

路面凍結防止工法について

建設省山形工事々務所 野村 和正
遠山 勝文
武田 哲衛

1 まえがき

冬季間積雪寒冷な地方では氷雪のために道路交通が不能または危険になることが多い。自動車交通の重要性が益々大きくなりつつある現在、交通不能ということは看過できない問題となつて来た。

またその通行にあたつても、タイヤにチェーンを装着して低速走行する最小限の状態から順次高速走行が要求されるようになった。このための対策として取上げられる問題は除雪と凍結対策に大別される。除雪は比較的早く終戦直後から取上げられ研究されて来たのであり、わかりやすい問題であるが除雪してみても始めて凍結対策の必要性が明らかになつてきたのである。路面の雪氷対策は各地域の気象条件や交通量、路線の重要度等によつて様々である。山陰、北陸のような多雪地帯では自動車の走行を可能にするような路面状態を作ることが当面の目標となるが、1号線の逢坂山や鈴鹿、箱根あるいは名神高速道路の関ヶ原地区のような重要幹線で交通量が多く、しかもこれら特定区間以外では、雪氷による障害がほとんどないような条件のもとでは、しくともチェーンなしに走行できるような路面状態を保たなければ故障、事故車続出でたちまち交通止めになつてしまうことが多い。つまり部分的に高速走行が非常に危険であるような区間を残すことが安全面から許されないのであつて当然路面雪氷の完全除去が要求される。

本報告では、路面冰雪対策一般について述べたあと特に薬剤散布の問題を重点的にとりあげ、本年度山形工事々務所、尾花沢工区で行つた薬剤散布試験の結果を詳述し、今後の問題点等について記するものである。

2 路面の雪氷対策について

2-1 路面凍結の生因

降雪中または積雪後通行車によつて踏み固められた雪は、除雪後も路面に密着して残ることが多い。また完全除雪しようとしてもブレードと路面の間に2～3cmの雪が残ることは避けられない。これらの雪が低温のために路面に凍り着いたものが一般に見られるものであり比重0.1～0.5程度の圧雪となつている。次いでこれらの雪が日中融解し再び凍結したものあるいは降雨後の路面水が氷結したものでは、比重は1.0に近くかなりすべりやすい。最もすべりやすい凍結は、地表面が氷点以下になつたところへ飽和状態に近いしめつた空気が流れこみ路面凍結を起したものであり、我国では比較的少ないがヨーロッパではしばしば起る現象である。

路面凍結の結果生ずる摩擦係数の低下および制動距離の延長等については、2-3において

述べる。

2-2 路面凍結対策方法の種類

路面凍結を生じないために先ず路面上に水分または雪を残さぬことが第一であつて当然除雪が考えられる。そしてやむを得ず凍結を生じた場合にこれを融解する方法を講ずる。

① 氷点降下方法

化学的に氷点を降下させて融かす方法で経済的で氷点降下作用が大きく副作用の少ない薬剤を使用する。二義的には雪氷の路面への付着力をなくす効果を利用する。使用薬剤としては塩化物 (NaCl 、 CaCl_2 、 MgCl_2 等) およびある種の有機物質 (尿素、グリコール等) が考えられるが塩化物が一般的である。

(3章で詳述する。)

② 加熱方法

- イ 電線を路体に埋め込んで直接電熱によつて路面温度を上昇させる方法
- ロ 赤外線、高周波等の輻射によつて路面を加熱する方法
- ハ 温水を路面に流す方法

これら加熱方法は特殊工法と考えるべきで、経済性を考えると長い延長に亘つて実施することは得策でないがトンネル、橋梁等の比較的短い特定区間の雪氷対策としては、遠隔操作、自動制御によつて効果的に実施できると期待される。

③ 凍結はそのままにして摩擦係数の増大をはかる方法

(イ) 道路としての砂、碎石の散布

主に薬剤と混合して散布される。

融氷以前あるいは再凍結後に効果が發揮されるが、散布作業量が増す上に砂が側溝等にたまつて清掃作業が伴なつてくるので、完全に融雪氷を行うことを目標とする場合は好ましい方法ではない。

