共同研究報告書
整理番号　第293号

非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書

平成15年8月

独立行政法人　土木研究所
新材料チーム・新潟試験所
ダイセル化学工業㈱
北海道日本油脂㈱
米山化学工業㈱

共同研究報告書
第293号2003年8月

非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書

独立行政法人土木研究所　材料地盤研究グループ　上席研究員　明嵐　政司
主任研究員　中村　俊彦
新潟試験所　所長　武士　俊也
主任研究員　林　健一
研究員　小林　一治
ダイセル化学工業㈱　栗脇　正治、矢野　高志
北海道日本油脂㈱　黒山　豊、中地　章、鳥居　彰夫
米山化学工業㈱　奥村　克彌、村本　誠二、寺崎　英之
土井　浩幸

要　旨

積雪寒冷地の冬期路面管理には、主として塩化物型凍結防止剤が使用されている。スパイクタイヤの使用禁止以降これらの使用量は増大傾向にあるため、道路沿道環境や道路構造物への影響が懸念されている。そこで、環境に優しく持続性のある新たな凍結防止剤の開発とその効率的・効果的な散布手法の確立を目的とし、平成12～14年度に独立行政法人土木研究所および民間会社3社で共同研究を実施した。本報告は、その成果を取りまとめたものである。

キーワード：非塩化物型凍結防止剤、環境、薬剤の持続性・即効性

4.1.6　トータルでのコスト評価の必要性 …… 33
4.2　室内試験結果報告 …… 34
4.2.1　室内試験用すべり摩擦試験方法について …… 34
4.2.2　平成１２年度結果報告 …… 36
4.2.3　平成１３年度結果報告(各種凍結防止剤室内試験結果) …… 41
4.2.4　平成１４年度結果報告(酢酸ナトリウム室内試験結果) …… 49
4.2.5　室内試験結果まとめ …… 58
4.3　現場実証試験結果報告 …… 59
4.3.1　現地実証試験の評価項目 …… 59
4.3.2　新潟県新井市道における現地実証試験(平成１２年度結果報告) …… 61
4.3.3　北海道大樹町多目的航空公園における現地実証試験(平成１３年度結果報告) … 64
4.3.4　一般国道１８号長野県信濃町における現道実証試験(平成１４年度結果報告) … 67
4.4　非塩化物型凍結防止剤の価格 …… 77
4.4.1　材料単価 …… 77
4.4.2　凍結防止剤散布コストの試算 …… 77
5．課題と今後の方向性 …… 81
5.1　課題 …… 81
5.2　今後の凍結防止剤の使用方法の方向性 …… 81

資料編 …… 83

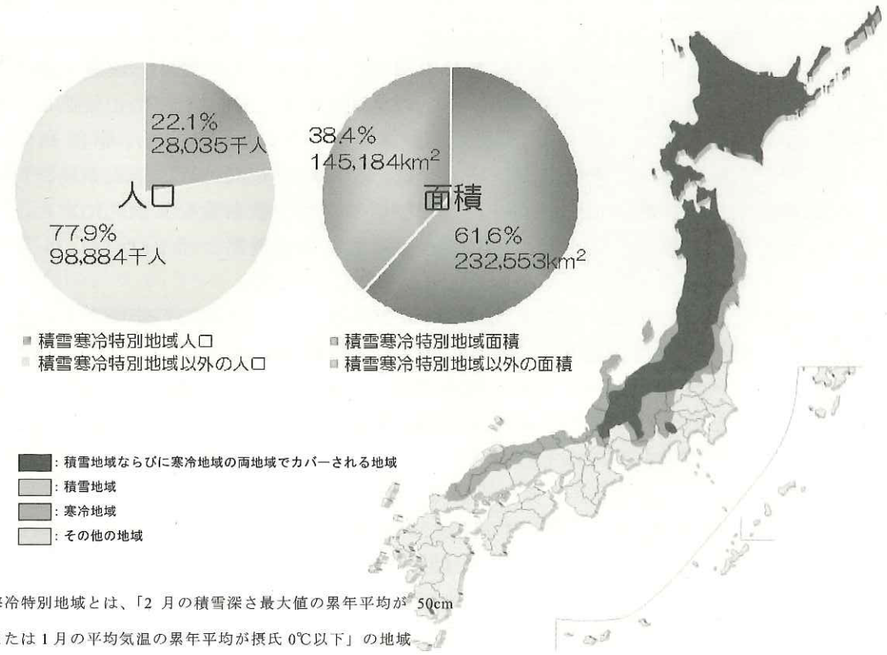
はじめに

日本では国土面積の約６割、総人口の約２割を占める積雪寒冷特別地域(図-1)において、積雪や凍結による道路災害、交通障害に見舞われるため、これらの地域における安全で円滑な冬期道路交通の確保は国の重要な課題となっている。

特に最近、スタッドレスタイヤの普及は、スパイクタイヤによる粉塵問題の解決に役立ったが、反面いわゆる「つるつる路面」が発生し、交差点での交通事故の増加など、冬期道路交通に新たな課題をもたらしている。これらの問題に対応するため、凍結防止剤散布が実施されているが、冬期道路交通の増加や社会ニーズから凍結防止剤散布量は年々増加しており、除雪事業費の中に占める割合も高くなってきている。また、道路周辺環境や道路構造物への悪影響が懸念される状況にある。

このため、本報告においては、日本国内で過去 20 年間に散布された凍結防止剤の散布総量・機関別散布量および凍結防止剤散布種類の推移、道路規格別の散布状況と、現在主に使用されている塩化物型凍結防止剤に代わる、環境への負荷や構造物への影響が少なく散布効果の持続時間の長い非塩化物型凍結防止剤を独立行政法人土木研究所と民間薬剤製造会社３社において共同開発した状況および室内試験・現場実証試験について報告する。

なお、本報告は、平成 12 年度から平成 14 年度までに独立行政法人土木研究所と民間薬剤製造会社３社(ダイセル化学工業㈱・北海道日本油脂㈱・米山化学工業㈱)との間で共同研究を行った成果をとりまとめたものである。



図－１　日本における積雪寒冷特別地域

１．凍結防止剤の必要性

1.1　凍結防止対策

積雪寒冷地における、冬期路面の路面凍結対策は、消･融雪施設や凍結防止剤の散布が主に用いられている。消･融雪施設は、経済性の面で特定箇所に限られることから、凍結防止剤の散布が最も広範囲に行われている。

1.1.1　凍結防止

路面の凍結を防ぐには次のような方法が考えられる。

1)路面上の水分を除去する方法

2)路面温度を凍結点より下がらないようにする方法

3)路面水分の凍結温度を路面温度より下げる方法

1)の方法としては、路面上の雪を積極的に排除し、日照作用を利用したり、溝切りなどで路肩などの融雪水が車線に流入しないようにする方法。2)の方法としては、路面温度を０℃以上に保つことによって凍結を防止するもので、電熱線を路面下に埋設し加熱するﾛｰﾄﾞﾋｰﾃｨﾝｸﾞなどや温度の高い水を路面に散水する消･融雪施設。3)の方法としては、凍結防止剤を散布し路面水分を化学薬品の溶液にすることによって、その凍結温度を降下させる方法があげられる。

このうち、最も広範囲に使用されている方法は、3)の凍結防止剤散布である。

1.1.2　凍結対策・導入経緯

我が国の凍結防止剤の散布を開始した歴史は浅く、薬剤散布に関する実験調査は、建設省土木研究所道路研究室と日本専売公社との協同で昭和 36～37 年に山梨県山中湖畔で薬剤散布効果(塩化ナトリウムを中心に)実験を実施したのを始めとし、昭和 38～42 年にかけて長野県野尻湖畔，青森県五所川原付近，山形県尾花沢付近，新潟県湯沢付近において実験を重ね、凍結防止剤としての薬剤種類の選定と散布量を実験的に求め、また計算によって融雪氷量の検証を行った。これとは別に日本道路公団では昭和 35 年より各地において実験を行っていた。

路面凍結の問題に最初に凍結防止剤の散布を試みたのは、昭和 37 年頃より始められた一般国道１号の鈴鹿峠や逢坂山などでの塩化ｶﾙｼｳﾑ溶液の散布である。気象条件がそれほど厳しくない地方であったため、溶液は５～６％希釈された濃度のものが用いられた。路肩に設けられたパイプのノズルから溶液が路面に向かって吹き出すような仕組みであったが、施工規模としてはそれほど大きなものではなく、試験的な域を出るほどのものではなかった。

その後、路面凍結の問題を最初に本格的な対策を始めたのは、昭和 39 年名神高速道路栗東～一宮間の開通にともなって彦根～関ヶ原地区を中心に実施された凍結防止剤散布であった。なお、欧米では、それよりすでに 40 年程度以前から主として塩類散布による融雪氷が実施されてきた。

1.1.3　凍結防止剤の散布目的

我が国では、冬期路面が凍結または圧雪状態になるとすべりやすくなるため、古くは

路面に砂や石炭ガラなどを撒いてすべり摩擦抵抗を高めてきたが、散布量に対する効果は小さく、満足する対策とはいえなかった。しかし、凍結防止剤(薬剤)の開発に伴って凍結防止剤の利用が広まり、各地域(東北，北陸，山陰，関東等)で使用するようになった。東北・北陸で使用されるようになってからは、路面の凍結防止・融雪・除雪補助の３種類に大別されて使用されるようになった。

1)凍結防止

凍結防止は、凍結が発生する以前の湿潤路面に薬剤を散布し、路面に薬剤の溶液層を作り、凍結温度(氷点)を低下させ、路面に氷膜が形成されるのを防止することを目的に散布する。

2)凍結融解

すでに発生した凍結路面(氷膜・氷板)や圧雪整正後に鏡面状態となった路面上に薬剤を散布し、融氷，融雪を促進させ湿潤路面や表面をザクレ化させ、すべり抵抗を増大させることを目的に散布する。

3)圧雪除去

圧雪除去の補助の面から、車両に踏み固められた固い圧雪や凸凹の大きい不均一な圧雪路面上に薬剤を散布し、圧雪を軟弱化させ、圧雪除去や整正作業の作業効率を向上させることを目的に散布する。また、降雪中に散布し圧雪が舗装面に密着しないようにして圧雪の除去を容易にする目的で散布する場合もある。

1.1.4　凍結防止剤の必要性

近年は、主要幹線道路の整備により、温暖地域から積雪寒冷地への時間距離が短くなり誰でも気軽に往来出来るようになり、冬期間の路面走行になれない運転技量で車の装備も不完全なまま雪氷路面を走行するため、路面凍結箇所でトラブルを起こしやすくなってきた。また、積雪寒冷地のドライバーでも初冬期や終冬期では、車の装備が完全でなく、制御や登坂能力の低下により事故や渋滞が発生しやすい状況となることが多い。



写真－1.1.1　ツルツル路面　交差点部

一方、冬期路面で効果を発揮してきたスパイクタイヤが粉じん公害から平成３年４月以降禁止され、それ以降、スタッドレスタイヤが普及してきた。スタッドレスタイヤは、凍結路面時でスパイクタイヤと比較し性能が若干劣ると言われ、また、ツルツル路面(写真－1.1.1)と呼ばれる非常にすべり易い凍結路面が発生するなどの問題が生じてきている。

このようなことから、積雪寒冷地での冬期路面の凍結路面対策の必要性が高まり、消・融雪施設整備に対してコストが安い凍結防止剤は急速に普及してきた。

参考文献

1)（社）雪ｾﾝﾀｰ：冬期路面対策事例集、pp159-206、1997.5

2）建設省土木研究所新潟試験所：道路の凍結防止剤に関する資料整理報告書、1994.1

1.2　凍結防止剤の変遷

1.2.1　従来の凍結防止剤

1960年以前は、幹線道路の雪氷対策には砂などを防滑材として使用していたが、その後、防滑材が凍結するのを防止する目的で塩が加えられていった。一方、塩の雪氷に対する溶解作用が認められて注目されるようになり、1960年の初期に至って、塩化ナトリウム、塩化カルシウム等の塩化物型凍結防止剤が凍結防止、除雪作業の効率化、融氷融解、除雪後の鏡面防止等のために直接使用されるに至り、その後の大量使用への道が開かれることとなった。

塩化物型凍結防止剤は、冬期路面管理に使用する薬剤として必要な凍結防止効果や融氷効果に加え、次のような特長を備えている。

①貯蔵・運搬が容易である。

②散布しやすい。

③価格が安く、安定している。

中でも塩化ナトリウムは､塩化カルシウムや塩化マグネシウムなどに比べて割安なこと、生産量が多く入手しやすいことなどから、現在では最も多く使用されるようになった。散布方法は、路面凍結が起こる前に散布するのが効果的であるため、路面が湿潤状態で気温が低下し凍結が予想される場合に、除雪初期や除雪後に散布しており、標準的な散布量は固形剤で $30g/m^2$、溶液で $0.1\ell/m^2$ 程度である。ただし、気温が極端に低くなる北海道や東北北部では、路面が圧雪状態でもすべり抵抗の面で支障がないことから、雪氷対策期間の初期と終期に散布するのみで厳寒期には使用していないようである。

塩化物型凍結防止剤の特性として金属に対する腐食があるが、これらの作用を抑制するために防錆剤を添加した塩化物型薬剤も市販されるようになった。さらに、積雪寒冷地域の空港等では、航空機の腐食を抑制したり、滑走路周囲の芝生を保護したりという特殊な事情のため、尿素やエチレングリコール等の非塩化物型凍結防止剤も使用されている。従来、一般的に使用されてきた薬剤の種類と薬剤散布の実情について、表－1.2.1にまとめた。

一方、欧米諸国においても路面凍結防止対策として最も広く行われているのは、凍結防止剤を路面に直接散布する方法である。凍結防止剤として最も多く使用されているのは塩化物で、その散布量は年間、アメリカで約1000万トン（1989年）、フィンランドで約130万トン（1989年）、ドイツで約100万トン（1998年）、日本で約35万トン（1999年）と言われている。欧米諸国における凍結防止剤対策は基本的には、わが国と大きな差異は無く、除雪が予想されると事前に塩類を散布し、次いで積雪を除去する。除雪後は凍結を防止するために再び塩類を散布している。塩類には、岩塩、塩化ナトリウム、塩化カルシウム、塩化マグネシウムが使用されている。対策は高速道路と地方道では異なっており、地方道では除雪の万全を期し難いところでは、タイヤチェーンや交通規制を行っているが、高速道路では完全除雪を旨とし、特に交通規制はしていない。

表－1.2.1　従来の凍結防止剤の種類と薬剤散布の実情

薬剤区分	薬剤名	薬剤散布の実情		塩化ナトリウムと比較した場合		
		日本	外国	凍結防止効果	金属に対する腐食性	価格
塩化物型凍結防止剤	塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	・主力薬剤となっている ・日本道路公団での使用実績が多い	・主力薬剤となっている ・使用実績は最も多い	—	—	—
	塩化ｶﾙｼｳﾑ	・主力薬剤となっている ・国土交通省、都道府県での使用実績が多い	・塩化ﾅﾄﾘｳﾑほどの使用実績はない	高い	同程度	高い
	塩化ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	・使用実績は少ない	・使用実績は少ない	高い	同程度	高い
非塩化物型凍結防止剤	尿素	・道路ではほとんど用いられていない ・空港で用いられている	・イギリスでは鋼橋部分に用いられているケースがある ・空港で用いられている	低い	低い	高い
	ｴﾁﾚﾝｸﾞﾘｺｰﾙ	・道路には用いられていない ・空港で用いられている。	・道路には用いられていない ・空港で用いられている	高い	低い	高い

1.2.2　環境に優しい非塩化物型凍結防止剤

欧米諸国では凍結防止剤の散布量が日本と比べて非常に多く、凍結防止剤の使用による塩害が大きな問題となっている。

深刻な塩害に悩むアメリカでは、1970年代半ばから運輸省と連邦道路局により、塩類に変わる凍結防止剤としてCMA（酢酸カルシウム・マグネシウム）に着目し、環境面での受容性、製造技術の開発、技術的、ならびに経済的評価を行うべく、計画を策定し現在も実施中である。CMAは固形の薬剤であるが、アメリカ、イギリスでは、空港向けには液状タイプである酢酸カリウム溶液の使用も開始された。北米におけるこれらCMA等の利用状況は、一般的にワシントン州のように凍結防止剤の全体使用量が少ないところでは、塩からCMA等へ切り替えようとしている州もあるが、使用量の多い州は重要構造物や、環境に敏感な地域、区間に限定して用いてきているのが現状のようである。

一方、わが国における凍結防止剤の散布量は欧米諸国と比べて少なかったことから、これまでに道路構造物や植生に被害が発生した事例というのはほとんど報告されていない。しかし、1990年のスパイクタイヤの禁止により、塩化物型凍結防止剤の散布量が飛躍的に伸びたことから、植物、車両の金属腐食、橋梁の被害などが懸念されるようになった。そこで、凍結防止性能が高く、道路構造物や道路環境に悪影響を及ぼさないような低塩害化タイプ薬剤の開発が行われるようになった。

札幌市は1993年12月からCMA（酢酸カルシウム・マグネシウム）の試験散布を開始した。その動きに対応して、米山化学工業のメルトップ（CMAK）、ダイセル化学工業のダイセロール（CMA）、日本油脂のカマグ（酢酸カリウム、グリセリンの水溶液）などが商品化された。しかしながら、酢酸系薬剤のコスト高と、持続性はあるが即効性が不足しているとの道路管理者の指摘があり、1998年から札幌市はCMAに塩化ナトリウムをブレンドしてコストダウンと即効性を強化した薬剤（CMA40%，塩化ナトリウム60%）に切り替えた。

2003年現在、国内で酢酸系凍結防止剤を本格的に導入しているのは、CMA＋塩化ナトリウムの札幌市、酢酸ソーダ水溶液の盛岡市となっている。

参考文献

村国誠，冬季路面管理に使用する薬剤，雪センター

2．凍結防止剤による問題点

凍結防止剤は自然環境中に散布するため、使用される薬剤は生物に対する毒性の低いものが利用されている。しかし、毎年大量に使用されることや、除雪により路肩に積み上げられ高濃度になった成分が雪解け水に含まれて流出することなどから、周辺の環境に対する影響が懸念されている。凍結防止剤は一般に、粉体または高濃度の水溶液で散布されるため、これに含まれる塩化物の及ぼす影響は海水や飛来塩分よりも大きいものと思われる。

本章では、凍結防止剤の使用によって生じる様々な問題について取りあげ、そのメカニズムを概説すると共に、これまでに国内外で報告されている問題事例について紹介する。

2.1　国内での問題点

わが国において凍結防止剤が大量に使われるようになったのは、1990年にスパイクタイヤの使用を禁止する法律ができてからである。土木研究所新潟試験所調査によると、それまで年数万トンだったのに、1992年以降に15万トンを超え、2000年には約49万トンに達している。欧米の事例では、塩化物の散布が始まって10年程で塩害が指摘されるようになった経緯があり、わが国においても、これから凍結防止剤による問題が深刻化するものと懸念される。

2.1.1　コンクリート構造物への影響

凍結防止剤の使用によって、道路や橋などのコンクリート構造物の劣化が急速に進むことが知られている。劣化が進む原因としては、①凍結防止剤の成分によるアルカリ骨材反応等のコンクリートの変質、②内部に浸入した塩分による鉄筋の腐食、③凍害などである。これらが複合して生じると、さらに劣化が加速するものと思われる。

(1)　塩化物の浸入

塩化物によるコンクリート構造物の劣化は、一般に長年にわたる塩化物の蓄積によって塩化物がある量を超えたときに発生するものであるため、劣化が発生したときは既にコンクリート中にはかなりの塩化物が蓄積されており、取り返しのつかない状態になっていることが多い。凍結防止剤販売実績の調査結果及びアンケートによる凍結防止剤使用実績調査結果からみて、わが国ではすでにかなりの量の凍結防止剤が使用されている。そして、その使用量についてはバラツキが大きく、特に県道・市町村道において国道の50倍にも達しているところもあるなど、場所によっては危険な状態になっている。

実構造物中の塩化物含有量測定結果[1)]をみると、新しい構造物においては特にコンクリートの表面部分に多くの塩分が蓄積されており、古いコンクリートにおいては表面から数センチメートルまで蓄積が進んでいる。つまり、年とともに塩化物が中のほうへと移動していることから、コンクリート中の鉄筋の腐食がわが国で問題になるのは時間の問題である。既に中央自動車道富士吉田線のように、数多くの鋼橋RC床版に凍結防止剤で塩害を引き起こしている事例[2)]も報告されている。

(2)　コンクリートの凍害

積雪寒冷地の冬期路面では、気象作用による凍結融解の繰り返しに加え、塩化物型凍結防止剤による凍結融解が加わり、コンクリート構造物が受ける凍結融解の繰り返し回数が急激に増加している。その結果、コンクリート構造物における凍害劣化が早期顕在

化の傾向にある。凍結防止剤散布による凍結融解が生じると、通常の凍害劣化とは異なり、コンクリート表面がフレーク状に剥げ落ちるスケーリングを生じさせることが知られている。これは、既に多くの道路構造物において発生しているが、そのうちでもひどいのはコンクリート2次製品である。一般の土木構造物については施工が悪かった構造物の一部とか、排水が構造物表面に伝わるようになった部分に限られている。しかし、今まで使用されたコンクリートはほとんどの場合、凍結防止剤の影響を考えずに配合設計や施工が行われているため、このまま放置するとこれらの劣化はますますひどくなることが考えられる。さらに、コンクリートの凍害によりクラックが拡大し塩化物型凍結防止剤(塩化ナトリウム・塩化カルシウム・原塩)がコンクリート床版やコンクリート構造物の内部に浸透し鉄筋を腐食する塩害も懸念されている[3)]。

(3)　アルカリ骨材反応

凍結防止剤に塩化ナトリウムを使用した場合、使用骨材によってはアルカリ骨材反応が発生することが考えられる。特に注意しなければならない点としては、一般の環境下で使用可能と判断されたコンクリートの一部で、危険となるものも出てくることが予想されることである。

(4)　その他の劣化

塩化カルシウムは特に路面温度が低下する箇所（山岳地域の高架橋など）において多く使用されている。凍結防止剤に塩化カルシウムを使用した場合、水セメント比が小さいコンクリートであっても特殊な膨張劣化が発生する[4,5)]。塩化カルシウム溶液による化学的劣化現象は溶液濃度が 20%以上で、溶液温度が 30℃以下の条件にて発生し、乾湿繰返しの作用により劣化が促進されることが確認されている[6)]。この劣化現象は、コンクリート内の $Ca(OH)_2$ の溶出と、塩基性の複塩($3CaO \cdot CaCl_2 \cdot 15H_2O$)の生成によるものであり、コンクリートのスケーリング及びひび割れの発生を伴って進行することが明らかになっている[7)]。

2.1.2　金属への影響

凍結防止剤による金属腐食の問題がある。この問題は、橋梁や道路標識及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へ大きな影響を与える。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、凍結防止剤の種類、濃度、湿度、溶液中の溶存酸素量など様々な要因によって大きな影響を受ける。

道路構造物等の社会資本だけでなく、通行した車両においてもシャーシ下のマフラーやブレーキ等が塩害により損傷を受けている。

凍結防止剤が原因の人身事故も 1997 年 8 月、金沢市内で起きている[8)]。この事故では、運送会社の大型トラックのブレーキが突然利かなくなり、信号待ちの乗用車に追突し、会社員が負傷した。運送会社とトラックのメーカーの調べにより、事故原因は凍結防止剤によるブレーキパイプの腐食であることが明らかとなった。つまり、ブレーキパイプが腐食することによりブレーキ液が漏洩したためである。

このほか、凍結防止剤の浸入でエンジン始動の電磁スイッチが短絡する、前輪の大型バネが腐食し折れる、自動二輪車の後輪の駆動チェーンが一年足らずで腐食して切れるなどの事故も報告されている。

2.1.3　自然環境への影響

表－2.1.1 は札幌市が北方の都市に対して行った、凍結防止剤による環境影響についてのアンケート結果である[9)]。この結果から、凍結防止剤の散布による自然環境への影響としては、水質や土壌、植物に対する問題が発生しているものと思われる。

表－2.1.1　北方都市の凍結防止剤による環境影響の現状[9)]

国・都市名 ＼ 項目		凍結防止剤による影響 自然環境への影響 植物	土壌	動物	人体	地下水	河川水
カナダ	ｴﾄﾞﾓﾝﾄﾝ						●
	ﾓﾝﾄﾘｵｰﾙ	●	●			●	●
	ﾊﾙ	●	●			●	●
	ｶﾙｶﾞﾘｰ	●	●			●	●
ｱﾒﾘｶ	ﾐﾈｱﾎﾟﾘｽ	●	●				●
	ｱﾝｶﾚｯｼﾞ						
ﾌｨﾝﾗﾝﾄﾞ	ｵｳﾙ	●	●				
	ﾀﾝﾍﾟﾚ	●					
	ﾍﾙｼﾝｷ	●					
ﾉﾙｳｪｰ	ﾄﾛﾑｿ	●					
	ｵｽﾛ	●					
ﾄﾞｲﾂ	ﾐｭﾝﾍﾝ	●				●	
ｵｰｽﾄﾘｱ	ｲﾝｽﾌﾞﾙｯｸ						
	ｳｨｰﾝ	●					
ﾌﾗﾝｽ	ｱﾙﾍﾞｰﾙﾋﾞﾙ	●	●				
中国	ﾊﾝﾖｳ						
	ﾊﾙﾋﾞﾝ	●	●				●
日本	長岡						
	旭川						
	滝川						
	札幌						

●印：問題事例有り

(1)　植物への影響

主要な凍結防止剤成分として挙げられるカリウム、マグネシウム、カルシウム、窒素、塩素は植物にとって必須なものであるが、過剰障害等の懸念がある。凍結防止剤は広範囲に大量に使用されるため、薬剤を含んだ雪解け水により道路周辺の土壌や流入した水分の薬剤濃度が上昇したり、風等により凍結防止剤が飛散することで、周辺の生物、特に路傍の植生に影響を与えることが知られており、外国では比較的良く研究されている。

一方、わが国において凍結防止剤による植物への影響事例が少ない要因として、冬期の降水量が多く、凍結防止剤成分が流出・溶脱しやすいことで、生物に影響を生じさせる散布量の閾値が欧米に比べ全体的に高いことによる可能性が指摘されているが、明らかではない。

(a)　塩化物による影響の要因

凍結防止剤の塩化物は以下の要因により植物に影響を与えるとされている。

①　土壌中の塩分濃度

植物は根の外皮と土壌との浸透圧の差を利用して水分を吸収しているが、水分は塩分

濃度の高い方に向かって浸透するため、凍結防止剤の塩分を含む雪解け水によって道路周辺の土壌塩分濃度が増加すると、植物の水分吸収が阻害される[10,11]。

② 塩分の付着

凍結防止剤が風や車両の通行により飛散し植物体に付着すると、付着部分で急激な浸透圧の変化が起こり、生体組織の壊死を引き起こし、葉枯れや葉焼けなどの現象がおきる[10~15]。

③ イオンの体内蓄積

樹木はナトリウムイオンやカルシウムイオンが体内に蓄積すると、様々な障害が発生する。種によって影響を受けるイオンは異なり、アーモンド、ニレ、白松、カエデ類などはナトリウムイオンの影響が大きく、トチノキ、アカガシなどはカルシウムイオンに敏感であるとされる。また、芝生に対する可溶性塩類の有害性の相対度は以下の通りとされている。（下線は凍結防止剤の成分）[10]

$\underline{NaCl} > \underline{CaCl_2} > \underline{KCl} > \underline{MgCl_2} > KNO_3 > Mg(NO_3)_2 > Na_2CO_3 > Na_2SO_4 > MgSO_4$

④ 土壌と塩分の化学反応

土壌と塩分とが反応することにより、ナトリウム粘土が形成されたり、アルカリ金属の塩類が土壌のコロイド成分を分散させて土壌を固結させることにより、植物の生育が阻害される[10]。

⑤ 水の塩分濃度

凍結防止剤を含んだ雪解け水が湖沼や湿地に流入すると水中の塩分濃度が増加し、湿地の植物に影響を与える[10,16,17]。

以上のように塩化物の影響範囲は、凍結防止剤の散布量、路肩の地形、葉の密度等により左右されると考えられている[12]。また、降雨は、植物に付着した塩化物や土壌の塩化物を洗い流し塩化物の影響を低減させるため、天候も塩化物による影響の程度を左右する大きな要因と考えられている。

⑥ pH

土壌中のナトリウム、カリウム、マグネシウム等のアルカリ性塩基類は、水に溶けやすいことから流亡し、代わりに水に含まれる水素イオンが加わり、更に水素イオンはアルミニウムイオンに次第に置換し、土壌は酸化していく。このため雨の多い日本では、酸性土壌が多くなっている。このことを反映してか、日本における樹木はやや酸性を好む種類が多く、pH5.5～6.5 の範囲であれば良好な生育をする。しかし 8.1 以上の強アルカリ性では土壌養分の溶解条件、土壌微生物種の変更に伴う有機物分解の阻害などが生じる。

表－2.1.2 水田・畑地の酸性土壌

pH	水田	pH	畑地
7.0 以下	93%	7.0 以下	95%
内 6.5～6.0	46	内 6.5～6.0	47
6.0～5.0	39	6.0～5.5	36

日本における水田、畑での pH は表－2.1.2 に示すとおりであり、森林土壌については、特殊な石灰岩地等を除き、pH7.0 を超えることはほとんどなく、pH4.5～6.5 の範囲であり、この範囲で樹木の生育には直接影響が生じることは考えられないとされている。アルカリ土壌は、年降水量 750mm 以下の乾燥地では問題となるが、日本においては石灰岩地であっても主成分の炭酸カルシウムが溶脱するため、カルシウム含量は必ずしも多くはない。

