

融氷特性を考慮した凍結防止剤の 選定手法に関する一考察

(独) 土木研究所寒地土木研究所 道央支所 ○熊谷 卓士
同 上 寒地交通チーム 佐藤 圭洋
同 上 寒地交通チーム 徳永 ロベルト

北海道では、凍結防止剤として本州方面と同様に塩化ナトリウムが主に用いられているが、塩化ナトリウムに塩化カルシウムや塩化マグネシウムを 8:2 の割合で混ぜた混合物も多く使用されている。塩化ナトリウム、塩化カルシウム、塩化マグネシウムについては、過去に融氷特性が明らかにされているが、混合物の融氷特性については、まだ確認されていない。今回は混合物の融氷特性を明らかにし、適切な選定に資するために融氷量試験を行った。その結果、塩化ナトリウムと塩化ナトリウム混合物の融氷量が、ほぼ同等であることを確認した。

キーワード：冬期維持管理、凍結路面管理、凍結防止剤

1. はじめに

凍結防止剤の散布は、凍結した路面の融解や路面上の水分の凍結防止に、有効な冬期路面管理手法である。

北海道では、1990年代前半のスパイクタイヤ使用規制以降、凍結路面が多く発生するようになり、冬期道路管理において、凍結防止剤等による路面管理の重要性が高まった。近年、凍結防止剤の散布量が増加傾向にあり(図-1参照)¹⁾、予算制約のある中、より効果的・効率的な散布が求められている。

凍結防止剤には様々な種類があり(表-1参照)²⁾、塩化ナトリウムを中心に、塩化カルシウム、塩化マグネシウム及び塩化ナトリウムとそれらの混合物など、塩化物系が主に使用されている。

凍結防止剤の散布にあたっては、それぞれの融氷特性を把握した上で使用剤を選定することが望ましい。本研究では、凍結防止剤の融氷特性を把握することを目的として融氷量試験を行った。

2. 既往研究について

使用する凍結防止剤の選定にあたっては、購入コスト、保管方法、取り扱いの容易さ等と同時に、融氷特性も重要であり、十分把握しておくことが望ましい。凍結防止剤の融氷効果については、過去に村岡ら³⁾によって行われており、塩化ナトリウム、塩化カルシウム及び塩化マグネシウムの融氷効果を確認している。

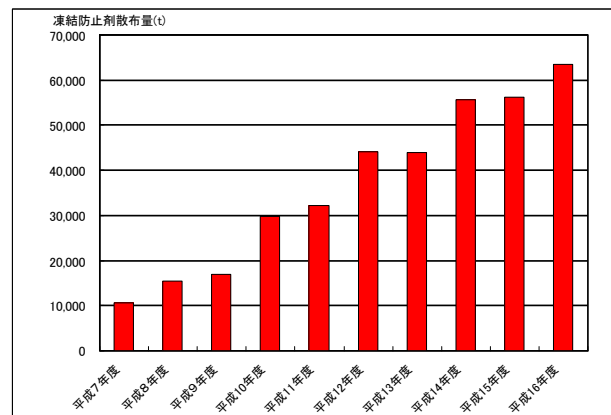


図-1 凍結防止剤散布実績 (北海道開発局)

表-1 凍結防止剤の種類

塩化物系	塩化ナトリウム、塩化カルシウム、塩化マグネシウム、上記の混合物
酢酸系	CMA (酢酸カルシウム・マグネシウム)、酢酸ナトリウム、酢酸カリウムなど
その他	塩化物と酢酸の混合物 (CMAと塩化ナトリウムの混合物など)

認している。しかし、現在北海道で使用されている塩化ナトリウム混合物に関する融氷効果については、確認していない。

3. 試験方法

本研究における凍結防止材の融氷量試験は、平成20年9月18日～平成20年10月21日の13日間において、当研究所構内にある多用途低温実験棟で行った。本施設⁴⁾は、常温から-20℃まで1℃毎に温度設定が可能である。

表-2に、本試験で使用した凍結防止材、試験温度（実測値）及び融氷量の測定時間を示す。なお、混合物1とは、塩化ナトリウムと塩化マグネシウムを8:2の割合で混合したものであり、混合物2とは、塩化ナトリウムと塩化カルシウムを8:2の割合で混合したものである。

