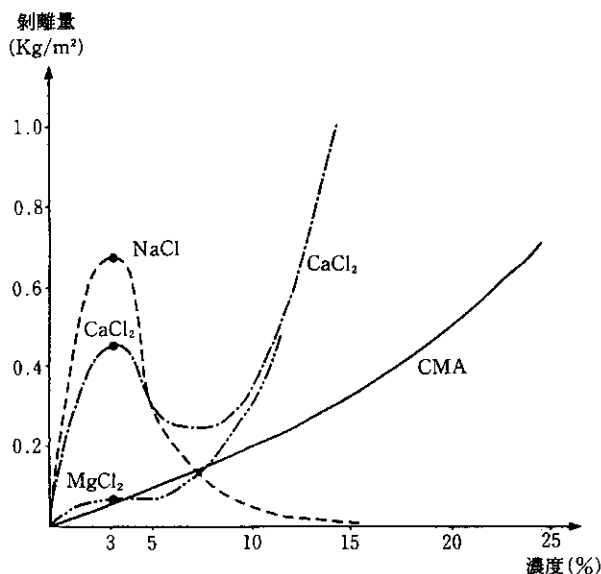
まとめると現在の使用実績で、河川や湖沼の水質に影響が生じる可能性はきわめて小さい。しかしこの問題は、水中に含まれる凍結防止剤の濃度が大きく影響するものであり、今後の使用量の増加によっては、特に水量の少ない小規模河川や水が滞留する沼や湖に近接して凍結防止剤を使用するときには、今後の継続的調査が重要であると考ええる。

5-4 コンクリートへの影響

凍結防止剤散布によって、コンクリートへさまざまな影響を与えることが懸念されている。そのためヨーロッパ諸国の多くは、コンクリートの橋梁に対しては、影響の少ないといわれている尿素を用いている国も多く、またコンクリート構造物への影響が最も大きい塩化カルシウムの使用を禁止している国も多い。凍結防止剤がコンクリートに与える影響にはさまざまな種類が考えられるが、その主なものについてここでは考察を行う。実際にはこのほかにも骨材への影響などもあり、それらが複合的に影響するものである。

5-4-1 スケーリング

まず、凍結防止剤によるコンクリートへの影響として考えられるものは、コンクリート表面の剝離劣化 (以下、スケーリングと記す) である。凍結防止剤によるスケーリングについては、文献19)で報告されており図-13 のようになる。これによると、塩化ナトリウムと塩化カルシウムは3~4%の濃度でスケーリングははっきりとピークを示し、濃度が増加するといったん下降



図一13 コンクリートスケリング試験の結果
(文献19)より引用

する。これに対してCMAは、その濃度に比例して上昇し、塩化ナトリウムの最高値(3%で発生)と同じレベルまで増加する。

実際の凍結防止剤散布においては、濃厚溶液による影響よりも、濃度の薄い範囲での影響が大きいと考えられる。なぜならば、路上に散布した凍結防止剤は、時間経過とともに希釈されるためである。

5-4-2 温度応力の発生

氷上に凍結防止剤を散布すると、散布直後に急激な温度低下が起こる。この温度低下によって温度の不均衡が生じ、温度応力発生の原因となる。諸外国ではこの問題のため、コンクリート構造物に対して尿素を用いている国もある。

当然のことながら温度応力の発生度合いは、温度低下が大きい凍結防止剤が大きくなると考えられる。ここで室内試験を行った際の氷温の経時変化図は、図一4と図一5に示したとおりである。この図は、温度センサーの取り付け位置の関係で、理論上の値(溶液の最低融点温度)までの温度低下はないが、このように塩化カルシウムとKACの氷温の低下が大きく、CMAと尿素は氷温の低下が小さい。また凍結防止剤のメカニズムから考えると、塩化カルシウムとKACは、散布量を増加させるとさらに大きく氷温が低下すると考えられるが、塩化ナトリウム・尿素、CMAについては、散布量を増加させても氷温は、

