

IV-10

雪氷路面における凍結防止剤の散布効果に関する研究

北海道開発局開発土木研究所 正会員 川村 浩二
 同 上 正会員 高木 秀貴
 同 上 正会員 美馬 大樹

1. はじめに

我が国においては、スパイクタイヤ粉じんによる環境への影響の観点から、平成2年6月に「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」が制定され、その結果、現在、北海道においてはほとんどの車両がスタッドレスタイヤを装着するに至っている。このような中で、北海道を初めとする積雪寒冷地域においては冬期間の路面対策が、安全で円滑な交通環境確保のため非常に重要な役割を担っており、道内の各道路管理者は、機械除雪の高度化とともに、凍結防止剤やすべり止め材の散布、ロードヒーティングの設置など様々な対策を行ってきている。

これらの対策の内、平成4年度以前には北海道開発局においてほとんど使用されていなかった凍結防止剤やすべり止め材が平成5年度以降頻繁に使用されるようになり、ここ2,3年その使用量が増加し続けており今後もさらに増加することが予想される¹⁾。しかしながら、これらの散布に当たっては適確な散布方法や散布量に対する効果等が明確に把握されていないことから、現段階においては現場技術者の経験的判断に委ねられているのが現状である。

これらのことから、路面凍結の予防やスタッドレスタイヤの通行による滑りやすい雪氷路面の発生防止などを主眼とした適切な散布手法の確立を目的として、凍結防止剤およびすべり止め材の散布後の路面状況を把握するために一般国道において散布効果試験を実施した。

2. 試験方法

試験は、雪氷路面が形成された日に日射の影響を受けない夜間(21:00頃から試験開始)、石狩町の一般国道397号単路部において、凍結防止剤[塩化ナトリウム、塩化カルシウム、CMA(酢酸カルシウム・マグネシウム)]の散布効果試験を実施した。試験区間内は、信号交差点が無く右左折車両が存在しないことから、ほぼ均一な雪氷路面が形成される条件である。試験は、図-1に示すように無散布区間と4種類の散布量を変えた区間の合計5箇所試験散布区間を設定し、散布前、散布直後、以後1時間毎に各区間のすべり試験車によるすべり摩擦係数や路面残雪深等を車両走行位置において測定し、時間経過による路面性状の変化を測定した。また、気温、路温および降雪深を同時に測定した。なお、凍結防止剤の散布に当たっては

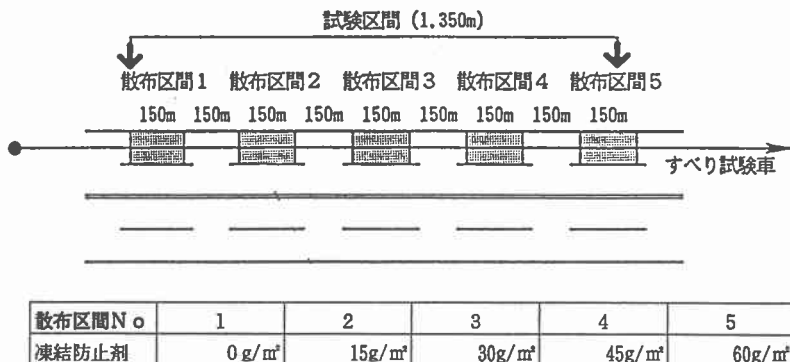


図-1 試験方法概要図

Experimental study on the effects of deicing agents on snowy and icy surfaces by Kouji Kawamura, Hideki Takagi, Hiroki Mima