使用した凍結防止剤は、試薬等の純度の高いものではなく実際に凍結防止剤として道路に散布しているもの（塩化ナトリウム、塩化カルシウム、混合物1及び混合物2）と工業用製品（塩化マグネシウム）である。

使用した主な機器は、重量計、接触式温度計及び非接触式（放射）温度計である（写真-2参照）。重量計は、感度0.01gで、誤差±0.01gの物を使用した。接触式温度計は、感度0.1℃で、誤差±0.2℃の物を使用した。非接触式（放射）温度計は、感度0.1℃で、0℃未満の誤差±3℃の物を使用した。

当該試験は以下の手順で行った。

- ①各凍結防止剤を10gずつ重量計で量り、ポリ袋に取り分けた。
- ②試験室内の温度を-5℃に設定し、予め十分に冷やしておき、試料作製のプラスチック容器（190×125×40mm）を机の上に並べた（写真-3参照）
- ③容器に常温の水道水400cc入れ、室温-5℃の設定の状態で、水を凍らせた。
- ④水が凍結した後、室内温度を試験温度にし、温度及び氷面温度を安定させるため半日程度置いて養生した。以上により作製した氷を試料とした。
- ⑤室温を接触式温度計、試料表面温度を非接触式温度計で測定した後、試料の重量を重量計で測定した。
- ⑥凍結防止剤を試料に散布した（写真-4参照）。なお、凍結防止剤の温度は試験温度と同じである。
- ⑦散布直後、室温及び重量を測定した。
- ⑧試験時間経過後に、容器内に残っている凍結防止剤及び融氷水を除去し（写真-5参照）、試料表面温度を測定した後、重量を測定した。
- ⑨融氷量は、散布前の試料重量から凍結防止剤及び融氷水除去後の試料重量を引いた値とした。なお、

Takuji Kumagai, Takahiro Sato, Roberto Tokunaga

表-2 試験条件

試験対象凍結防止材	試験温度	経過時間
塩化ナトリウム (NaCl)	-3℃	5分
	-5℃	10分
塩化カルシウム (CaCl ₂)	-8℃	20分
	-12℃	30分
混合物1 (NaCl:MgCl ₂ =8:2)	-16℃	60分
混合物2 (NaCl:CaCl ₂ =8:2)	-16℃	120分
	-20℃	180分
	-20℃	360分



重量計

接触式温度計

非接触式温度計

写真-2 使用機器



写真-3 試料作製状況



写真-4 混合物1散布直後の試料 (-5℃)



写真-5 混合物 1 除去後の試料 (-5°C、120 分後)

試験結果は、同一条件に付き 5 サンプル測定し平均値を算出した。

4. 試験結果

図-2~7 に、温度別試験 (-3°C、-5°C、-8°C、-12°C、-16°C、-20°C) 結果を示す。縦軸は、凍結防止剤の融水量、横軸は、凍結防止剤散布後の経過時間を表す。

(1) 試験温度-3°Cの結果

図-2 より、全ての薬剤で、散布後の経過時間が長いほど、融水量が多くなった。

散布後 30 分では、塩化カルシウムの融水量は、31.6g となり、塩化ナトリウムの 21.4g の約 1.5 倍となったが、散布後 120 分では、塩化カルシウム 50.1g、塩化ナトリウム 53.2g と融水量が逆転した。最終的な融水量は、塩化カルシウム 78.2g、塩化ナトリウム 104.2g となった。

混合物については、散布直後には、塩化ナトリウム、混合物 1 及び混合物 2 より、塩化カルシウムや塩化マグネシウムの融水量が多くなったが、60 分前後で逆転し、それ以降は、塩化ナトリウム、混合物 1 及び混合物 2 の融水量が多い結果となった。また、混合物 1 及び混合物 2 の融水量は、塩化ナトリウムとほぼ同等の結果となった。

(2) 試験温度-5°Cの結果

図-3 より、-3°C と比較すると全体的に融水量は少ないが、経過時間が長いほど、融水量が多い結果となった。

-3°C と同様に、散布後 60 分前後で、塩化ナトリウム、混合物 1 及び混合物 2 と塩化カルシウムや塩化マグネシウムの融水量が逆転した。また、混合物 1 及び混合物 2 の融水量は、塩化ナトリウムとほぼ同等の結果となった。