(b) 影響事例

国内においては、東北自動車道や上信越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がある[18,19]。植物体内の細胞液の濃度は、植物の種類や季節により異なる。たとえば、春には濃度が下がるので、抵抗力を低下することになる。同じ植物も造園樹木と農作物では事情が異なる。農作物は収穫量や品質が問題となるため、葉や茎に視認される程度の影響が出るかなり前の段階の低濃度の塩類によっても大きな被害が生じやすい。日本道路公団試験所報告によると、土壌中の塩類濃度が 0.5%で被害が認められ、濃度が高いほど被害が著しいことが明らかにされている。一般的には、塩化物に対して牧草類は比較的強く、野菜類は弱いとされている。

一方、塩類以外の尿素による被害例としては、果樹や農作物への窒素過多による収穫量低下等があり、凍結防止剤散布による植物への影響は大きいとされている。

(2) 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、下水道システム等の水質に影響を与える可能性が懸念されている。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極めて小さい。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、

- 塩分濃度の上昇
- 富栄養化の問題
- BOD、COD の問題

の 3 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 5ppm であったものが、冬期間に約 30ppm に上昇した例も報告されている[20]。また、仙台市が河川などの水域を対象に、凍結防止剤散布による環境影響調査を行ったところ、河川には大きな変化は見られなかったが、ため池のような閉鎖水系では凍結防止剤の成分が上昇していることが明らかとなった[21]。

2.2 海外での問題事例

塩の冬期路面管理への大量使用は、諸外国においても環境上の問題を提起している。それは森林生態系への影響、湖の水質、飲料水、構造物の腐食・劣化、車両の錆などが上げられる。北欧やアメリカ、カナダも凍結防止剤を本格的に使い始めてから 10 年以上たった 1980 年代に社会問題化した。

2.2.1　アメリカ

アメリカにおいて主に散布されている凍結防止剤は塩化ナトリウム（岩塩）である。薬剤の散布量は1947年の50万tから徐々に増加していき、1979年の1100万t余りをピークとし、1989年には1020万tとなっている[22]。薬剤によるコンクリート構造物の被害は、土木構造物としては橋梁が最も多く、スラブ、高欄、地覆、縁石、橋台、橋脚の頂部等きわめて多くの部位に損傷が生じている。1980年代中ごろの調査では、米国内の道路橋約570,000橋のうち、約80,000橋が床版劣化を有しており、そのほとんどは塩分浸透による鉄筋の腐食に起因している。中には供用後5から10年という早さで補修している部分も有り、米国の床版の補修・取替え費用は1990年代初頭までに200億ドル以上にのぼり、年間5億ドルずつ増加していると言われている[23]。これらの対策として、低塩害化薬剤の開発、鉄筋コンクリートの電気防食、エポキシ塗装鉄筋、含浸コンクリートなどを実施している。

日本では未だ報告のない問題事例として、コンクリート駐車場構造物の劣化がある。この劣化は、自動車の車体に付着して駐車場に持ち込まれた凍結防止剤がコンクリート中に浸透して生じている。駐車場では道路舗装の場合と異なり、コンクリート表面に蓄積した塩化物が、頻繁に除去されること無く堆積していることが、腐食環境をいっそう劣悪な状況にしており、構造物の劣化も深刻である[24]。

2.2.2　カナダ

カナダの公的機関が行った被害調査においても、次のような事例が報告されている[25]。

①地下水脈が塩素イオンによって汚染され、水源の寿命を短縮させた。

②長年散布してきた塩類が地下水脈に蓄積されて井戸が使用できなくなり、使用可能な水源は極めて深いところのみになった。

③塩類が道路近くの果樹林に流れ込んで果樹を枯らせ、園主は自治体を告訴した。

④オタワ、トロント、ハリファックスの道路調査で通行車両に起きた錆の50%は冬期に散布した塩類が原因であることを認めた。

⑤コンクリート橋の鉄筋が塩類によって錆に侵され、これを検知できた時は既に被害が相当進行して保全のための部分修理、耐水維持、コンクリート表面の再生に多額の費用をかけて橋の延命を保持しなければならなくなった。

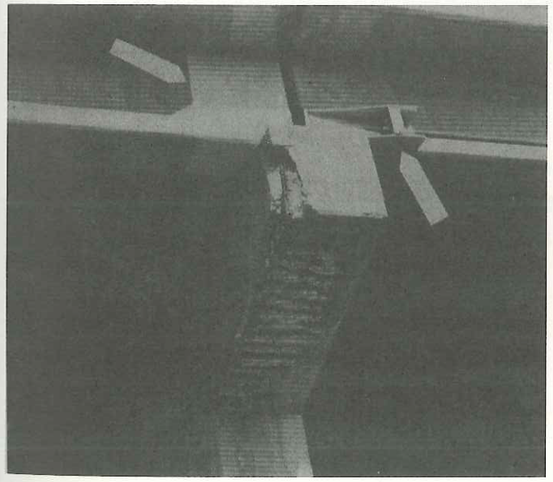
これらの他に、沼地に雪解け水が流入し、その水質が変化した事例が報告されている[26]。この事例では沼地の水質が最高で、年平均468mg/l (Na)、1215mg/l (Cl)となり、アメリカカラマツが立ち枯れするなどの影響が生じた。その後、雪解け水の流入が防止され、塩分濃度は5年間で260mg/l（Na）、610mg/l（Cl）まで回復し、それに従い植生も回復した。しかしその二次的な影響として、塩分耐性の高い種が先駆者として再群落化し、また本来あるはずのない、塩分耐性の高い新たな種の侵入が観察されるという植生の変化が生じた。

2.2.3　フィンランド

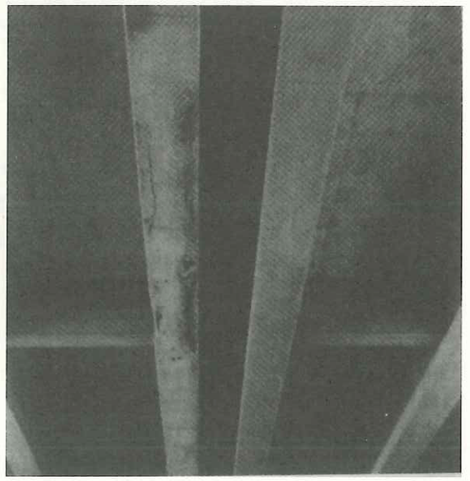
フィンランドでは、道路に散布した塩の影響で地下水の塩化物含有量の増加が計測されている。これまでのところは、代替の凍結防止剤が必要なほど重大な問題にはなっていないが、将来これが飲料水の供給において社会問題化するかもしれないという懸念がある。飲料水の水質、水道管腐食、その他車両の錆、樹木の成長阻害等環境問題を最小限に抑えるために、道路庁は塩の使用を適切なレベルに保つよう環境基準を策定すること、危険地域の特定とその場所での塩の使用を厳しく監視すること、計画的に環境への影響を追及することなどの対策を提言している。一方、フィンランド北部のトナカイ保護区域の多くでは、既に試験的にCMAを導入している。トナカイは塩が好きなため道路に集まり、車両交通を危険にし、年間4000件以上の事故を引き起こすためである。道路付属物に対する被害額は高額に及ぶ。CMAは酢の匂いがし、トナカイを引き寄せないのでトナカイは近寄らず、交通を恐れるようになる[27]。

2.3　まとめ

薬剤散布は、凍結防止効果の信頼性も高く、今後も雪氷路面の凍結防止工法として活用されていくものと思われる。従来この工法は、薬剤として塩化物を使用してきたことから、近年欧米では凍結防止剤による床版や橋脚などの塩害が顕在化している。このため、その劣化機構や対策について長い間検討がなされており、塩化物の使用量を低減するような工夫、塩化物に替わる新薬剤の開発、道路構造物に対する塩害予防対策が実施されている。わが国においては、薬剤の散布量が欧米に比べて少ないため、薬剤による道路構造物等への被害事例はこれまでのところ報告されていない。しかし欧米の事例では、塩化物の散布が始まって10年程で塩害が指摘されるようになった経緯があり、わが国においても、これから凍結防止剤による問題が深刻化するものと懸念され、塩害に対する予防対策を考慮しておく必要があると指摘されている。さらに、散布薬剤に対しては、凍結防止性能が高く、道路構造物や道路環境に悪影響を及ぼさないような無公害タイプ薬剤の開発を積極的に推進していくことが望まれる。



写真―2.3.1 海外における継手部直下の劣化例[28]



写真―2.3.2 継手部からの流出水による劣化例[28]

参考文献

1)田中良樹，河野広隆，大和恒哉，大山英郎，土木学会第56回年次学術講演会講演集，V-283（2001）

2)関口武一，笹井幸男，石塚喬康，コンクリート工学，32 [5]，41-49（1994）

3)(社)日本コンクリート工学協会，融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集，p.24（1999）

4)Chatterji, S. and Jansen, A. D., *Nordisk Beton*, 19, 5-6（1975）

5)Chatterji, S., *Cement and Concrete Research*, 8, 461-468（1978）

6)鳥居和之，川村満紀，山田正弘，Chatterji, S.，セメント・コンクリート論文集，46，504-509(1992)

7)笹谷輝彦，鳥居和之，川村満紀，セメント・コンクリート論文集，49，720-725（1995）

8)朝日新聞夕刊(1998.4.18)

9)橘治国，原文宏，佐伯浩，安部正明，日本雪工学会誌，11 [3]，207-216（1995）

10)北海道開発局開発土木研究所道路部交通研究室，平成7年度札融会講習会資料，I-24（1994）

11)Eaton, L. J. et al., *Canadian Journal of Plant Science*, 79, 125-127（1999）

12)Hautala, E. L. et al., *Ann. Bot. Fennici.*, 29, 179-185（1992）

13)Hofstra, G., Hall, R., *Canadian Journal of Botany*, 49, 613-622（1971）

14)Simini, M., Leone, I. A., *Arboricultural Journal*, 10, 221-231（1986）

15)Sucoff, E., Hong, S. G., *Canadian Journal of Botany*, 54, 2816-2819（1976）

16)Wilcox, A. D., *Environmental and Experimental Botany*, 24 [4]295-304（1984）

17)Simini, M., Leone, I. A., *Arboricultural Journal*, 10, 221-231（1986）

18)朝日新聞夕刊(1991.1.21)

19)朝日新聞夕刊(1991.9.27)

20)中国新聞(1988.3)

21)河北新報(1997.8.29)

22)(社)雪センター，(社)北陸建設弘済会,米国道路雪氷対策関係資料集，pp.267-278

23)(社)日本コンクリート工学協会，融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集，1-22（1999）

24)Beamish S., Roberts M., *Concr. Eng. Int. VN*, 2 [8], 34-37（1998）

25)(株)パティネ商会資料

26)Wilcox, A. D., *Canadian Journal of Botany*, 64, 865-874（1986）

27)フィンランド道路庁，フィンランドの冬季道路管理手法，(1993)

28)(社)日本コンクリート工学協会，融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集，p.111（1999）

3．凍結防止剤の実態

3.1　国内における凍結防止剤の種類

凍結防止剤は種類によって様々な特徴を有することから、道路管理の要求を踏まえた効果的な凍結防止剤の選択が重要である。

その種類であるが、代表的な凍結防止剤の種類として、塩化ナトリウム、塩化カルシウム、塩化マグネシウム等の塩素を含む塩化物型化合物がある。これらは、単一種類で使用する場合と個々の特徴を活用する目的で混合物として使用されることもある。凍結防止剤の使用量は年々増加傾向にあるが、それに伴い塩化物は、金属の腐食問題、及び環境問題等を含むいわゆる塩害の問題が問われている。

塩害の問題を回避するため、塩素を含まない尿素あるいは酢酸型の酢酸カルシウム・マグネシウム、酢酸カリウム等の非塩化物型化合物を使用するところも増えてきている。

凍結防止剤としては、以上の塩化物型と非塩化物型の２種類に大別されるが、さらに性状で分類すると固体（粒状または粉状）、液体に分類することができる。従って、凍結防止剤の散布方法も種類、性状にあった装置が開発されている。

3.1.1　凍結防止剤の要求特性

冬期路面管理の手段として除排雪があるが、除雪後の雪氷皮膜の除去、局部的な凍結路面の解消には、凍結防止剤の散布が有効である。その散布時期は、除排雪作業の前後に実施するが、事前散布の場合は、凍結防止剤により凝固点降下した水溶液が路面上に存在することで、ブラックアイスバーン等の氷結を防止することが可能となる。また、事後散布の場合は、除雪後の路面にのこる圧雪等を解凍することで、シャーベット状の路面を形成することが可能となる。

ただし、いずれの場合も凍結防止剤は、完全に消雪することは困難であり、凍結防止剤と雪の混合水溶液が、凝固点降下の作用により低温でもシャーベット状となることで路面改善される。

凍結防止剤の要求特性とは、

①凍結防止効果に優れている
- 凝固点が低い
- 融氷率が高い
- 溶解性が良い
- 即効性がある
- 持続性が良い
- 混合物としやすい

②散布がしやすい
- 特定の粒子形状
- 粒度分布を持つ
- 運搬、保管性がよい

③大量に使用するので安価で、入手性が良い

④環境に配慮したものである

以上の特性は全てが必須ではなく、使用される場所、目的、経済状況などから優先す

る特性を考慮し、凍結防止剤の種類を選択する。つまり、使用される場所の気温、路面温度、路面状況(ブラックアイスバーンなのか、圧雪なのか等)、周辺環境、交通量等から凍結防止剤の種類、量、散布間隔等が決まる。

3.1.2　塩化物型凍結防止剤

塩化物型凍結防止剤の中でも塩化ナトリウムがもっとも多く使用されている。最近では 2002 年より塩販売が自由化となった事より、海外からの輸入品がより多くなっている。(　) 内に代表的な販売メーカーを記す。

1）塩化ナトリウムは、天日塩として結晶化させたものが主流である。即効性は無いが、最終的な融氷量と凍結防止効果については、塩化カルシウムより優れている。

2）塩化カルシウムは、ソーダ工業の副産物として生産されている。塩化カルシウムは、塩化ナトリウムよりも価格が高く、結晶水も含むため融氷率が塩よりも劣るため最近は使用量が減っている。水溶液として使用されることが多い。(旭硝子、トクヤマ、セントラル硝子)

3）塩化マグネシウムは、海水から塩を精製する過程でできたものが主流である。
海水から水分を蒸発させ、塩が結晶化したときの上澄み液が塩化マグネシウムである。国内生産量が減少したため使用量は減ったが、近年、外国からの輸入品が増した。特定の地域で使用されている傾向がある。凍結防止剤使用時に塩化マグネシウムは高い潮解性を有するため良く吸収し、路面散布後再結晶しにくい。また、塩化ナトリウムと同じ重量を使用した場合、塩化マグネシウムの方が塩素量が少なく塩害も軽減される。(赤穂化成)

これらの使用方法は、散布車による機械散布が主流であり、路面の状況(積雪、凍結)によってその散布量は考慮される。目安としては 20g/m² である。路面に均一散布する必要があるが、その為所定の粒度バランスが大切である。また、一般には 1 ﾄﾝフレキシブルコンテナ、25Kg 袋で販売されるため保管中に固結しない状態であることが必要である。

結晶成長したものが結晶水を含んだものしかできないものなどは、造粒、プレス成形したものを粉砕したり、粉末をブレス成形したりして製造される。

凍結防止剤の要求特性がより細かくなっているため塩化ナトリウムや塩化マグネシウムを混合したもので、持続性、即効性の工夫をしたものが販売されている。また、塩化物には防錆効果も要求されることも多く、防錆剤を数%添加したものを使用することもある。防錆剤の種類、添加量等は各社工夫している。

3.1.3　非塩化物型凍結防止剤

非塩化物型凍結防止剤は、酢酸型のものが多く、金属腐食や対環境負荷の減少が期待されるものである。(　) 内には国内の代表的なメーカーと製品を記す。

1）酢酸カルシウム・マグネシウム(CMA)が有名であり、アメリカでの研究が先駆的である。水への溶解性が低いので、即効性はないが、逆にこれが持続性向上に繋がっている。塩化物と比較して価格は 4 倍～8 倍と割高ではあるが持続性が約 3 倍で散布回数を 1／3 に減らせる効果もある。(ダイセル化学工業：「ダイセロール」)

2）酢酸カリウムは、即効性には優れているが、潮解性があり保管に難があるため、水

溶液で使用される場合が多い。塩化物の約 3 ～ 5 倍の持続性がある。また、水溶液にグリセリンを含有させて路面への残存性を付加した国内製品もある。(北海道日本油脂㈱：カマグ)

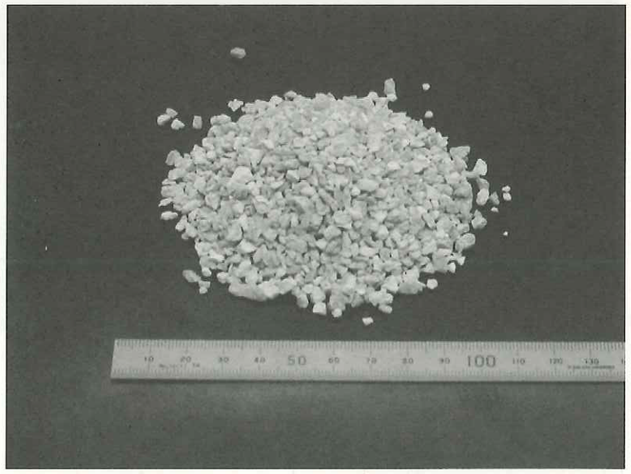
以上の酢酸型凍結防止剤は、酸、アルカリからの中和反応による合成によって製造される。

3）酢酸ナトリウムは、無水塩と水分を含有する 3 水塩の結晶体があります。溶解時に発熱をするため、融氷速度が速い特徴がありますが、その効果は無水塩の方が高い。(輸入品がほとんど。クライオテック：NAAC)

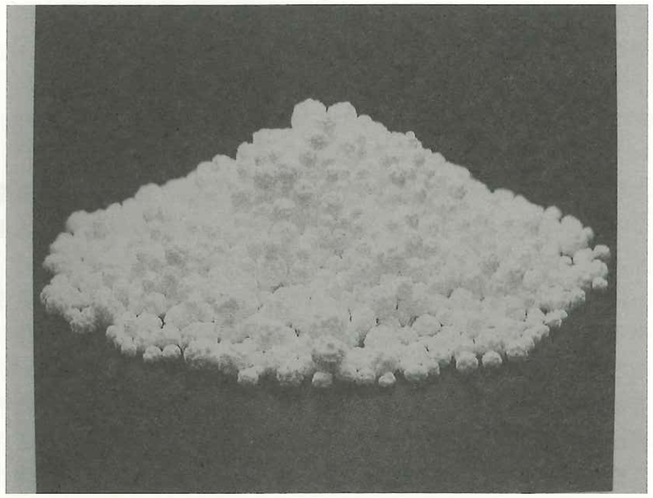
4）尿素は、低価格であること、また金属の腐食がないことから、腐食が問題となる橋梁等に使用したりするが、特に空港での使用が多い。粉状の場合は、他の酢酸型凍結防止剤と混合し使用することもある。尿素は最終的には無害な物質に分解するが、理論上では、その過程でアンモニアとなり、土壌内にて硝酸塩となります。アンモニアは毒性物質であるので、その使用量に注意が必要となる。また、水中においては藻類の繁殖を助長する窒素を提供するため、繁殖した藻類が酸素を消費し、水中生物の生存にも影響すると推定されるが、現状は使用する周囲の環境検査等により問題が発生しないように管理されている（東電環境エンジニアリング：アイスメルター）

表－3.1.1 凍結防止剤の諸特性を、表－3.1.2 に凍結防止剤の種類を示した。表－3.1.2 については、塩化物型、非塩化物型及びその他に分類した。

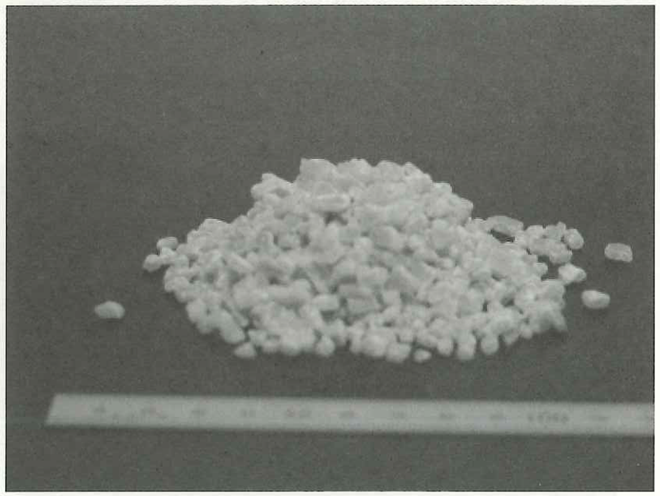
また、写真－3.1.1～4 には代表的な凍結防止剤の外観を示した。



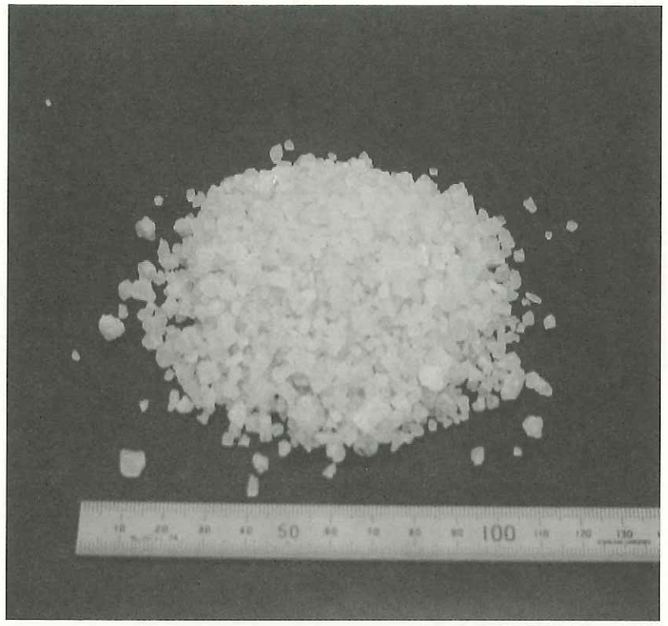
写真－3.1.1　CMA からなる凍結防止剤



写真－3.1.2　酢酸ナトリウムを主成分とする凍結防止剤



写真－3.1.3　塩化ナトリウム、塩化マグネシウムの混合物からなる凍結防止剤



写真－3.1.4　塩化ナトリウムからなる凍結防止剤

表－3.1.1　.凍結防止剤の諸特性

薬剤	化学式	水への溶けやすさ*	水溶液(cal/g)**	最低融点温度(℃)	溶液の飽和濃度(%)
塩化ナトリウム	NaCl	△	－２０．７	－２１	２３．８
塩化カルシウム	$CaCl_2$・２H_2O	◎	＋６８．０	－５５	３９．６
塩化マグネシウム	$MgCl_2$・６H_2O	◎	＋１４．５	－３３	４４．０
尿素	CH_4N_2O	○	－５５．９	－１２	３２．０
ＣＭＡ	$CaxMgy(CH_3COO)_{2(x+y)}$	×	＋４４．３	－２５	３３．０
酢酸カリウム	KCH_3CO_2	◎	＋３４．１	－６０以下	５０．０以上

*　◎：空気中の水分によって、溶解する。
　　○：非常に溶けやすい。
　　△：溶けやすい。
　　×：多量に溶かす為には、攪拌等が必要である。

**　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す。

以下に国内における凍結防止剤の種類を表－3.1.2 に示した。塩化物型、非塩化物型及びその他に分類した。

表－3.1.2　国内における凍結防止剤の種類（１／３）

区分	製品名・技術名称	主成分	性状と形状	メーカー
塩化物型	ノースクリア	塩化カルシウム＋防錆剤	約 30%水溶液 防錆剤約 1%	北海道曹達㈱
	エンジョイ・ロード	塩化ナトリウム＋尿素	液状 粒状	販売元；㈱日本ハイウエイとうほく
	スノーナイス	塩化ナトリウム＋防錆剤	粒状	マコマ㈱
	雪どけくん	塩化カルシウム	粒状	輸入元；名東化製㈱
	NCM	塩化ナトリウム ＋塩化カルシウム	粒状	中国交遠国際経済技術合作公司 販売元；東宏
	サビナックス（NCM の防錆剤入り）	塩化ナトリウム ＋塩化カルシウム＋防錆剤	粒状	中国交遠国際経済技術合作公司 販売元；東宏
	NM-MIX（防錆剤入りタイプ有り）	塩化ナトリウム ＋塩化マグネシウム	7mm 以下、5mm 以下粒状	販売元；エスケー産業㈱
	NC-MIX（防錆剤入りタイプ有り）	塩化ナトリウム ＋塩化カルシウム	5mm 程度粒状	販売元；エスケー産業㈱
	SM-64S	塩化ナトリウム ＋塩化マグネシウム	1.5～6mm 粒状	販売元；カラーケミカル工業㈱
	NANRU（SM-64S の防錆剤入り）	塩化ナトリウム ＋塩化マグネシウム ＋防錆剤	1.5～5mm 粒状	販売元；カラーケミカル工業㈱
	SK ソルト（防錆剤入り開発中）	塩化ナトリウム	7mm 以下、5mm 以下、2mm 級の粒状	販売元；エスケー産業㈱
	SK ICE-MAGIC	塩化カルシウム＋防錆剤	30%以上水溶液	販売元；エスケー産業㈱
	ソフトウエハー	塩化マグネシウム	フレーク	赤穂化成㈱
	マグランド	塩化マグネシウム	粒状	赤穂化成㈱
	ロードメイト	塩化マグネシウム ＋塩化カルシウム	液状	赤穂化成㈱

	カルメート R	塩化カルシウム	粒状	赤穂化成㈱
	UZUSIO	塩化ナトリウム	平均粒径 800 ミクロン以上	鳴門塩業㈱
	ナクルロード	塩化ナトリウム	粒状	ナイカイ塩業㈱
	MG	塩化マグネシウム	粒状	司工業㈱
	融助 MN	塩化ナトリウム＋塩化マグネシウム	1～5mm 程度粒状	販売元；㈱三宝商会
	融助 MN-R（融助 MN の防錆剤入り）	塩化ナトリウム＋塩化マグネシウム＋防錆剤	1～5mm 程度粒状	販売元；㈱三宝商会
	融助 CN	塩化ナトリウム＋塩化カルシウム	1～5mm 程度粒状	販売元；㈱三宝商会
	融助 CN-R（融助 MN の防錆剤入り）	塩化ナトリウム＋塩化カルシウム＋防錆剤	1～5mm 程度粒状	販売元；㈱三宝商会
	融助 M	塩化マグネシウム	1～5mm 程度粒状	販売元；㈱三宝商会
	融助 N	塩化ナトリウム	1～5mm 程度粒状	販売元；㈱三宝商会
	融助 C	塩化カルシウム	粒状、フレーク	販売元；㈱三宝商会
	スノーメルト SM-M25	塩化ナトリウム＋塩化マグネシウム	3～6mm 粒状	販売元；富国合成塗料㈱
	スノーメルト・エクストラ SM-M25-EX	塩化ナトリウム＋塩化マグネシウム＋防錆剤	3～6mm 粒状	販売元；富国合成塗料㈱
	スノーメルト SM-C25	塩化カルシウム	3～6mm 粒状	販売元；富国合成塗料㈱
	385	塩化ナトリウム ＋塩化マグネシウム	粒状	販売元；北海塩業㈱
	塩化カルシウム	塩化カルシウム	粒状	セントラル硝子㈱、㈱トクヤマ
	SSA	塩化ナトリウム＋塩化マグネシウム	粒状	販売元；サンメイツ㈱
	SSA-1（SSA の防錆剤入り）	塩化ナトリウム＋塩化マグネシウム＋防錆剤	粒状	販売元；サンメイツ㈱

表－3.1.2　国内における凍結防止剤の種類（２／３）

区分	製品名・技術名称	主成分	性状と形状	メーカー
非塩化物型	クライオテックＣＭＡ100	酢酸カルシウム・マグネシウム	粒状	CRYOTECH
	クライオテックＣＭＡ40	酢酸カルシウム・マグネシウム＋塩化ナトリウム	粒状	CRYOTECH
	クライオテックE36	酢酸カリウム＋防錆剤	50%水溶液	CRYOTECH
	クライオテックCF7	酢酸カリウム	50%水溶液	CRYOTECH
	クライオテックCMAK	クライオテックCMAとCF7の混合物	液状	CRYOTECH
	クライオテックNAAC	酢酸ナトリウム＋防錆剤	粒状	CRYOTECH
	ダイセロールCMA	酢酸カルシウム・マグネシウム	粒状	ダイセル化学工業㈱
	ダイセロールN50	酢酸カルシウム・マグネシウム＋酢酸ナトリウム	粒状	ダイセル化学工業㈱
	メルトップ	酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム	粒状	米山化学工業㈱
	メルトップ-U	酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム＋尿素	粒状	米山化学工業㈱
	メルトップ-40	酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム＋塩化ナトリウム	粒状	米山化学工業㈱
	クリアウェイ３	酢酸カリウム＋防錆剤	約50%水溶液	BPケミカルズ
	クリアウェイ6s	酢酸ナトリウム	0.5～4mm 粒状	BPケミカルズ
	セーフウェイSF	蟻酸ナトリウム	05～5mm 粒状	Clariant
	セーフウェイSD	酢酸ナトリウム	粒状	Clariant
	セーフウェイKA	酢酸カリウム	50%水溶液	Clariant
	メンデール	蟻酸ナトリウム＋酢酸ナトリウム＋尿素	約45%水溶液	北海道曹達㈱

	カマグ	酢酸カリウム＋グリセリン	50%水溶液	北海道日本油脂㈱
	アイスメルター	尿素	粒状	三井東圧化学㈱
	アイスメルトCMN	酢酸型	粒状	司工業㈱
	アイスメルト21	酢酸ナトリウム	粒状	司工業㈱
	アイスメルトCMA40	酢酸カルシウム・マグネシウム＋塩化ナトリウム	粒状	司工業㈱
	AVIFORM L50	蟻酸カリウム＋防錆剤	約50%水溶液	HYDRO