(ロ) 自動車としてのスノータイヤ、タイヤチェーンの装着

2-3 雪氷路面のすべり抵抗

① すべり抵抗の側定方法

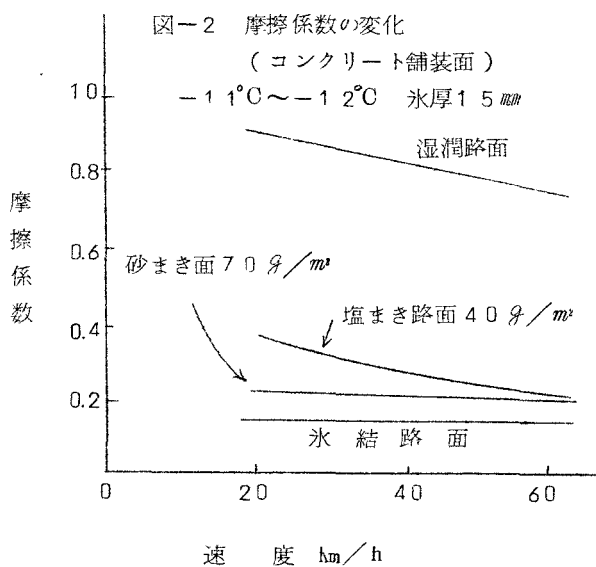
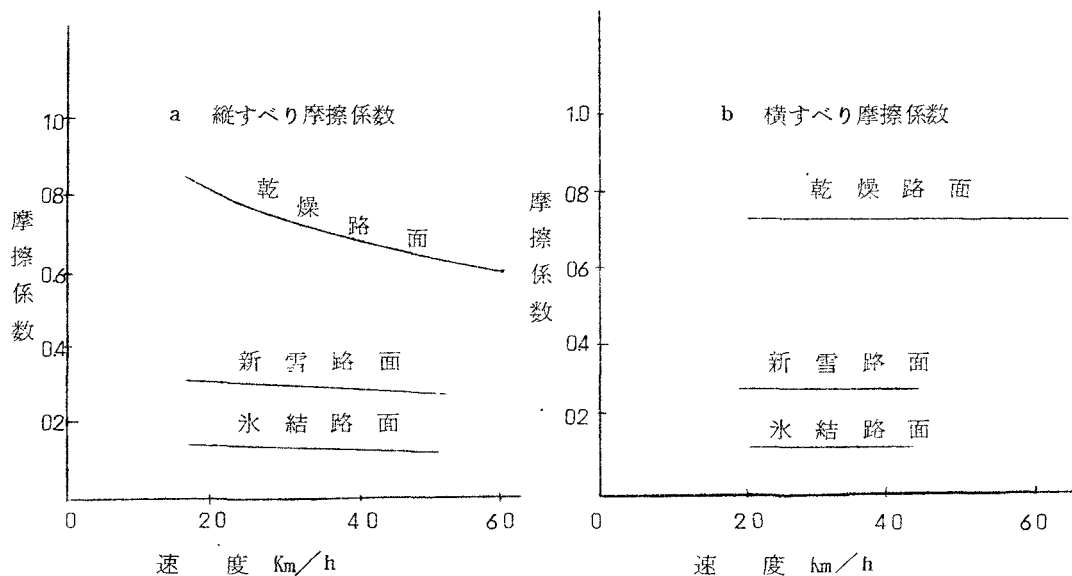
- イ ある初速度からの制動停止距離を側定する方法
- ロ 軽便な加速計を用いる方法
- ハ トラック・トレーラー法

試験車とは別にすべり側定用車輪を索引走行し試験車自体は一定速度が走行しながらこの側定用車輪に制動をかけて、この時に路面から側定用車輪に加えられる力を側定する方

法。

② 摩擦係数の値について

図-1 摩擦係数の変化(アスファルト舗装面)



凍結路面の摩擦係数の低下状況は図-1～2の通りである。また32 km/hからの制動距離についての米国における測定結果は表-1のとおりである。

表-1

路面状態	制動距離
凍結路面	70 m
締め固められた雪	27 m
乾燥コンクリート	9 m

(気温-18°C~-16°C)
(制動距離は3回の平均)

次に建設省土木研究所、東北地建福島工事々務所等で行ったすべり試験の結果を要約すると次の様になる。

- イ) 一般に乾燥コンクリート路面との制動停止距離の比較では平滑氷面上で約10倍、締め固められた雪面上では3～5倍である。
- ロ) タイヤチェーンをつけた場合は縦すべりよりも横すべりの場合の方が効果が大きく、この場合高速になるほど効果は小さくなる。
- ハ) タイヤチェーンをとりつけた場合の効果をタイヤの種別でみると、リブタイヤ、ラブタイヤ、スノータイヤの順となる。
- ニ) リブタイヤにタイヤチェーンをつけた場合とスノータイヤ自体の比較では、ほぼ同じ質を示すが、高速になるほどスノータイヤが有利となる。
- ホ) 軟雪路面ではスノータイヤがチェーン付きタイヤよりすべりにくく硬雪路面では逆となる。
- ヘ) 薬剤を散布した場合のすべり抵抗は散布量によつて異なる。100%当量散布すれば湿潤路面には近い値となる。
- ト) 摩擦材として砂のみ散布する場合、氷が軟かい程、また砂は荒目のものの方が効果が期待できる。