表-1 各試験ケースの概要

ケース	散布剤	試験日	外気温	当初路面状況 (f:すべり摩擦係数)	試験中の降雪状況
1	塩化ナトリウム	1996/1/17	-1.7~-6.5	f=0.20~0.21 氷板	なし
2	"	1996/2/7	+0.7~-6.8	f=0.14~0.16 非常に滑りやすい圧雪	"
3	"	1996/2/7	+0.7~-6.8	f=0.13~0.16 非常に滑りやすい氷板	"
4	"	1996/2/16	-6.0~-9.4	f=0.20~0.24 非常に滑りやすい圧雪	10時間後から少量の降雪あり。
5	塩化カルシウム	1996/2/16	-6.0~-9.4	f=0.22~0.23 非常に滑りやすい圧雪	10時間後から少量の降雪あり。
6	CMA	1996/1/17	-1.7~-6.5	f=0.18~0.27 氷板	なし

路面への定着率を高めるために30%濃度の塩化カルシウム水溶液を散布剤に重量比で20%混合させた湿式散布を行った。表-1に試験時の外気温及び当初路面状況を示す。

3. 試験結果

3.1 氷板及び非常に滑りやすい圧雪路面に対する塩化ナトリウムの散布効果

図-2~5に塩化ナトリウムのケース1~4の試験結果を示す。この4ケースは、散布前の路面状態が厚さ5mm程度以下の滑りやすい圧雪や氷板であり試験中の降雪がほとんど無かったものである。図-6には、この4ケースのすべり摩擦係数の向上量と効果持続時間（散布後すべり摩擦係数>無散布すべり摩擦係数）を示したが、各ケース毎には散布量の違いによるすべり摩擦係数の向上量と効果持続時間について顕著な差異

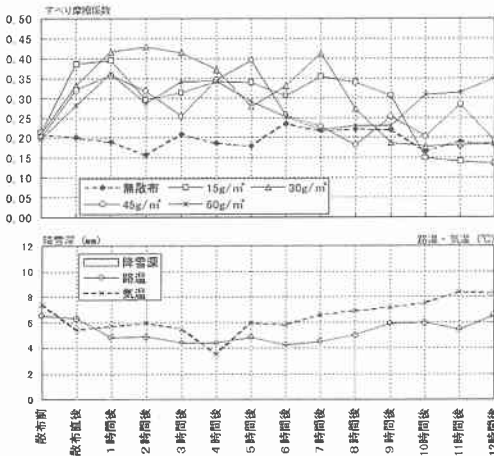


図-2 NaCl散布試験結果及び気象状況(ケース1)

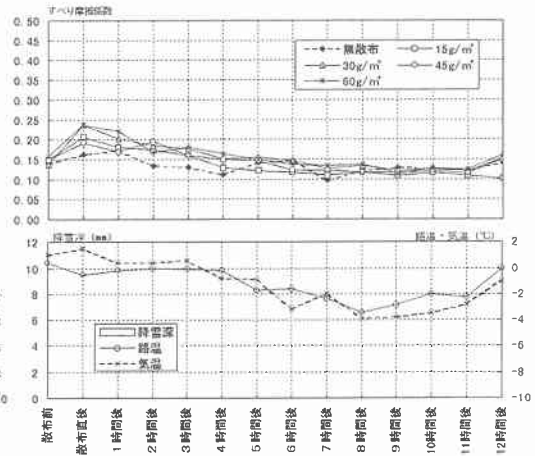


図-3 NaCl散布試験結果及び気象状況(ケース2)

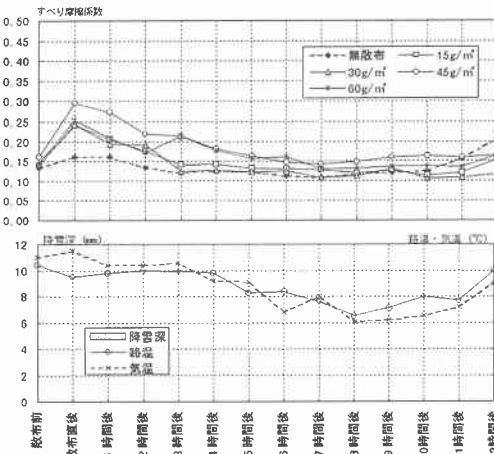


図-4 NaCl散布試験結果及び気象状況(ケース3)