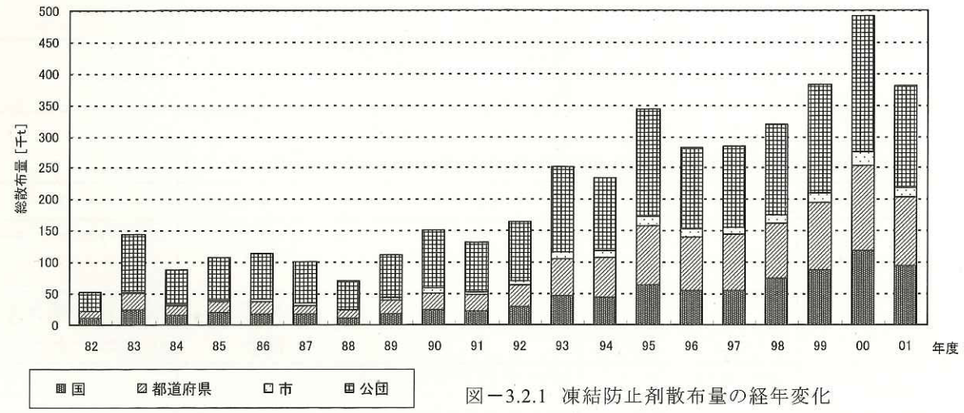
表－3.1.2　国内における凍結防止剤の種類（３／３）

区分	製品名・技術名称	主成分	性状と形状	メーカー
その他	ダイメルト	大理石＋防錆剤	粒状	㈲ﾀﾞｲﾒﾙﾄｺｰﾎﾟﾚｰｼｮﾝ
	ロードウェイ	不明	粒状 液状	販売元；㈱日本ハイウエイとうほく
	ICE BAN（アイスバン）	酒造で派生する浸漬液と乳清等	液状	-----
	USメルター	不明	液状	㈱日本ハイウェイ・サービス

3.2　国内における凍結防止剤の増加量

3.2.1　散布総量の推移

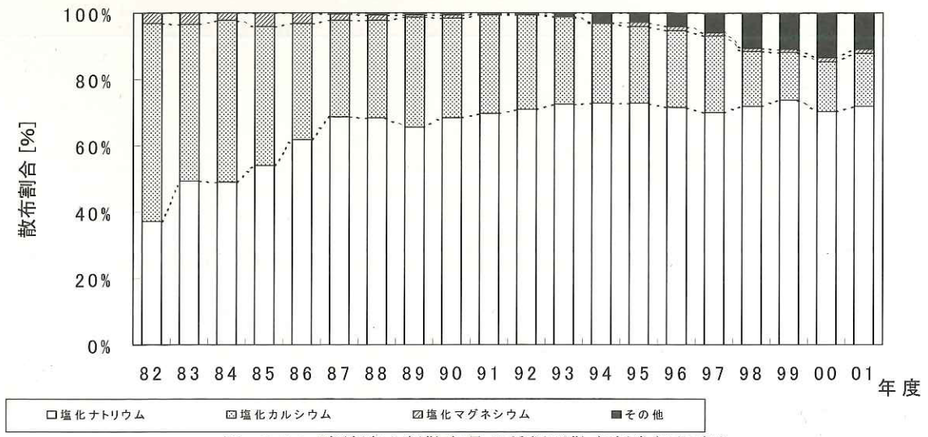
図－3.2.1 に全国の主要道路管理機関(110 機関)が主要道路に散布された凍結防止剤の散布総量を示す。1990 年６月に「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」が公布され、1993 年４月から大型車を含む全ての車両が規制区域内での使用を禁止されたため、それ以降の小雪が続いているにもかかわらず散布量が年々増加傾向にある。過去 20 年間では、2000 年度の散布量が最も多く、59 豪雪であった 1983 年度の約 3.3 倍もの散布量となっている。



図－3.2.1 凍結防止剤散布量の経年変化

3.2.2　凍結防止剤散布種類の推移

図－3.2.2 に凍結防止剤散布種類別の割合を示す。1982 年度には塩化カルシウムの散布量が最も多かったが、1983 年度には塩化カルシウムと塩化ナトリウムの散布量が、ほぼ同率となり、その後、塩化ナトリウムの散布割合が伸びている。また、1982 年度以降、塩化ナトリウムと塩化カルシウムで全体の９割以上を占めている。一方、1993 年度以降は、外国から輸入されるより安価な種類や環境に配慮した非塩化物型の種類等のその他の割合が増加している。



図－3.2.2 凍結防止剤散布量の種類別散布割合経年変化

1)　管理機関別の主な薬剤の種類

表－3.2.1 に 2001 年度の管理機関別の主な薬剤の種類を示す。凍結防止剤として、塩化物型を最も多く使用している機関は、日本道路公団である。機関別では、国、公団、都府県で塩化ナトリウム、塩化カルシウムの順に多く使用している。市(北海道以外)は、塩化カルシウムが主体で使用している。また、北海道の市では酢酸系を主に使用している機関も確認出来た。

一方、道路以外の凍結防止剤使用を空港の滑走路で調査を行うと飛行機の機体の錆等の関係から塩化物型は使用せず、非塩化物型の尿素，エチレングリコールを使用している。近年は、酢酸ナトリウム(無水)も使用されている。

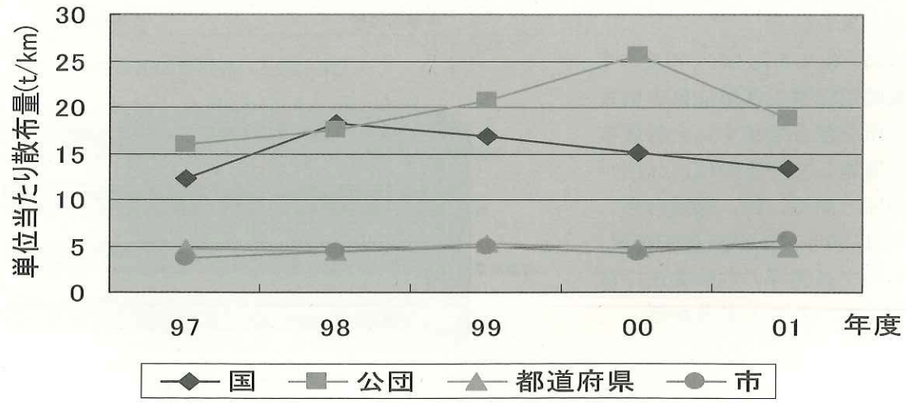
表－3.2.1　管理機関別の主な凍結防止剤の種類(2001 年度)

国	北海道以外	塩化ナトリウム，塩化カルシウム，塩化マグネシウム
	北海道	塩化ナトリウム＋塩化マグネシウム混合物，塩化ナトリウム，塩化カルシウム
公団		塩化ナトリウム
都道府県	都府県	塩化ナトリウム，塩化カルシウム
	北海道	塩化カルシウム，塩化ナトリウム＋塩化マグネシウム混合物
市	北海道以外	酢酸塩＋塩化ナトリウム系，塩化ナトリウム＋尿素
	北海道	塩化カルシウム，塩化ナトリウム，酢酸ナトリウム系

3.2.3　機関別散布量の推移

1)　単位延長当たり散布量

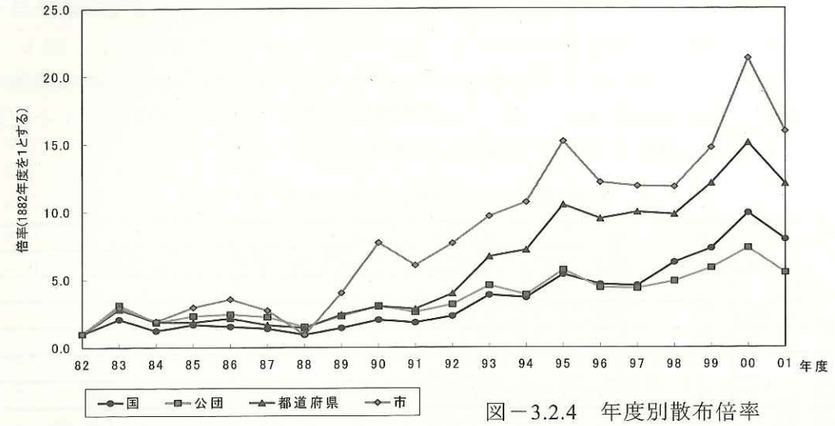
図－3.2.3 は 1997 年度から 2001 年度の各機関の単位延長当たり凍結防止剤散布量（機関ごとの総散布量を散布延長で割った値）を示す。単位延長当たり散布量は都道府県及び市，国，公団の順に散布量が増えている。これは、冬期道路管理上、道路規格の高い道路を管理する機関程、散布量が多いことが伺える。近年５ヵ年では、都道府県及び市はほぼ横ばい状態に対して、公団は増加傾向にある。また、国はここ３ヵ年は減少傾向となっている。都道府県および市の単位延長当たり散布量は 2000 年度で国・公団の 1/3 から 1/5 以下となっている。



図－3.2.3　単位延長当たり散布量(1997～2001 年度)

2)　年度別散布倍率

図－3.2.4 は 1982 年度の全散布量を 1 とした場合の各年度の倍率を示す。年度毎の気象条件によりバラツキはあるものの、年々散布量が増加傾向にある。2000 年度では公団は 7 倍、国は 10 倍程度の散布倍率となっているが、都道府県は 15 倍、市は 21 倍もの散布倍率となっている。



図－3.2.4　年度別散布倍率

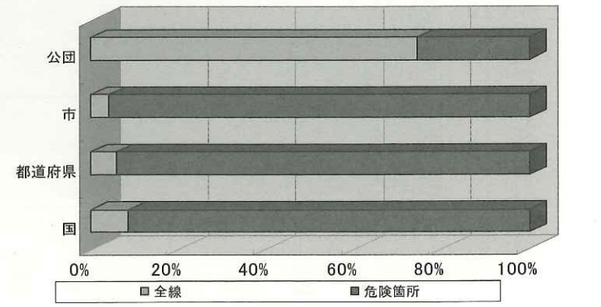
3)　散布目的

図－3.2.5 に 2001 年度の散布目的別の散布回数を割合で示す。凍結防止を目的とした事前散布は、公団が 88%と高く、以下国が 67%、都道府県が 62%、市が 57%となっている。雪氷融解や除雪補助を目的とした事後散布は、事前散布とは逆の結果となっている。

図－3.2.5　散布目的別の割合

4)　散布箇所

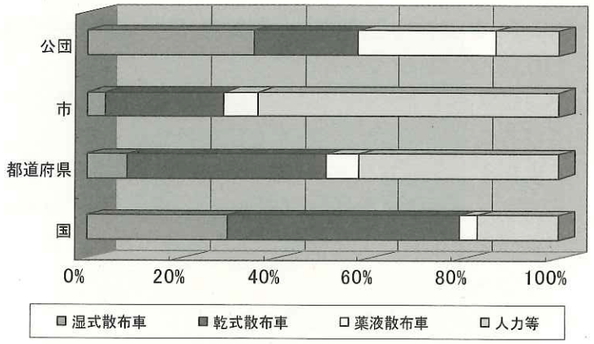
図－3.2.6 に 2001 年度の各機関別除雪工区単位毎の散布箇所を割合で示す。全線散布を実施しているのは、公団が 74%と高く、国、都道府県、市は 90%以上が坂道や橋梁、カーブ区間等の危険箇所で散布していることが分かる。



図－3.2.6　散布箇所別の割合

5)　散布方法

図－3.2.7 に 2001 年度の各機関別散布方法を割合で示す。散布量の多い機関ほど機械化が進んでおり、公団は 87%、国は 83%で機械散布を実施している。都道府県は機械と人力による手撒き散布が同程度の割合で、市は手撒きが 64%を占めている。



図－3.2.7　散布方法別の割合

以上の結果から、道路規格の高い道路を管理する機関程、単位延長当たりの散布量が多く、事前散布や全線散布の割合が高くなっている。

また、機械散布を主流としてきている機関ほど、湿式方式による薬剤散布の割合が高い傾向にある。

参考文献

1) 独立行政法人土木研究所新潟試験所：凍結防止剤散布実態調査報告書(7)、土木研究所資料部内資料第 148 号、2001.6

2) 独立行政法人土木研究所新潟試験所：凍結防止剤散布実態調査整理作業報告書、2001.9

3) 独立行政法人土木研究所新潟試験所：凍結防止剤散布実態調査整理作業報告書、2002.10

4．非塩化物型凍結防止剤開発

4.1　非塩化物型凍結防止剤開発(民間企業の開発実態)

4.1.1　社会情勢の変化

脱スパイクタイヤが始まった1990年度以降、道路用凍結防止剤の散布量が飛躍的に伸びることとなった。、日本各地で凍結防止剤として道路等に散布される塩化カルシウム、塩化ナトリウムなどの塩化物の数量は2000年度には50万トン近くに達した。この50万トンという散布量は、豪雪であった1983年度の３倍以上の数量に達している。このような塩化物の大量散布による植物の枯れ、車両の金属腐食、道路構造物への被害等も懸念され始めた。

以上のような社会情勢に対応して、1990年代から環境や金属や道路構造物に配慮した凍結防止剤の研究開発が民間企業の間で本格化した。加えて、各社が開発競争を進める中、2000年度からは独立行政法人土木研究所と民間企業３社で非塩化物型凍結防止剤の共同研究が開始された。

4.1.2　米山化学工業（株）の開発経緯

１）　2000年度の取り組み

新規非塩化物型凍結防止剤として、既存の粒状品ＣＭＰＡ（酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム、商品名：メルトップ）及び液体品酢酸ナトリウムと尿素の混合溶液（商品名：メルロード）の改良品を開発した。なお，既存のメルトップは札幌市で，メルロードは盛岡市で採用され，薬剤散布による路面改質効果が認められたものである。そのメルトップ、メルロードに改良を加えることにした。

ＣＭＰＡ（メルトップ）の即効性及び持続性は札幌市で評価されており、さらに全ての凍結防止で起こる現象である薬剤の融解時におけるすべり摩擦係数の低下を重曹の滑り止め効果で抑制することを改良の目的とした。

酢酸ナトリウムと尿素の混合溶液（メルロード）の凍結防止効果は盛岡市で評価されており、更に増粘剤を添加することによる路面定着性の改善を目的とした。

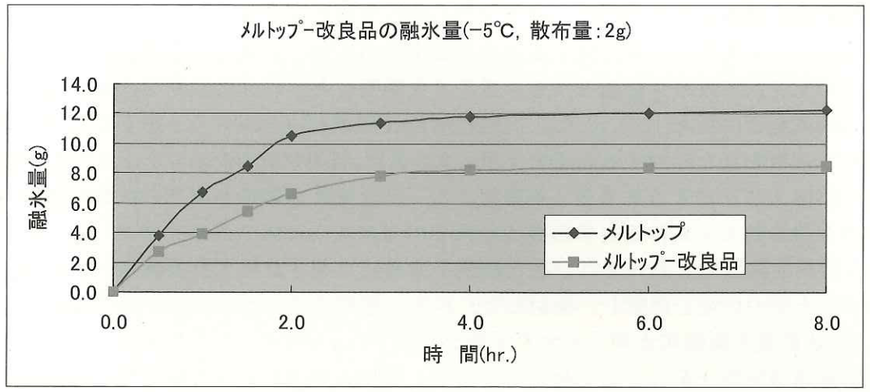
ＣＭＰＡ改良品：ＣＭＰＡ：70%、重曹：30%

酢酸ナトリウムと尿素の混合溶液改良品：酢酸ナトリウムと尿素の混合溶液
＋増粘剤

以上２種類の薬剤で、新井市で散布試験を行ったが気象条件が思わしくなく、散布効果の確認は行えなかった。

２）　2001年度の取り組み

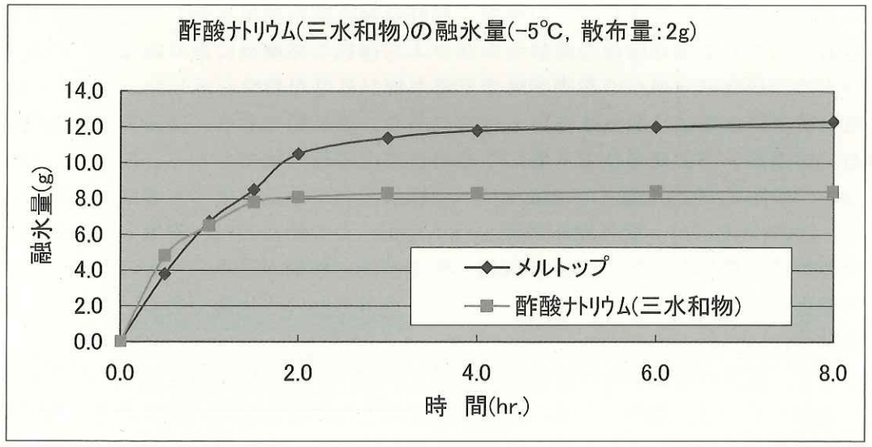
2001年度に好条件で散布試験が行える場所として大樹町を選定して、ＣＭＰＡ及びＣＭＰＡ改良品を試験薬剤に使用したが、条件に恵まれず散布効果の確認は行えなかった。



図－4.1.1　融氷試験結果

３）　酢酸ナトリウム（三水和物）の開発

さらに、2002年度には土木研究所の意向で、酢酸ナトリウム系に絞って開発を進めることになり、機械散布に適した物性にするために固結防止剤を添加して流動性のある酢酸ナトリウム（三水和物）を開発したが、室内試験において良好な結果を得ず、散布試験を行えなかった。



図－4.1.2　融氷試験結果

4.1.3　北海道日本油脂（株）の開発経緯

１）　液状酢酸系凍結防止剤『カマグ』の開発

凍結防止剤には、主に、粉末状、粒状タイプのものと、それらを水に溶解した水溶液タイプのものがある。粉末状、粒状タイプは、水溶液タイプと比較して即効性、定着性の問題があるが、保管容器も特に必要がないため必要時に直ちに使用でき、固体で理論上の濃度が高いとのメリットがある。水溶液タイプは、液体であるため、即効性があり、定着性もよく、溶液であるため混合が容易で複合特性を持つものが製造し

やすいが、保管に難点がある。弊社では、液状酢酸系凍結防止剤として『カマグ』を製造販売して来た。保管に関する問題を解決するための定置式の散布装置である『オートカマグ』でカマグを散布するシステムを開発した。これにより『カマグ』をより効果的に路面に散布することで、凍結路面の改良のトータルコストを下げた。これにより薬剤散布量を低減することを実現した。また、『カマグ』の粘度を上げることを考案し路面上に粘着する効果と、車両による「ひきずり」により薬剤の拡散距離、面積を増加する効果をも得る結果となった。

今回の共同開発においては、液状酢酸系凍結防止剤『カマグ』の改良と粒状酢酸系凍結防止剤の開発を提案し、検討した。以下に概要を述べる。

2） 液状酢酸系凍結防止剤『カマグ』の改良

酢酸系凍結防止剤は、塩化物系に比較し、環境にやさしく、良好な凍結防止作用を示すものであるが、そのコストが高い難点があり、それが本製品の需要が伸び悩む一要因となっている。そこで、これの特性改良とコストダウンを検討した。製造方法、原材料価格の見直し、物流の見直しを行った。開発したものの凍結防止特性は、カマグを凌ぐものではなかった。よって、これは開発初年度である2000年のみの検討となった。

3） 粒状酢酸系凍結防止剤の開発

従来の粒状酢酸系凍結防止剤は、CMA(酢酸マグネシウム、カルシウム)や酢酸カリウムが主に使用されてきた。その中で、良好な凍結防止効果を示し、比較的取り扱いが容易で、この中では安価な酢酸ナトリウムを選択して開発に取り組んだ。酢酸ナトリウムは、研究室レベルの基礎実験で、無水物が良好な特性を示した。

粒状凍結防止剤は、機械散布が一般的であり、効果的である。よって、散布機械で散布できることが必要条件である。しかし、完全に無水物であると、粉末でしか得られない。よって、水分を極力除去した形で、機械散布できる粒度にする必要があった。まず、2001年度には、屋外散布試験を行ったが、この時点では、安定した粒度と水分量での製造が難しかった。2002年度は、製造技術の検討が進み、一定の粒度での製造が可能となった。しかし、水分量のバラツキがあるという状態である。これで、現道散布試験に入った。

その後、実際の路面にての凍結防止効果を、すべり摩擦係数測定等のデータ取得により確認している。実際の現場における塩化物との性能比較は、道路状況、気象環境条件等が必ずしも同じにならないので絶対値の比較は、困難であることが判明した。

現在は、性能向上とともにコスト低減を目標に開発を進めているが、コストダウンの為に国内需要が伸びることが一つの期待ではある。

4.1.4 ダイセル化学工業（株）の開発経緯

1） 市場の要望と商品設計

酢酸系凍結防止剤の最大の長所は、環境に優しいことである。植物、動物はもちろん、金属、コンクリートへの影響が少ないことが評価されている。そのため、塩化物はもちろん、防錆剤などの添加物をいっさい含まない組成にすることにした。

また、凍結防止剤の散布量増大にともない、特に厳寒地域を管理する散布作業者の

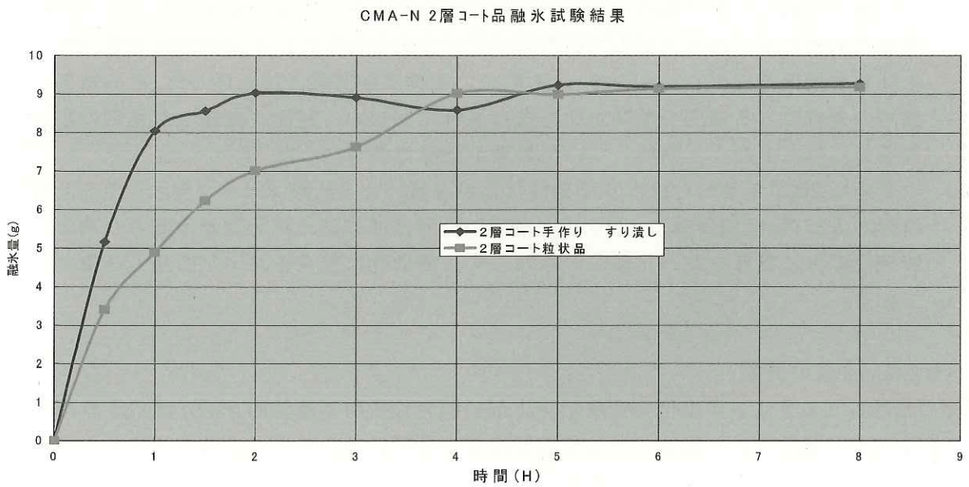
負荷が大きくなる傾向があった。そのため散布作業の現場からは、散布回数を削減するため、凍結防止効果が長く続く凍結防止剤の登場が期待されていた。そのため、融氷速度の早い、すなわち即効性を重視される塩化物系の凍結防止剤に対して、凍結防止効果が長く続く、すなわち持続性を重視する商品を開発することにした。その結果、1995年度に最初に市場に投入した商品のＣＭＡ（酢酸カルシウム・マグネシウム、商品名ダイセロール）は酢酸とドロマイトの２種類の原料から生産することになった。

その後、比較的温暖な地域の道路管理者から、持続性だけでなく、即効性を強化してほしいとの要望が上がってきた。また、酢酸系凍結防止剤特有の粉塵と臭いを抑制する要望も寄せられた。そこで、即効性強化と粉塵抑制を目的にしたＣＭＡＮ５０（酢酸カルシウム・マグネシウム・ナトリウム、商品名ダイセロールＮ５０）を2000年度に開発、市場に投入した。ＣＭＡＮ５０の原料は酢酸とドロマイトに加え、ソーダ灰（炭酸ナトリウム）の３種類の原料になった。ＣＭＡＮ５０に含まれる酢酸ナトリウムは溶解度が大きく、ＣＭＡより速効性がある成分である。また、酢酸ナトリウムはＣＭＡと比較して潮解性があり、粉塵防止の効果も備えている。

2） 共同研究での取り組み

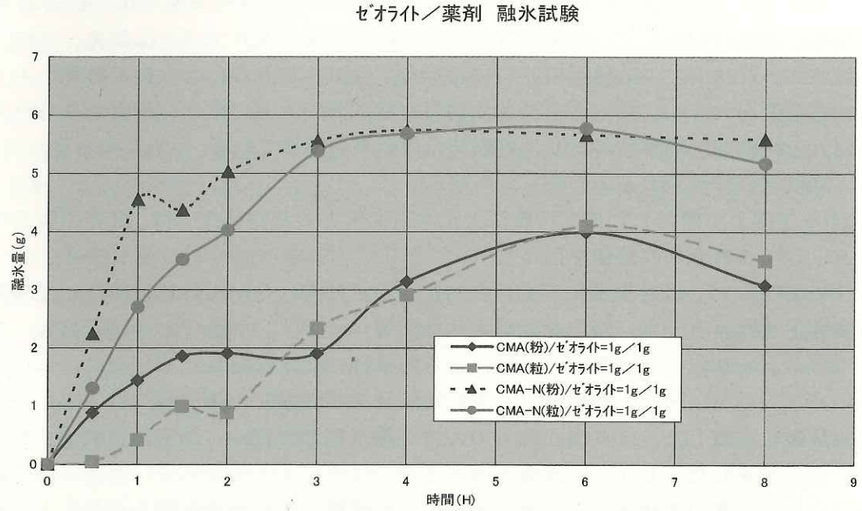
2000年度より開始した独立行政法人土木研究所との共同研究では、既存の製品のＣＭＡ、ＣＭＡＮ５０の評価を行った。

2001年度には、既存製品に即効性を持たせる目的で、ＣＭＡ顆粒を核にして外側に酢酸ナトリウム（三水）粉末を固着させた２層コーティング品である、ＣＭＡ－Ｎ２層コート品を試作した。薬剤の粒径による即効性の変化を観察するために、５ｍｍふるいパス 1.2ｍｍオンの粒状品と、同じ粒状品をすり潰した微粉状のものを比較して融氷試験を実施した。すり潰したものの方が融氷速度が速く、即効性が改善されていることが判明した。しかし、実際の散布作業では風による粉立ちや、微粉による散布装置内での閉塞が予想されたため、大樹町での試験には粒状品を持ち込むことになった。



図－4.1.3　粒径による融氷速度の差

また、ＣＭＡにゼオライトを混合させたもの、ＣＭＡＮ５０（酢酸カルシム・マグネシウム・ナトリウム）にゼオライトを混合させたものを試作した。ＣＭＡまたはＣＭＡＮ５０にゼオライトを等重量の割合で混合させたものである。これも先ほどのＣＭＡ－Ｎ２層コート品と同様に、５ｍｍパス 1.2ｍｍオンの粒と、同じ粒をすり潰した粉とを試作して、即効性にどのような差がでるか融氷速度を測定してみた。この場合も、粒径が小さい方が融氷速度は大きかった。即効性ではＣＭＡＮ５０＋ゼオライトの方がＣＭＡ＋ゼオライトより大きかったが、ＣＭＡＮ５０は先ほどのＣＭＡ－Ｎ２層コート品で改良して試作しているので、持続性を期待する目的でＣＭＡ＋ゼオライト品を大樹町の現場実証試験にエントリーさせることにした。



図－4.1.4　ゼオライト添加品粒径による融氷速度の差

以上、ＣＭＡ－Ｎ２層コート品（酢酸カルシウム・マグネシウム・ナトリウム粒の外側に酢酸ナトリウム（三水）粒をコーティングしたもの）と、ＣＭＡ＋ゼオライトを同じ重量比で混合したもので、大樹町での現場実証試験に持ち込んだ。その結果は、車両の走行による風圧で薬剤が吹き飛ばされてしまい、路面へ散布した薬剤の定着、残留が以外に少なく、期待していた効果が発揮できなかった。

さらに 2002 年度からはより即効性に重点を置いた、酢酸ソーダ（無水）の商品化の検討に入った。全国規模で、より広い地域に酢酸系凍結防止剤を普及させるためには、持続性のみに重点をおいた製品のみならず、即効性に重点をおいた商品も必要だからである。

4.1.5　今後の展望

上述したように、非塩化物型凍結防止剤の開発は酢酸系凍結防止剤に集約された感がある。販売開始以後、顧客である道路管理者の要望にあわせて、品種も増加し、専用の散布機械も登場し、性能も改良が重ねられている。生産者のみならず、道路管理者の側からも個別の状況に対応した製品や使用方法を模索している。

その一例をあげると、厳寒地域でのＣＭＡ散布の検討がある。気温マイナス 10℃を下回るような厳寒地域では、塩化ナトリウムがの性能が低下するため、砂利が滑り止め材としての散布されることがある。近年普及してきた高機能舗装への砂利の散布は、舗装面の目詰まりを発生させることが問題である。そこで砂利に代わってＣＭＡを散布する方法の検討が行われている。また、環境にある程度の影響は避けられないが、ＣＭＡに塩化物（塩化ナトリウム、塩化カルシウム）を混合して散布する方法も採用されている。

凍結防止剤の性能に関して、道路管理者の要求は大別すると即効性と持続性のバランスの比率に行き着く。個々の道路管理者の環境への配慮、予算、要求性能、散布方法に個別に対応していくことができる商品群、散布方法、散布機械を提案できることが、今後の酢酸系凍結防止剤メーカーに必要であろう。

4.1.6　トータルでのコスト評価の必要性

1990 年代と比べて 2000 年代になると、公共予算の削減が進んだ。加えて、塩の専売法の事実上の廃止で安価な外国塩の輸入が大幅に増加し、高価な酢酸系凍結防止剤の散布量は減少傾向にある。凍結防止剤の環境への影響や性能よりも、コストが第一に優先される時代に入った。

酢酸系凍結防止剤も含め、塩化物より高価な凍結防止剤が普及するには、コストに対する評価方法を変えることが必要と筆者は考える。単純な薬剤のコスト比較ではなく、環境の被害や社会資本の維持費まで含めてトータルで計算して比較することが必要である。低コストだからといって、塩化物を大量に散布すると、環境への被害、車両や橋梁を始めとする社会資本の劣化に伴なう維持費が上昇する。

