

IV-27 北海道における融雪剤について

北海道開発局 開発土木研究所 交通研究室 正員 門山 保彦
 " " " " 服部 健作
 " " " " 佐藤 彪武
 " " " " 蛭川 浩一

まえがき

積雪寒冷地域の道路では冬期において降積雪や路面凍結によって交通障害などが引き起こされている。これら冬期交通安全確保のために、除排雪・凍結防止対策などの路面管理が行われているが、近年のスパイクタイヤ問題と相まって、なお一層重要視されてきている。

これら除雪・凍結防止対策を分類すると2つの方法に大別される。ひとつは現在、北海道で最も一般的に行われている機械や人力による除排雪作業で、もう1つは消雪パイプや流雪溝などのような消・融雪施設によって融雪し、凍結を防ぐ方法である。消・融雪施設にも様々な種類があり、そのひとつとして施設ではないが融雪・凍結防止剤を路面に散布することにより融雪・凍結防止を図る方法がある。諸外国では古くから利用されてきたが、日本では近年まで使用例は少なかった。特に多雪厳寒地域である北海道においては、その使用例はさらに少ない。しかしながら、過去（昭和40年代）において融雪・凍結防止剤の散布試験が行われた経緯もあるが、当時は現在と除雪レベルが大きく異なり、融雪・凍結防止というより除雪補助の意味が強かった。そこで本文では融雪・凍結防止剤について様々な試験調査を行い、あわせて実際の国道上において行った融雪・凍結防止剤の散布試験結果などについて述べ、北海道における融雪・凍結防止剤使用の可能性などについて検討する際の資料とすることを目的に取りまとめた。

1. 融雪・凍結防止剤について

1-1 融雪・凍結防止剤の種類

一般的に融雪・凍結防止剤（以下、薬剤と記す）として、塩化カルシウム（ $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）、塩化ナトリウム（ NaCl ）などが主に用いられている。その他の薬剤には、塩化マグネシウム・尿素・アルコール類・さらにアセテート系の混合物などもあるが、これら薬剤は塩化ナトリウムなどに比べ価格が高価で（表-1参照）あり、融雪・凍結防止高価が低いものもあると言われている。

1-2 融雪・凍結防止の原理

薬剤を雪氷上に散布すると、薬剤と接触した部分の雪氷が溶ける。この雪氷を溶かすための熱は周辺の雪氷から吸収されるため、雪氷は一時的に、さらに低温になる。このため周囲（大気や路面）から熱が供給され、雪氷が融解する。つまり雪氷の溶け方は大気温度と路面などの熱的性質によって大きな影響を受ける。さらに、水は 0°C になると氷になるが、薬剤などの溶液であれば 0°C では凍らない。当然のことながら濃い濃度ほど氷のでき始める温度は低い。

1-3 薬剤の副次的影響

薬剤散布によって、構造物・人体・植物などに影響を与えるといわれており、その影響は薬剤の量ならびに種類などによって異なる。過去に薬剤を多量に使用してきた諸外国でも、この副次的影響が深刻な問題として近年、表面化してきており薬剤の使用量は減少傾向にある。

表-2は薬剤の影響について、その一部を取りまとめたものである。

表-1 道内で販売されている薬剤の参考価格

薬 剤 名	1トン当り単価
塩化ナトリウム NaCl	32000円
塩化カルシウム $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	65000円
アセテート類	230000円
その他市販のもの	120000円 140000円