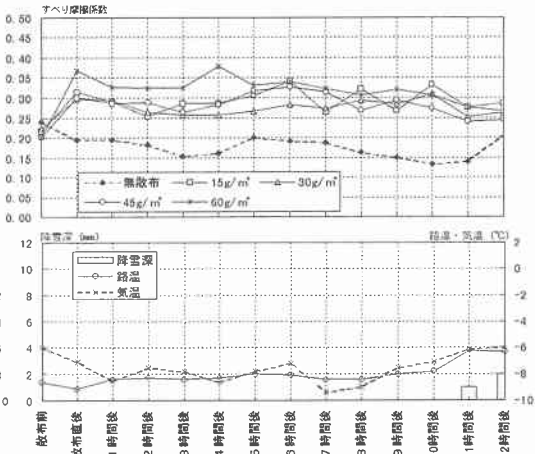


図-5 NaCl散布試験結果及び気象状況(ケース4)

が認められない。すべり摩擦係数の向上量にほとんど差が現れなかった原因としては、改善後のすべり摩擦係数が改善効果の大きいケース1,4で0.28～0.36を示していることから、今回の試験で設定した最大散布量である60g/m²でも路面上にある全ての雪氷を融解するには至らず、凍結防止剤散布が通過車両により雪氷路面の表面をこなす程度であったためと考えられる。路面上の雪氷を全て融解することが路面管理としては最適な方法であることは明白であるが、すべり摩擦係数が0.25～0.30程度以上の路面状態であれば、特に降雪量の多い北海道における幹線道路の冬期路面管理レベルとしては十分であると考えられ、ケース1,4の場合の路面状況の改善は、散布量15g/m²でも十分達成されていると考えられる。

このように、無散布区間における平均すべり摩擦係数が0.20程度以上の路面(ケース1,4)では少量(0.15g/m²)の散布量でもすべり摩擦係数が平均0.10～0.16明らかに向上したのに対し、すべり摩擦係数が0.15以下のケース(ケース2,3)では散布後におけるすべり摩擦係数の向上量が平均0.03～0.06と小さく、摩擦係数が極めて低い領域から脱していないことがわかる。4ケース共に雪氷厚5mm程度以下の路面で、また一般的に周辺気温が高い程融氷効果が大きいと考えられるにも係わらず、ケース2,3に比べ気温の低いケース1,4が散布後のすべり摩擦係数の向上量が大きかった原因として、写真-1,2を見てわかるとおり散布効果が顕著に現れたケース1,4は、路面にタイヤチェーン跡等の物理的凹凸があるのに対し、散布効果が小さかったケース2,3は、路面が非常に平滑であったことが一因として考えられる。即ち、路面の物理的凹凸の有無により当然のことながら平滑路面よりもすべり摩擦係数は高くなり、さらに凍結防止剤散布後において散布剤の路面への定着率が高まり、雪氷厚の薄い凹部では融氷作用が促進され、路面の凹凸の進展、さらにはタイヤと舗装面が接触しやすくなるため散布効果が顕著に現れたものである。

このように、すべり摩擦係数が0.15程度以下の平滑な雪氷路面が出現した場合、凍結防止剤で滑りづらい路面へ改善する効果的な方法として、物理的凹凸を有する路面への凍結防止剤散布が効果的であるとい

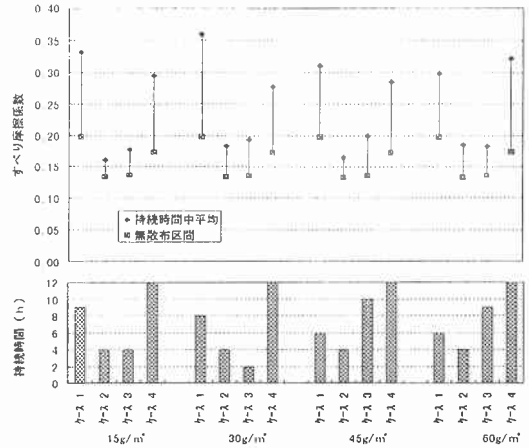


図-6 NaCl ケース1～4における散布効果比較



写真-1 ケース1 散布前路面状況



写真-2 ケース2 散布前路面状況

表-2 塩化ナトリウム ケ-51~4 散布効率比較

	15g/m ²	30g/m ²	45g/m ²	60g/m ²
平均すべり摩擦係数向上量	0.079	0.089	0.078	0.086
平均持続時間 (h)	7.25	6.50	8.00	7.75
平均持続時間 (h) / 散布量 (g/m ²)	0.483	0.217	0.178	0.129