また、酢酸系凍結防止剤の中でも持続性のある商品を選択して散布すれば、散布作業の回数が減り、散布費用の削減が期待できる。塩化物は速効性はあるが、二次凍結（再凍結）の問題があるので、散布回数、数量が予想以上に増えることがある。

このように発生する間接的なコストを合計すると、安価だからといって塩化物を散布することが合理的だとは断言できない。トータルでコストを試算するようにすれば、酢酸系凍結防止剤を散布する方が合理的になり、採用される場所が増えるはずである。

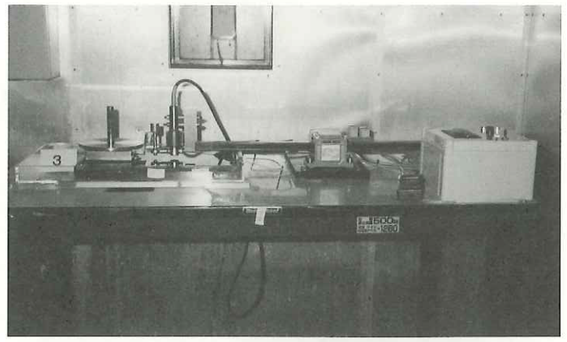
4.2　室内試験結果報告

非塩化物型の新規凍結防止剤を開発するにあたり、平成 12 年度から平成 14 年度にかけ、公募により選定した民間 3 社（ダイセル化学工業㈱、北海道日本油脂㈱、米山化学工業㈱）と共同研究を実施した。凍結防止剤の基本性能を比較するため、凝固点、融氷量、金属腐食等に着目し、各種凍結防止剤について評価した。また、これらの結果に基づいて試作された非塩化物型凍結防止剤の効果を、簡易すべり摩擦測定装置を用いて評価した。

4.2.1　室内試験用すべり摩擦試験方法について

凍結防止剤の基本性能の評価は、凝固点、融氷量等の測定により可能だが、これらの物性値は雪氷路面の安全管理上問題となる路面の滑りやすさとは直接には結びつかない。凍結防止剤を使用する一義的な目的は、凍結による路面とタイヤの間のすべり摩擦力の低下を防ぎ、安全な交通を確保することにある。また、実際の道路で凍結防止剤の効果を評価する場合にも、物理的な指標として重要となるすべり摩擦係数の測定が行われる。しかし、現道におけるすべり摩擦の測定では、路面や気象条件が千変万化であるため、特定の場所、日時における測定結果の相対的な比較は可能であるが、測定場所、日時が異なる測定結果を基に凍結防止剤の比較評価をすることが困難である。そこで、凍結防止剤の効果をすべり易さと結び付けて評価するため、室内で簡易にすべり摩擦（動摩擦）力を測定する装置を開発した。すべり摩擦測定装置の概要を図－4.2.1 及び図－4.2.2 に、主な仕様を表－4.2.1*に示す。

図－4.2.1　簡易すべり摩擦抵抗測定装置概略図



図－4.2.2　簡易すべり摩擦抵抗測定装置

表－4.2.1 すべり摩擦測定装置仕様

項　目	仕　様
けん引装置	リニアドモーター
けん引速度	1～5cm/s
試験容器	L500×W300×40mm（アクリル製）
スライダーゴム	100×100×10mm 路面すべり測定標準タイヤ
スライダー荷重 (N)	20、50、100、150
摩擦力検出	ビーム型ロードセル（200N）

簡易すべり摩擦抵抗測定装置は、机上に設置されたアクリル製試験体容器内でスライダーを滑らせ、その際発生する力をロードセルによって検出する単純な構造を有する。接地面となるスライダー下部には、縦横 10cm 厚さ 1cm のゴム板を取り付けた。ゴムの材質は日本で路面すべり測定標準タイヤとして使用されているものを使用した。垂直荷重はスライダー上部に載せる重りによって 20～150N の範囲で調整可能である。ロードセルは垂直荷重を考慮して 200N のものを使用した。

けん引部分はリニアドモーターを使用し、コントロールボックスで、前進、後退、速度調節を行う。けん引速度は 1～5cm/s の範囲で調整可能である。また、けん引高さは回転モーメントを防ぐため、極力すべり面に近い方が望ましい。そこで、ビーム型ロードセルを使用し、けん引高さを調整できる構造となっている。実際の測定ではすべり面からの高さ 15mm 程度でけん引した。アクリル製の容器は 30×50cm で、スライダー可動距離は約 23cm である。目標とする一定荷重を搭載した状態のスライダー（静止荷重部分）を水平方向に一定速度で移動させた。その時路面（各種状態時）とスライダー間に発生する、すべり摩擦抵抗力をロードセルによって検出し、動ひずみ計、AD 変換機を介して、記録装置（パーソナルコンピュータ）にデータを収集した。測定されたデータは別途処理（データ整理）し、すべり摩擦係数を求めた。データ整理はパーソナルコンピュータに入力された出力電圧(V)を計算によって水平方向力（引張り力）(N) とし、

測定時の垂直荷重によって除し、すべり摩擦係数を求めた。引張り力(N)及び摩擦係数(μ)は、次式によって求めた。

$$引張り力(N)=\frac{出力電圧(V)\times 設定ひずみ率(\times 10^{-6}\varepsilon/V)\times 200(N)}{4003(\times 10^{-6}\varepsilon)} \quad (式-1)$$

$$摩擦係数(\mu)=\frac{引張り力(N)}{垂直荷重(kg)\times 9.8} \quad (式-2)$$

4.2.2　平成 12 年度結果報告

平成 12 年度は試作した簡易すべり摩擦係数測定装置を用い、最適な測定条件等を検討した。

(1)　検討項目及び方法

検討項目及び測定条件を表－4.2.2 に示す。測定はいずれも低温試験室内で所定の温度条件で行った。試験液の量は、表面が完全に液で覆われる量とし、ガラスビーズの場合 430cc とした。データのサンプリング周期は 100Hz とした。

表－4.2.2　検討項目及び測定条件

検討項目	測定条件			
	試験面	垂直荷重 (N)	けん引速度 (cm/s)	試験液
すべり面の検討	砕石(5～10mm) ｱﾙﾐﾅﾎﾞｰﾙ(φ10mm) ｶﾞﾗｽﾋﾞｰｽﾞ(φ10mm)	50	1, 3, 5	蒸留水(5℃) NaCl5%水溶液(-5℃)
ばらつきの検討	ｶﾞﾗｽﾋﾞｰｽﾞ	20,50,100,150	1,3,5	蒸留水(5℃)
凍結防止剤の評価	ｶﾞﾗｽﾋﾞｰｽﾞ	100	3	NaCl5%, CMA5%水溶液 (-5,-10,-15,-20,-25℃)

(a)　すべり面の検討

すべり摩擦力すなわち動摩擦力は接地面の状態によって変化するため、評価に適したすべり面を検討した。路面の凹凸を実現するために川砂利（5～10mm）、アルミナボール（φ10mm）、ガラスビーズ（φ10mm）の 3 種類の粗面を用いた。粗面は、それぞれの材料をアクリル容器の底面にエポキシ系の接着剤で接着して作製した。

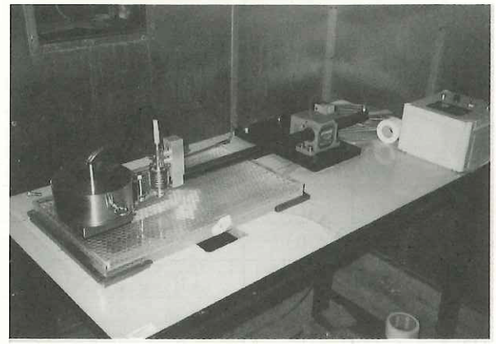
(b)　同一試験体におけるばらつきの検討

ガラスビーズ面を用いて作製した同一試験体で 3 回の測定を行い、測定値のばらつきを調べた。

(c)　凍結防止剤の評価

ガラスビーズを接着した試験体を 3 個用意し、垂直荷重 100N、けん引速度 3cm/s を中心に摩擦力を測定した。凍結防止剤として塩化ナトリウム（NaCl；試薬）及び酢酸カルシウム・マグネシウム（CMA；市販品）を用いた。濃度 5%の水溶液を入れた試験体容器

を所定温度の低温試験室内に設置し、12 時間以上経過後に測定を行った。-20℃までは氷と溶液が混在しており、試験前に氷を砕いて一様なシャーベット状態とした。-25℃ではいずれも全面凍結したため、そのまま測定した。



図－4.2.3　すべり摩擦抵抗測定試験実施状況（ガラスビーズ試験体、垂直荷重 100N）

(2)　検討結果

(a)　すべり面の検討

塩化ナトリウム 5%水溶液を用い、-5℃のシャーベット状態で測定した結果を図－4.2.4 に示す。川砂利の場合、すべり面の凹凸が一様でないため摩擦力の変動が大きく、なおかつ、けん引速度を上げることにより振動が大きくなった(図－4.2.4(a)～(c))。アルミナボール、ガラスビーズでは、同一試験面内では比較的安定した摩擦力が得られた。川砂利、アルミナボール、ガラスビーズ、3 種類の試験体を比較した結果、最も安定した波形が得られるものがガラスビーズであったため、以降の実験では粗面としてガラスビーズを採用することにした。

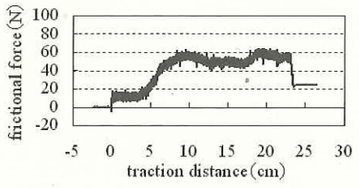
(b)　同一試験体におけるばらつきの検討

同一のガラスビーズ試験体を用いて 3 回の測定を行い、測定値のばらつきを調べた結果を表－4.2.3 に整理した。すべり摩擦力として移動距離 1～6cm の間の 5cm の測定値の平均値を採用した。すべり摩擦力の変動係数[注1)] は垂直荷重が大きくなるほど、また、けん引速度が速くなるほど小さくなる傾向が認められた。ただし、けん引速度が速くなると個々の測定結果においてノイズが大きくなる傾向が認められた。本検討結果より、比較的ばらつきが少なく安定した結果が得られる標準的な測定条件として、垂直荷重 100N、けん引速度 3cm/s を採用した。表－4.2.3 には摩擦力の平均値を垂直荷重で除した値をすべり摩擦係数として示した。本装置による測定結果では、ガラスビーズの湿潤面でのすべり摩擦係数は垂直荷重及びけん引速度によって 0.26～0.45 の範囲で変化し、垂直荷重が大きくなるほど、またけん引速度が大きくなるほどすべり摩擦係数が小さくなる傾向を示した。

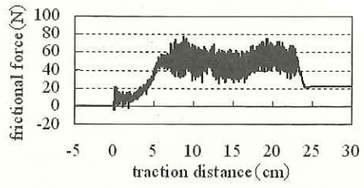
注1) 変動係数とは、ある期間の標準偏差を同期間の平均値で割ったもので、数値が大きいほど激しく変動している事を示す。

表－4.2.3　ばらつきの検討結果

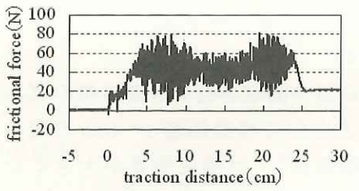
荷重 a (N)	速度 (cm/s)	摩擦力 平均値 b (N)	標準偏差 (N)	変動係数 (%)	すべり 摩擦係数 b/a
20	1	8.9	1.40	15.8	0.445
	3	7.6	0.84	11.1	0.380
	5	6.8	1.08	15.9	0.340
50	1	19.6	1.88	9.6	0.392
	3	16.3	0.99	6.0	0.326
	5	14.8	0.23	1.6	0.296
100	1	35.6	3.13	8.8	0.356
	3	30.0	1.86	6.2	0.300
	5	27.3	1.97	7.2	0.273
150	1	50.1	4.40	8.8	0.334
	3	42.3	2.07	4.9	0.282
	5	39.5	1.86	4.7	0.263



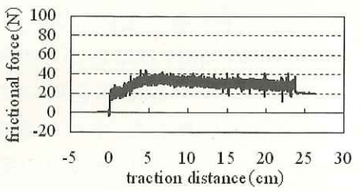
(a) river gravel, traction speed: 1cm/s



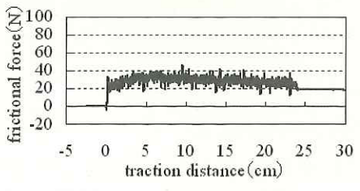
(b) river gravel, traction speed: 3cm/s



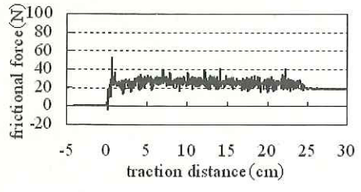
(c) river gravel, traction speed: 5cm/s



(d) alumina ball, traction speed: 1cm/s

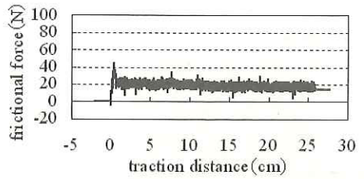


(e) alumina ball, traction speed: 3cm/s

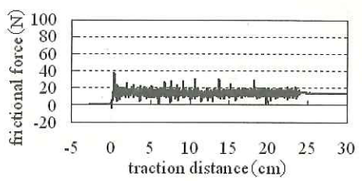


(f) alumina ball, traction speed: 5cm/s

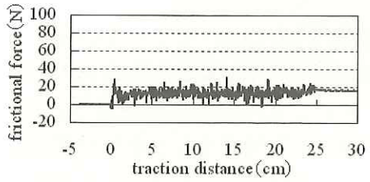
図－4.2.4　川砂利、アルミナボール、ガラスビーズでの測定の比較（その 1）
（5% NaCl 水溶液、-5℃、垂直荷重 50N）



(g) glass bead, traction speed: 1cm/s

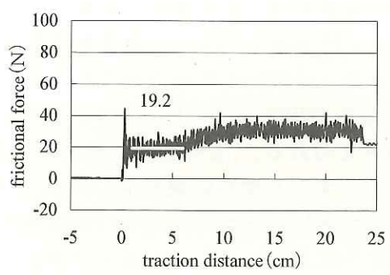


(h) glass bead, traction speed: 3cm/s

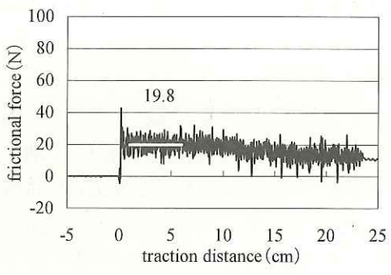


(i) glass bead, traction speed: 5cm/s

図－4.2.4　川砂利、アルミナボール、ガラスビーズでの測定の比較（その 2）
（5% NaCl 水溶液、-5℃、垂直荷重 50N）

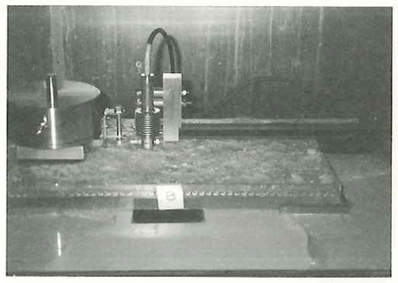


(a) NaCl 5%　aqueous solution

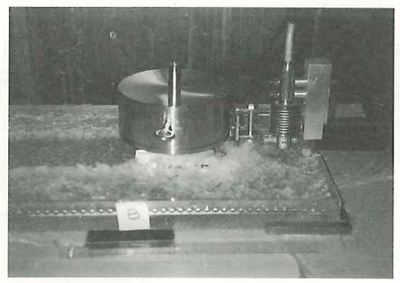


(b) CMA 5%　aqueous solution

図－4.2.5　凍結防止剤評価結果の例（ガラスビーズ面、-5℃、垂直荷重 100N、けん引速度 3cm/s）



(a)試験前



(b)試験後

図－4.2.6　すべり摩擦力測定試験前後のすべり面の様子（ガラスビーズ面、NaCl5%、-15℃、垂直荷重 100N、けん引速度 3cm/s）

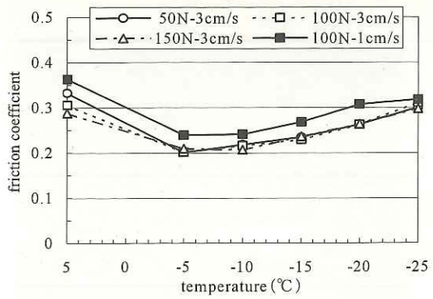
(c)　凍結防止剤の評価

測定結果の例を図－4.2.5 に示す。測定条件によって、移動距離 7～10cm 付近以降で摩擦力の変動が認められるケースがあった。図－4.2.6 (b)に示したように、ゴム板が前方にあるシャーベット状の氷を掻き分けて移動するため、接触面の状態が変化するためと考えられる。10cm 以降の摩擦力は、蒸留水で湿潤状態とした場合のレベルとほぼ同等である。本検討結果より、比較的変動の少ない移動距離 1～6cm の間の 5cm の測定値の平均値を摩擦力として結果を整理した。異なる試験体 3 個の摩擦力の平均を垂直荷重で除してすべり摩擦係数とした。

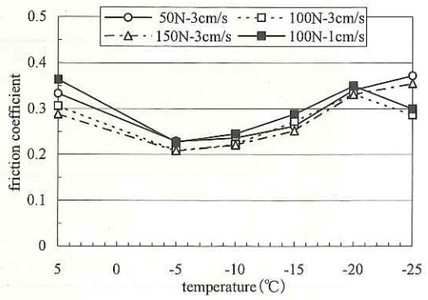
NaCl5％水溶液を用いた場合の測定結果を図－4.2.7 に、CMA5％水溶液の結果を図－4.2.8 に示す。なお、5℃の数値はガラスビーズ試験体に蒸留水を入れた場合のすべり摩擦係数（0.30）である。NaCl、CMA ともに、すべり摩擦係数は-5℃で 0.2 程度に低下した後、さらに温度が低下するとともに増加する傾向を示した。-5℃～-20℃の範囲では、NaCl、CMA ともにシャーベット状態であったが、5℃の湿潤時と比較すると、摩擦係数に及ぼす荷重の影響は小さくなった。

垂直荷重 100N、けん引速度 3cm/s における両者の比較例を図－4.2.9 に示す。CMA の方がすべり摩擦係数が若干高めの傾向を示しているが、ほぼ同レベルと判断される。図－4.2.9 には参考として、アクリル容器に氷板を作製して同一条件で測定した場合のすべり摩擦係数も示した。氷板面でのすべり摩擦係数は、シャーベット状のガラスビーズ面よりも高い結果となった。また、-5℃では 0.35 程度であるが、温度低下とともにすべり摩擦係数が増加し、-25℃では 0.66 となった。凍結防止剤水溶液で見られた、温度低下とともにすべり摩擦係数が大きくなる現象の要因として、図－4.2.9 に見られる氷との摩擦係数の上昇、溶液相の粘性の増加が考えられる。

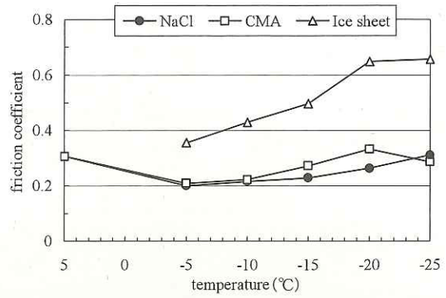
本試験結果より、CMA は NaCl と同等以上のすべり摩擦係数を示しており、安全性の面でも同等の効果が期待される。今回の測定で使用したガラスビーズ試験体は、蒸留水を入れた湿潤時のすべり摩擦係数が 0.3 程度と低かった。そのため、氷板面のすべり摩擦係数と比較して、凍結防止剤水溶液使用時のすべり摩擦係数が低かった可能性が考えられる。



図－4.2.7　5% NaCl 水溶液を用いた場合



図－4.2.8　5% CMA 水溶液を用いたのすべり摩擦係数



図－4.2.9　NaCl と CMA の比較（垂直荷重 100N、けん引速度 3cm/s）

(3)　平成 12 年度室内試験結果のまとめ

凍結防止剤の評価手法として、室内で簡易にすべり摩擦力を測定する装置を試作し、最適測定条件を明らかにした。本装置により、すべり摩擦力を室内において精度よく測定することが可能となった。

4.2.3　平成 13 年度結果報告（各種凍結防止剤室内試験結果）

平成 13 年度は予備検討として、市販の凍結防止剤で使われている非塩化物成分について、凝固点、融氷量、金属腐食等の項目に着目し、室内評価試験を行った。これらの結果に基づき、酢酸化合物を中心とした各種凍結防止剤の凍結防止効果について、簡易すべり摩擦力測定装置を用いて評価した。

(1)　各種化合物の予備評価

(a)　検討項目及び方法

①　使用材料

表－4.2.4 及び図－4.2.10 に使用した 11 種類の材料を示す。比較用の塩化物として試薬の塩化ナトリウム及び塩化カルシウムを使用した。非塩化物としては、市販凍結防止剤に使用されている成分を使用した。

②　凝固点

示差走査熱量計（DSC）[注2)] を用いて、凝固点測定を試みた。超純水を用いて表－4.2.4 に示す濃度の水溶液を調整した。降温測定では過冷却が起きるため、窒素雰囲気で-40℃から 25℃まで 5℃/min で昇温させたときの熱量変化を測定した。融解過程で吸熱ピークが現れるが、その接線による補正温度（吸熱ピークの立ち上がり）を便宜的に凝固点とした。吸熱ピークが二つ認められたものは、低温側を共融点と考え、高温側のピークを採用した。

③　融氷量

プラスチック製の容器に作製した氷の上に凍結防止剤を散布し、経時的に溶液を採取しその質量を測定した。実験は-5℃及び-10℃の低温実験室内で行った。氷の作製には

注2）示差走査熱量計（Differential Scanning Calorimeter; DSC）。試料と基準物質の温度を変化させ、両者に対するエネルギー入力の差を測定する。

蒸留水を使用した。氷の大きさは 135cm^2×厚さ 2cm とした。凍結防止剤散布量は 5g 及び 10g とした。1m^2 当たりの散布量は 370g 及び 740g に相当する。

表－4.2.4　室内評価試験に使用した凍結防止剤と DSC によって求めた凝固点

No.	種類	形状	凝固点および鋼板腐食試験に使用した量*(溶液 1L あたり)	凝固点 (℃)
1	塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	固体	58g	-8.8
2	塩化ｶﾙｼｳﾑ（二水）	固体	73g (55.1g)	-7.1
3	酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ (CMA)＋塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	固体	96g	-10.9
4	尿素＋塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	固体	59g	-8.1
5	酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ（三水）	固体	82g (49.4g)	-5.5
6	酢酸ｶﾘｳﾑ	50%水溶液	196g (98g)	-9.9
7	酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ (CMA)	固体	152g	-10.8
8	酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ･ｶﾘｳﾑ	固体	139g	-11.1
9	尿素＋酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ	40%水溶液	355g (142g)	-8.8
10	尿素	固体	60g	-4.9
11	蟻酸ﾅﾄﾘｳﾑ	固体	68g	-8.9

＊（　）内は水分を除いた有効成分質量を示す。


(a)塩化ナトリウム


(b)塩化カルシウム（二水）


(c)酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ(CMA)+塩化ﾅﾄﾘｳﾑ

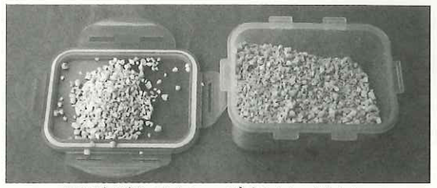

(d)尿素+塩化ナトリウム

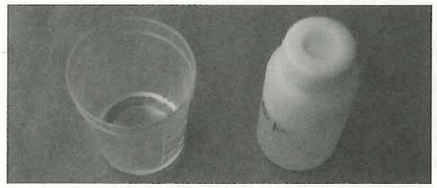

(e)酢酸ナトリウム(三水)


(f)酢酸カリウム

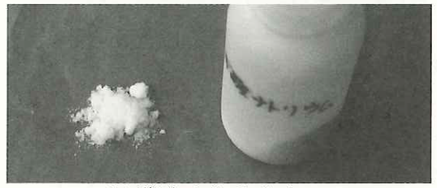
図－4.2.10　室内評価試験に使用した凍結防止剤（その 1）


(g)酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ(CMA)


(h)酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ･ｶﾘｳﾑ


(i)尿素+酢酸ナトリウム

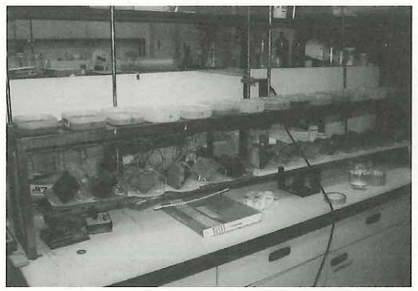

(j)尿素

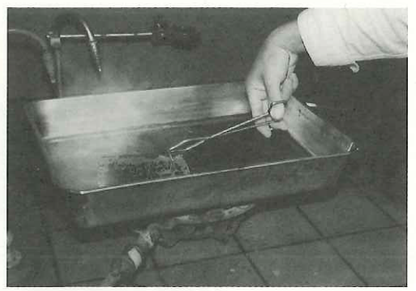

(k)蟻酸ナトリウム

図－4.2.10　室内評価試験に使用した凍結防止剤（その 2）

④　鋼板腐食性

鋼板（JIS G 3141 冷間圧延鋼板）を用いて、乾湿繰り返しによる腐食試験を行った。鋼板はあらかじめ弱酸を用いて表面を磨き、アルコールで脱脂した。表－4.2.4 に示す凍結防止剤の水溶液中への浸漬及び室内空気中への放置を 12 時間毎に繰り返した。これを 7 日間（7 サイクル）行い、腐食生成物を弱酸で溶解し、腐食減量を測定した。測定結果は、腐食速度を示す 1 日当たり 1dm^2 当たりの腐食減量（mdd ; mg/dm^2/day）で整理した。


(a)浸漬後、室内空気中へ放置


(b)ｸｴﾝ酸二ｱﾝﾓﾆｳﾑ水溶液で除錆

図－4.2.11　乾湿繰返し腐食試験

(b)　検討結果

①　凝固点

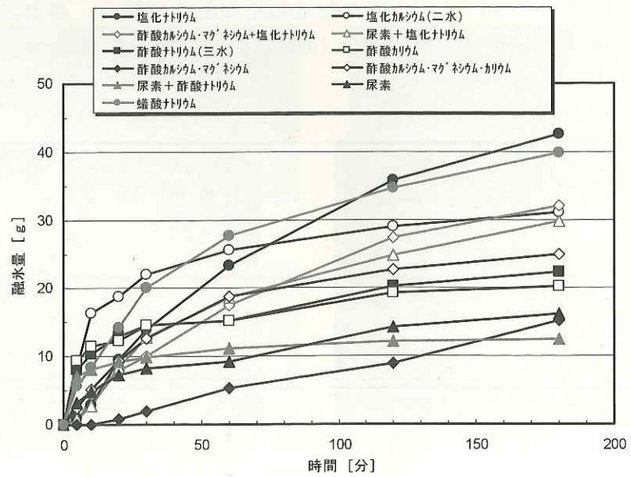
凝固点測定結果を表－4.2.4 に示す。水溶液の濃度は 1mol/L を目安としたが、各凍結防止剤でイオンモル濃度が異なるため、イオンモル濃度が高いものほど、凝固点が低くなったと考えられる。質量散布量に対する効果という視点で見ると、非塩化物の中では比較的分子量の小さい蟻酸ナトリウムや酢酸ナトリウムは、塩化ナトリウムに近い効果が期待できる。

DSC による昇温測定法では、水溶液の状態から一旦低温に下げて凍結防止剤を再析出させるため、とくに混合物や複塩を使用した場合に初期の凍結防止剤とは異なる物質に変化する恐れがある。また、複数のピークが表れることもある。したがって、凝固点の測定には JIS や ASTM に規定されている降温法が適している。

②　融氷量

融氷量測定結果の一例として、試験温度-5℃、散布量 5g における結果を図－4.2.12 に示す。散布直後から 30 分後までは、塩化カルシウムの融氷量が最も多く、その即効性が確認された。60 分以降は塩化ナトリウム及び蟻酸ナトリウムの融氷量が多かった。非塩化物の中では蟻酸ナトリウムの融氷能力が最も大きく、塩化物に匹敵する効果が認められた。次いで、塩化物を混合したタイプの融氷能力が大きかった。酢酸ナトリウム、酢酸カリウム、酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウムの 3 種は塩化物混合系に匹敵する融氷能力が認められた。ただし、酢酸ナトリウムは三水塩、酢酸カリウムは 50%水溶液を使用した結果であるため、純物質を使用するとさらに大きな効果が現れるものと考えられる。尿素および酢酸カルシウム・マグネシウムの融氷能力は小さかった。

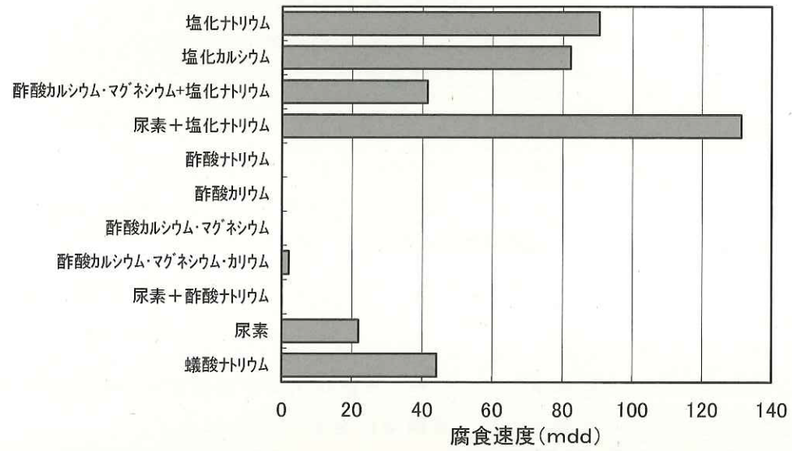
本実験は、氷の上に凍結防止剤を散布するものであり、本来の凍結防止剤の効果的な使用方法とは言えない。本実験結果からも分かるように、氷を溶かすためにはかなり多量の凍結防止剤が必要となるためである。また、氷を溶かす場合、一時的に氷の上に溶液が出来るため非常にすべり易い危険な状態が出現する。