昭和60年現在

2. 薬剤の室内試験

2-1 融解試験

薬剤によって、どの程度雪氷が溶けるのかについて室内の冷凍庫で試験を行った。試験は一定の温度下で、温度測定器を取り付けた氷の供試体（寸法15cm×9cm×2cm、重量200g）に薬剤を散布し、その後4時間にわたり供試体温度の経時変化と4時間後の融水量を記録した。薬剤は塩化ナトリウムと塩化カルシウムとし、散布量は供試体重量の3%に当る6g、5%に当る10g、10%に当る20gとした。これらの薬剤量は単位面積（1m×1m）当りに換算すると、おのおの444g/m²、740g/m²、1481g/m²と非常に多量となるが、あくまでも試験として決定した。図-1は薬剤散布後4時間の融水量を供試体の重量パーセント（薬剤を含む）で示したものである。薬剤量が多く冷凍庫の温度が高い程融水量が多く、塩化カルシウムよりも塩化ナトリウムの方が融水量が多いことなどがわかるが、冷凍庫内温度が-15℃と低い場合は融水量は少なく両薬剤の融水量の差も少ない。表-3～4は融氷してできた水溶液の濃度などの分析結果である。水溶液中の薬剤の重量パーセントは10～20%と、非常に濃い値を示している。

2-2 再凍結試験

薬剤には融解のほか凍結防止効果もあると言われている。そこで薬剤の再凍結についても室内試験を行った。試験は塩化ナトリウムと塩化カルシウムを所定の濃度に溶解した水溶液を冷凍庫で凍結させ、凍結状態を目視で観測した。

(1)イオンモル濃度試験

溶液の凍結というものを考える場合、溶液中のイオンモル濃度が影響すると言われている。そこでイオンモル濃度による凍結試験を行った。

表-5にイオンモル濃度を同一にするための条

表-2 薬剤の副次的影響

路面に対する影響	アスファルト舗装自体は薬剤散布によって直接影響を受ける事は少ないと言われているが、薬剤を散布することによって滑り易くなることもある。
構造物に対する影響	橋梁、自動車、鉄筋コンクリートの鉄筋などの金属に対する発錆腐食の影響がある。
人体に対する影響	薬剤が人体に与える影響として、塩化ナトリウムは直接衣服や皮膚に接触しても害はないが、塩化カルシウムは皮膚に付くと赤くなったり、かぶれたりする時もある。また、口徑障害も塩化ナトリウムより塩化カルシウムの方が強い。
河川などに対する影響	雪氷に含まれた薬剤が河川に捨てられると、河川・地下水などの塩分濃度が高まる。魚類に対する影響は魚によって異なる。また飲料水としては一定の基準以下の塩分濃度であれば問題ないが西ドイツでは河川の下流部でかなりの塩分濃縮度が測定された報告例がある。
植物に対する影響	植物が受ける影響には、その種類によって大きな差があり、諸機関の調査でも、影響があるとした結果と、ないとした結果があるが、特に街路樹や雪下で発芽する種類の植物は、直接薬剤が付着するために影響が大きいと言われている。

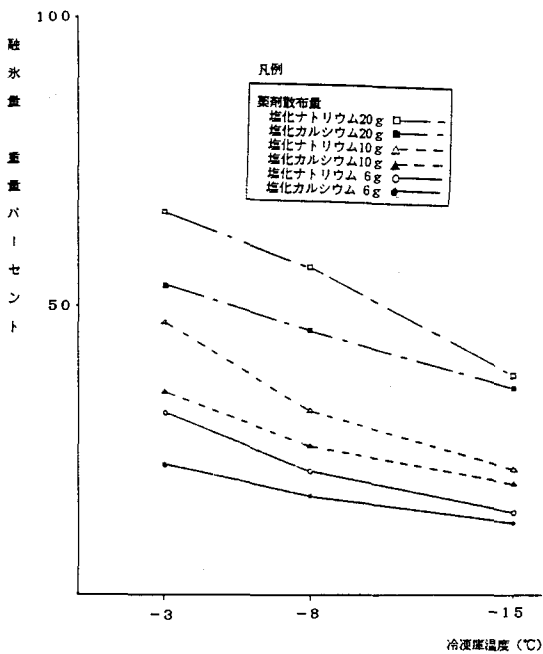


図-1 融水量推定結果

表-3 融氷水の濃度分析表 (NaCl)