3 薬剤散布による凍結対策について

3-1 薬剤の作用と性質

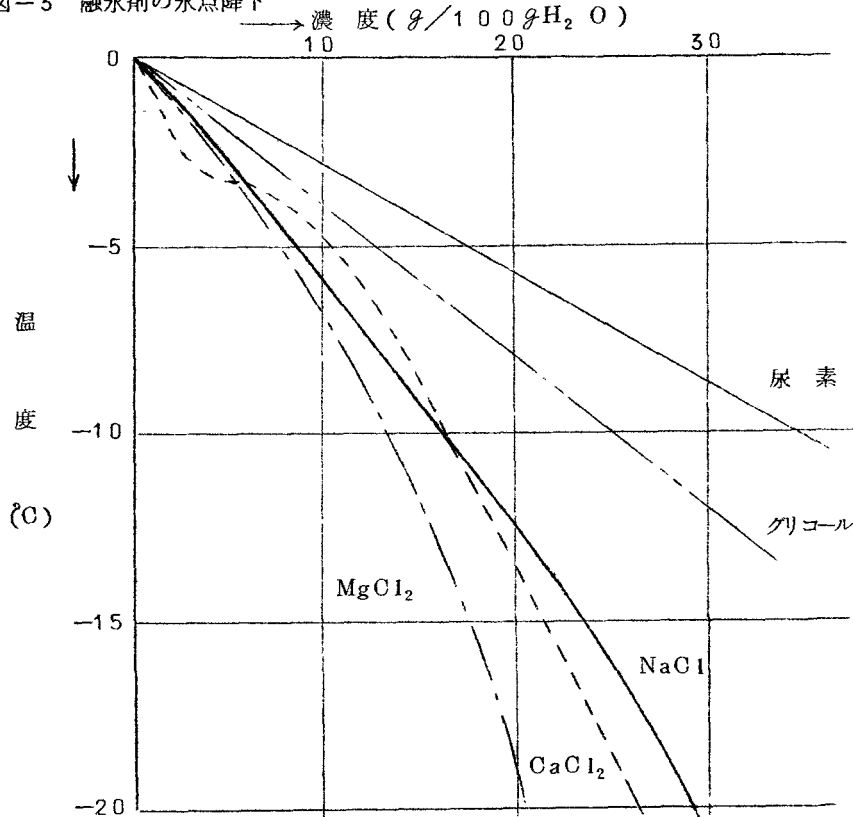
凍結防止に最も一般的に用いられるNaCl、MgCl₂、CaCl₂の性質は表-2のとおりである。薬剤散布の第一義は氷点降下作用であるが、それがすべてではなく薬剤の潮解性は、粒径、溶解熱、稀釈熱等の性質更に気温、太陽の輻射熱、交通量等が大きな要素となるのであつてこれらの条件をよく検討して、散布量を決めなくてはならない。

表-2 融氷剤の性質

性 質	MgCl ₂	CaCl ₂	NaCl
理論上の最低結氷点	-32°C	-54°C	-22°C
実用上の最低温度	-25°C	-30°C	-5°C
吸 湿 性	潮 解 性	潮 解 性	吸湿性なし
溶 解 熱 { 無水物 六水塩	+381 cal/g	+173 cal/g	-17 cal/g
	+ 3 cal/g	- 4 cal/g	
稀 釈 熱	+ 40 cal/g	+ 13 cal/g	-10 cal/g

① 薬剤の氷点降下作用

図-3 融氷剤の氷点降下



塩化物の氷点降下作用は、図-3のとおりである。温度がわかればこの図から与えられた雪氷量をとかすための所要薬剤量がわかる。

例えば -10°C で5gの氷をとかすのに必要な CaCl_2 の量を算出するには -10°C での濃度12.5g/100g H_2O をよみとる。100g溶かすのに12.5g要するのであるから、5gとかすには $\frac{1}{100} \times \frac{12.5}{1} \times 5 = 0.625\text{g}$ 必要とする。この融解経過としては、まず少量の濃度の高い -10°C 以下の溶液が生成され、過冷却の状態となつて路面あるいは空気中から熱を奪い、融氷能力を復活せしめる。このような現象のくりかえしにより、最後に -10°C の溶液が5.625g生成される。しかしこの溶液はわずかな温度低下で(-10°C 以下)再び氷結する不安定な状態にあるから余分に薬剤を加えた方が安定となる。この過程で CaCl_2 は $0.625 \times 173 \div 110 \text{ cal}$ の溶解熱を発生するが、

実際に氷の融解に費やされた熱量は、 $5 \times 80 = 400 \text{ cal}$ である。つまり薬剤が発熱溶解性であることは速効性のあることを意味するが、支配的な要素ではない。また以上の話は、薬剤で氷を全部融かす場合つまり100%当量散布する場合であり、この計算では所要散布量は莫大となる。例えば3mmの氷（雪の場合3cm程度）をとかすには、1㎡当り気温 -0.5°C では 21 g/㎡ ですむが -4.8°C では 300 g/㎡ 要することになる。

② 薬剤散布の実際的な効果

薬剤の氷点降下作用だけを考えて100%当量の薬剤を散布すれば、その量は非常に大きくなるが、実際には10%当量程度散布すれば、特別の低温とか特に交通量のない所では寒害のない交通量の多い所以外では実質的には冰雪の除去ができる。この場合冰雪の融解温度は主に交通量の関数であつて、化学的融氷性にはよらない。

個々の薬剤の結晶は、氷の中をとけて下つてゆき粒が部分的に又は完全にとけてできた溶液が路面に対すると四方に拡がつて路面と氷層の間の付着力をなくす。そして車輛の走行とかグレーダーにより路側にとばされる。