図－4.2.12　融氷量の継時変化（-5℃、5g）

③　鋼板腐食性

鋼板の腐食速度を求めた結果を図－4.2.13 に示す。塩化ナトリウムおよび塩化カルシウムは 80～90mdd の腐食速度を示した。尿素と塩化ナトリウムの混合物の腐食速度が 130mdd と最も大きかった。酢酸カルシウム・マグネシウムと塩化ナトリウムの混合物では 40mdd 程度であること、その他の酢酸化合物単独ではほとんど腐食が認められなかったことから、酢酸化合物は腐食抑制効果があると考えられる。蟻酸ナトリウムは酢酸カルシウム・マグネシウムと塩化ナトリウムの混合物と同程度の 40mdd の腐食速度であった。



図－4.2.13　鋼板腐食速度

(2)　すべり摩擦による凍結防止剤の評価

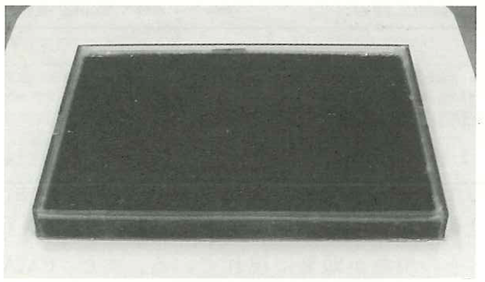
(a)　検討項目及び方法

①　実験装置の概要

簡易すべり摩擦抵抗測定装置の詳細については、4.2.1 節を参照されたい。

②　試験体の概要

試験体となる基本路面は図－4.2.14 に示すように平滑面のアクリル樹脂製の内部に密粒度アスファルト舗装路面を施工したものを使用した。



図－4.2.14　密粒度アスファルト舗装路面試験体

③　凍結防止剤の種類

本実験に使用した凍結防止剤の種類を表－4.2.5 に示す。

表－4.2.5　すべり摩擦抵抗測定試験に使用した凍結防止剤

凍結防止剤名称	主成分	メーカー
CMA-100（ﾀﾞｲｾﾛｰﾙ）	酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ (CMA)	ダイセル化学工業（株）
CMA-N（ﾀﾞｲｾﾛｰﾙ N）	CMA＋酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ	ダイセル化学工業（株）
CMA-N 2 層コート品	CMA に酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ (三水)をｺｰﾃｨﾝｸﾞ	ダイセル化学工業（株）
CMA-N ｾﾞｵﾗｲﾄ混合品	CMA-N＋ゼオライト	ダイセル化学工業（株）
カマグ S 改良品	酢酸カリウム＋グリセリン	北海道日本油脂（株）
酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ（造粒品）	酢酸ナトリウム	北海道日本油脂（株）
酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ/ｾﾞｵﾗｲﾄ	酢酸ナトリウム＋ゼオライト	北海道日本油脂（株）
メルトップ	酢酸ｶﾙｼｳﾑ・ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ・ｶﾘｳﾑ	米山化学工業（株）
ﾒﾙﾄｯﾌﾟ改良品	酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ･ｶﾘｳﾑ+炭酸塩	米山化学工業（株）
塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	（比較凍結防止剤）	

④　実験方法

9 種類の非塩化物型凍結防止剤 7%水溶液（散布量 150g/m^2）について温度を変化させた場合のすべり摩擦力を測定した。また、凍結防止剤を事後散布した場合のすべり摩擦力の経時変化についても測定した。実験条件を表－4.2.6 に示す。

表－4.2.6　各種凍結防止剤の評価実験及び事後散布効果検証実験の条件

項　目	非塩化物型凍結防止剤の評価実験条件	事後散布効果の検証実験条件
試験体数	各凍結防止剤に対して 2 試験体	各凍結防止剤に対して 1 試験体
液量	水膜厚 2mm 相当	水膜厚 2mm 相当
凍結防止剤散布量	150g/m^2（7%水溶液）	150g/m^2（7%水溶液）
試験温度	2℃～-10℃	-5℃
速度	3cm/s	3cm/s
荷重	10kg	10kg
測定時間	散布前、散布後 2, 3, 4, 5, 6, 7 時間	散布後 30 分、1, 2, 3, 4, 5 時間
測定回数	各条件 2 回	各条件 2 回

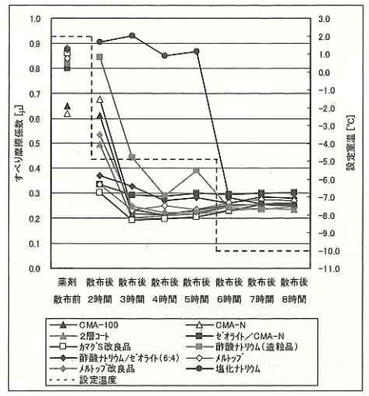
(b)　検討結果

①　非塩化物型凍結防止剤の評価

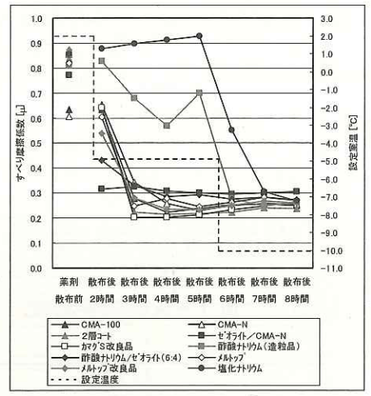
実験結果を図－4.2.15 に示す。酢酸ナトリウム（造粒品）は、9 種類の非塩化物凍結防止剤の中で凍結防止剤としての効果が最も高く、凍結防止剤散布 5 時間後から 6 時間程度後まで効果が見られる結果となった。特に、走行位置 6～11cm、11～16cm、1～16cm の読み取り位置で、その現象が顕著に現れている。また、CMA-N 及び CMA-100 については、凍結防止剤散布後の効果持続時間は酢酸ナトリウム（造粒品）程ではないものの、

他 8 種類の凍結防止剤（酢酸ナトリウム除く）よりは凍結防止剤としての効果が見られた。メルトップ改良品及び 2 層コートについては、CMA-N 及び CMA-100 よりは更に効果の持続時間は短いが、残りの凍結防止剤（酢酸ナトリウム、CMA-N、CMA-100 を除く）よりは、凍結防止剤としての効果が見られる。

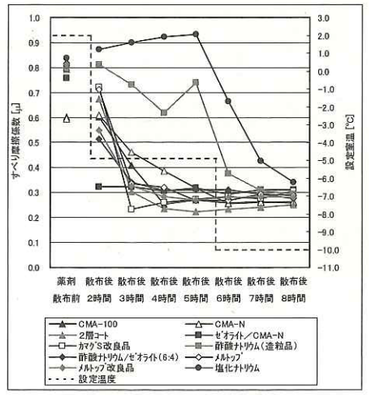
酢酸ナトリウム/ゼオライト（6：4）及びゼオライト/CMA-N は、凍結防止剤としての効果は小さいが、時間経過に伴う減少も少ない。これはゼオライトの大きな粒が最後の測定時（凍結防止剤散布後 8 時間）まで試験体上に残っており、スライダーがこの粒の上を振動しながら走行していたためである。したがって、ゼオライトの粒には滑り止めの効果があり、僅かながらすべり摩擦係数に影響をもたらしていると考えられる。メルトップ及びカマグ S 改良品は、読み取り位置により散布 2 時間後の値のみ大きい値を示しているが、全体的に凍結防止剤としての効果は低い結果となった。なお、塩化ナトリウムは非塩化物型凍結防止剤に比較して効果が大きく現れ、散布 7 時間後まで効果が見られた。



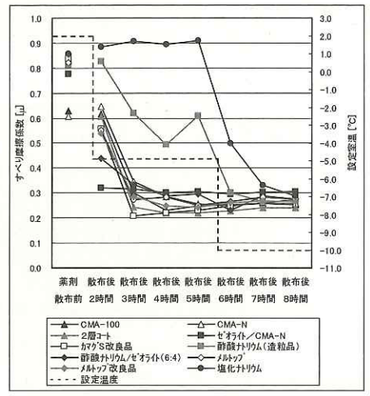
①走行位置 1～6cm の平均値



②走行位置 6～11cm の平均値



③走行位置 11～16cm の平均値

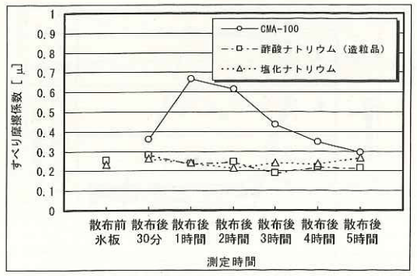


④走行位置 1～16cm の平均値

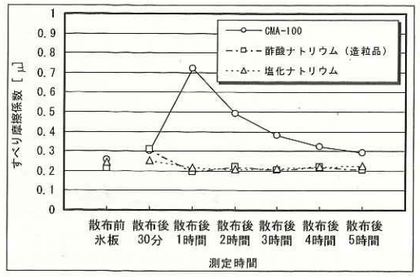
図－4.2.15　非塩化物型凍結防止剤の評価（凍結防止剤散布量 150g/m^2；7%水溶液）

② 事後散布効果の検証

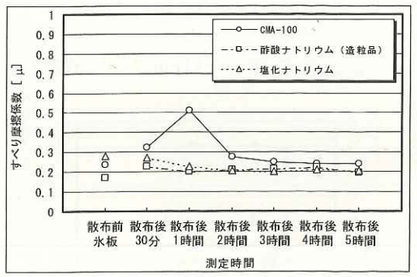
事後散布による凍結防止剤の効果検証実験結果を見ると、図－4.2.16 に示すように酢酸ナトリウム(造粒品)と NaCl は、散布前（氷板）の値からほとんど変わらずに横ばいであり、凍結防止剤の効果は見られなかった。これは、凍結防止剤を散布した部分の氷は溶けたものの、その周りは氷板のまま残っていたためであると考えられる。CMA-100 は散布後 30 分では他凍結防止剤の値とあまり変わらなかったが､1 時間後に急激に高くなった。これは CMA-100 が他の凍結防止剤と比べて溶けるまでに時間がかかる事と関係していると思われる。散布後 30 分ではスライダーは凍結防止剤の粒を転がすように上を走行したために比較的低い値となり、1 時間後には氷板にめり込んだ凍結防止剤の粒の抵抗を受けながら走行したために高い値が出たものと推測される。以上のことから、NaCl、酢酸ナトリウム(造粒品)においては事後散布では何ら効果は無いが、CMA－100 に関しては、事後散布による凍結防止剤の効果があるものと考えられる。



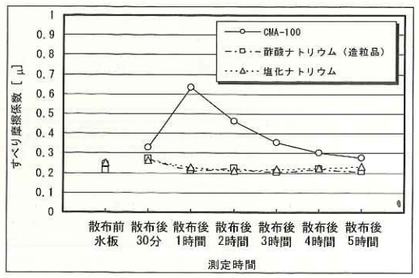
①走行位置 1～6cm の平均値



②走行位置 6～11cm の平均値



③走行位置 11～16cm の平均値



④走行位置 1～16cm の平均値

図－4.2.16 事後散布後の凍結防止剤の検証実験結果

(3) 平成 13 年度室内試験結果のまとめ

室内における凍結防止剤の基本性能の評価項目として凝固点、融氷量、金属腐食を取り上げ、各種化合物を評価した。凍結防止剤としての基本的性能において優れていたのは、非塩化物の中では蟻酸ナトリウムであったが、金属腐食、環境安全性、供給性等を総合的に判断すると、酢酸化合物が適しており、中でもナトリウム及びカリウム塩は分子量も比較的小さく性能面でも優れていると判断された。

4.2.4 平成 14 年度結果報告（酢酸ナトリウム室内試験結果）

平成 14 年度は、13 年度までの検討結果に基づき酢酸ナトリウムを主体とする非塩化物型の凍結防止剤を開発し、室内でのすべり摩擦力による性能評価、鋼板腐食性評価、動植物への影響評価及びコンクリートへの影響評価を行った。

(1) すべり摩擦力測定試験

(a) 検討項目及び方法

① 実験装置の概要

すべり摩擦抵抗測定装置の詳細については、4.2.1 節を参照されたい。

② 試験体の概要

試験体の路面は平滑面のアクリル樹脂製容器の内部に密粒度アスファルト舗装路面を施工したものを使用した。

③ 試験内容

凍結防止剤 7%水溶液（散布量 150g/m^2）について、表－4.2.7 に示す試験条件ですべり摩擦力測定試験を行った。実験の手順は以下の通りである。

1．低温実験室においてアスファルト試験体に水を入れ 2℃で一定にしたのち、薬剤を散布する。
2．温度設定は、散布 1.5 時間後に-5℃、5.5 時間後に-10℃にする。
3．すべり摩擦の測定は、薬剤散布前及び 2、3、4、5、6、7、8 時間後に行う。
4．各測定時に写真撮影、路面温度、室温を記録する。

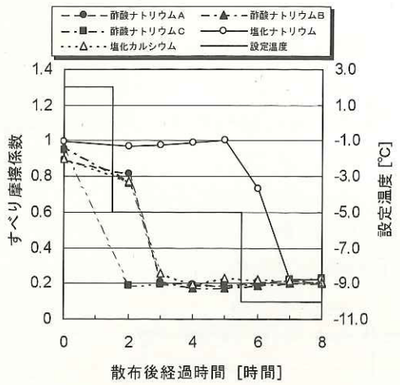
表－4.2.7 すべり摩擦力測定試験の試験条件

項 目	内 容	備 考
凍結防止剤種類	酢酸ナトリウム A	粒状（無水）
	酢酸ナトリウム B	粒状（無水）
	酢酸ナトリウム C	粒状（三水）
	塩化ナトリウム	粒状
	塩化カルシウム	粒状（二水）
試験体数	各凍結防止剤に対して 2 試験体	
液量	水膜厚 2mm 相当	
凍結防止剤散布量	150g/m^2（7%水溶液）	
試験温度	2℃～-10℃	
速度	3cm/s	
荷重	100N	
測定時間	散布前、散布後 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 時間	
測定回数	各条件 2 回	

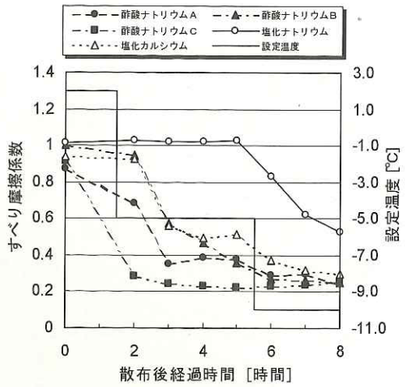
(b) 検討結果

図－4.2.17 に各凍結防止剤のすべり摩擦力測定結果を示す。非塩化物型凍結防止剤の

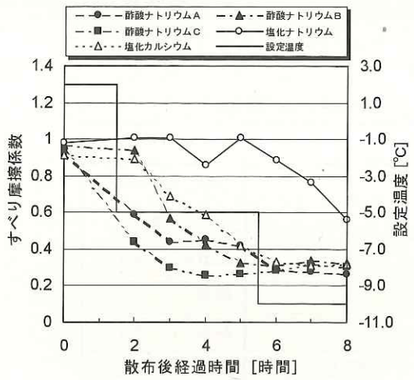
すべり摩擦係数は全体的に、塩化物型凍結防止剤に比べて低くなっていることが明らかとなった。非塩化物型凍結防止剤の中で凍結防止効果を比較すると、酢酸ナトリウムB＞酢酸ナトリウムA＞酢酸ナトリウムCとなっている。また、すべての走行区間において、酢酸ナトリウムBは塩化カルシウムに近いすべり摩擦係数で推移していることが明らかとなった。



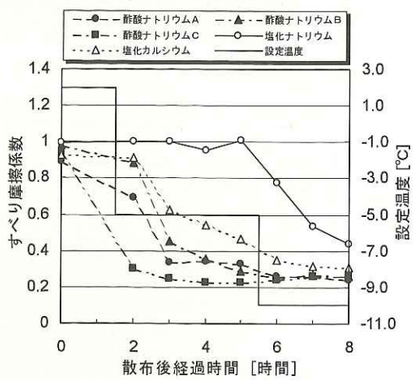
①走行位置 1～6cm の平均値



②走行位置 6～11cm の平均値



③走行位置 11～16cm の平均値



④走行位置 1～16cm の平均値

図－4.2.17　各凍結防止剤のすべり摩擦力測定結果　（散布量；150g/m^2、荷重；10kg、速度；3cm/s）

(2)　鋼板腐食試験

(a)　検討方法

凍結防止剤水溶液による鋼板腐食への影響を JIS Z 2371「塩水噴霧試験方法」に準じて評価した。凍結防止剤としては酢酸ナトリウム（無水）及び塩化ナトリウムを用い、複合サイクル試験機（スガ試験機：ISO-3-CY.R 型）を使用して実験を行った。実験条件を表－4.2.8 に示す。

(b)　検討結果

①　重量法による評価

重量法に基づいて腐食試験前後の重量を測定し、凍結防止剤水溶液の腐食減量に及ぼす影響を評価した。腐食減量の継時変化を図－4.2.18 に示す。実験開始から 1000 時間までの腐食減量は、①塩水噴霧による鋼板＞②酢酸ナトリウム水噴霧による鋼板＞③酢酸ナトリウム水噴霧による亜鉛メッキ鋼板＞④塩水噴霧による亜鉛メッキ鋼板の順に前者程大きい。腐食減量の時間指数に着目すると、塩水噴霧による鋼板及び亜鉛メッキ鋼板の時間指数は 1.07 及び 1.00 となる。これは即ち、表面に形成される腐食皮膜が殆ど防食効果を持たず、腐食減量は腐食時間と共に略直線的に増加することを示唆している。一方で、酢酸ナトリウム水による鋼板及び亜鉛メッキ鋼板の時間指数は、それぞれ 0.8 及び 0.47 であり、表面に形成される腐食皮膜はある程度防食性を有しているものと考えられる。即ち、凍結防止剤としての塩水噴霧と酢酸ナトリウム水噴霧の鋼板及び亜鉛メッキ鋼板腐食に対する腐食性は、塩水に比べ酢酸ナトリウム水が軽微であり、より長時間の腐食において、その優位性が発揮されるものと考えられる。

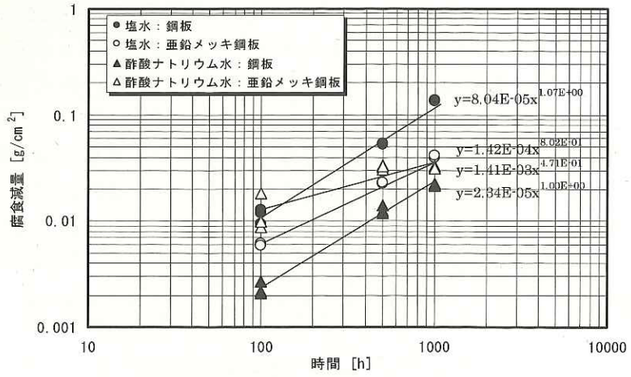
表－4.2.8　鋼板腐食試験の実験条件

項　目		内　容
水溶液	濃度	各凍結防止剤 5±0.5%溶液
	pH	pH6.8
	温度	35℃
試験片	材質	鋼板（SS400）
		亜鉛メッキ鋼板
	形状	鋼板は 6mm 厚の SS400 鋼板から板厚 2mm 厚さに研削後、70mm 幅×150mm 長さの試験片を採取した。
		亜鉛メッキ鋼板は、2mm 厚の SGCC R Z35 の亜鉛メッキ鋼板から 70mm 幅×150mm 長さの試験片を採取した。
	試験片数	各試験条件 3 枚
凍結防止剤散布量		150g/m^2（7%水溶液）
噴霧装置		噴霧塔方式
評価時間		100hr、500hr、1000hr

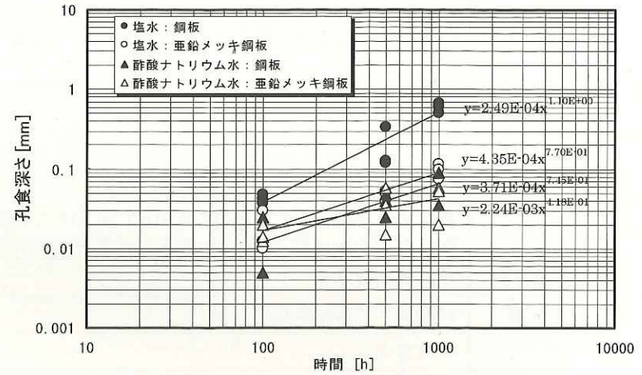
②　孔食深さによる評価

酸洗後の腐食面における孔食深さを測定して、凍結防止剤水溶液の孔食深さに及ぼす影響を評価した。孔食深さの継時変化を図－4.2.19 に示す。実験時間 1,000 時間までの孔食深さは、①塩水噴霧による鋼板＞②酢酸ナトリウム水噴霧による鋼板＞③塩水噴霧による亜鉛メッキ鋼板＞④酢酸ナトリウム水噴霧による亜鉛メッキ鋼板の順に前者程大きい。時間指数に着目すると、塩水噴霧による鋼板の時間指数は 1.10 であり、孔食深さは時間と共に加速的に増加するものと推察される。一方、塩水噴霧による亜鉛メッキ鋼板、酢酸ナトリウム水噴霧による鋼板及び亜鉛メッキ鋼板の時間指数は、それぞれ 0.74、0.77 及び 0.41 であり、表面に形成される腐食皮膜はある程度防食性を有している

ものと考えられる。特に、酢酸ナトリウム水噴霧の時間指数は低く、本試験においては最も優れた防食皮膜が形成されるものと思われる。即ち、鋼板及び亜鉛メッキ鋼板の孔食深さに対する影響は塩水に比べ酢酸ナトリウム水が軽微であり、より長時間の腐食において、その優位性が発揮されるものと考えられる。



図－4.2.18　凍結防止剤毎の鋼種別腐食量



図－4.2.19　凍結防止剤毎の鋼種別孔食深さ

(3)　魚類による急性毒性試験

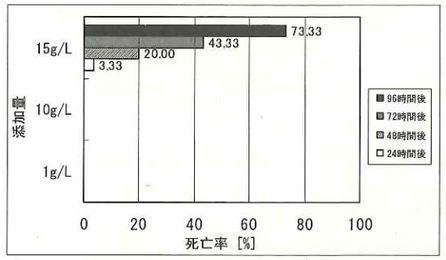
(a)　検討方法

JIS K 0102.71 に準拠し、各種凍結防止剤についてヒメダカに対する急性毒性試験（LC_{50} 半数致死濃度）を実施した。1g/L、10g/L、15g/L の濃度になるように、脱塩素水道水中に凍結防止剤（酢酸ナトリウム A（無水）、酢酸ナトリウム B（無水）、酢酸ナトリウム C（三水）、塩化ナトリウム、塩化カルシウム）を溶解させ、試験溶液を調製した。対照液としては脱塩素水道水を用いた。試験中に溶存酸素が不足しないように、希釈試料中の溶存酸素の量は、4mgO/L 以上（温水魚の場合）を保つようにした。各試験溶液 1L 中にヒメダカ 10 匹を暴露し、24 時間後、48 時間後、72 時間後、96 時間後に死

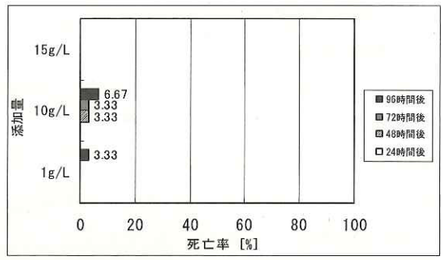
魚数を記録した。凍結防止剤添加量毎のヒメダカの死亡数と死亡率から LC_{50}（半数致死濃度）を求めた。

(b)　検討結果

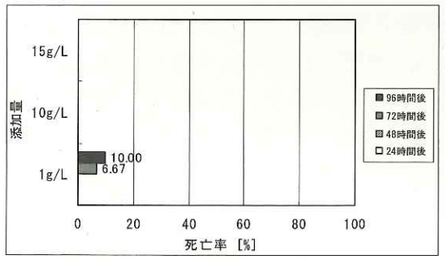
各種凍結防止剤の添加量とヒメダカの死亡率の関係を図－4.2.20 に示す。酢酸ナトリウム A のみ 15g/L の試験区で 96 時間後において平均 73%の死亡率が見られた。そこで、酢酸ナトリウム A の 10g/L と 15g/L の死亡率から LC_{50}（半数致死濃度）を算出したところ、96 時間後の LC_{50}（半数致死濃度）は 13g/L となった。その他の凍結防止剤の 24 時間、48 時間、72 時間及び 96 時間並びに、酢酸ナトリウム A の 24 時間、48 時間及び 72 時間については、今回実施した試験の凍結防止剤最大添加量の 15g/L において、半数以上の死亡は認められなかった。しかし、塩化カルシウムについては、酢酸ナトリウム A を除く他の凍結防止剤と比較すると死亡率が若干高い傾向が見られた。



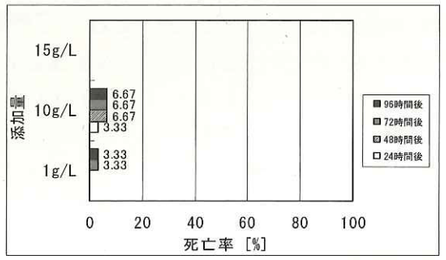
①酢酸ナトリウム A 溶液



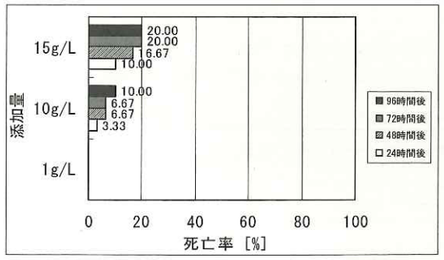
②酢酸ナトリウム B 溶液



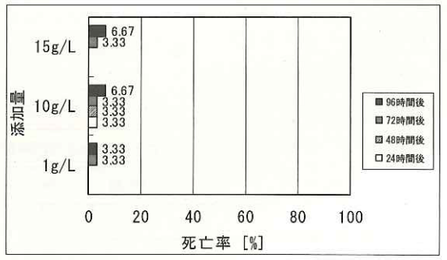
③酢酸ナトリウム C 溶液



④塩化ナトリウム溶液

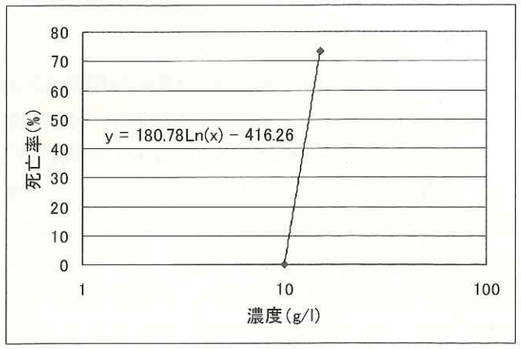


⑤塩化カルシウム溶液



⑥対照液

図－4.2.20 ヒメダカの死亡率（%）



図－4.2.21　酢酸ナトリウムＡの LC_{50} 算出方法

(4)　植害試験

凍結防止剤の施肥に伴う植物への影響を知るため、植物に対する害に関する栽培試験の方法（昭和 59 年 4 月 18 日農蚕第 1943 号農林水産省農蚕園芸局長通知）の改訂版に準拠して、こまつなを供試作物として幼植物試験を実施した。凍結防止剤施用量毎のこまつなの発芽調査（発芽率）、生育調査（葉長、試験終了後の生体重）、生育状態（異常症状の有無等）を観察・記録した。

(a)　検討方法

試験容器は、内径 11.3cm、高さ 6.5cm の鉢（ノイバウエルポット）を用いた。供試土壌 500mL に、N、P_2O_5 及び K_2O としてそれぞれ 35mg に相当する量の硫酸アンモニア、過りん酸石灰及び塩化カリウムを混合した後、凍結防止剤を一定量ずつ加えてよく攪拌し、ノイバウエルポット（1 万分の 1 アール相当）に詰め、土壌水分を畑状態（最大容水量の約 60%）に調節したのち、こまつな種子 20 粒をは種した。表－2.4.2 に凍結防止剤の混合と噴霧量を示した。

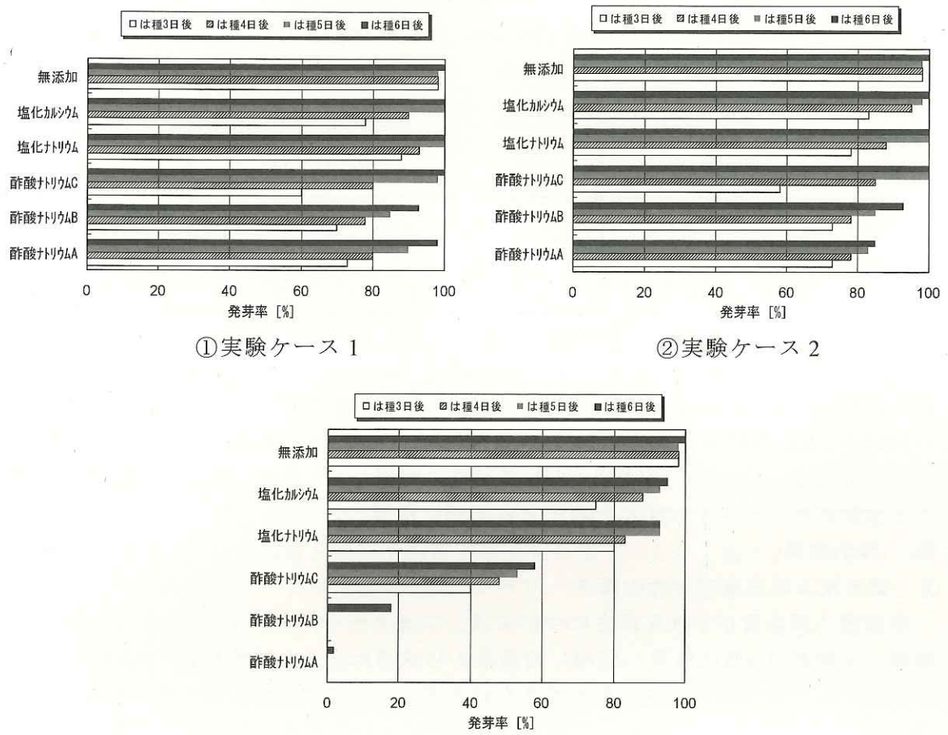
表－4.2.9　凍結防止剤の混合と噴霧量

試験凍結防止剤	記号	凍結防止剤使用量	合計
酢酸ナトリウムＡ(無水)	ケース 1	試験開始時、2g を土壌と混合	2g
酢酸ナトリウムＢ(無水) 酢酸ナトリウムＣ(三水) 塩化ナトリウム 塩化カルシウム	ケース 2	試験開始時、2g を土壌と混合 は種 10 日後と 15 日後、それぞれ 1g を 10mL の水に溶かした液を検体にまんべんなく噴霧	4g
	ケース 3	試験開始後、5g を土壌と混合	5g
無添加	標準	無添加	0g