試験温度 (℃)	薬剤量 (g)	融水量 (g)	融氷水中の薬剤濃度 (重量パーセント)	密度 (g/cm ³)	塩素イオン濃度 (g/l)	イオンモル濃度 (mol/l)
-3	6	65.10	9.42	1.0614	57.70	3.42
	10	99.26	10.46	1.0686	64.47	3.92
	20	145.49	13.51	1.0902	85.00	5.24
-8	6	43.77	13.54	1.0905	85.23	5.25
	10	69.75	14.36	1.0962	90.84	5.62
	20	124.83	16.29	1.1101	104.35	6.52
-15	6	29.09	19.85	1.1373	130.29	8.29
	10	45.62	20.69	1.1456	136.75	8.73
	20	82.71	22.58	1.1586	150.93	9.75

件を示す。(塩化ナトリウム溶液の重量濃度3, 5, 10%のイオンモル濃度に合わせて塩化カルシウムを調整した) 同一イオンモル濃度にするために必要な薬剤の量は、塩化カルシウムが塩化ナトリウムの約1.6倍となっている。この溶液を使用した再凍結試験の結果を図-

表-4 融氷水の濃度分析表 (CaCl₂・2H₂O)

試験温度 (℃)	薬剤量 (g)	融氷量 (g)	融氷水中の薬剤濃度 (重量パーセント)	密度 (g/cm ³)	塩素イオン濃度 (g/l)	イオンモル濃度 (mol/l)
-3	6	46.33	13.09	1.0813	68.41	3.01
	10	73.54	13.63	1.0863	71.67	3.15
	20	117.48	16.81	1.1065	89.92	3.99
-8	6	35.36	18.00	1.1133	96.92	4.32
	10	53.98	18.10	1.1146	97.52	4.35
	20	105.32	19.99	1.1288	109.13	4.89
-15	6	25.73	23.95	1.1591	134.27	6.07
	10	40.63	24.49	1.1621	137.60	6.24
	20	78.00	25.01	1.1675	141.17	6.40

2に示す。この試験結果から同一イオンモル濃度による凍結度はほぼ同じであった。さらに、このイオンモル濃度から発錆に影響する塩素イオン濃度について考えると、塩化カルシウムと塩化ナトリウムの塩素イオン濃度には表-7のような関係がある。表中、塩化カルシウムのイオンモル濃度が0.846mol/lの時の塩素イオン濃度が20000mg/lなのに対し、塩素ナトリウムのイオンモル濃度0.846mol/lでは塩素イオン濃度が15000mg/lと少なくなっている。

表-5 イオンモル濃度分析表

薬剤名	イオンモル濃度 (mol/l)	薬剤量 (g)	水 (g)	重量濃度 (%)
塩化ナトリウム NaCl	1.08	32.38	999.22	3.136
	1.85	54.93	999.67	5.264
	3.86	114.55	997.23	10.385
塩化カルシウム CaCl ₂ ・2H ₂ O	1.09	53.21	986.42	5.169
	1.84	90.25	976.97	8.500
	3.85	188.23	951.96	16.613

表-6 重量濃度分析表

薬剤	濃度	重量濃度 (%)	イオンモル濃度 (mol/l)
塩化ナトリウム	3%	3.084	1.06
塩化ナトリウム	5%	5.121	1.80
塩化ナトリウム	10%	10.428	3.87
塩化カルシウム	3%	2.745	0.57
塩化カルシウム	5%	4.562	0.96
塩化カルシウム	10%	9.222	2.01

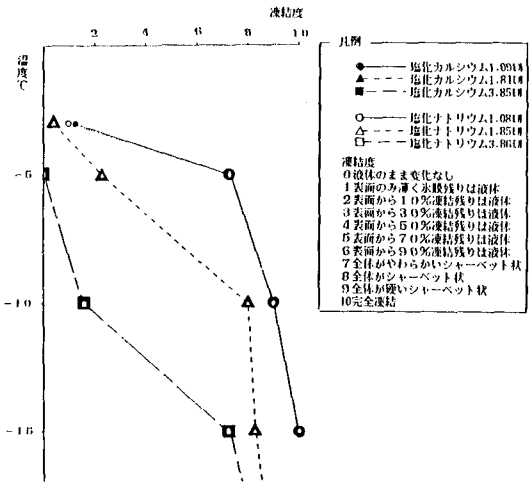


図-2 凍結試験結果 (イオンモル濃度)