薬剤の機能は融解であるが、重用な作用点は冰雪層の下端であり、その主機能は舗装面に対する付着をなくすることである。

③ 溶解度

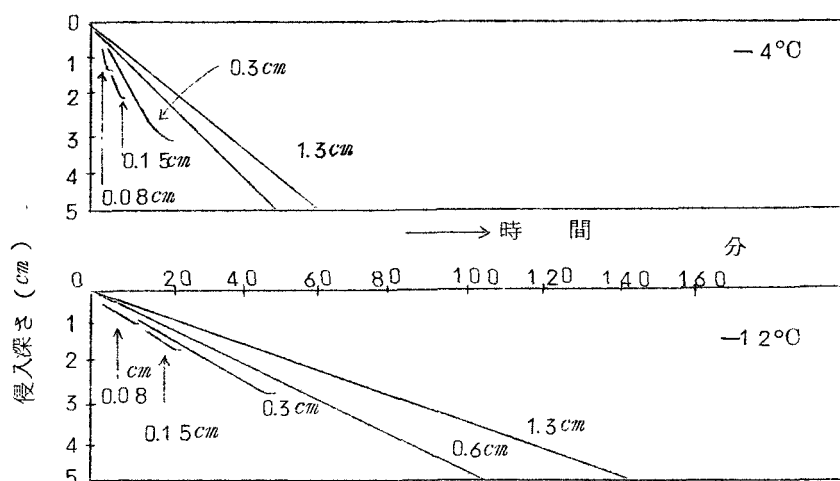
薬剤が溶液にとけてゆく場合、融氷能力は溶液の濃度と溶液の融氷能力に関係する。溶液の濃度は溶解度と粒の大きさに関係する。急速に溶解するものまたはこまかい粒子の薬剤は中に侵入しないで表層をとかす。そして湿つたすべりやすい表面をつくる。冰雪が塩水の中へとけてゆく割合は濃度の高い塩水の部分から低い部分へのイオンの拡散度による。拡散度は濃度勾配、イオンの活動力および温度によつてゐる。重量で同じ濃度の NaCl と CaCl_2 の溶液を考えると NaCl 溶液は普通の気温で同じ時間に約2倍の氷をとかす。これは NaCl 溶液に多くのイオンがあるからであり（分子量 $\text{NaCl} 58.5$ 、 $\text{CaCl}_2 111.0$ ）またイオンの活動力があるからである。

④ 侵入度および侵入深さ（ NaCl ）

図-4は種々の粒径で種々の温度の場合の侵入度を表わしている。粒子が小さければ小さいほど侵入度は速くなる。

塩の粒は完全にとけてしまうまで飽和な塩水を作りつづけて侵入度は溶解中はほぼ一定になる。

図一 4 侵入深さと侵入時間の関係



⑤ 粒径について (NaCl)

径 1.4 mm より小さいものは表面の融解作用が早くて侵入はあさくなる。効果的に氷を除去するには粒子が舗装面まで侵入して、そこで塩化がアンダーカットできるだけの塩を残しておかなければならない。小さい粒は降雪の初期に散布しないと十分な深さに侵入しない。大きい粒は深く侵入するがおそい。従つて小さすぎず大きすぎないものの混合物がよい。

⑥ 潮解性について

潮解性薬剤については一応下記の性質について注意すべきである。

- イ 潮解性薬剤は水分を吸着しつづけるので最後に舗装面に拵がつたとき融解力は或る程度弱められる。
- ロ 雪が排除されたあと潮解性薬剤が残るとその溶液は水分を吸収するが、夜間に温度が下がるとこの溶液はすべりやすい雪氷とか氷になる可能性がある。
- ハ 雪上にまくと侵入しないで最初の表面の 2.5 cm 程度の部分をとかして舗装表面には達しない。そして冰雪と舗装の間の付着力をなくすことはできない。

3-2 散布方法について

溶液散布と粉体散布の二方法が行われている。

- ① 液体散布は、融解塩の速効性が重要な場合有利であり、又、交通量が比較的少なく車輪による混合が行なわれない場合もこの方法がよい。

しかし、始めから多量の水と共に散布されるので融解された氷がさらにその濃度を低下させ早く平衡状態に達してしまう。このため一定量の氷を融解するに要する薬剤量は単体散布に比べはかるに多量となる。

- ② 単体散布はスプレッダーによつて行われる。初期のスプレッダーは性能が悪く均等な散布ができなかつたために、液体散布が普及したのであるが、最近はいいものがでてゐるので液体散布より有利である。

3-3 散布の問題点

① 塩害について

イ 舗装に対しては、アスファルトの場合何ら影響はない。コンクリートに対しても薬剤散布による舗装版の温度低下は 1°C 程度であり、凍結融解作用も緩慢なので破壊は、ほとんど起らない。

ロ 植物に対しては散布が冬季間であり、その後の雪どけ水と春の雨によつて生育期の間に塩分は洗い流されるので大した被害は与えない。

② 錆について

自動車の車体は磷酸塩か又は同様の下ぬりコートをした上にエナメルおよびラツカーを塗っている。塗料は塩分の影響をあまり受けず塗料が破れても磷酸塩類が錆の抜がるのを防ぐ。走行後水洗いを充分すれば冬季維持管理用の車でも安全である。一般走行車に対する影響は、散布延長がごくかぎられている現在の我国では未知であると考えた方がよい。

③ 事前散布および耐久性の問題

塩化物の散布は降雪又は凍結が予想される場合にも行う必要があるが、降雪または凍結の予測を適確に行うことは非常に困難である。

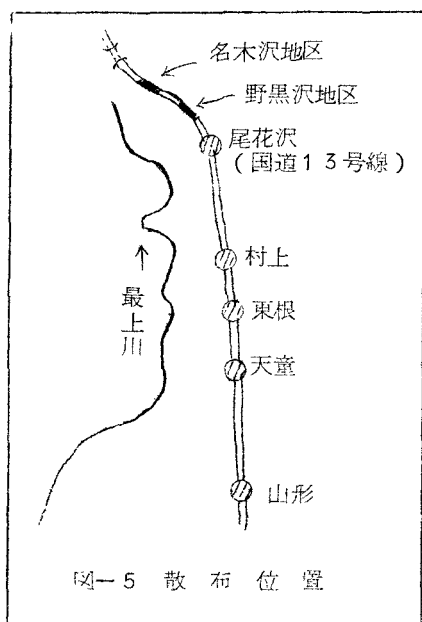
次いで事前散布した場合の耐久性の問題も研究する必要がある。予測手段としては気温、地温、風速、輻射熱の状態等が考えられよう。