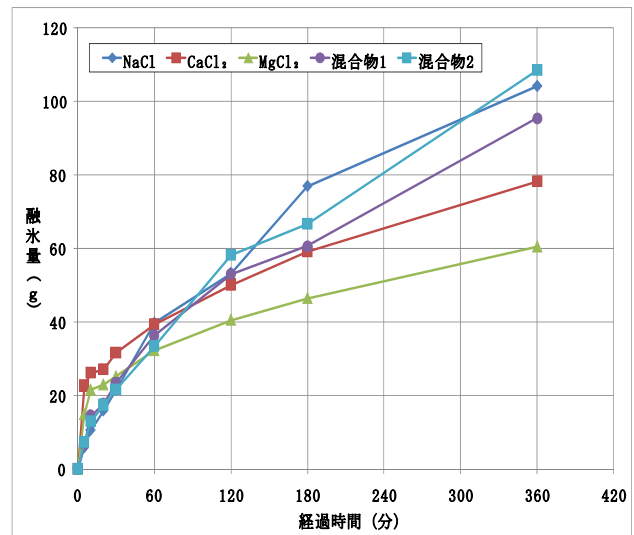


図-2 凍結防止剤の融水量 (-3°C)

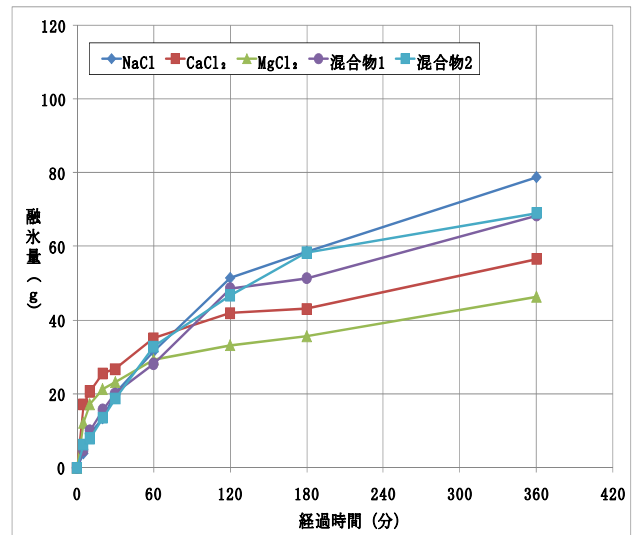


図-3 凍結防止剤の融水量 (-5°C)

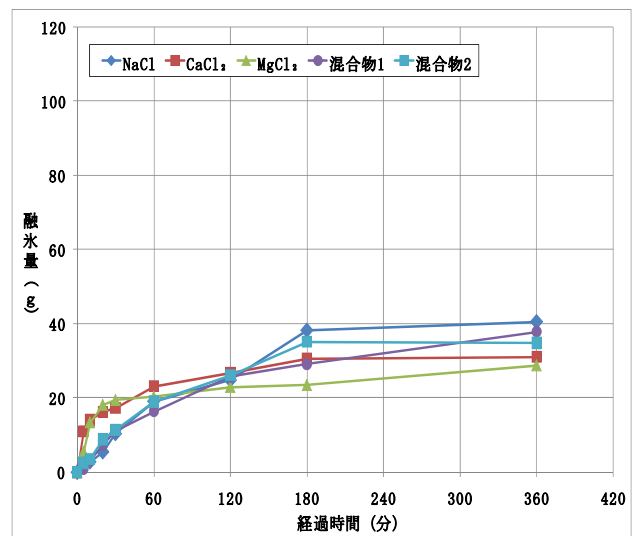


図-4 凍結防止剤の融水量 (-8°C)

(3) 試験温度-8°Cの結果

図-4より、-5°Cの結果と比較すると、全体的に融氷量が少なく、散布後180分で、融氷量の増加がほとんど見られなくなった。また、最終的な塩化ナトリウムの融氷量は40.5gで、-5°Cの78.7gの約半分となった。

散布60分以内では、塩化ナトリウム、混合物1及び混合物2より、塩化カルシウムや塩化マグネシウムの融氷量が多くなったが、120分前後で逆転し、最終的な融氷量は、塩化ナトリウム、混合物1及び混合物2が多くなった。しかし、逆転した後の融氷量の差は、-3°Cや-5°Cの時と比べると少ない結果となった。