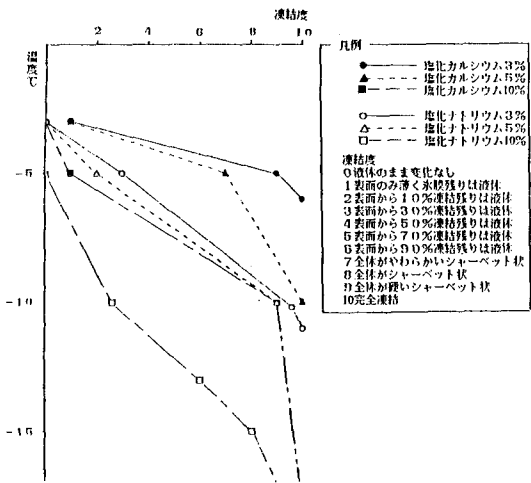


図-3 凍結試験結果 (重量濃度)

(2) 重量濃度試験

溶媒（水）に対して薬剤（塩化ナトリウム・塩化カルシウム）を同重量ずつ溶解し、それぞれ3%、5%、10%の溶液を作った。図-3は各溶液を同量ずつシャーレ（直径58mm×深さ10mm）に入れ冷凍庫内に同一温度下で3時間放置し凍結させた結果である。図-3から同一重量濃度では塩化ナトリウムより塩化カルシウムの方が高い温度で凍結しており、塩化ナトリウム5%溶液と塩化カルシウム10%溶液が同等な凍結度を示していることなどから、同一重量濃度では塩化カルシウム溶液の方が凍結しやすいことがわかる。しかしながら、いずれの溶液も高濃度でなければ-10℃程度で凍結しており、再凍結の問題が残る。表-6は各溶液の濃度分析結果であるが、塩化カルシウムの方が同一重量濃度ではイオンモル濃度が低く、凍結しやすいのである。

(3) 結果

薬剤の再凍結に関しては、塩化ナトリウムと塩化カルシウムを単純に同量散布すると塩化カルシウムの方が再凍結しやすく、塩化カルシウムに塩化ナトリウムと同一の凍結防止効果を期待するには塩化ナトリウムの1.6倍の散布量が必要となる。さ

らに、薬剤価格で比較すると、塩化ナトリウム1トン(32000円/t)に対して塩化カルシウム1.6トン(65000円/t)必要であるから、実に3.25倍の価格差になる。

3. 薬剤の屋外試験

3-1 一般国道における散布試験調査

薬剤の室内試験と同時に昭和61年から63年までの冬期に、一般国道230号定山溪・一般国道276号支笏湖畔・一般

国道270号幌加内町の路上で試験調査を行った。使用した薬剤は融雪に対する即効性が高いと言われる塩化カルシウム($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)とし、散布量を $40\text{g}/\text{m}^2$ 、 $100\text{g}/\text{m}^2$ の2種類とした。薬剤散布後の路面上の雪氷や路面とタイヤ間のすべり摩擦係数などの経時変化を調査した。

表-8に調査状況などを示す。

表-8 調査状況

調査地点	調査年月日	外気温度 (℃)	路面温度 (℃)	路面上の雪氷厚 (mm)	交通量 (台/時)
一般国道230号定山溪	昭和61年1月29日 ～ 3月4日	-23.1 ～ -0.6	-18.9 ～ -1.5	19 ～ 99	未調査
一般国道276号支笏湖畔	昭和62年1月20日 ～ 2月26日	-11.0 ～ 2.4	-13.1 ～ -0.5	4 ～ 61	63
一般国道275号幌加内	昭和63年1月19日 ～ 3月2日	-12.7 ～ 1.5	-11.7 ～ 0.1	1 ～ 49	29