(b)　検討結果

こまつなの発芽率及び生育状況を図－4.2.22 及び図－4.2.23 に示した。初期の発芽・生育に及ぼす影響を見ると、ケース 1 及びケース 3 では、凍結防止剤の違いによる植物

への影響の差異は明確には現れなかった。一方ケース 2 においては、酢酸ナトリウムＡ～Ｃは枯死したことから、こまつなに直接当たる場合の影響は塩化物型凍結防止剤に比べて大きいと考えられる。



①実験ケース 1　②実験ケース 2

③実験ケース 3

図－4.2.22　各実験ケースにおけるこまつなの発芽率

図－4.2.23　は種３０日後の生体重指数（無添加を 100 とした場合）

(5)　コンクリートへの影響に関する試験

凍結防止剤として塩化ナトリウム及び酢酸ナトリウムを使用し、コンクリートへ及ぼす影響について検討した。

(a)　検討方法

材齢 14 日のコンクリート（φ10cm×20cm；水セメント比 55%、目標スランプ 8cm、目標空気量 4.5%、単位セメント量 282kg/m^3 ）供試体を、40℃に保たれた 1 mol/L 凍結防止剤溶液（以下薬液と言う）中に浸漬し、コンクリートの物性を比較した。供試コンクリートの配合割合を表－4.2.10 に示す。

表－4.2.10　供試コンクリートの配合割合

スランプ	W/C	空気量	細骨材率	単位量(kg/m3)			
(cm)	(%)	(%)	(%)	水	セメント	細骨材	粗骨材
8±2.5	55	4.5±1.5	45	155	282	822	1048

コンクリートの物性については、薬液浸入深さ、中性化深さ、圧縮強度、ビッカース硬さ、EPMA [注3)] によるコンクリート中の元素移動等を調査した。物性調査供試体にはφ10cm×20cm 供試体の中央で直径方向に切断してφ10cm×10cm としたものを用い、切断面を研磨し、その他の面はシールして薬液に浸漬した。薬液浸漬後の圧縮強度を測定する供試体はシールをせずにそのまま各薬液に浸漬した。

(b)　検討結果

①　薬液浸入深さ及び中性化深さ

薬液浸入深さ及び中性化深さについては、フェノールフタレイン 1%アルコール溶液噴霧、硝酸銀 1%溶液噴霧、EPMA の結果から求めた。その結果を表―4.2.11 に示す。酢酸イオンの薬液浸入深さは測定できないため、ここでは、塩化物イオンの浸入深さと等しいものと見なした。しかし実際には、酢酸イオンのイオン半径は塩化物イオンより大きいため、酢酸イオンの浸入深さは、塩化物イオンの浸入深さより浅いものと推察される。また、中性化深さは、浸漬期間及び凍結防止剤の種類によらず、0.0mm であった。

表－4.2.11　供試体の薬液浸入深さ及び中性化深さ測定結果

	薬液浸入深さ（mm）		中性化深さ（mm）	
	塩化ﾅﾄﾘｳﾑ水溶液	酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ水溶液	塩化ﾅﾄﾘｳﾑ水溶液	酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ水溶液
浸漬 1 ヶ月	20.0	(20.0)*	0.0	0.0
浸漬 3 ヶ月	38.0	(38.0)*	0.0	0.0

＊塩化物イオンの浸入深さと等しいとみなし、転記した。

注3）EPMA（Electron Probe Micro Analyzer）とは、加速した電子線を物質に照射（電子線による励起）したときに発生する特性 X 線のスペクトルに注目し、電子線が照射されている微小領域における構成元素の検出及び同定と、各構成元素の比率（濃度）を分析する装置である。

②　圧縮強度

薬液に浸漬した供試コンクリートの圧縮強度を表－4.2.12 に示す。なお、薬液に浸漬した供試体と同一材齢の標準水中養生した供試体の圧縮強度をカッコ内に示した。いずれの薬液浸漬についても浸漬後の圧縮強度は、同一材齢の標準水中養生より大きいという結果になった。薬液浸漬は 40℃水中養生であるため、標準水中養生によりセメントの水和が進捗したためであると考えられる。また、塩化ナトリウム水溶液に浸漬した供試体の圧縮強度は、酢酸ナトリウム水溶液に浸漬したものよりも大きかった。

表－4.2.12 薬液に浸漬した供試体の圧縮強度

	圧縮強度（N/mm^2）	
	塩化ﾅﾄﾘｳﾑ水溶液	酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ水溶液
浸漬 1 ヶ月	44.2 (40.4)	42.6 (40.4)
浸漬 3 ヶ月	49.1 (43.0)	45.4 (43.0)

③　ビッカース硬さ

各凍結防止剤溶液に 3 ヶ月間浸漬した供試体のビッカース硬さ[注4)] を図－4.2.24 に示す。塩化ナトリウム水溶液浸漬の場合は、薬液浸入面側のビッカース硬さが大きく、浸入深さが深くなるほど小さくなった。およそ 3.5cm より深い領域では、酢酸ナトリウム溶液に浸漬した場合のビッカース硬さと同一レベルとなった。先に求めた塩化物イオンの浸入深さと合わせて考察すると、このビッカース硬さが増大している領域は、塩化物イオンが浸入している領域と同一であると考えられる。つまり、塩化ナトリウムの浸入により生成されたフリーデル氏塩[注5)] がコンクリート中の空隙を埋め、コンクリートの密度を増大させたことにより、この部分のビッカース硬さが増大したものと推察される。

一方、酢酸ナトリウム水溶液に浸漬した場合は、酢酸ナトリウムの浸入量とは無関係に、ビッカース硬さはほぼ一定の値となった。このことから、酢酸ナトリウム溶液の浸入は、ビッカース硬さに影響を及ぼさないと考えられる。

・３ヶ月という期間では、供試体中へ酢酸ナトリウム水溶液が浸入しなかった

・酢酸ナトリウム水溶液がコンクリート中に浸入してもビッカース硬さに影響を及ぼさない

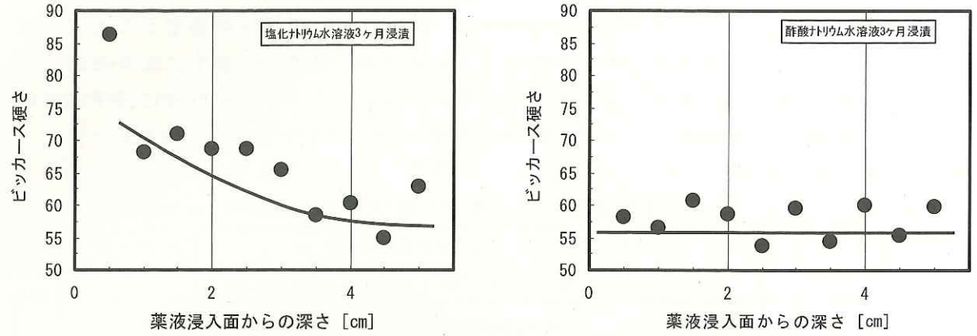
(6)　平成 14 年度室内試験結果のまとめ

平成 13 年度までの検討結果をもとに酢酸ナトリウムを主体とする非塩化物型の凍結防止剤を開発し、室内でのすべり摩擦力による性能評価、鋼板腐食性評価、動植物及びコンクリートへの影響評価を行った。すべり摩擦力測定試験の結果から、開発した酢酸系凍結防止剤は塩化カルシウムと同等の凍結防止性能を有することが明らかとなった。またこれらの凍結防止剤は、鋼板、亜鉛メッキ鋼板に対する腐食性が塩化物より低く、コンクリートへの影響も塩化物と比較して小さいことが確認された。植物（こまつな）

注4）対面角 136° のダイヤモンド四角錘圧子を用い、試験面にピラミッド型のくぼみをつけたときの荷重を永久くぼみの対角線の長さから求めた表面積で除したもの。

注5）セメント成分のアルミン酸三カルシウム（$3CaO \cdot Al_2O_3$; C_3A）と塩分との反応生成物で、常温ではイオン化しない安定な化合物。（$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$）

の発芽・生育試験、魚類（ヒメダカ）の急性毒性試験の結果、塩化物との違いは明確ではなかった。



①塩化ナトリウム水溶液　　②酢酸ナトリウム水溶液

図－4.2.24 薬液に浸漬した供試体のビッカース硬さ

4.2.5　室内試験結果まとめ

各種凍結防止剤の性能を室内において比較・検討した結果から、環境への負荷や構造物等への影響が少なく、凍結防止剤としての効果が期待できる化合物として、以下に挙げるような酢酸系化合物が有力な候補となった。

・酢酸カルシウム・マグネシウム（CMA）
・酢酸カルシウム・マグネシウム・ナトリウム
・酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム
・酢酸ナトリウム
・酢酸カリウム

この結果に基づき、共同研究各社において、上記物質を主体とする新規凍結防止剤の開発が進められた。次節では、現道における散布実験を通して、これらの凍結防止剤の安全面での効果を検討した結果について述べる。

参考文献

1) Handbook of Test Methods for Evaluating Chemical Deicers, SHRP-H-332 (1992)
2) 村国誠：冬期路面管理に使用する凍結防止剤、（社）雪センター別刷資料
3) JIS K 7125「プラスチックーフィルム及びシートー摩擦係数試験方法」
4) Nozomu MORI, Seishi MEIARASHI, Toshihiko NAKAMURA, Michiya IRASAWA and Kenichi HAYASHI : Snowy and Ice Road Countermeasures Using Anti-freezing Admixture、ＸＩth International Winter Raod Congress (2002)
5) 中村俊彦、明嵐政司：すべり摩擦力測定による凍結防止剤評価方法の検討、第24回日本道路会議一般論文集（A)、2001.10

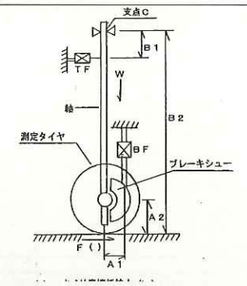
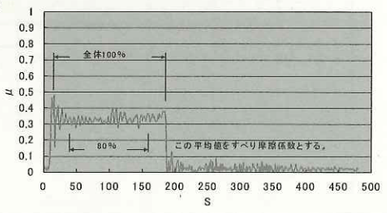
4.3　現場実証試験結果報告

4.3.1　現地実証試験の評価項目

本共同研究において、非塩化物型凍結防止剤(酢酸系)と従来の塩化物型凍結防止剤との薬剤散布実証試験を行ううえで、現場での評価項目を次のとおり決めて薬剤散布後一定時間間隔で各薬剤のすべり摩擦係数の計測及び路面詳細観測を実施した。

1）　すべり摩擦係数の計測

冬期間の雪氷路面管理を効率的に行うため、定量的に計測できる、雪氷路面のすべり摩擦係数を各試験毎に路面すべり測定車(写真－4.3.1)を用いて一定時間間隔で計測を行った。測定の諸元は次のとおり。

測定種類	100%制動時の縦すべり摩擦抵抗
試 験 車	路面すべり抵抗車(中型バス)
タ イ ヤ	試験用スタッドレスタイヤ(165/80R13　空気圧 167KPa)
走行速度	40km/h
測定方法及びすべり摩擦係数	タイヤの輪荷重 3.9KN を計測地点で概ね２秒程度タイヤをロックしブレーキ力で計測する。 すべり摩擦係数は、次式で求める μ(BF)＝ＢＦ／Ｗ ここに、 μ(BF)：ＢＦより算出した縦すべり摩擦係数 ＢＦ：制動力　(KN) Ｗ　：論荷重　(KN) 
すべり摩擦係数計測値	データは、計測した波形の前後10%をカットしその間の 80%の波形の平均値。 



写真－4.3.1　新潟試験所　路面すべり測定車

2）　現地観測員による路面詳細観測及び計測項目

すべり摩擦係数を計測を行っている時刻に現地雪氷路面の状況を把握するため、現地計測員により次の項目を観測及び計測を行った。

計測及び観測項目	観測機器及び計測方法
外気温(℃)	気温計を用いて計測。
雪氷路面温度(℃)	接地式温度計を用いて、車両走行部の雪氷路面温度を計測。なお、湿潤路面は、舗装表面温度とする。
路面雪氷厚(mm)	金尺又はノギスを用いて、車両走行部の雪氷路面に刺し計測。
路面残留薬剤濃度(%)	車両走行部の雪氷を一定量採取し、屈折式塩分濃度計及び電気伝導率計を用いて計測。 なお、試料採取場所は、スタッドレスタイヤが雪氷を掻き上げる雪氷部分(雪氷内でタイヤがすべる位置)
目視による路面性状	目視により車両走行部及び非走行部において、表－4.3.1 に示す路面性状の分類(17 分類)に区分する。 また、観測地点の車両走行部を中心に全景写真及び近景写真を撮影する。
時間降雪量(mm/h)	降雪板を用いて、降雪板上で計測。
交通量(台)	試験中の時間交通量を測定。
除雪車通過時刻	試験時間中に除雪車両が通過した時刻を確認。

表－4.3.1　目視による路面性状の分類(17 分類)

雪氷の有無	表面の光り	トレッド跡	雪の状態	雪および路面の色	厚さ	下層の状態	路面状態	路面分類
有り	光っている	あまり付かない	－	白っぽい	－	－	非常に滑りやすい圧雪	①
				黒っぽい	1mm以上	－	非常に滑りやすい氷板	②
					1mm未満	－	非常に滑りやすい氷膜	③
	光っていない	あまり付かない	－	白っぽい	－	－	かたい圧雪	④
				黒っぽい	1mm以上	－	氷板	⑤
					1mm未満	－	氷膜	⑥
		付く	締まっている	－	－	－	ゆるい圧雪	⑦
			さらさら（雪煙が発生）	－	－	無し	粉雪	⑧
						かたい氷板、氷膜かたい圧雪	粉雪下層氷板	⑨
						ゆるい圧雪	粉雪下層圧雪	⑩
			ざくざく（ザラメ状、粒状）	－	－	無し	粒雪	⑪
						かたい氷板、氷膜かたい圧雪	粒雪下層氷板	⑫
						ゆるい圧雪	粒雪下層圧雪	⑬
			べたべた（水を含んだもの）	路面が黒く見える	舗装面が見える	－	黒シャーベット	⑭
				路面が白く見える	舗装面が見えない	－	白シャーベット	⑮
無し	路面水分	有り	－				湿潤	⑯
		無し	－				乾燥	⑰

※本分類は、北海道開発局発行「冬期路面管理マニュアル（案）」（平成９年１１月）を基に、新潟試験所が本州仕様に一部追加改良した

4.3.2　新潟県新井市道における現地実証試験(平成 12 年度結果報告)

本試験では、環境に優しく持続性のある凍結防止剤の実用化を目的として、平成 12 年度冬期間で新井市道において、既存の塩化物型凍結防止剤と非塩化物型凍結防止剤(酢酸系)の散布効果に関する現地実証試験を合計 5 回実施した。その中で、事前散布効果を目的として実施できた「第 5 回現地実証試験」結果について報告する。

1）　試験概要

本試験は表－4.3.2 に示す時間帯に、新潟県新井市道十日市長森線（長森地先から上八幡地先までの 2.4km 区間）において、凍結防止剤（塩化物型として塩化ナトリウム、塩化カルシウムの２種類、非塩化物型として酢酸化合物系のＡ～Ｇの７種類：表－4.3.3）の散布効果を、路面すべり測定車によるすべり摩擦係数の計測結果（写真－4.3.2)及び現地観測員による測定結果（雪氷路面温度、路面残留薬剤濃度、目視による路面性状等）から評価した。

試験は夕方から翌朝にかけ、新井市道十日市長森線を通行止めにして実施した。路面すべり測定車によるすべり摩擦係数の計測では、上記９種類の凍結防止剤を図－4.3.1 に示す現地実証試験の計測位置において毎正時に測定した。なお、通過交通による凍結防止剤の攪拌効果を期待するために、普通自動車５台を試験準備時間帯と試験開始から試験終了までの時間帯に試験区間（2.4km 区間）を連続して一方向に走行し続けた。

また、凍結防止剤の散布量は 40g/m2 とした。第５回現地実証試験（事前散布効果試験）では、凍結防止剤Ｄ区間の試験材料が不足していたため散布せず、無散布区間として摩擦係数のみを計測した。

表－4.3.2　試験実施日

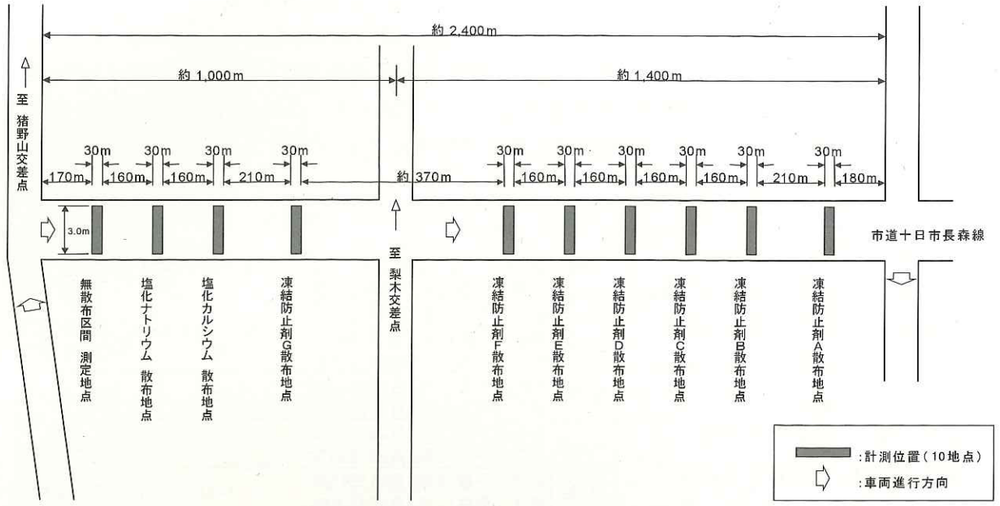
回数	観測	調査日時	調査時間(時間)	天候
第1回	開始	平成13年2月12日17:00	12.0	曇り
	終了	平成13年2月13日 5:00		
第2回	開始	平成13年2月15日20:00	9.0	晴れのち曇り
	終了	平成13年2月16日 5:00		
第3回	開始	平成13年2月25日17:00	13.0	雪のち曇り
	終了	平成13年2月26日 6:00		
第4回	開始	平成13年2月26日14:00	9.5	雪のち晴れ
	終了	平成13年2月27日23:30		
第5回	開始	平成13年3月11日15:00	14.0	雪のち晴れ
	終了	平成13年3月12日 5:00		
合　計			57.5	

表－4.3.3　凍結防止剤の主成分

記号	主成分	形状
A	酢酸カルシウム・マグネシウム	粒状
B	酢酸カルシウム・マグネシウム・ナトリウム	粒状
C	酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム	粒状
D	酢酸ナトリウム	液状
E	酢酸カルシウム・マグネシウム+酢酸ナトリウム	粒状
F	酢酸ナトリウム	粒状
G	酢酸カリウム	液状



写真－4.3.2　路面すべり測定状況

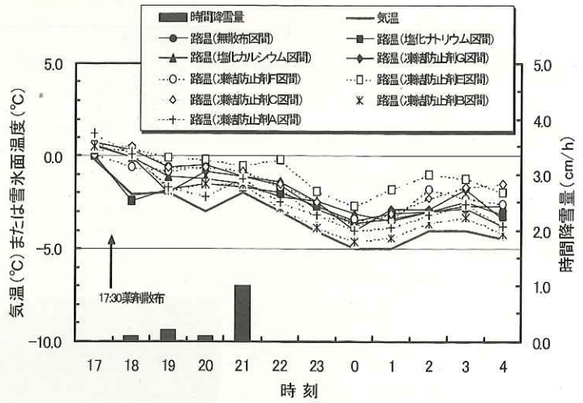


図－4.3.1　現地実証試験の計測位置(10 地点)と散布区間

2）　試験結果

(1)　気象状況等

第５回現地実証試験（事前散布効果試験）を 17 時 30 分に８区間一斉薬剤散布を実施した。3 月 11 日は、試験開始直後の 17 時から 22 時にかけて時間降雪量 1cm 未満の断続的な小雪があったが、その後は晴天となり放射冷却が卓越していた。また、気温は試験開始直後である 17 時に-0.2℃であったが、時間の経過とともに低下し、試験終了時の 4 時には-4.5℃となった。



図－4.3.2　気温、時間降雪量及び雪氷面温度の経時変化
（3 月 11 日 17：00～3 月 12 日 4 ：00）

(2)　雪氷路面温度

雪氷路面温度は図－4.3.2 のとおり、気温の時間変化に追従する形で凍結防止剤散布前の 17 時にはすべての区間において 0℃～1℃程度であったものが、時間の経過とともに低下する傾向にある。その中でも塩化ナトリウム区間の雪氷路面温度は、その他の区間の雪氷路面温度と比較して、凍結防止剤散布後の 18 時に凝固点降下作用により雪氷路面温度が大きく低下している。

(3)　路面性状

無散布区間の路面性状は、図－4.3.3 のとおり、試験開始後 2 時間程度の間、走行部及び非走行部ともに湿潤状態にあったものが、気温及び雪氷路面温度の低下とともに雪氷路面状態となった。一方、凍結防止剤を散布している各区間については、走行部と非走行部で時間経過にともなう路面性状に差異が認められるものの、無散布区間より 2 時間程度は湿潤状態を長く保持している傾向にあった。また、走行部における雪氷厚は 0～0.5cm であった。



図－4.3.3　走行部非走行部の路面状態の経時変化
（3 月 11 日 17：00 ～ 3 月 12 日 4 ：00）

(4)　すべり摩擦係数

無散布区間のすべり摩擦係数は、図－4.3.4 のとおり試験開始後 2 時間程度の湿潤状態では $\mu = 0.21 \sim 0.74$ で推移したが、路面性状が雪氷路面に変化した後は $\mu = 0.14 \sim 0.30$ で推移した。一方、凍結防止剤を散布している各区間では、各区間でばらつきが認められるものの $\mu = 0.29 \sim 0.78$ で推移し、無散布区間と比較して 0.15～0.48 程度高いすべり摩擦係数が確保されていた。

図－4.3.4　すべり摩擦係数の経時変化
(3 月 11 日 17:00～3 月 12 日 4:00)

事前散布効果を確認する目的で実施した試験結果では、無散布区間は雪氷路面温度の低下による凍結に伴い急激にすべり摩擦係数が低下したのに対し、酢酸化合物系の非塩化物型凍結防止剤を散布した区間（特に凍結防止剤 F 区間）は、既存の塩化物型凍結防止剤を散布した区間と同程度のすべり摩擦係数が確保されていた。

本試験結果は、限られた気象、路面状況の中で取りまとめたものであり、他の現道における多種多様な気象、路面状況の中でデータの蓄積を図る必要がある。また今後は、道路構造物や沿道環境への影響を考慮した非塩化物型凍結防止剤の散布について検討していく必要があると考えられる。

4.3.3　北海道大樹町多目的航空公園における現地実証試験(平成 13 年度結果報告)

本試験では、環境に優しく持続性のある凍結防止剤の実用化を目的として、4.3.2 試験に引き続き、平成 13 年度冬期間でより気候の厳しい、北海道内の滑空場において、既存の塩化ナトリウムと非塩化物型凍結防止剤(酢酸系)の散布効果に関する現地実証試験を合計 7 回実施した。その中で、事前散布効果（路面が凍結する前に事前に凍結防止剤を散布した場合の効果）が比較的確認できた「第 6 回現地実証試験」結果について報告する。

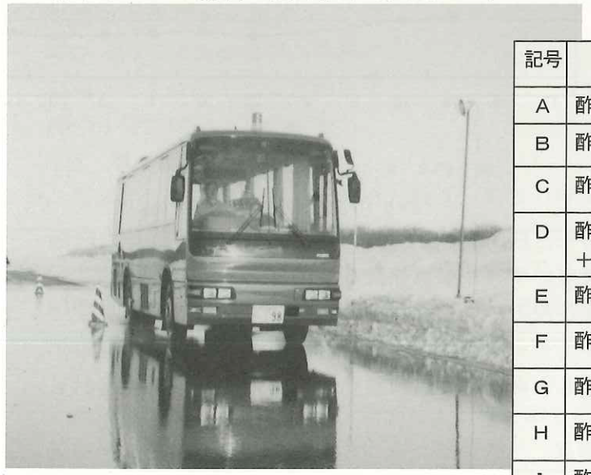
1）　試験概要

本試験は表-4.3.4 に示す時間帯に、北海道広尾郡大樹町字美成地先の大樹町多目的航空公園(1000×30m)において、凍結防止剤（塩化物型として塩化ナトリウム、非塩化物型として酢酸化合物系のA～Ｉの 9 種類：表－4.3.5）の散布効果を、路面すべり測定車によるすべり摩擦係数の計測結果及び現地観測員による測定結果（雪氷路面温度、目視による路面性状等）から評価した。

表－4.3.4　試験実施日

回数	観測	調査日時	気温(℃)	天候
第1回	開始	H13. 12. 21　16:00	-6.0	曇り
	終了	H13. 12. 21　17:00	-8.0	
第2回	開始	H13. 12. 26　13:00	-1.0	晴れ
	終了	H13. 12. 26　18:00	-9.0	
第3回	開始	H13. 12. 28　15:00	-3.0	晴れ
	終了	H13. 12. 28　19:00	-14.2	
第4回	開始	H14.　3.　6　14:00	-5.0	雪
	終了	H14.　3.　6　17:00	-6.0	
第5回	開始	H14.　3.　8　16:00	0.3	晴れ
	終了	H14.　3.　8　21:30	-7.0	
第6回	開始	H14.　3. 10　17:00	4.5	晴れ
	終了	H14.　3. 11　4:30	-7.5	
第7回	開始	H14.　3. 12　18:30	0.5	晴れ
	終了	H14.　3. 13　4:30	-4.5	

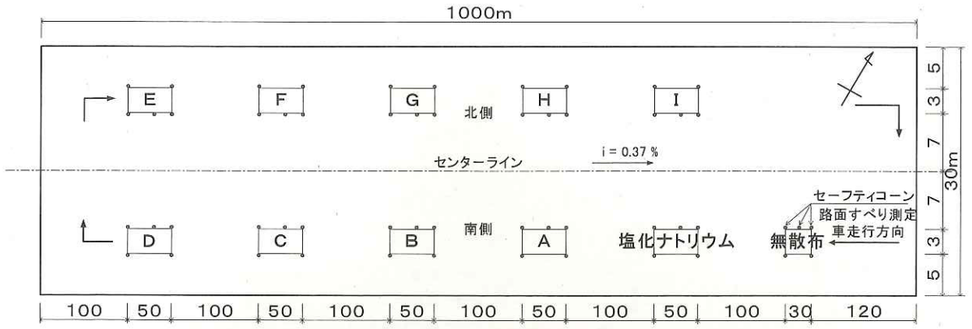
試験は昼から翌朝にかけ、多目的航空公園内の滑走路を閉鎖して実施した。路面すべり測定車によるすべり摩擦係数の計測（写真－4.3.3）では、上記 10 種類の凍結防止剤散布効果を図-4.3.5 に示す現地実証試験の計測位置において毎正時に測定した。なお、普通自動車４台による走行は、薬剤の飛散を助長するため、17 時から 21 時までは車両走行無しとし、路面状態が湿潤から黒シャーベットに変化し始めた 22 時以降に試験区間内を連続して一方向に走行し続けた。また、夜間路面が乾燥するのを防ぐため、散水車による霧状の追加散水を実施した。



写真－4.3.3　路面すべり測定状況

表－4.3.5　凍結防止剤の主成分

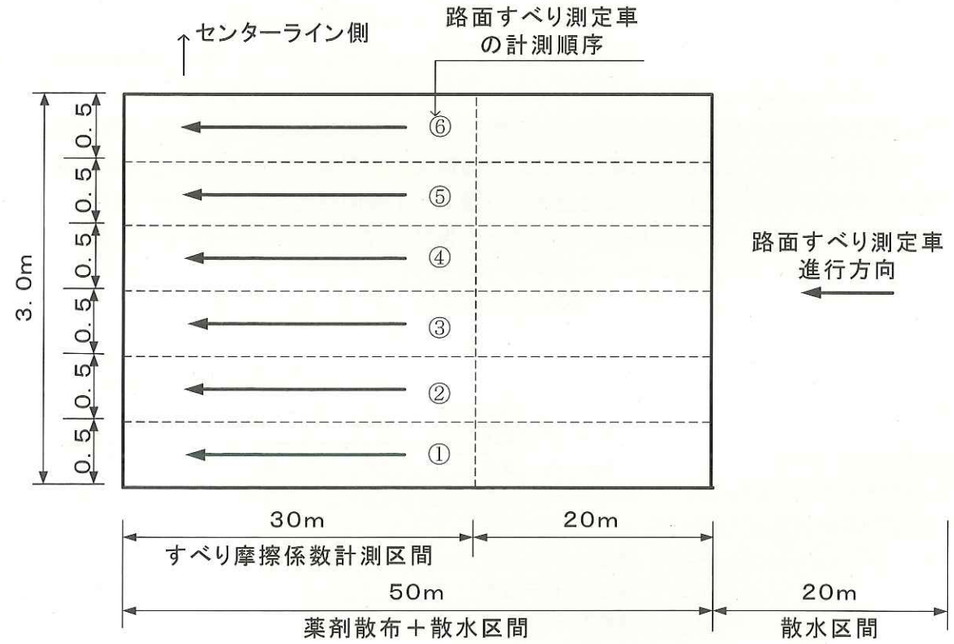
記号	主成分	形状
A	酢酸カルシウム・マグネシウム	粒状
B	酢酸カルシウム・マグネシウム・ナトリウム	粒状
C	酢酸カルシウム・マグネシウム+酢酸ナトリウム	粒状
D	酢酸カルシウム・マグネシウム・ナトリウム +ゼオライト	粒状
E	酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム+炭酸塩	粒状
F	酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム	粒状
G	酢酸ナトリウム	粒状
H	酢酸ナトリウム+ゼオライト	粒状
I	酢酸カリウム	液体