うことを意味しており、何らかの手法で雪氷路面へ物理的インパクトを与えた後に凍結防止剤を散布することで散布効果を高められる可能性があることを示唆している。

結果として、塩化ナトリウムによる効率的な路面管理手法として、表-2に示すとおり散布量は単位散布量当たりの持続時間が一番長い15g/m²で、また散布サイクルタイムは15g/m²の平均持続時間が7.25hとなっているものの4時間程度以下のケースも多いことから、気象条件や路面状況に応じ概ね4~8時間程度を目途にこまめに路面管理することが望ましいと思われる。また、すべり摩擦係数の極めて低い雪氷路面の改善は、非常に困難なことも示しており、従ってそのような路面を発生させないよう恒常的、予防的な路面管理が望まれる。

3.2 非常に滑りやすい圧雪路面における塩化ナトリウム・塩化カルシウム・CMAの散布効果

塩化ナトリウム(図-5)と塩化カルシウム(図-7)を同日に散布試験を実施し比較したものを図-8に示す。これらの図から散布前のすべり摩擦係数は0.20~0.24程度であり、散布区間の12時間中における平均すべり摩擦係数の向上量は、両者共に0.05~0.10程度ですべり摩擦係数が0.30程度を示した。一方、無散布区間においては、当初のすべり摩擦係数が0.24で12時間中の平均すべり摩擦係数が0.17程度と低かったことから、塩化ナトリウムと塩化カルシウム共に同程度の散布効果が期待できるものといえる。

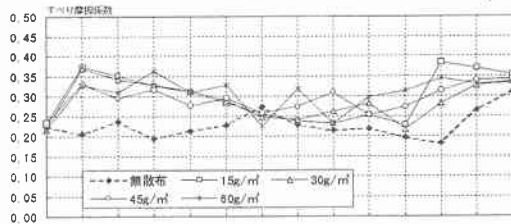


図-7 CaCl₂ 散布試験結果及び気象状況(ケ-5)

このことから、塩化カルシウムと塩化ナトリウムの散布効果は、室内融氷試験結果³⁾では塩化ナトリウムが塩化カルシウムに比べ散布1時間以内の初期効果が少ないことや散布後3時間経過後では塩化ナトリウムの方が融水量が多いことなどが認められるものの、本試験結果(現場での実際の散布結果)においては、両者に散布効果の差がほとんど認められなかったことから、現場でのすべり摩擦係数の改善効果には大差ないと判断される。一方、塩化ナトリウムに比べ塩化カルシウムは、同一重量濃度ではイオン濃度が低いため再凍結しやすいこと⁴⁾、塩化ナトリウムは塩化カルシウムに比べ安価であり経済的に有利であること、また最低融点温度は塩化ナトリウム(-21℃)より塩化カルシウム(-55℃)の方が低いものの、非常に滑りやすい雪氷路面の出現しやすい温度領域は0~-2℃である⁵⁾ことから、その領域における塩化ナトリウムと塩化カルシウムの最低融点温度の差が路面改善効果に与える影響は小さいと考えられることなどから、塩化ナトリウムの使用をより一層拡大することが望ましいといえる。