3-2 試験方法

早朝（1次除雪が完了した午前6～7時頃）に薬剤を散布し、路面上の雪氷の変化や気象状況などを一定時間経過ごとに目視により観測した。また、路面とタイヤ間のすべり摩擦係数の測定には当研究室で所有している、すべり摩擦係数測定車を使用し、夏タイヤ・スタッドレスタイヤ・スパイクタイヤの3種類につい

て調査した。試験時の路面状況を目視により、圧雪（積雪が通過車両などに踏み固められたもの）・氷盤（圧雪が融解、凍結を繰り返し、氷層状となったもの）・圧雪＋氷盤（氷盤の上に圧雪があるもの）に区分した。

3-3 試験結果

(1) 目視による路面上の雪氷の変化

目視観測による薬剤散布が路面上の雪氷に与える影響は、試験時の気象、路面状況などによって大きく異なっている。路面上に薄い圧雪（10mm以下）しかなく、外気温度が高い場合は、薬剤散布により圧雪が溶け、さらに外気温度の上昇に伴い完全に舗装面が露出した時もある。しかし、雪氷が厚い場合や外気温度が低い場合などは、以下のような問題点があり、道路管理者としては薬剤散布後の路面状態に十分留意しなくてはならない。

- ①薬剤を散布すると融雪された雪が走行車両によって路肩方向により、走行幅員を狭くし、さらに、わだちを形成しやすくなる。
- ②融雪された雪でザクザク路面になり車のハンドル操作が困難になることがある。
- ③融雪された雪がタイヤトレッドに付着し、その雪が飛散し、後続車などに影響を与える。
- ④路面上に雪氷が多い場合、薬剤の効果が下層まで浸透せず上層のみを溶かし、凹凸路面を形成する。