この値よりも低下することはない。

これらのことから温度応力の発生について、以下に示す性質が推定される。

①塩化カルシウムとKACの影響が大きく、CMAはほとんど影響がない。また塩化ナトリウムと尿素は影響が少ない。

②塩化カルシウムとKACは、1点に集中して散布することによって影響がより大きくなり、その他の凍結防止剤は、集中的に散布を行った場合であっても影響にそれほどの違いはない。

③この問題については、凍結防止剤の溶液散布によってかなり影響を軽減することができる。

6. 凍結防止剤の散布基準

凍結防止剤の散布基準については、過去外国(カナダ)の散布基準を参考に交通研究室から表一8のように示されている。しかしこの散布基準はあくまで凍結防止剤の全線散布を想定したものであり、これまで北海道において行われていたスポット的散布を想定したものではなかった。またこの基準は、環境への配慮や湿式散布および溶液散布についても考慮されていない(参考の為、図一14と図一15に湿式散布車と溶液散布車の図を示す)。そこで、さらに詳細な散布基準を新たに定める必要がある。以下、これらの問題点に対処した新たな散布基準を提案するとともに、その根拠を述べる。ただし、ここに示すものはあくまで案であり、今後の実際の散布によって検証する必要がある。

またCMAについては、融氷に関する性質が塩化カルシウムや塩化ナトリウムと大きく異なっているため、暫定的な案を表一9に示す。

6-1 スポット散布

凍結防止剤の危険箇所への集中散布(以下、スポット散布と記す)を行うときには、散布された凍結防止剤はただちに希釈されるため、凍結防止剤の速効性が最も重要な条件となる。

そのため、北海道においてはこれまで塩化カルシウムが用いられてきたが、今回の調査によって最もすべりやすい路面状況となる0℃付近では、塩化ナトリウムも十分な速効性が期待できるという結果となった。そこで、表一10にスポット的散布を行う場合の散布基準案を定めた。

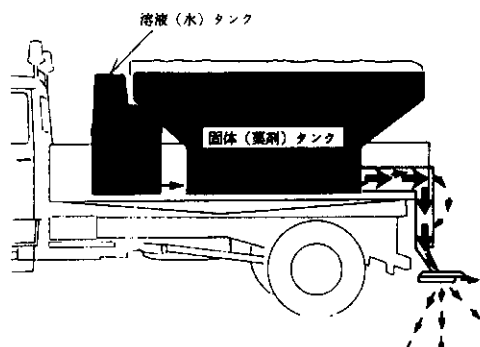


図-14 湿式凍結防止剤散布車

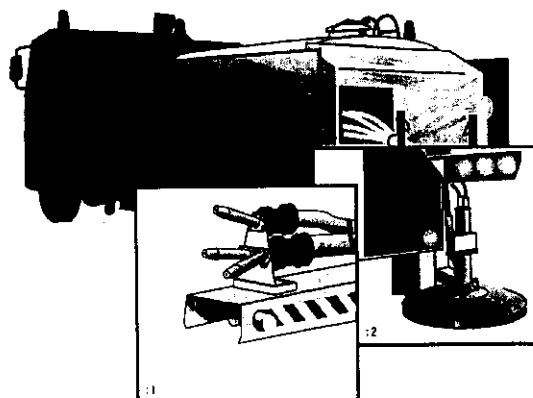


図-15 凍結防止剤溶液散布車
(：1ノズル：2スピナー(回転円盤))

表-8 過去の北海道における凍結防止剤の散布基準案

凍結防止剤 大気温度	塩化カルシウム		塩化ナトリウム	
	予 防 用	融 解 用	予 防 用	融 解 用
-4℃～	20g/m ²	40g/m ²	20g/m ²	30g/m ²
-7℃～-4℃	30	70	30	50
-12℃～-7℃	50	100	40	70
～-12℃	散布しない	原則として散布しない	散布しない	散布しない