4 薬剤散布の実験

4-1 実験概要

一級国道13号線は、山形県を南北に走っている。このうち比較的交通量が多く(2000台/日程度)降雪量も多い、尾花沢地区を実験の対象とした。本地区は尾花沢見張所の維持管理区間になつている。

試験区間としては、日当たりが悪く例年氷盤ができて交通に支障を与えている野黒沢及び名



図一五 散 布 位 置

木沢地区とした。又、全線にわたつて圧雪ができた場合には試験区間にこだわらず広く散布した。このためグレーダーによる路面整正作業は非常に容易となつた。

散布薬剤としては CaCl_2 （粒状）、 NaCl （良質塩、粉粗塩）の三種であり $50\text{ g}/\text{m}^2$ を標準散布量とした。

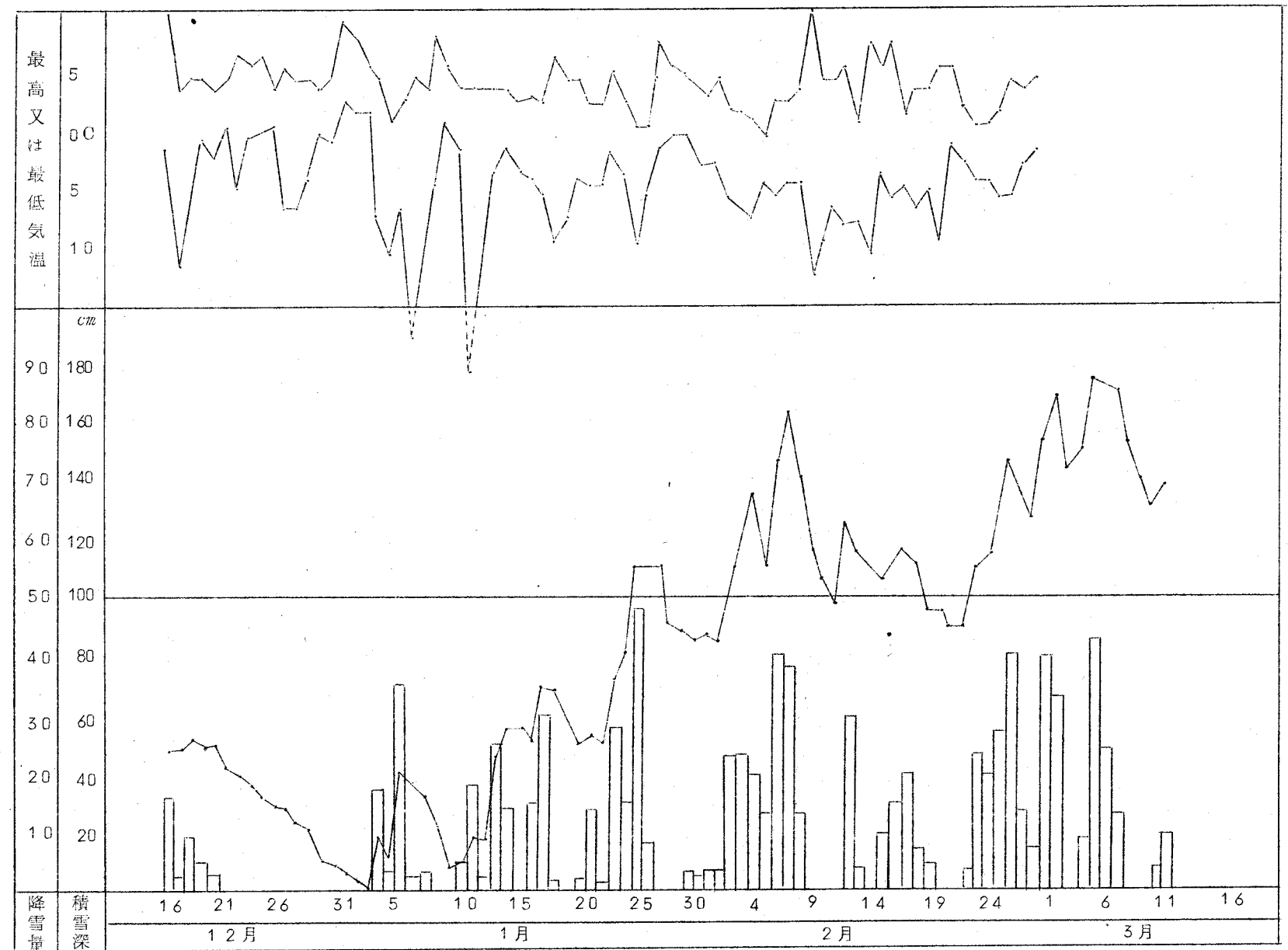
なお2月2日～5日間に各種の路面状態における摩擦抵抗係数および雪温を記録した。

4-2 薬剤散布試験の記録

図一六に試験期間の気象状況を示す。

表一三に薬剤散布の総括表を示す。

図-6 尾花沢における積雪深、降雪量、最高最低気温図



表一 3 薬剤散布の総括表 (単位散布量 50g/㎡)