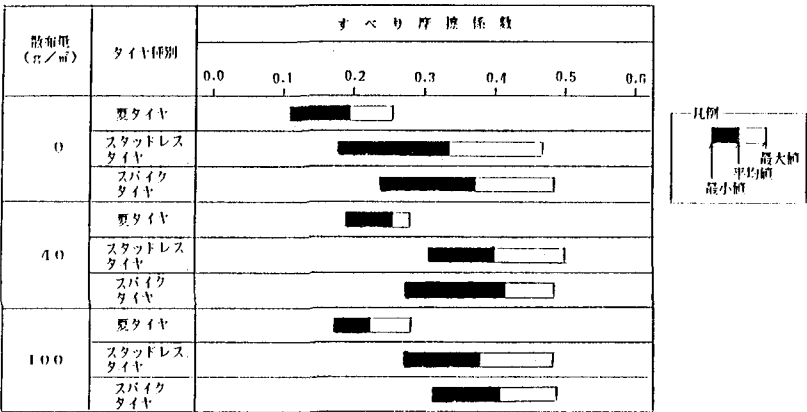


図-4 圧雪路面時のすべり摩擦係数

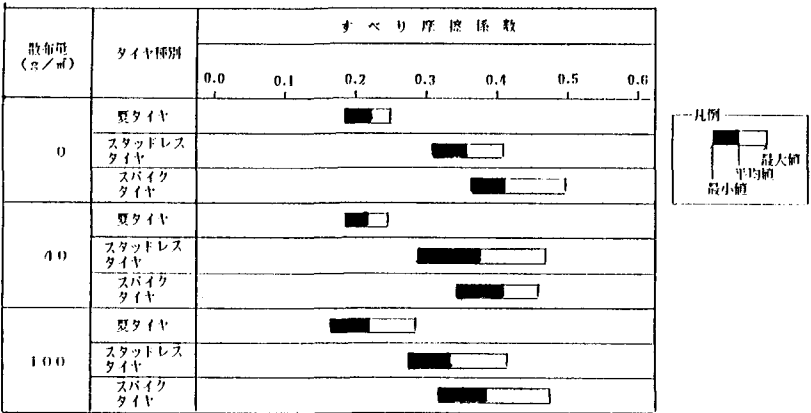


図-5 圧雪＋氷盤路面時のすべり摩擦係数

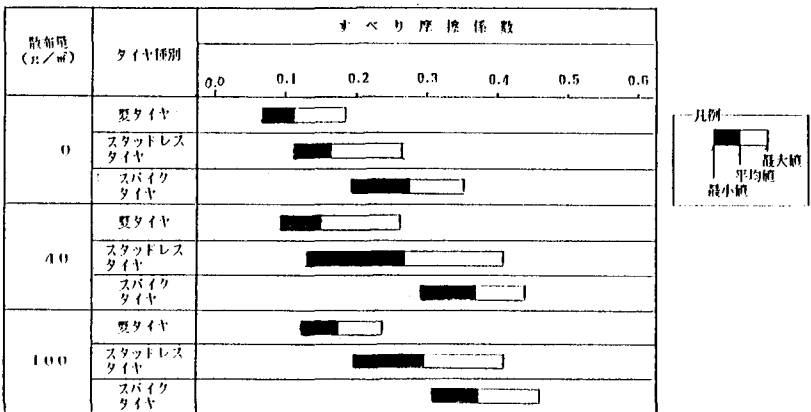


図-6 氷盤路面時のすべり摩擦係数

⑤融雪された雪氷が再凍結すると車両にとって非常に運転しにくい路面となる。また、路面上の雪氷が、それほど多くない場合には雪氷が消失しても路面に水分が残っていると外気温度の低下によって再凍結を起こし、いわゆる「アイスフィルム」が形成され、すべりやすい路面となる。

(2) すべり摩擦係数

薬剤散布によるすべり摩擦係数も、気象、路面上の雪氷状態などによって様々に変化する。図-4～6に路面ごとの散布量とタイヤ種別による、すべり摩擦係数の最小値、最大値、平均値を示す。図からタイヤ種別ではスパイクタイヤ、スタッドレスタイヤ、夏タイヤの順に、路面別では圧雪+氷盤、圧雪、氷盤の順にすべり摩擦係数が小さくなる傾向が見られる。また、薬剤散布により、すべり摩擦係数の若干の増加は見られるが、散布量 40 g/m^2 と 100 g/m^2 には明確な差は見られず、路面によっては散布量が多くなると、すべり摩擦係数が小さくなることもある。さらに、路面状態や散布量によってはスタッドレスタイヤでも夏タイヤの平均値以下にすべり摩擦係数が小さくなることもあり、十分な留意が必要である。

あとがき

本調査の室内試験の結果、塩化ナトリウムや塩化カルシウムには融雪・凍結防止効果があり、塩化カルシウムより塩化ナトリウムの方が有効であるが、塩化カルシウムの方が即効性があることなどが判明したが、低温域や少量の薬剤量では効果がない。また、一般国道上の散布試験結果から薬剤の効果は薬剤の特性とくに濃度状況、または気象状況とくに温度状況、散布する箇所とくに排水状況によって異なり、散布する条件によっては悪影響をおよぼすこともあることがわかった。これらのことを考慮すると、北海道のような厳寒多雪地域では薬剤の使用に際しては除排雪作業などの適切な運用が必要である。さらには、薬剤使用の副次的影響も重要な問題である。現実一般国道における薬剤散布試験の際に沿道住民から薬剤散布に対して反対意見が出て、試験区間を変更したこともあった。しかしながら、今後スパイクタイヤの製造販売の中止が決定したことから、道路利用者からは、より高度な除雪サービスを望む声が強くなると思われる。そこで、より高度な路面管理水準を達成させるための調査研究を今後も進める必要がある。

最後になりましたが現場試験などに御協力を頂いた関係各位に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 北海道土木技術会；塩類による路面着氷防止（薬剤除雪）に関する研究；昭和46年
- 2) 門山、林、大塚；雪氷路面における融雪剤の効果；土木学会第42会年次学術講演会；1987年9月
- 3) 社団法人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