塩化カルシウムの-12℃以下は、例外として、120 g/m²の散布を行う。

- ①この表は、舗装道路のみに有効である。
- ②この表は12時間交通量が1000台以上の路線に適用すること。交通量がこれより少ない場合には25～50%の割増しを行うこと。
- ③大気温度は原則として路側で測定したものを採用すること。
- ④予防用の散布は降雪の直前、あるいは直後に行うこと。
- ⑤融解用の散布は、原則として機械除雪の行われた後か、予防用の散布がなされた後に行うこと。このとき予防用の散布が6時間以内に行われたとしたら、その分の融解用の散布量に含めること。
- ⑥次の場合には適用する基準を変えること。
 - (a)路面が太陽にさらされたときには、一段高い基準を採用。
 - (b)舗装体が以前の暖気候の暖かいままのときには、一段高い基準を採用。
 - (c)大気温度が相当に下がるとき、薬剤を夕方散布する場合、夜空が晴れわたることが予想される場合には、予想気温の低めのところを採用する。
- ⑦降雪が長時間続いた場合には、除雪車が除雪を行うたびに薬剤散布をすること。
- ⑧ワダチ部（深さ約3 cm）については、2倍以上の割増しを行う。

表-9 CMAの散布基準(暫定案)

凍結防止剤 気温条件	全 線 散 布		ス ポ ッ ト 散 布	
	事前散布	事後散布	事前散布	事後散布
-4℃～	20g/m ²	40g/m ²	30g/m ²	80g/m ²
-7℃～-4℃	30	70	40	散布しない
-12℃～-7℃	50	散布しない	70	散布しない
～-12℃	散布しない	散布しない	散布しない	散布しない

- ①事前散布の散布基準については、塩化カルシウムの散布基準と同量にした。
- ②事後散布について、特に低温時には効果出現に非常に時間がかかるので散布はあまり望ましくない。
- ③事後散布の全線散布は基本的に濃度の変化がないと考え、塩化カルシウムの散布基準と同量とした。また、-7℃以下の場合には、効果出現までの時間がかかりすぎると考え、散布しないこととした。
- ④事後散布のスポット散布については、効果出現時に残留濃度が半分(図-16によると、約40分後の残留濃度である)になると考え、塩化カルシウムの散布基準の2倍とした。また、-4℃以下の場合には、さらに効果出現に時間がかかると考え散布しないこととした。

表-10 凍結防止剤の散布基準案(スポット散布)

凍結防止剤 気温条件	事前散布			事後散布		
	塩化ナトリウム	塩化カルシウム	溶液散布*	塩化ナトリウム	塩化カルシウム	溶液散布*
-4°C~	20g/m ²	30g/m ²	50ml/m ²	30g/m ²	40g/m ²	80ml/m ²
-7°C~-4°C	40	40	散布しない	60	70	散布しない
-12°C~-7°C	60	70	散布しない	120	100	散布しない
~-12°C	散布しない	散布しない	散布しない	散布しない	原則として散布しない。例外として120g/m ²	散布しない

- ①湿式散布については、暫定的に粒状散布と同量の散布を行う。
 ②溶液の濃度は塩化ナトリウム、塩化カルシウムおよびKACとも飽和水溶液とする。
 ③事前散布については、従来の基準を基本に割増しを行い、事後散布については融水に必要な時間と濃度の希釈時間から考えている。
 ④低温時の事後散布については、塩化カルシウムの使用が適している。
 ⑤事前散布および気温が高いときには、塩化ナトリウムが適している。

表-11 凍結防止剤の散布基準案(全線散布)