月 日	散布時間	天 候	気 温 (°C)	路 面 状 況	位 置	薬 剤	散 布 面 積 (㎡)	散布量 (Kg)
1 1 3	3 3 0	雪	-2	圧雪 4cm	野黒沢	粉粗塩	50×3=150	7.5
1 4	6.15	"	-1	" 2cm	"	良質塩	100×3=300	15.0
"	6.30	"	-2	" 6cm	名木沢	CaCl ₂	"	15.0
"	6.45	"	-2	"	"	良質塩	"	15.0
2 1	6.50	曇	0	軟氷雪 4cm	金 山	粉粗塩	100×5=500	25.0
"	7.00	"	0	"	"	良質塩	"	25.0
"	7.10	"	0	"	"	CaCl ₂	"	25.0
2 9	11.00	"	0	軟圧雪 3cm	中 田	CaCl ₂	"	25.0
"	11.05	"	0	"	"	粉粗塩	"	25.0
"	11.10	"	0	"	"	良質塩	"	25.0
2 2	7.25	晴	-3	圧雪 2cm	名木沢	粉粗塩	50×3=150	7.5
"	7.28	"	-3	"	"	自質塩	"	7.5
"	7.30	"	-3	"	"	CaCl ₂	"	7.5
3	11.45	風 雪	-4	圧雪 3cm	"	粉粗塩	"	7.5
"	11.50	"	-4	"	"	良質塩	"	7.5
"	11.55	"	-4	"	"	CaCl ₂	"	7.5
4	13.50	"	-1	ざくざく雪 8cm 圧雪 2cm	"	粉粗塩	"	7.5
"	13.55	"	-1	"	"	良質塩	"	7.5
"	14.00	"	-1	"	"	CaCl ₂	"	7.5
5	10.35	小 雪	-1	ざくざく雪 9cm 圧雪 1cm	"	粉粗塩	"	7.5
"	10.40	"	-1	"	"	良質塩	"	7.5
"	10.45	"	-1	"	"	CaCl ₂	"	7.5

① 路面状況及び考察（1月13、14日の例）

a) 1月13日

（ 野黒沢、粉粗塩散布、 $50\text{ m} \times 3\text{ m} \times 50\text{ g/m}^2 = 7.5\text{ Kg}$ 、 -2°C 、雪、圧雪厚 4 cm ）
 3時30分に散布

9時現在、路面がザクザクとなり走行にはよくないが非散布箇所は圧雪し硬くなつてすべりやすい状態である。アスファルトの表面が所々透視できるが塩水が路面に達し氷の付着をなくしたためである。

11時現在、みぞれ雪のように水つぽくなり路面は60%位露出するようになった。非散布箇所では圧雪のままである。

14時半、路面は100%露出した。路肩に堆雪した雪も車によつて飛ばされる薬剤のためみぞれ状になつて来た。非散布箇所では表面 1 cm 程度がザクザクになつただけ路面は全然露出してない。

（考察）9時の気温は -1°C であるので100%当量は図-3を利用して $\frac{1.9}{100} \times \{ 4\text{ cm} \times 0.7\text{ g/cm}^2 \times (100\text{ cm})^2 \} / \text{m}^2 \div 530\text{ g/m}^2$ であり散布当量は $\frac{5.0}{530} \div 10\%$ 当量である。この程度の気温なら10%程度で圧雪の路面への付着力をなくすることができ、交通による剝離のため路面の露出がはじまれば輻射熱の吸収が急速にはじまり昼頃までには圧雪の除去がおわるのである。非散布箇所においては表面がややザクザクになる程度で夜間に入つて再凍結する。

（ 名木沢 粉粗塩散布 $50\text{ m} \times 3\text{ m} \times 50\text{ g/m}^2 = 7.5\text{ Kg}$ -3°C 雪）
 圧雪原 5.5 cm 3時20分に散布

野黒沢地区に比べ圧雪原が大きく日当りが悪いので比較的溶解速度がおそく11時頃になつて 2 cm 程度ザクザクになつた。

14時現在、全線がざらめ状になり路面は少々露出した程度である。

しかし翌日14時頃には100%露出した。（14日は日中気温が $3 \sim 4^\circ\text{C}$ で割合高かつた）

《考察》9時現在散布当量は8%程度と思われるが $5 \sim 6\text{ cm}$ の圧雪を路面まで没入して路面上に拡がるには量が少なすぎたようである。この作用がないと交通ないし輻射熱の作用が期待できず日中もあまりとけない。（気温は 0°C 程度）

路面まで没入できなかったたので表面をざらめ状にする程度にとどまつた。

b) 1月14日

(野黒沢 良質塩散布 $100\text{ m} \times 3\text{ m} \times 50\text{ g}/\text{m}^2 = 15\text{ Kg}$ -1°C 雪
圧雪厚 2 cm 6時15分散布

9時現在でざらざらとなる。非散布箇所では圧雪されてすべる。

11時現在、路面の6%、14時では100%露出した。13日より効果が早かつたのは気温が高かつた($3 \sim 4^{\circ}\text{C}$)ため非散布箇所も14時には10%位露出している。