(4) 試験温度-12°Cの結果

図-5より、-8°Cの結果と比較すると、全体的に融氷量が少ない結果となった。塩化ナトリウム、混合物1及び混合物2の融氷量は、散布後180分で増加がほとんど見られなくなった。塩化カルシウムや塩化マグネシウムは、散布後120分で増加が見られなくなった。また、各凍結防止剤間の融氷量の差は、-8°Cと同様に、-3°Cや-5°Cの時より少ない結果となった。

(5) 試験温度-16°Cの結果

図-6より、-12°Cの結果と比較すると、全体的に融氷量が少ない結果となった。塩化ナトリウム、混合物1及び混合物2の融氷量は、時間の経過と共に増加し続けたが、塩化カルシウムや塩化マグネシウムは、-12°Cと同様に、散布後120分で融氷量の増加が見られなくなった。また、各凍結防止剤間の融氷量の差は、-8°Cや-12°Cと同様に、-3°Cや-5°Cの時より少ない結果となった。

(6) 試験温度-20°Cの結果

図-7より、塩化ナトリウム、混合物1及び混合物2の融氷量はほとんど増加せず、散布後60分でも1~2gであり、-3°Cの34g~40gの20分の1以下という結果になった。

塩化カルシウムや塩化マグネシウムは、散布後30分までは、融氷量が増加したが、それ以降は融氷効果が見られなかった。散布後60分の融氷量は、10~12gであり、-3°Cの32g~39gの4分の1から3分の1という結果となった。また、各凍結防止剤間の融氷量の差は、-8°C、-12°C及び-16°Cと同様に、-3°Cや-5°Cの時より少ない結果となった。

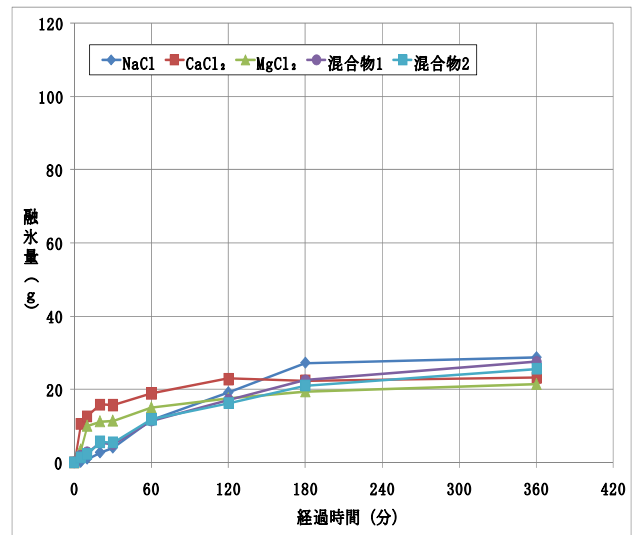


図-5 凍結防止剤の融氷量 (-12°C)

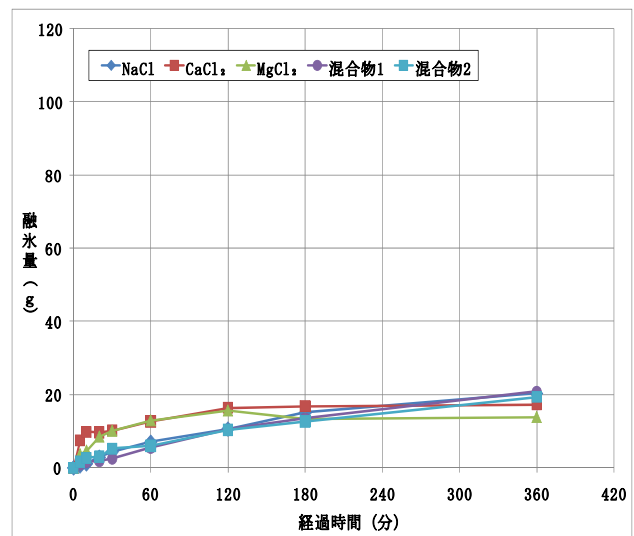


図-6 凍結防止剤の融氷量 (-16°C)