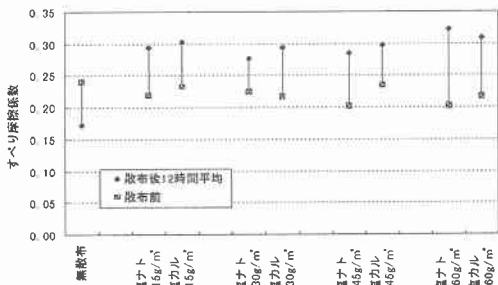


図-8 NaCl(ケ-54)・CaCl₂(ケ-55)の散布効果比較

次にCMA(図-9)と塩化ナトリウム(図-2)を同日にほぼ同様なすべり摩擦係数を示す雪氷路面で比較した結果を図-10に示す。これらの図からCMAは塩化ナトリウムに比べ60g/m²を除いてすべり摩擦係数の向上量、効果持続時間が共に小さいことがわか

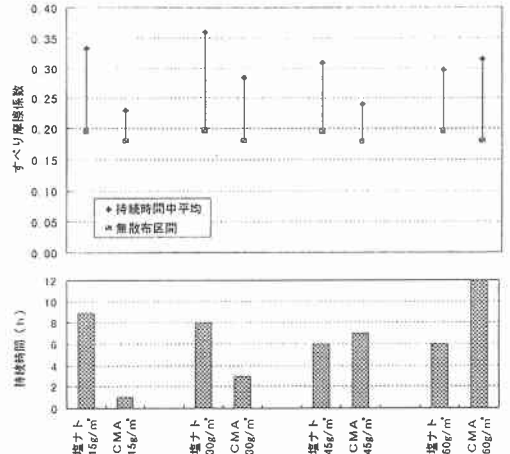
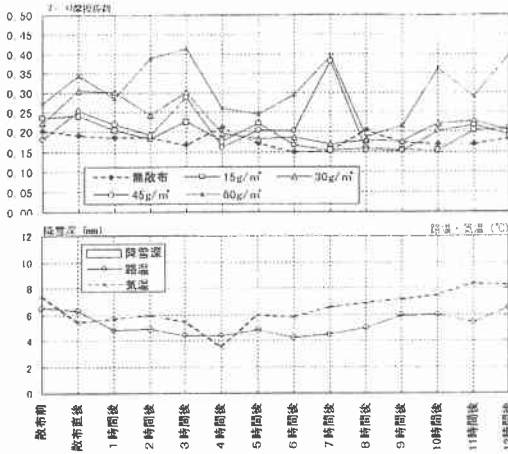


図-9 CMA散布試験結果及び気象状況(ケース6) 図-10 NaCl(ケース1)・CMA(ケース6)の散布効果比較
 一方、散布効果が現れたCMA 60g/m²散布のデータについては、図-9からも読み取れるとおり経過時間毎の測定値にバラツキが多く、高いすべり摩擦係数を示した3時間後の写真-3を見て塩化ナトリウムのように(写真-4)雪氷表面が融解によりかき乱されていないことから、砂・碎石等と同様のすべり止め材的な働きが作用したものと考えられる。しかしながら、30g/m²以下の散布では塩化ナトリウムに比べ顕著な効果を示さなかったことから、機械除雪水準の高い国道等の幹線道路におけるCMAの使用については、経済性を考慮すると塩化ナトリウムと比較して非常に高価なため一考を要するものと思われる。なお、二次的影響を極力回避すべき箇所(橋梁等構造物や街路樹箇所)でのCMAの使用については、安定したすべり摩擦係数の向上のために散布量を比較的多めにする必要がある。



写真-3 CMA散布3時間後路面状況
(ケース6, 60g/m²)



写真-4 塩化ナトリウム散布4時間後路面状況
(ケース1, 30g/m²)

4. まとめ

雪氷路面対策における凍結防止剤、すべり止め材の利用とその効果については、各道路管理者の冬期道路管理水準、特に機械除雪のレベルと大きく関係すると考えられ、本研究は、あくまでも現行の一般国道を対象に調査検討したものである。以下に本研究の考察を記す。