(名木沢 良質塩及び CaCl_2 各々 15 Kg -2°C 雪 圧雪厚 6 cm 6時45分散布)
9時頃ざらざらとなる。11時現在、比較的日当のよい良質塩のケ所では雪厚がうすくなる。日当りのない CaCl_2 箇所では効果おそく気温が高くなるにつれ非散布箇所とあまり見分けかつかない。良質塩箇所では、多少路面が露出した。

次の日になると散布箇所は完全に露出した。

(2) 路面状況及び摩擦係数の考察(2月2日～5日)

2月2日～5日に薬剤散布と同時に路面の摩擦係数を加速度計を用いて測定した。

表一4にその総括を示す。散布箇所は、名木沢であり3日～5日は、かなり気温が低くて $50\text{ g}/\text{m}^2$ 程度では圧雪除去ができず、そのため同じ箇所に累積して毎日散布された。

a) 2月2日

散布当量は NaCl 6%、 CaCl_2 10%程度であり散布前の雪温と気温はほぼ同じで -3°C 程度であつた。薬剤散布後まもなく雪温は $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 程度低下し、気温の上昇につれて気温と雪温の温度差もせばまり路面の露出に至つた。氷点降下作用が平衡に達するまでは1時間半位かかっている。(天候晴で輻射熱が期待できた)

b) 2月3日

気温低く(-4°C)風雪であり輻射熱は全く期待できない。圧雪 3 cm 。雪温は -1°C と比較的高いが、散布箇所の雪温は非常に低下し散布後約1時間半で最低を示した。これは降雪がつづいて薬剤が新雪に対して主に作用し表面付近の著しい低温をもたらしたためであろう。このため従前の圧雪に沈下する作用は少なかつたようで路面露出は全々見られなかつた。薬剤当量は4%程度にすぎなかつたことがこのような結果をもたらした。少なくとも10%当量は必要である。

摩擦係数は散布箇所は非散布箇所の倍程度であるが時間的変化は見られなかつた。

c) 2月4日

気温はやや回復したが(-1°C)3日来 20 cm の降雪があつたので非散布箇所の圧雪

厚は10cmに達した。散布箇所では前日の薬剤の効果と相まってざらめ雪8cm、圧雪1.5cm程度であつた。合計散布量は100g/m²となり気温上昇のため当量NaCl₂15%、CaCl₂で26%と上昇したが厚いざらめ雪の層に吸収されてしまい路面まで沈下することができない。

(d) 2月5日

外気温が更に高くなり(日中1~2℃)合計散布量も150g/m²となつたので温度を-1℃としても薬剤当量はNaClで23%、CaCl₂で41%に達した。このため所々路面から氷のはくりが見られて来た。更にベタ雪が降つて、非散布箇所の摩擦係数もやや回復した。

(e) 2月6日

薬剤散布は行わない。昨夜13cmの降雪があつた午前中はざらめ状態であつたか、午後になつて100%露出した。非散布箇所では圧雪がつづいている。

(f) 2月7日

散布しない。昨夜40cmの降雪があつたか8~10時頃までざらめ状態で午後になると100%露出した。非散布箇所の圧雪はつづいている。

表-4 薬剤量と気温、雪温、摩擦係数等の試験表

月 日	時 分	天 候	気 温 (°C)	散布箇所の雪温			非散布箇 所の雪温	路面状 況	雪 氷 量 (g/m ²)	薬 剤 の 当 量			す べ り 摩 擦 係 数			
				良質塩	粉粗塩	CaCl ₂				当 量	計	算	良質塩	粉粗塩	CaCl ₂	非散布
2 2	7 2 5	晴	-3	/	/	/	-4	圧雪2cm	14,000	(NaCl)	-3°Cで濃度5.7g/100gH ₂ O					
	7 3 5	"	-3	-6	-7	-5	-4			6%	100%当量= $\frac{5.7}{100} \times 14,000 = 800g$					
	7 5 0	"	-3	-5	-5	-4	-3				$\frac{50}{800} \div 6\%$					
	8 1 0	"	-2	-4	-3	-3	-2			(CaCl ₂)	-3°Cで濃度3.7g/100gH ₂ O					
	8 3 5	"	-2	-3	-2	-2	-1			10%	100%当量= $\frac{3.7}{100} \times 14,000 = 518g$					
	8 5 5	"	-2	-2	-1	-1	-1				$\frac{50}{518} \div 10\%$					
	9 1 5	"	-1	-0	1	0	0	100%露出								
2 3	11 4 5	風 雪	-4	/	/	/	-1	圧雪3cm	21,000	(NaCl)	-4°Cで6.9g/100gH ₂ O					
	1 2 0 5	"	-4	-7	-6	-5	-1			4%	100%当量= $\frac{6.9}{100} \times 21,000 = 1450g$	0.32	0.41	0.33	0.19	
	1 2 3 0	"	-4	-9	-7	-6	-1				$\frac{50}{1450} \div 4\%$	0.41	0.36	0.40	0.24	
	1 3 0 5	"	-4	-14	-6	-9	-1			(CaCl ₂)	-4°Cで8.0g/100gH ₂ O					
	1 3 4 0	"	-4	-7	-6	-6	-1			3%	100%当量= $\frac{8.0}{100} \times 21,000 = 1680g$	0.39	0.40	0.39	0.19	
	1 7 0 5	"	-5	-4	-4	-4	-2				$\frac{50}{1680} \div 3\%$	0.41	0.40	0.40	0.21	
2 4	1 3 5 0	"	-1	/	/	/	/	ザクザク雪8cm 氷 盤1.5cm	34,500	(NaCl)	-1°Cで1.9g/100gH ₂ O					
	1 4 1 0	"	-1	-5	-8	-6	-1	(非散布箇所) 圧雪10cm		15%	100%当量= $\frac{1.9}{100} \times 34,500 = 655g$	0.42	0.41	0.41	0.23	
	1 4 3 0	"	-1	-1	-1	-2	-1				$\frac{100}{655} \div 15\%$	0.44	0.40	0.42	0.23	
	1 4 5 0	"	-1	0	0	0	0			(CaCl ₂)	-1°Cで1.1g/100gH ₂ O	0.45	0.39	0.39	0.20	
	1 5 1 0	"	-2	0	0	0	0			26%	100%当量= $\frac{1.1}{100} \times 34,500 = 380g$	0.41	0.38	0.41	0.20	
	1 6 0 5	"	-2	0	0	0	0				$\frac{100}{380} \div 26\%$	0.40	0.39	0.40	0.19	
2 5	1 0 4 5	小 雪	-1	/	/	/	0	ザクザク雪9cm 氷 盤1cm	34,000	(NaCl)	-1°Cで1.9g/100gH ₂ O					
	1 1 1 0	"	1	-1	-1	-1	0	(非散布箇所) 圧雪10cm		23%	100%当量= $\frac{1.9}{100} \times 34,000 = 645g$	0.42	0.41	0.43	0.30	
	1 1 3 0	"	2	0	0	0	0				$\frac{150}{645} \div 23\%$	0.38	0.42	0.43	0.24	
	1 1 4 5	"	1	0	0	0	0			(CaCl ₂)	-1°Cで1.1g/100gH ₂ O	0.38	0.43	0.42	0.24	
	1 4 0 5	"	0	-1	0	0	0			41%	100%当量= $\frac{1.1}{100} \times 34,000 = 374g$	0.38	0.38	0.38	0.23	
	1 4 3 5	"	0	-1	0	0	0				$\frac{150}{374} \div 41\%$	0.38	0.36	0.38	0.22	