図－4.3.5　現場実証試験平面計測位置(11 地点)



図－4.3.6　現場実証試験横断計測位置



図－4.3.7　すべり摩擦計測位置

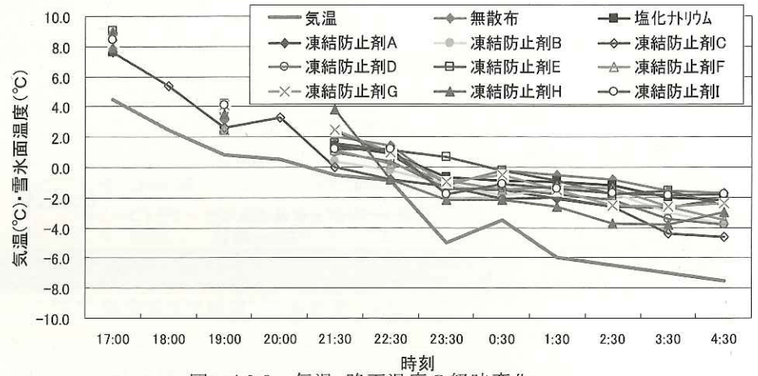
2）　試験結果

本試験実施時期として平年の気象条件から酷寒期の 1～2 月を避け、12 月と 3 月を選んで試験に望んだが、12 月の下旬には寒気が入り、日の入りから夕方にかけ気温の低下が急激で凍結防止剤の散布効果に差が見られなかった。また、３月は逆に気温が暖かす

ぎて試験に適した気象条件は得にくかった。

(1)　気象状況

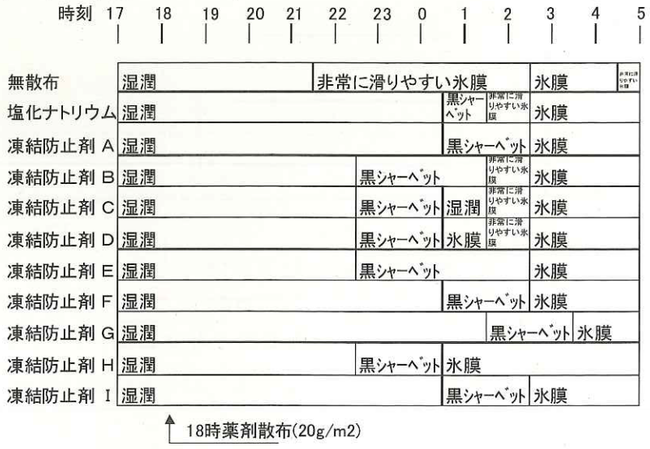
第6回現地実証試験（事前散布効果試験）を実施した3月10日の天候は晴れで、日中は太陽光の影響で気温、路面温度も高めであるが、16時頃の日の入りを過ぎると気温が急激に低下し始めた。図－4.3.8に示すように、気温は試験開始直後の17時に4.5℃であったものが、時間の経過とともに低下し、試験終了時の4時30分には-7.5℃となった。これにともない路面温度も気温低下に追随する形で低下していた。また、大樹町の美成マメダスによると当日の湿度は、17時に53%であったものが試験終了時付近の4時には92%に上昇していた。



図－4.3.8　気温・路面温度の経時変化

(2)　路面性状

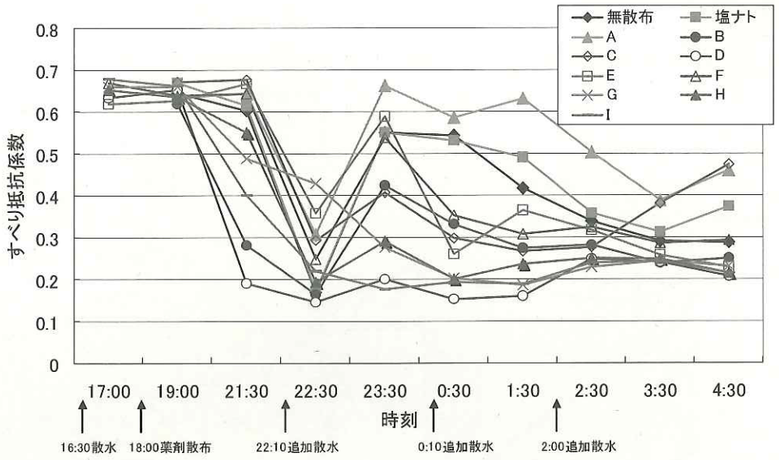
16時30分に路面上に散水車で散水を行い、17時から計測を開始した。図－4.3.9に示すように、酢酸化合物を主体とした非塩化物型凍結防止剤を散布した区間は、時間経過にともなう路面性状に差異が認められるものの、無散布区間より1～3時間程度は湿潤状態を長く保持し、既存の塩化ナトリウムを散布した区間と比較して、2時間程度早く黒シャーベットに変化した箇所が5箇所、同程度の路面変化を示した箇所が3箇所、1時間程度湿潤状態を長く保持していた箇所が1箇所あり、ほぼ同程度の路面性状を保持していることが分かった。なお、走行部における雪氷厚は0.1㎝以下の氷膜状態であった。



図－4.3.9　路面性状の経時変化

(3)　すべり摩擦係数

図－4.3.10に示すように、試験開始後18時までは湿潤状態ですべり摩擦係数はμ＝0.62～0.68で推移したが、路面性状が雪氷路面に変化し始めた21時30分には、酢酸化合物系の5箇所でμ＝0.6以下に変化し、22時30分にはG区間以外は塩化ナトリウムも含めて全てμ＝0.15～0.36へ低下していた。そして、23時30分には、IとG以外は全て高く変化していた。これは、22時30分に計測したレーンが、センター寄りの残留薬剤が路面横断勾配（図－4.3.6）により舗装端部側へ流れ薄まる⑤⑥レーン（図－4.3.7）で、23時30分に計測したレーンは、残留薬剤が路面横断勾配により舗装端部側へ流れ集まる①②レーンであったためと推測される。目視では各区間ともセンター寄りから路面が凍結し始めていた。その後、すべり摩擦係数の推移は凹凸はあるものの、右肩下がりで低下した。



図－4.3.10　すべり摩擦係数の経時変化

本試験結果は、限られた気象・路面状況の中で取りまとめたものであり、他の道路における多種多様な気象・路面性状の中でデータの蓄積を図る必要がある。また、凍結防止剤の路面への付着性の向上、橋梁等の道路構造物や沿道環境への影響を考慮した非塩化物型凍結防止剤の散布方法等について検討していく必要があると考えられる。

4.3.4　一般国道１８号長野県信濃町における現道実証試験（平成14年度結果報告）

本試験では、4.3.2及び4.3.3で凍結防止剤として、凍結防止効果の期待が出来る、酢酸ナトリウムを土木研究所と共同研究民間3社において、さらに改良を加えた非塩化物型凍結防止剤（酢酸ナトリウム）を開発した。平成14年度冬期間で直轄国道において、試験対象路線の道路管理者が薬剤散布している凍結防止剤（塩化カルシウム）と比較散布を行った、薬剤散布効果試験結果について報告する。

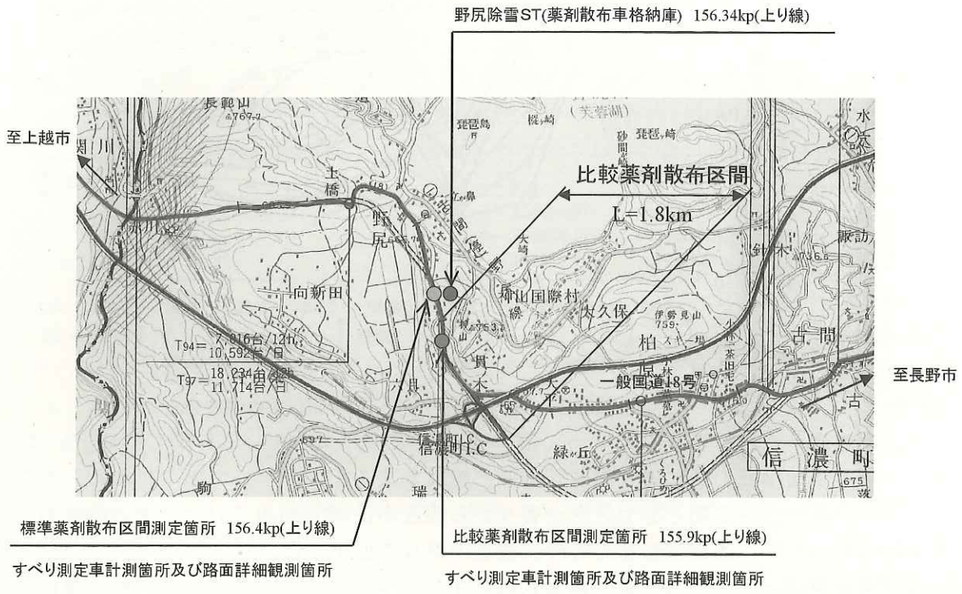
表－4.3.6　試験実施日

回数	観測	調査日時	気温(℃)	天候	散布目的
第1回目	開始	平成15年1月21日20:30	-4.0	雪	事後散布
	終了	平成15年1月22日 7:00	-8.2		
第2回目	開始	平成15年1月29日 5:30	-4.9	雪	事前散布
	終了	平成15年1月29日11:00	-5.0		
第3回目	開始	平成15年1月30日21:00	-6.9	雪	事前散布
	終了	平成15年1月31日 6:30	-3.0		
第4回目	開始	平成15年1月31日18:30	-5.0	雪	事後散布
	終了	平成15年2月1日 7:00	-6.0		
第5回目	開始	平成15年2月16日22:00	-1.0	雪	事前散布
	終了	平成15年2月17日 7:00	-1.0		
第6回目	開始	平成15年2月20日20:00	-3.2	雪	事後散布
	終了	平成15年2月21日 7:00	-5.5		
第7回目	開始	平成15年2月27日 0:00	-1.0	雪	事前散布
	終了	平成15年2月27日11:00	0.2		
合　計		69時間			

１）　試験概要

本試験は、国土交通省関東地方整備局長野国道事務所管内の一般国道18号長野県上水内郡信濃町野尻地先において、非塩化物型凍結防止剤（酢酸ナトリウム）散布区間L=1.8kmを設定し通常散布の凍結防止剤（塩化カルシウム）散布区間と区分（図－4.3.11）して、試験観測を合計7回延べ69時間（表－4.3.6）実施した。

なお、薬剤散布は、道路管理者が実際に薬剤散布を行うタイミングで実施し、計測箇所（２区間）に同時薬剤散布（標準散布量 20g/m2）を行った。



図－4.3.11　薬剤散布効果実証試験位置図

塩化カルシウム散布区間と酢酸ナトリウム散布区間において、薬剤散布効果を路面すべり測定車によるすべり摩擦係数の計測結果及び現地路面詳細観測員による測定結果（雪氷路面温度，路面残留薬剤濃度，目視による路面性状等）から評価を行った。

また、薬剤散布除雪業者に本試験期間内で酢酸ナトリウムを取り扱ったオペレータを対象に薬剤散布後の雪氷路面への薬剤の効き方についてアンケート調査を行った。

一方、酢酸ナトリウムを取り扱う上で、道路管理者から「酢酸系薬剤を散布すると酢の臭いがきつい」と沿道住民から臭気の苦情が届くのではないかと指摘されている。このことから今回、酢酸ナトリウムの臭気計測を薬剤散布車格納庫内で酢酸ナトリウムを薬剤散布車へ投入する時及び薬剤散布区間の道路脇で薬剤散布後に実施した。



すべり摩擦計測（左：塩化ｶﾙｼｳﾑ区間，右：酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ区間）

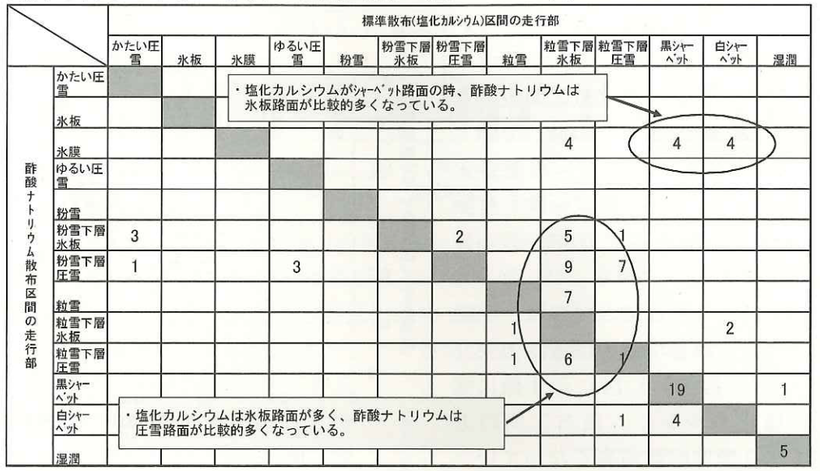

路面詳細観測状況

２）　試験結果

本薬剤散布比較試験を行った結果、薬剤散布効果は全体的には両散布区間共ほぼ同等な効果があった。次に特徴的な傾向が得られたものを紹介する（各調査日の内容は、資料編参照）。

（1）　現道散布比較試験結果

①目視による路面性状を塩化カルシウム散布区間と酢酸ナトリウム散布区間とのクロス集計を行うと、次の傾向が確認出来た（図－4.3.12）。



図－4.3.12　路面性状のクロス集計表

ｱ）酢酸ナトリウム散布区間は、塩化カルシウム散布区間より雪氷路面上の雪氷が溶けにくい状況が７回調査中２回確認された（図－4.3.13）。

・顕著な例として、第２回目の調査結果からは、塩化カルシウム散布区間の路面が氷膜→シャーベットへと変化しているのに対し、酢酸ナトリウム散布区間は路面上に氷膜や氷板が残ったままとなっていた。

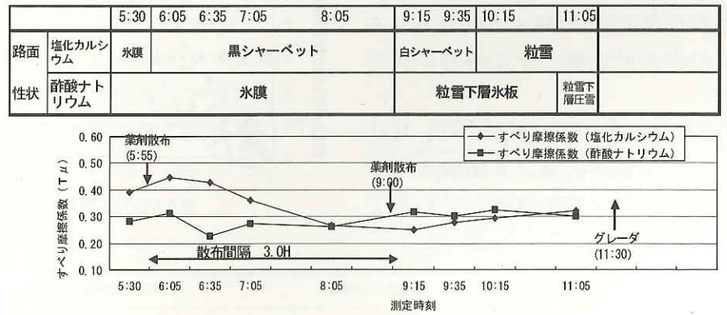


図-4.3.13　第２回目調査結果：路面性状とすべり摩擦係数の経時変化

ｲ）塩化カルシウム散布区間の約 35％の路面性状が粒雪下層氷板であるのに対して、酢酸ナトリウム散布区間は、下層圧雪が多くなっていた。上記ｱ）同様に塩化カルシウムに比べて酢酸ナトリウムの方が雪が溶けにくいために圧雪が残りやすいと考えられる。

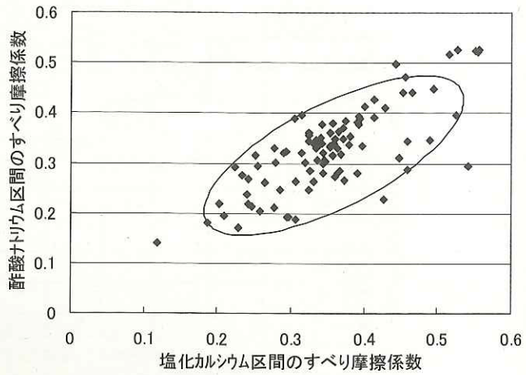
・塩化カルシウムの方が現地の融氷量が多いことから、雪氷路面上に残る（出来る）雪氷が少ないために下層氷板路面が発生しやすく、また、酢酸ナトリウムの方は、現地の融氷量が塩化カルシウムに比べて少なく、雪氷路面上に残る（出来る）雪氷が多いために下層圧雪路面が発生しやすいと考えられる。

・この事を路面雪氷厚から検証すると、酢酸ナトリウム散布区間の方が路面雪氷厚が厚くなる場合が多く観測されている(図－4.3.18)。

②すべり摩擦係数は、上記①の様な雪氷路面となった場合には、酢酸ナトリウム散布区間のすべり摩擦係数が低くなっていた(図-4.3.13)。

・７回調査中３回の調査結果からは、塩化カルシウム散布区間の雪氷路面がシャーベットの時、酢酸ナトリウム散布区間の雪氷路面が氷膜等となり、すべり摩擦係数も酢酸ナトリウム散布区間の方が低い値となっていた。

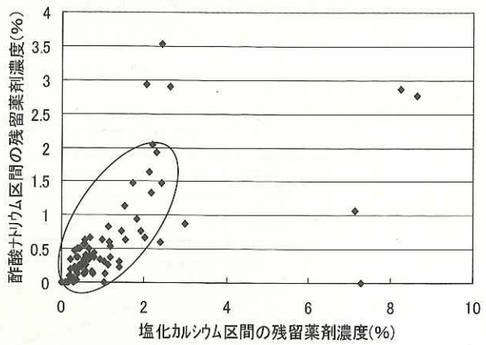
上記①以外の場合においては、両散布区間共、顕著な差異は確認出来なかったが、図－4.3.14に示す様に僅かに塩化カルシウム散布区間の方がすべり摩擦係数が高くなっていた。



図－4.3.14　すべり摩擦係数の対比

③雪氷路面温度は、両散布区間共、顕著な差異は確認出来なかった。

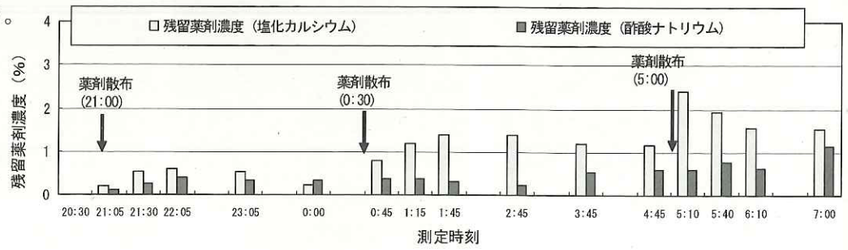
・７回調査中２回の調査結果からは塩化カルシウム散布区間より酢酸ナトリウム散布区間の雪氷路面温度が低い値となることが確認されたものの、その他の調査では両散布区間共顕著な違いは確認されなかった。



図－4.3.16　残留薬剤濃度の対比

④残留薬剤濃度は、酢酸ナトリウム散布区間の方が低い値となる場合が確認された。

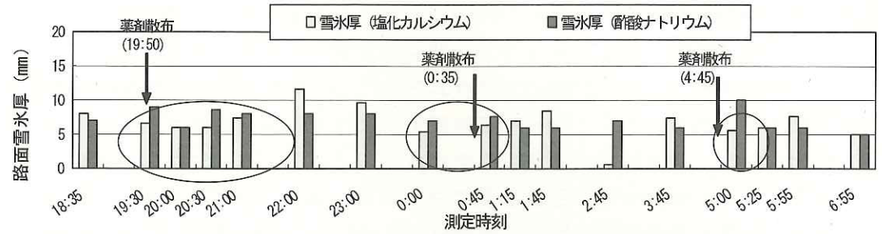
・今回実施した７回の調査では、塩化カルシウム散布区間より酢酸ナトリウム散布区間の薬剤濃度が低い値となる場合が多く出現した(図－4.3.15・16)。



図－4.3.15　第１回調査結果：薬剤濃度の経時変化

この薬剤濃度の違いが、上記①、②で示したような塩化カルシウム散布区間と酢酸ナトリウム散布区間の路面性状、すべり摩擦係数の違いに影響を与えている要因ではないかと考えられる。

⑤路面雪氷厚については、塩化カルシウム散布区間より酢酸ナトリウム散布区間の雪氷厚が厚くなる状況が７回調査中３回確認された(図－4.3.17)。



図－4.3.17　第４回調査結果：路面雪氷厚の経時変化

なお、図－4.3.18から、10mm程度までの雪氷厚では、塩化カルシウム散布区間より酢酸ナトリウム散布区間の方が厚い傾向があり、15mmを超える雪氷厚では、塩化カルシウム散布区間より酢酸ナトリウム散布区間の方が薄い傾向が確認出来た。

⑥薬剤の散布目的別(事前散布・事後散布)の違いによる薬剤の効き方(すべり摩擦係数)は、両散布区間共に明確な差異は確認出来なかった。

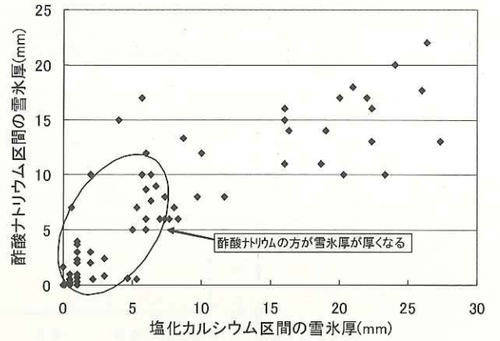
⑦薬剤散布後のすべり摩擦係数による即効性・持続性の評価

本試験の薬剤による、即効性及び持続性の評価は、式－1，式－2により整理した。この結果、酢酸ナトリウム散布区間より塩化カルシウム散布区間の方が若干上回っていたが、酢酸ナトリウム散布区間の方が高い評価の場合も認められた(表－4.3.7)。

・即効性は、平均 0.92

・持続性は、平均 0.95

しかし、今回使用した非塩化物型凍結防止剤(酢酸ナトリウム)については、即効性・持続性がさらに向上する薬剤に改良する必要がある。



図－4.3.18　路面雪氷厚の対比

$$\text{・即効性} = \frac{\text{酢酸ﾅﾄﾘｳﾑのすべり摩擦係数(散布直後～1h後までの平均値)}}{\text{塩化ｶﾙｼｳﾑのすべり摩擦係数(散布直後～1h後までの平均値)}} \quad \text{(式-1)}$$

$$\text{・持続性} = \frac{\text{酢酸ﾅﾄﾘｳﾑのすべり摩擦係数(散布2h後～4h後までの平均値)}}{\text{塩化ｶﾙｼｳﾑのすべり摩擦係数(散布2h後～4h後までの平均値)}} \quad \text{(式-2)}$$

表－4.3.7　薬剤散布後の即効性・持続性

	即効性	持続性	備考
第1回目調査	0.95	0.90	事後散布
第2回目調査	0.85	0.96	事前散布
第3回目調査	1.02	1.00	事前散布
第4回目調査	0.96	0.99	事後散布
第5回目調査	0.73	0.82	事前散布
第6回目調査	1.02	0.91	事後散布
第7回目調査	0.89	1.08	事前散布
平均値	0.92	0.95	

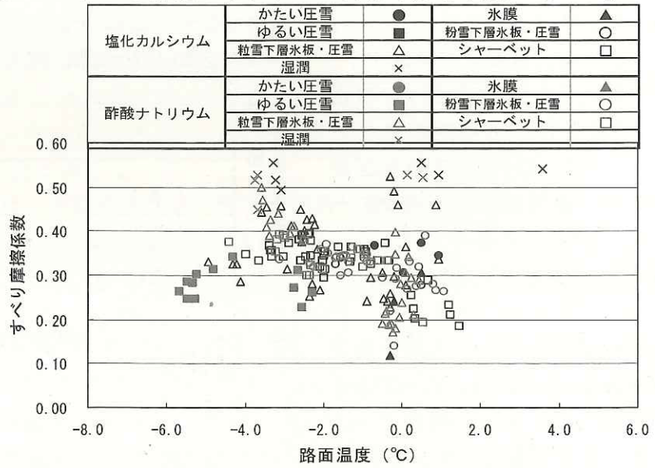
⑧すべり摩擦係数と雪氷路面温度、残留薬剤濃度との相関関係を、雪氷路面状況別に調べた結果を以下に示す。

ア）すべり摩擦係数と雪氷路面温度の相関(図－4.3.19・20)

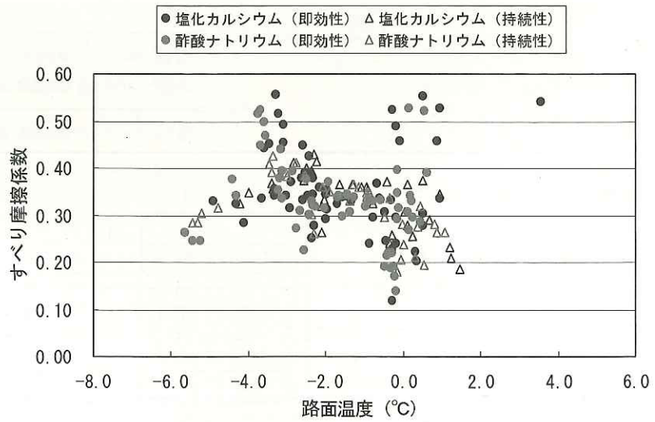
・すべり摩擦係数と雪氷路面温度の相関関係を調べた結果、湿潤路面のデータを除くと、塩化カルシウム、酢酸ナトリウムともに 0℃付近でのすべり摩擦係数が低く、気温が低くなるにつれてすべり摩擦係数が大きくなる傾向がみられた。

・塩化カルシウムと酢酸ナトリウムを比較すると、塩化カルシウムと酢酸ナトリウムですべり摩擦係数と雪氷路面温度の分布状況に顕著な差異はみられなかった。

・また、薬剤散布後の即効性及び持続性とに分類し、塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの比較を行うと、多少のバラツキはあるものの即効性のデータ、持続性のデータともに塩化カルシウムと酢酸ナトリウムは同様な分布状況であった。



図－4.3.19　すべり摩擦係数と雪氷路面温度との相関



図－4.3.20　すべり摩擦係数と雪氷路面温度との相関(即効性・持続性分類)

※ 図中の路面温度は、雪氷路面温度（湿潤路面の場合は舗装路面温度）を用いた。
また、データは薬剤散布後のデータを使用した。

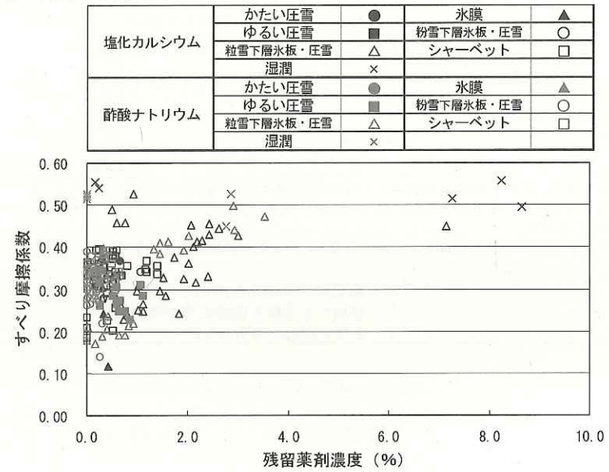
イ）すべり摩擦係数と残留薬剤濃度の相関(図－4.3.21・22)

・すべり摩擦係数と残留薬剤濃度の関係を調べた結果、塩化カルシウム、酢酸ナトリウムともに残留薬剤濃度が高くなるにつれて、すべり摩擦係数も若干高くなる傾向である。

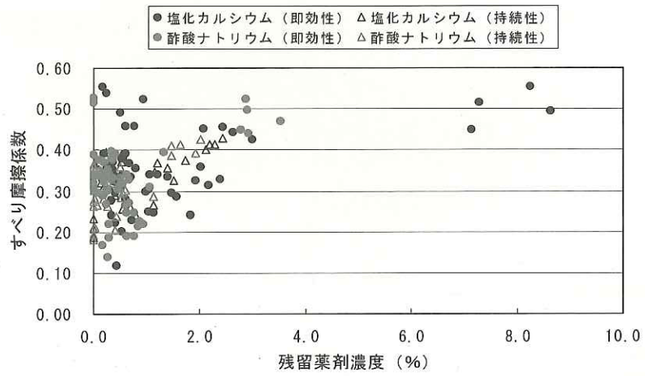
・残留薬剤濃度が塩化カルシウムは 0.0～2.0%、酢酸ナトリウムは 0.0～1.0%のあたりにデータが集中しており、酢酸ナトリウムの方が残留薬剤濃度が低い値で分布しているが、すべり摩擦係数には大きな差は表れていない。

・残留薬剤濃度が 0.0～1.0%のあたりにデータが集中し、その濃度でのすべり摩擦係数はμ＝0.11～0.55 と広い範囲で分布しているが、これは、路面状況の違いによるものである。

・また、薬剤散布後の即効性及び持続性とに分類し、塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの比較を行うと、多少のバラツキはあるものの即効性のデータ、持続性のデータともに酢酸ナトリウムの方が残留薬剤濃度が低い値で分布しているが、すべり摩擦係数には大きな差は表れていない。



図－4.3.21　すべり摩擦係数と残留薬剤濃度との相関



図－4.3.22　すべり摩擦係数と残留薬剤濃度との相関(即効性・持続性分類)