凍結防止剤 気温条件	事前散布			事後散布		
	塩化ナトリウム	塩化カルシウム	溶液散布*	塩化ナトリウム	塩化カルシウム	溶液散布*
-4°C~	20g/m ²	20g/m ²	50ml/m ²	30g/m ²	40g/m ²	80ml/m ²
-7°C~-4°C	30	30	100ml/m ²	50	70	散布しない
-12°C~-7°C	40	50	散布しない	70	100	散布しない
~-12°C	散布しない	散布しない	散布しない	散布しない	原則として散布しない。例外として120g/m ²	散布しない

- ①湿式散布については、暫定的に粒状散布と同量の散布を行う。
 ②溶液濃度は塩化ナトリウム、塩化カルシウムおよびKACとも飽和水溶液とする。
 ③塩化ナトリウムと塩化カルシウムの散布量は、従来の散布基準である。
 ④散布には塩化ナトリウムが適しているが、低温時に速効性が必要なときには塩化カルシウムが適している。

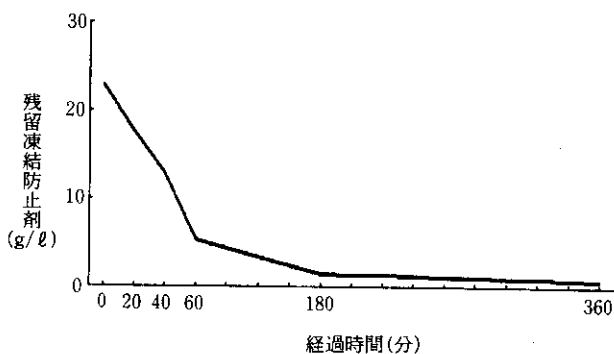


図-14 凍結防止剤残留濃度試験結果

表中事後散布について見ると、塩化ナトリウムの必要散布量と塩化カルシウムは低温減でも速効性が期待できるが塩化ナトリウムは気温の低下とともに効果の出現が遅れるため、より多くの割増しが必要であると考えたためである。また溶液散布については、粒状散布および湿式散布よりも希釈の影響を受けやすいと考え、

-7°C以下の低温減での散布を考えていない。

今後、スポット的散布は急な曲線部や急勾配、日陰などばかりではなく、市街地部の「ツルツル路面」対策などで重要となることが予想され、今後さらに詳細な調査が必要である。

6-2 全線散布

今後、峠部や規格の高い道路においては、道路の延長に沿っての散布も重要になると思われる(以下、このような散布手法を全線散布と記す)。凍結防止剤の全線散布を実施する場合には、効果の速効性よりも効果の持続性が重要であると考えられ、塩化カルシウムよりも塩化ナトリウムがより適した凍結防止剤であるといえる。

そのことを考慮して、表-11に凍結防止剤の全線散布を行う際の散布基準案を提案する。

スタッドレスタイヤ時代を迎え、凍結防止剤の全線散布は、北海道においてもより重要になると考えられる。

あとがき

本報文はスタッドレス化社会を迎え、路面管理の高度化が叫ばれていることから、路面管理手法として最も期待されている凍結防止剤の散布に関して、適切な散布量を考えることを目的に取りまとめたものである。

ここでは示さなかったが、ドイツにおいて凍結防止剤の散布が、交通事故の防止に大きな効果をあげた例も紹介されている²²⁾。

このように凍結防止剤は、冬期路面の管理手法として非常に効果的な手法であるが、種類によってさまざまな特徴を有するため、今後は道路管理のニーズを踏まえた、より効果的な凍結防止剤種類の選択および使用方法について検討することが重要である。

また、北海道の厳冬期のような非常に気温の低い条件の下では散布の効果はほとんど望めず、場合によっては逆効果になる場合も考えられる。しかし凍結路面は、0°C付近で最もすべりやすく気温が低くなるにつれてすべりにくくなるという性質を持っており、さらに、平成4年度に札幌市内で頻発した“ツルツル路面”については、日中の気温が0°Cを前後するような気温条件で多数発生している²⁰⁾ことが指摘されている。このようなことから、今後は-10°C以下の低温時における凍結防止よりも、0°C付近の温度条件下での融水・凍結防止がより重要になると考えられる。