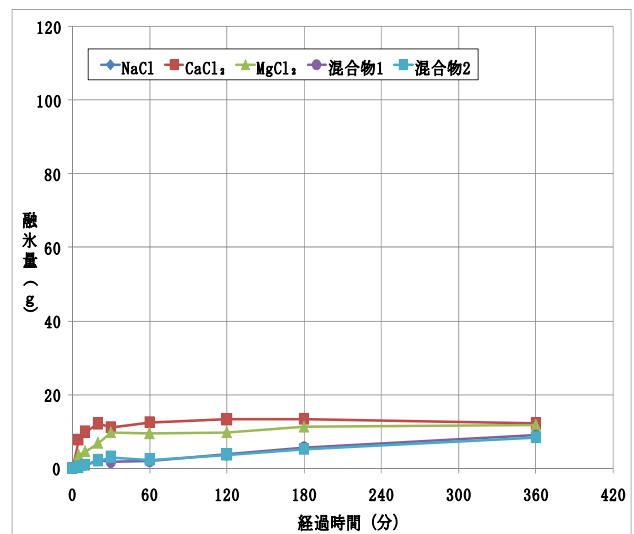


図-7 凍結防止剤の融氷量 (-20°C)

5. 考察

以上の結果より、全ての凍結防止剤において、温度が低下すると、融氷効果が低下することが確認できた。そのため、低温時の路面管理には、凍結防止剤だけでなく防滑材を散布するなど、他の方法を併用するのも良いと思われる。凍結防止剤の種類別に見ると、散布直後は、塩化カルシウムや塩化マグネシウムの融氷量が多くなったが、時間経過とともに混合物 1、混合物 2 及び塩化ナトリウムの融氷量が多くなった。融氷量が逆転するまでの時間は低温になるほど遅くなり、今回の試験では -16°C 以下では360分が経過した時点での融氷量にほとんど違いが無くなった。

また、塩化ナトリウムに、即効性がある塩化カルシウムや塩化マグネシウムを8:2の割合で混ぜても、即効性の面からは、ほとんど効果が無いことが分かった。

このように、塩化カルシウムや塩化マグネシウムは、混合物 1、混合物 2 及び塩化ナトリウムと比較すると、即効性が認められるので、短時間のうちに散布効果を得たい場合に適している。それに対して一定時間が経過した条件での融氷効果を求めるなら、混合物 1、混合物 2 及び塩化ナトリウムの方が適していると思われる。

混合物 1、混合物 2 ともに、本試験においては、塩化ナトリウムと同等の融氷効果及び融氷特性を持つことが分かった。このことより、混合物と塩化ナトリウムの選定に当たっては、融氷性能以外の購入コスト、保管方法、取り扱いの容易さ等の要因により、適切な凍結防止剤を選択することが望ましい。



写真-6 塩化ナトリウム固結状態

6. あとがき

本試験では、凍結防止剤散布後の融氷量を温度と経過時間毎に計測することで、凍結防止剤の融氷特性を把握し、実務で使用する凍結防止剤を選定するための基礎資料を得た。

効果の持続性という面では塩化ナトリウムを選定するのが望ましいと考えられるが、塩化ナトリウムは、低温下で固結する可能性がある⁵⁾(写真-6参照)ため、低温下で保管しても固結しにくい塩化ナトリウム混合物を選定することが望ましい場合も想定される。このように気象条件や凍結防止剤の保管環境等を勘案した上で凍結防止剤を選定することが重要と考えられる。

本研究では、凍結防止剤で、凍結した路面の事後散布を想定した試験を実施したが、凍結防止剤の散布は、路面が凍結する前に散布する事前散布もあり、こちらについても今後試験研究を進めて行く予定である。

謝辞：最後に、今回の試験に際し、凍結防止剤を提供して下さった札幌開発建設部札幌道路事務所と旭川開発建設部旭川道路事務所に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 高島巧：スパイクタイヤ規制後の評価と今後の課題について、社団法人雪センター、ゆき No. 51、2003年4月
- 2) 凍結防止剤性能及び品質規定検討委員会：凍結防止剤（塩化ナトリウム）の品質に関する調査報告書、2004年
- 3) 村國誠：冬期路面管理に使用する薬剤(1)～(4)、社団法人雪センター、ゆき No. 10～No. 13、1993年1月
- 4) 交通研究室：凍結路面室内走行試験機の紹介、北海道開発土木研究所、北海道開発土木研究所月報 No515、1996年4月
- 5) 宮本修司、浅野基樹、東乙比古、高田忠一、狩野敦彦：凍結防止剤の保管に関する調査（第1報）、北海道開発土木研究所、北海道開発土木研究所月報 No593、2002年10月