4-3 ま と め

薬剤散布を行うのははじめての事なのでその効果を知るために比較的凍結を起しやすい所を調査区間として、実施した。

完全除雪をたてまえとしている現在、除雪後残る雪は3cm程度であつてこれが車によつて圧雪され1cm程度となる。この圧雪はわたちによる凹凸がはげしいので朝のうちにグレーダーで路面整正を行う。この段階で部分的に路面は黒く現れるので日中、天氣がよければ12時頃までには完全にとけてしまう。しかし日中気温が低く更に風雪等のつづく場合、圧雪はその厚さを増しやがてグレーダーでは排除できないほど硬く氷結する。野黒沢、名木沢地区は毎年そのような現象の起きる区間である。その他の区間でも年に2～3回は数日に亘る凍結を生ずるようである。

このような凍結を除くための方法として薬剤散布はもつとも優れた方法であるが、次のような点に注意すべきだと思う。

① 散布量の問題

100%当量散布することは非現実的であり特に多雪寒冷地帯では不可能に近い。それに対し気象条件を考えずに常に50g/m²程度散布することも間違っている。道路の重要度にもよるが、散布量は、化学的融氷機構と物理的要素をうまくかみ合せて決定すべきである。物理的要素とは、氷の付着力を失わせしめ自動車交通によつて雪氷を除去することである。ここで薬剤の浸入度が問題となり、粒径も大きな要素となる。これらを総合して10%当量程度で、実質的には有効であるといわれるが、低温で浸入時間のおそい場合あるいは、新雪の降りつづく場合には、車輪による攪乱のため粒子が路面まで到達できず表面のみの含水比の上昇にとどまるようである。

このため物理的な要素が利用できず氷点降下作用のみになるから散布当量を増さない完全除去はできない。

② 散布時期の問題

除雪直後ならば未だ軟雪状態であるから薬剤はすみやかに路面まで沈下できる。時期を失して圧雪が厚くなると薬剤の沈下に時間がかかる上、車輦によつても簡単にははくりしないであらう。

③ 散布薬剤の選定

ドイツではNaClは-6°CまでCaCl₂は-20°Cまでとしている。

これは表-2の「実用上の最低温度」をみればわかる。

外国では岩塩を使用するのでNaClの方が安価であるが(アメリカではNaCl

4500円/t、 CaCl_2 14000円/t) 日本では、ほぼ同じである。

(20000円/t程度)従つて3-1にのべたような各種薬剤の性質をよく知つた上で気象条件と路面状況を考慮して決めればよい。

簡単にいつて冰雪厚の薄い場合は特に問題ないが厚い場合には極低温でなければ路面への浸入度の大きい NaCl の方が有利といえる。

④ 除雪作業との関連

全線にわたつて15g/m²程度散布した結果グレーダによる路面整正作業は非常に容易となつた。このような効果は厳しい気象状況での除雪作業に対し大きな利点となる。

⑤ 散布方法問題

現在のスプレッターでは均等に散布することがむずかしい。均等に散布でき散布巾も適当に調整できるよう改良する必要がある。

最後に本実験は山形では初めてであるため今後の問題として残された点が多い。経済性についても十分検討する必要がある。

本実験に助力いただいた山形維持出張所尾花沢見張所の方々に深く感謝する次第である。