今後は、これら凍結防止剤の散布基準(案)をふまえ現場での使用実績や諸外国で現在進められている凍結防止剤の適正な使用方法の研究成果を参考とし、北海道における適正な凍結防止剤の使用方法についてさらに検討を重ねていく予定である。

参考文献

- 1) 日本化学学会編：化学便覧基礎編，昭和59年6月。
- 2) 斉藤博英：凍結防止剤を使用した道路の雪対策，日本積雪連合資料，昭和44年6月。
- 3) 日本建設機械化協会編：新道路除雪ハンドブック，昭和56年12月。
- 4) H. H. ユーリック：腐食反応とその制御，昭和43年3月。
- 5) G. Wranglen：金属腐食防食序論，1973年5月。
- 6) F. O. ウッド：凍結防止剤による自動車の腐食，高速道路と自動車，第25巻第3号，1989年3月。
- 7) 足立克久：凍結防止剤に対する植物の耐塩性について，日本道路公団試験所報告，昭和48年度。
- 8) 熊谷茂樹，鈴木哲也，山西信雄：舗装用碎石の膨潤崩壊について，北海道開発局土木試験所月報 No. 376，1984年9月。
- 9) John BJERRUM, Niels JUUL BUSCH；CMA AN ALTERNATIVE DEICING AGENT, PIARC NORWAY 1990.
- 10) P. P. HUDEC, C. MACINNIS, F. ACHAMPONG；PROPERTIES OF A GOOD DEICER, Low Temperature Effect on Concrete Second Canada/Japan Workshop August, 1-2, 1990.
- 11) 小長井宣生：西欧の最新道路事情，開発土木研究所月報 No. 465，1992年5月。
- 12) 小長井宣生：西欧の道路気象情報システム，開発土木研究所月報 No. 468，1992年5月。
- 13) 小長井宣生：西欧における道路管理の現状，自動車技術会 北海道支部講演会資料，平成4年3月。
- 14) OECD：Road Transport Reserch Winter Maintenance, 1990.
- 15) 松沢 勝，加治屋安彦，高橋勝広：サーマルマッピングの冬期路面管理への応用について，第36回(平成4年度)北海道開発局技術研究発表会，平成5年2月。
- 16) 高橋勝広，加治屋安彦，松沢 勝：冬期路面状況と道路環境の関係について，第36回(平成4年度)北海道開発局技術研究発表会，平成5年2月。
- 17) 建設省北陸地方建設局雪寒対策部会合理化分科会：凍結対策マニュアル(素案)，平成3年10月。
- 18) 建設省土木研究所新潟試験所：凍結防止剤散布実態調査報告書(1)～(4)，昭和62年度(1)～平成5年度(4)。
- 19) Gurdrum Oberg, Kent Gustafson, Lennart

Axelsson ; VTI (スウェーデン道路局) rapport,
More Effective deicing with less salt Final
report of MINSALT project summary (より
少ない塩による効果的な路面凍結対策開発土木
研究所道路部翻訳：(財)北海道道路管理技術
センター発行), 平成4年12月。

20) 高木秀貴, 堀田暢夫：北海道におけるスパイク
タイヤ使用規制の影響と今後の課題, 開発土木
研究所月報 No. 483, 1992年8月。

21) 財団法人経済調査会：雪と対策'92-'93, 平成
4年9月。

22) ホルスト・ハンケ：冬期の交通安全と輸送効率
の改善 ドイツの研究プロジェクトの成果一,
冬期道路管理国際ワークショップ発表論文集,
平成5年1月。

23) 冬期道路管理国際ワークショップ企画運営委員
会：冬期道路管理国際ワークショップ発表論文
集, 平成5年1月。

24) 北海道開発局：北海道の道路ポケットブック,
1992。

25) 中国新聞：“西中国山地動物たちは今…”, 昭和
63年3月。

*

*

*