- (1) 塩化物系凍結防止剤の内、塩化ナトリウムと塩化カルシウムは、室内の融氷試験では融氷性能の特徴の差異が明確であるが、現場での利用にあたっては同程度の散布効果が認められたため、材料の使用量や取り扱い上の工夫も踏まえつつ、一般的には塩化ナトリウムを使用することが望ましい。
- (2) 二次的影響が小さいとされる酢酸系凍結防止剤の内、CMAについては、凍結防止剤が路面の雪氷にからみにくい条件であったため、融氷の発現が遅いことから明確な効果が把握できなかった。試験結果の内、多めの散布量である60g/m²のケースでは、ある程度の路面改善効果が得られたが、この場合にも路面状況の観測からすれば、顆粒としてのすべり止め材的作用による効果が卓越しているように思われた。
- (3) すべり摩擦係数が0.20程度以上の路面では、凍結防止剤（塩化ナトリウム）散布により、すべり摩擦係数の向上量は0.10～0.16と大きいと、0.15以下の非常に滑りやすい雪氷路面では、向上量0.03～0.06と極めて低く、従って非常に滑りやすい雪氷路面の改善には凍結防止剤の使用だけでは不十分である。
- (4) 非常に平滑で均一な滑りやすい路面の場合、物理的凹凸の有無がすべり摩擦係数の値に大きく影響するだけでなく、凍結防止剤、すべり止め材利用における路面への定着度にも大きく関係すると思われる、従ってこのような条件の場合、平滑路面の粗面化を踏まえ、凍結防止剤、すべり止め材を使用することが極めて有効である。
- (5) 塩化ナトリウムの散布量が15～60g/m²の範囲内では、散布量の違いによる効果の差異はほとんど見られなく、一般的には少量散布（15g/m²）でも十分雪氷路面对策が可能であると考えられる。
- (6) 塩化ナトリウムと塩化カルシウムの効果の持続時間は、路面状況や気象状況の違いによって異なるものの、恒常的に滑りづらい路面を維持するためには、概ね4～8時間程度のサイクルタイムを目途に路面管理をする必要がある。
- (7) 滑りやすい雪氷路面が形成されている状況下において、周辺気象が今回試験を実施した+1～-8℃程度の範囲内では、気温が塩化ナトリウムの散布効果に大きな影響を与えていない。

5. あとがき

現在、冬期の雪氷対策として凍結防止剤やすべり止め材が無くてはならない存在となっており、今後さらにその使用量が増加していく傾向にある。しかしながら凍結防止剤の大量散布は、様々な二次的影響の原因になると言われており、そのため古くから凍結防止剤として岩塩を散布してきた欧米諸国では多量の塩化物の使用を危惧する声が強くなり散布量の削減が大きな課題となっている。このことから、特に塩化物系凍結防止剤の使用に関しては安全な交通環境を保つことができる必要最小限の量の散布に努めて行かなければならない。

今回の結果から、幹線道路の雪氷路面に対する凍結防止剤の適確な散布手法について、ある程度把握できたものの、試験ケースが少なかったことから、今後は、今回の試験結果を基に繰り返し試験を実施し、データを蓄積していくことによって多様な雪氷路面に対する散布効果を検証し、あらゆる雪氷路面に対する凍結防止剤やすべり止め材の適確な散布手法を確立する必要があると考えている。

参考文献

- 1) 川村浩二、高木秀貴、大沼秀次：北海道開発局における凍結路面对策について、第39回北海道開発局技術研究発表会、1996年2月
- 2) フィンランド道路庁：フィンランドの冬期道路管理手法、1993年
- 3) 宮本修司、小長井宣生、浅野基樹：環境に優しい薬剤の特質と室内試験について、第36回北海道開発局技術研究発表会、1993年2月
- 4) 蜷川浩一、服部健作、門山保彦、佐藤彪式：北海道における融雪剤について、第32回北海道開発局技術研究発表会、1988年2月
- 5) 松沢勝、加治屋彦彦、石本敬志：新路面分類と94/95冬期路面状況、北海道の雪氷No. 14、1995年