(2)　非塩化物型凍結防止剤(酢酸ナトリウム)に関するアンケート結果

除雪業者による薬剤散布効果の目視による評価は、酢酸ナトリウムより塩化カルシウムの方が雪氷路面の溶解性・即効性・効果の持続性で優れているという回答が多かった。

事前・事後散布別の薬剤の効き方に対する回答は、次のとおりであった(図－4.3.23)。

①事前散布時の薬剤の効き方

・酢酸ナトリウム散布区間・塩化カルシウム散布区間とも薬剤の効き方は同等である(７割回答)。又、持続時間も両区間共２時間程度(７割回答)。

②事後散布時の薬剤の効き方

・塩化カルシウム散布区間の効き方が早い(６割回答)。薬剤の効き方は同等である(４割回答)。

質問			アンケート集計結果		
問3. 路面凍結防止のため、凍結防止剤を事前散布した時の薬剤散布効果は散布量が同じであるとき、塩化カルシウムと酢酸ナトリウムのどちらが長く凍結防止効果を持続していますか。(比較区間は、酢酸ナトリウム散布区間と、前後の塩化カルシウム散布区間と考えて下さい)					
		1. 塩化カルシウム散布区間の方が長い。	2	20%	
		2. 酢酸ナトリウム散布区間の方が長い。	1	10%	
		3. どちらもあまり変わらない。	7	70%	
問4. 問3で、凍結防止剤を事前散布した時、新たな降雪が無い場合、凍結防止効果を持続している時間は、それぞれおよそ何時間ですか。	塩化カルシウム散布区間の持続時間	1. 1時間	0	0%	
		2. 2時間	7	70%	
		3. 3時間	3	30%	
	酢酸ナトリウム散布区間の持続時間	1. 1時間	0	0%	
		2. 2時間	7	70%	
		3. 3時間	3	30%	
問5. 路面凍結発生後、凍結防止剤を事後散布した後の薬剤散布効果は、散布量が同じであるとき、塩化カルシウムと酢酸ナトリウムのどちらが早く凍結融解効果(路面が凍結から濡れ，乾燥へ変化する)を出しますか。(比較区間は、酢酸ナトリウム散布区間と、前後の塩化カルシウム散布区間と考えて下さい)					
		1. 塩化カルシウム散布区間の方が早い。	6	60%	
		2. 酢酸ナトリウム散布区間の方が早い。	0	0%	
		3. どちらもあまり変わらない。	4	40%	

図－4.3.23　ｱﾝｹｰﾄ調査結果

一方、薬剤の取り扱いの作業環境については、酢酸の臭気が気になるとの回答が多かった。主な回答は、次のとおりであった。

①酢酸ナトリウムの臭気について

・酢酸ナトリウムの薬剤開封時に作業員が今まで取り扱った事がない薬剤の為、臭気が気になる方が大多数を占めた。(９割回答)

②薬剤の粉塵について

・気になる方(３割回答)、気にならない方(７割)と作業員の個人差があった。

(3)　酢酸ナトリウムの臭気計測結果

酢酸ナトリウム散布後の道路沿道と薬剤投入時の薬剤散布車格納庫内の臭気を採取し、酢酸濃度分析と臭気濃度(臭気指数)の分析を行った。

①試料採取日

試料採取日の条件は、表－4.3.8 のとおりであった。採取日は、低気圧が発達し風速もやや強風で、薬剤散布車が薬剤散布を行っても臭いが気にならない状態であった。

表－4.3.8　試料採取日の条件

試料採取日時	計測場所	天候	気温	相対湿度	風向・風速
平成15年2月20日19時～20時	薬剤散布車格納庫	屋外は雪	-1.2℃	72%	格納庫内密閉状態
平成15年2月20日19時～21時	道路沿道(歩道上)	雪(吹雪)	-2.0℃	93%	北東　3～5m/s
平成15年2月27日0時	道路沿道(歩道上)	雪(吹雪)	0.4℃	96%	東　1～3m/s



薬剤散布車格納庫で試料採取





道路沿道で試料採取

②試験内容

○採取方法

・薬剤投入時及び道路薬剤散布時に最も臭気がしたと思われる瞬間に臭気判定士，作業環境測定士が試料採取を行った。

○分析方法

酢酸濃度：昭和 47 年環境庁告示第９号 別表８に準じる方法による。

常温吸着法－GC-FID 法

臭気濃度(臭気指数)：平成７年環境庁告示第６３号

臭気指数及び臭気排出強度の算出の方法による。

真空瓶法－三点比較式臭い袋法

③計測結果

計測結果は、表－4.3.9 のとおりであった。

○作業員への影響については、薬剤散布車格納庫を密閉状態とし作業環境が一番厳しい状態で計測を行った結果、酢酸濃度 0.090ppm，臭気指数 15 と検出された。

・労働安全衛生法第 65 条(作業環境測定)及び安衛施工令第 21 条(作業環境測定を行うべき作業場)から、今回の計測値を当てはめると酢酸ナトリウムが特定化学物質等に該当していない。これは、人体等に影響を及ぼさない(作業疾病が起きないと思われる)ことから規定を設けていないと思われる。

○道路沿道住民への影響については、微量な酢酸が検出されたが臭気指数が 10 未満であることから、特に問題になることはないと考えられる。

・悪臭防止法により規制基準を定めた、地方公共団体における嗅覚測定法の採用状況で、一番厳しい第１種区域でも臭気指数 10 となっている。しかし、臭いが生じることが確認出来たため、酢酸ナトリウムを薬剤散布を行う時は、事前に酢の臭いが生じることを沿道地域住民に対し情報提供を行う必要があると思われる。

表－4.3.9　計測結果

試料採取日時	計測場所	酢酸濃度(ppm)	臭気濃度	臭気指数
平成15年2月20日19時～20時	薬剤散布車格納庫	0.090	32	15
平成15年2月20日19時～21時	道路沿道(歩道上)	0.012	10未満	10未満
平成15年2月27日0時	道路沿道(歩道上)	0.006未満	10未満	10未満

※酢酸の嗅覚閾値は 0.006ppm（財団法人日本環境衛生ｾﾝﾀｰ 1990）であり、今回の定量下限値とした。

※臭気濃度は臭いのある空気を無臭の空気で臭気が感じられなくなるまで希釈した場合の当該希釈倍数。

※臭気指数＝10×log 臭気濃度

④本計測は、限られた条件での測定のため、路面状態が湿潤、乾燥、雪氷状態や融雪時にどのように変化するかは計測していないため、一結果と考えているが、薬剤散布車格納庫内で計測した酢酸濃度および臭気濃度・臭気指数より高くはならないと推測される。

3）　本調査のまとめ

本試験では、非塩化物型凍結防止剤（酢酸ナトリウム）と道路管理者（長野国道事務所管内）の標準散布凍結防止剤（塩化カルシウム）との薬剤散布効果試験を定められた場所と限られた時期及び薬剤散布量での比較を行った。

①標準散布凍結防止剤（塩化カルシウム）の方が同程度か優れている結果が多かったが、今回共同開発した非塩化物型凍結防止剤（酢酸ナトリウム）は、塩化カルシウムと同程度（薬剤散布後のすべり摩擦係数による評価は、平均値で即効性 0.92、持続性 0.95）の薬剤散布効果も一定確認出来た。

②酢酸ナトリウムの臭気にともなう、作業員の人体等への影響・道路沿道への散布後の影響は、特に大きな問題となる酢酸濃度及び臭気濃度・臭気指数は計測されなかった。

今後は、非塩化物型凍結防止剤（酢酸ナトリウム）を即効性・効果の持続性がさらに向上する薬剤に改良し、薬剤散布量及び散布間隔を調整した比較試験を行い、薬剤散布効果を検証する必要があると考えられる。

また、非塩化物型凍結防止剤（酢酸ナトリウム）の特徴を生かした散布箇所等、散布方法の提案に向けた研究を実施して行く必要がある。

参考文献

1）井良沢道也・林健一・荒川智之：非塩化物凍結防止剤を用いた現地実証試験、平成 13 年度北陸地方整備局管内技術研究会論文集、pp349-352、2001.7

2）井良沢道也・林健一・荒川智之：非塩化物型凍結防止剤を用いた現地実証試験、第 24 回日本道路会議一般論文集、pp362-363、2001.10

3）武士俊也・林健一・小林一治・安藤達弥：非塩化物型凍結防止剤を用いた散布試験（2）、第 19 回日本雪工学会論文報告集、pp75-76、2002.10

4）武士俊也・小林一治・林健一：非塩化物型凍結防止剤を用いた現道散布効果試験、平成 15 年度北陸地方整備局管内技術研究会論文集、pp341-344、2003.7

4.4　非塩化物型凍結防止剤の価格

本研究では非塩化物型の凍結防止剤について取り上げ、新規薬剤の開発を進めてきた。周辺環境への影響（毒性、金属腐食、コンクリートへの影響等）、凍結防止剤としての効果、安定供給性等を考慮した結果、酢酸系化合物が最も優れていることが明らかとなった。そこで本節では、この酢酸系凍結防止剤について、経済性の面から従来の塩化物型凍結防止剤と比較してみる。

4.4.1　材料単価

参考として、共同研究各社により現在市販されている、酢酸系凍結防止剤の価格及び年間販売量を表－4.4.1 に示す。これらの薬剤は現状では塩化ナトリウムの約 3～8 倍程度と、材料単価が著しく高くなっている。材料コストについては、天然に多量に存在する塩と比較すると高くならざるを得ないが、現時点においては生産量、需要量の低さも、高コストの一因であると考えられる。将来的な見通しとして、中国等での生産、廃酢酸の利用、大量生産等により、低価格化実現の可能性は十分期待できる。大量生産による低価格化の試算として、ある酢酸化合物系の製品の場合 2000ｔ/年以上の生産が確保されると 90 円台/kg との試算もある。これは塩化カルシウムの 2 倍以内である。

表－4.4.1　非塩化物型凍結防止剤の価格

メーカー	商品名	形状	成分	価格	年間販売量（ｔ）
ﾀﾞｲｾﾙ化学工業(株)	ﾀﾞｲｾﾛｰﾙ	粒状	酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ（CMA）	190 円/kg	60
	ﾀﾞｲｾﾛｰﾙN	粒状	CMA＋酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ	190 円/kg	180
	S40	粒状	CMA＋塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	94 円/kg	1600
北海道日本油脂(株)	カマグ G	水溶液	酢酸ｶﾘｳﾑ＋ｸﾞﾘｾﾘﾝ	210 円/kg	230
米山化学工業(株)	ﾒﾙﾄｯﾌﾟ	粒状	酢酸ｶﾙｼｳﾑ･ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ･ｶﾘｳﾑ	240 円/kg	300
	ﾒﾙﾛｰﾄﾞ	水溶液	酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ＋尿素	65 円/kg	1300

4.4.2　凍結防止剤散布コストの試算

酢酸系凍結防止剤及び塩化物型凍結防止剤を単に材料単価のみで比較すると、酢酸系凍結防止剤の材料単価が著しく高く、直ちに塩化物型凍結防止剤の代替薬剤にはなり得ないものと思われる。そこで、周辺環境への影響や凍結防止性能等を考慮し、散布費用も含めたトータルのコストを試算し、比較してみた。

(1)　試算条件

(a)　材料購入費用

本試算では、代表的な酢酸系凍結防止剤である、酢酸カルシウム･マグネシウム（CMA）を例に取りあげた。CMA の材料単価については、各社の試算を参考に、見込みの額を設定した。

表－4.4.2　塩化ナトリウムおよびCMAの材料単価

塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	酢酸系粒状品　CMAの場合（税込み）			
30円/kg	現行	販売量 1,000 t/年	販売量 10,000 t/年	販売量 100,000 t/年
	200円/kg	152円/kg	126円/kg	106円/kg

(b)　散布量および散布費

国土交通省北陸地方整備局高田河川国道事務所の実績（H13年度）をもとに、管理費（原塩を業者がステーション内で散布するまで保管するのに要する経費等）を含む散布費を30,000円/tとし、塩化ナトリウムの年間使用量を2,000tとした。

(2)　試算結果１

(a)　塩化ナトリウム

薬剤購入費　30,000円/t×2,000t　＝　60,000,000円

散　布　費　30,000円/t×2,000t　＝　60,000,000円

合　　計　薬剤購入費＋散布費 ＝ 120,000,000円

(b)　酢酸系凍結防止剤（ＣＭＡ）

表－4.4.3　試算結果１（単位：千円）

薬剤単価 1 t当り	費用区分	散　布　量			
		2,000 t	1,500 t	1,000 t	700 t
200	薬剤	400,000	300,000	200,000	140,000
	散布費	60,000	45,000	30,000	21,000
	合計	460,000	345,000	230,000	161,000
	対塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	3.8	2.9	1.9	1.3
152	薬剤	304,000	228,000	152,000	106,400
	散布費	60,000	45,000	30,000	21,000
	合計	364,000	273,000	182,000	127,400
	対塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	3.0	2.3	1.5	1.1
126	薬剤	252,000	189,000	126,000	88,200
	散布費	60,000	45,000	30,000	21,000
	合計	312,000	234,000	156,000	109,200
	対塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	2.6	2.0	1.3	0.9
106	薬剤	212,000	159,000	106,000	74,200
	散布費	60,000	45,000	30,000	21,000
	合計	272,000	204,000	136,000	95,200
	対塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	2.3	1.7	1.1	0.8

表－4.4.3にCMAについての試算結果を示した。持続性が３倍になり散布量を700t未満に減らせれば、現状の材料単価でも、塩化ナトリウムの場合にかかるコストとさほど変わらないことがわかる。

(3)　試算結果２（１＄110円で試算）

○橋梁補修費　　塩1t当たり＄615のコストアップ

615×110円＝67,650円/t

○車両への影響　塩1t当たり＄113の影響

113×110円＝12,430円/t

○自然景観への影響　塩1t当たり＄75の影響

75×110円＝　8,250円/t

○被害総額　塩1t当たり＄803の影響

803×110円＝88,330円/t

引用

「An Economic Assessment of the Social Costs of Highway Salting and the Efficiency of Substituting a New Deicing Material」　Donald F. Vitaliano

Journal of Policy Analysis and Management, Vol.11,No.3,397-418 (1992)

(a)　塩化ナトリウム

薬剤購入費　30,000円/t×2,000t　＝　60,000,000円

散　布　費　30,000円/t×2,000t　＝　60,000,000円

被害総額　88,330円/t×2,000t　＝　176,660,000円

合　　計　＝　296,660,000円

(b)　酢酸系凍結防止剤（ＣＭＡ）

表－4.4.4　試算結果２（単位：千円）

薬剤単価 1 t当り	費用区分	散　布　量			
		2,000 t	1,500 t	1,000 t	700 t
200	薬剤	400,000	300,000	200,000	140,000
	散布費	60,000	45,000	30,000	21,000
	合計	460,000	345,000	230,000	161,000
	対塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	1.6	1.2	0.8	0.5
152	薬剤	304,000	228,000	152,000	106,400
	散布費	60,000	45,000	30,000	21,000
	合計	364,000	273,000	182,000	127,400
	対塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	1.2	0.9	0.6	0.4
126	薬剤	252,000	189,000	126,000	88,200
	散布費	60,000	45,000	30,000	21,000
	合計	312,000	234,000	156,000	109,200
	対塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	1.1	0.8	0.5	0.4
106	薬剤	212,000	159,000	106,000	74,200
	散布費	60,000	45,000	30,000	21,000
	合計	272,000	204,000	136,000	95,200
	対塩化ﾅﾄﾘｳﾑ	0.9	0.7	0.5	0.3

また、アメリカでは塩の散布による被害額が塩 1t 当たり 803 ドル（88,330 円）にも上るという報告が出されている。「高速道路における塩の散布の社会的なコストと、新しい凍結防止剤の効果の経済試算」報告の上記に一部を示す。

この被害総額を参考に試算してみると表－4.4.4 に示す結果のようになり、対塩化ナトリウムとの差は現状の材料単価でも 1.6 倍であり、長期的にはＣＭＡは決して高価なものではないという試算となる。

いずれにせよ、塩害等、塩化物型凍結防止剤の使用に由来する問題への対策が急務となっている現在では、橋梁部やトンネル坑口付近等、重大な影響を及ぼすと考えられる場所を皮切りに、塩化物型凍結防止剤から非塩化物型凍結防止剤へと順次切り替えていく必要があると思われる。当面は、性能とコストとのバランスを踏まえ、適材適所で塩化物型凍結防止剤と使い分けることが現実的な方法であると考えられる。

参考文献

1）土木技術資料，43［4］，pp.32-37，2001

5．課題と今後の方向性

5.1　課　　題

本共同研究において、開発した非塩化物型凍結防止剤の酢酸ナトリウムを室内試験及び現道実証試験で一般的に使用している、塩化物型凍結防止剤(塩化ナトリウム・塩化カルシウム)と比較した結果、次のことが判明した。

1）　室内試験

（1）凝固点試験及び融氷量試験において、塩化カルシウムと同等以上の性能を有する凍結防止剤と確認出来た。

（2）鋼材への腐食及びコンクリートへの劣化は、塩化物型凍結防止剤と比較して小さいことが確認出来た。

（3）魚類による急性毒性試験及び植害試験において、塩化物型凍結防止剤と比較して動植物への顕著な違いは確認出来なかった。

2）　現道実証試験

（1）酢酸系非塩化物型凍結防止剤(平成 12 年度 7 種類・平成 13 年度 9 種類)と塩化物型凍結防止剤(塩化ナトリウム・塩化カルシウム)の比較薬剤散布試験を行ったところ、酢酸ナトリウムの薬剤効果がすべり摩擦係数の経時変化や雪氷路面性状等で塩化物型凍結防止剤と同等程度の状態と判断出来た。

（2）実際の直轄国道において、薬剤散布を定められた場所，限られた時期及び薬剤散布量での薬剤散布効果比較を行ったところ、道路管理者の標準散布凍結防止剤(塩化カルシウム)の方が酢酸ナトリウムより同程度か優れている結果が多かった。

しかし、酢酸ナトリウムの方も優れた、薬剤散布効果(即効性 0.92，持続性 0.95)があったことも一定確認出来た。

今後は、非塩化物型凍結防止剤の酢酸ナトリウム(無水)を更なる即効性・持続性が向上する薬剤に改良し、薬剤散布量及び散布間隔を調整した比較試験を行い、薬剤散布効果を判断する必要がある。

また、酢酸ナトリウム(無水)の特徴を生かした散布箇所等、散布方法の提案に向けた研究を実施していく必要がある。

5.2　今後の凍結防止剤の使用方法の方向性

凍結防止剤の性質で一般的に言えることは、持続性と即効性(特に液状)は、反比例し、持続性のあるものは凍結防止対策に適し即効性のあるものは雪氷融解に適しているものと考えられる。

どの凍結防止剤にも一長一短があり、各道路管理機関の散布目的及び散布場所、または、寒冷地域や積雪地域等の気象条件、環境汚染防止によって、凍結防止剤を選定する必要がある。

今回共同研究で開発した、酢酸ナトリウム(無水)も散布目的及び散布場所を判断し適切に散布する必要があると言える。

また、性能的には、酢酸ナトリウムが有力であるが、薬剤の使用散布目的によって次の凍結防止剤も過去の薬剤散布実態から各道路管理機関が要求する条件の選択肢もありえる

ことを追記する。

①持続性を要求する地域は、顆粒状の酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム及び酢酸カルシウム・マグネシウム・ナトリウム

②即効性を要求する地域は、液状の酢酸カリウム系及び酢酸ナトリウム系

③植物や魚類への被害が懸念される地域は、酢酸カルシウム・マグネシウム(ＣＭＡ)

一方、4.1.6 にも述べたとおり、今回共同研究で開発した、酢酸ナトリウム(無水)を含む酢酸系凍結防止剤は価格が高いことから全国的な普及にはいたっていないが、欧米の冬期道路管理を行う機関においては、環境及び道路構造物の維持メンテナンスをトータルに検討し酢酸系の非塩化物凍結防止剤に切り替えている地域もある、また、空港滑走路においては、いち早く非塩化物型凍結防止剤を採用している。

各道路管理機関が環境に配慮し道路構造物にも塩害や凍害の影響が少なく、薬剤散布効果の持続性がある、酢酸系凍結防止剤等の非塩化物型凍結防止剤を選択することにより、多少価格の高い凍結防止剤でも、環境破壊の防止や道路構造物の維持メンテナンス等を考えた時、トータルコストを試算すれば、非塩化物型凍結防止剤を選択する余地があると考えられ、提案するものである。

資　料　編

１．室内試験 …… 83

１）平成 14 年度すべり摩擦力測定試験における試験体路面性状写真(代表例) …… 83

２）平成 14 年度鋼板腐食試験における試験片表面写真 …… 85

３）平成 14 年度魚類による急性毒性試験写真 …… 89

４）平成 14 年度植害試験写真 …… 93

２．現場実証試験 …… 96

１）使用薬剤 …… 96

（１）平成 13 年度使用薬剤の比較 …… 96

（２）平成 14 年度使用薬剤の比較 …… 98

２）現場試験状況 …… 99

（１）平成12年度～平成14年度観測状況(代表例) …… 99

（２）平成12年度～平成14年度路面性状経時変化(代表例) ……104

３）平成 14 年度試験結果 ……110

（１）第１回目～第７回目試験結果 ……110

（２）標準薬剤と比較薬剤の薬剤散布に関するアンケート調査集計結果 ……124

３．発表論文リスト ……125

１．室内試験

１）平成 14 年度すべり摩擦力測定試験における試験体路面性状写真（代表例）

①塩化ナトリウムを散布したときの試験体路面性状の継時変化（写真 1-1）

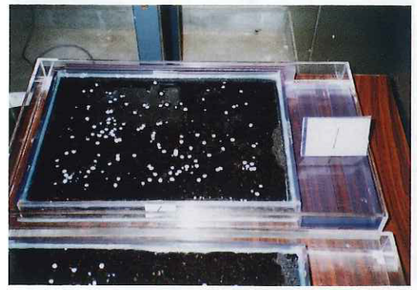


写真 1-1-1　散布直後

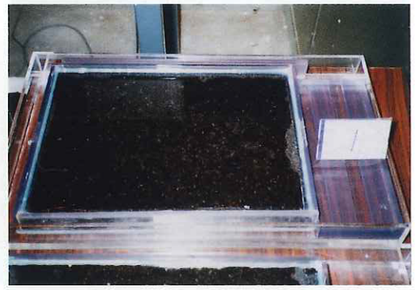


写真 1-1-2　散布 30 分後



写真 1-1-3　散布 2 時間後（試験前）



写真 1-1-4　散布 2 時間後（試験後）



写真 1-1-5　散布 5 時間後（試験前）



写真 1-1-6　散布 5 時間後（試験後）



写真 1-1-7　散布 8 時間後（試験前）



写真 1-1-8　散布 8 時間後（試験後）

②酢酸ナトリウムBを散布したときの試験体路面性状の継時変化（写真 1-2）



写真 1-2-1　散布直後



写真 1-2-2　散布 30 分後

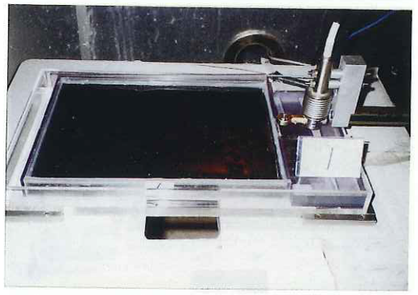


写真 1-2-3　散布 2 時間後（試験前）

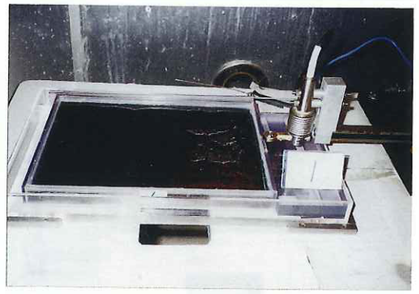


写真 1-2-4　散布 2 時間後（試験後）



写真 1-2-5　散布 5 時間後（試験前）



写真 1-2-6　散布 5 時間後（試験後）



写真 1-2-7　散布 8 時間後（試験前）



写真 1-2-8　散布 8 時間後（試験後）

2）平成 14 年度鋼板腐食試験における試験片表面写真（写真 1-3）

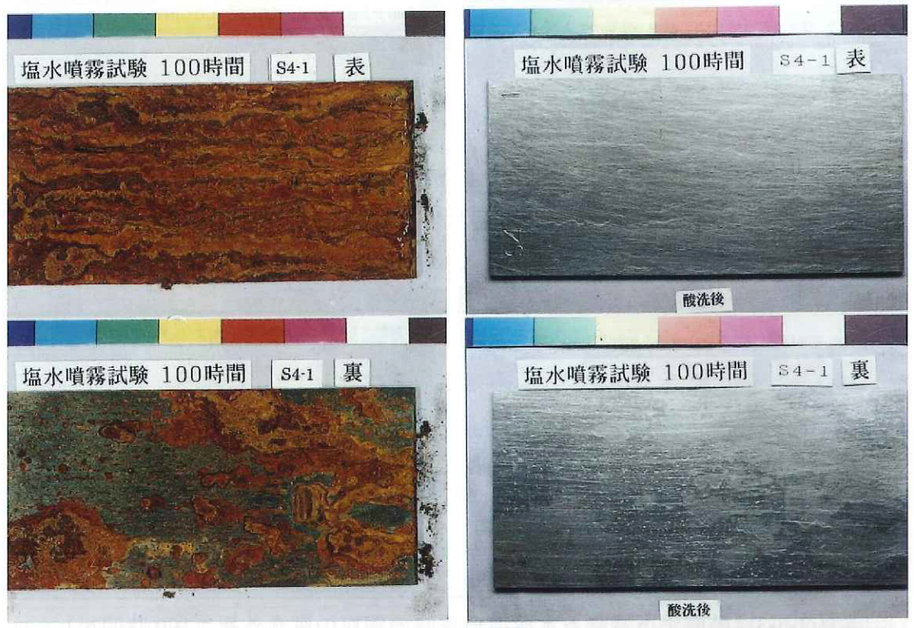


写真 1-3-1　塩化ナトリウム水溶液噴霧時の鋼板の腐食外観（100 時間後）

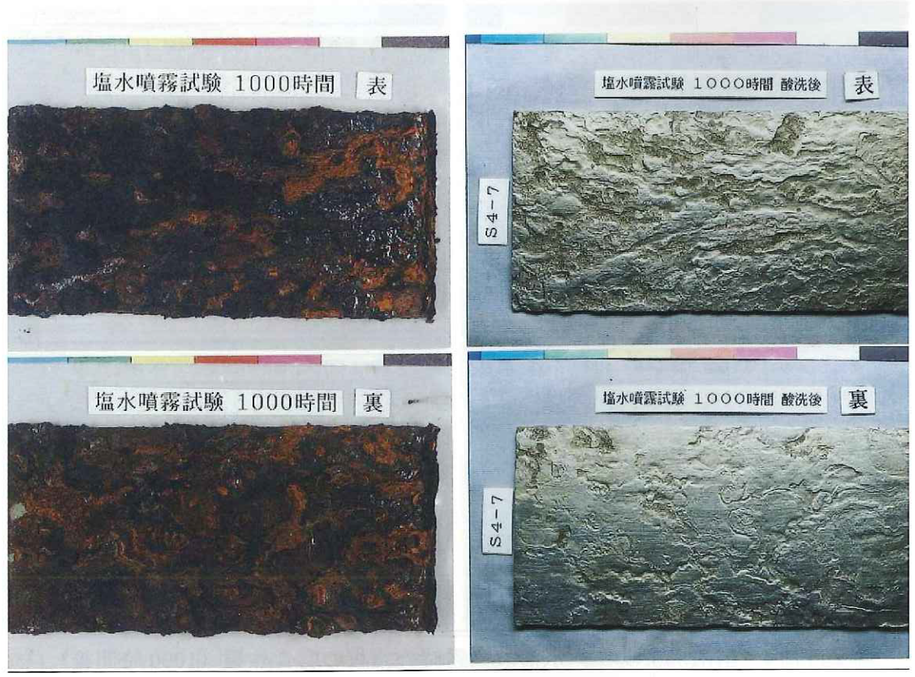


写真 1-3-2　塩化ナトリウム水溶液噴霧時の鋼板の腐食外観（1000 時間後）

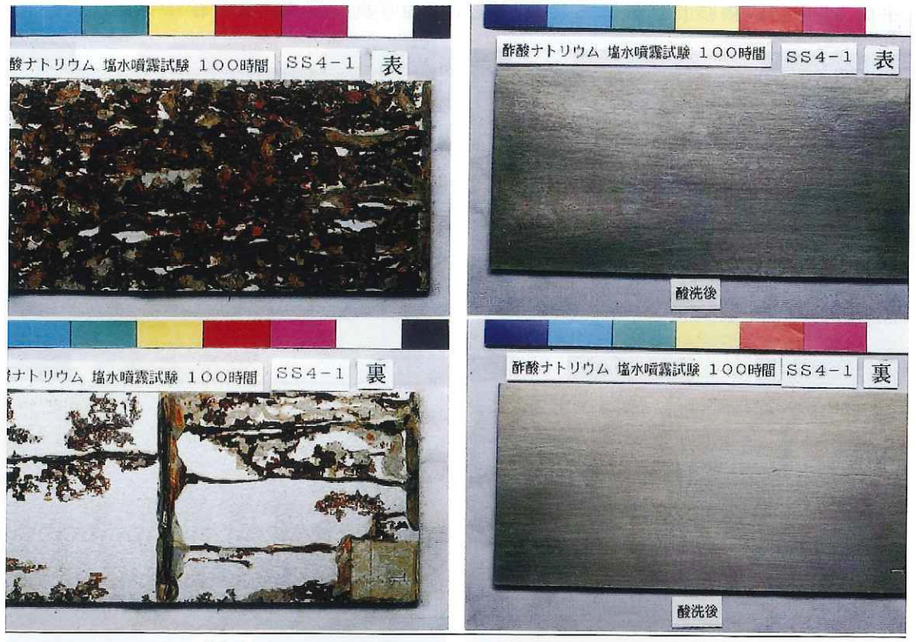


写真 1-3-3　酢酸ナトリウム水溶液噴霧時の鋼板の腐食外観（100 時間後）

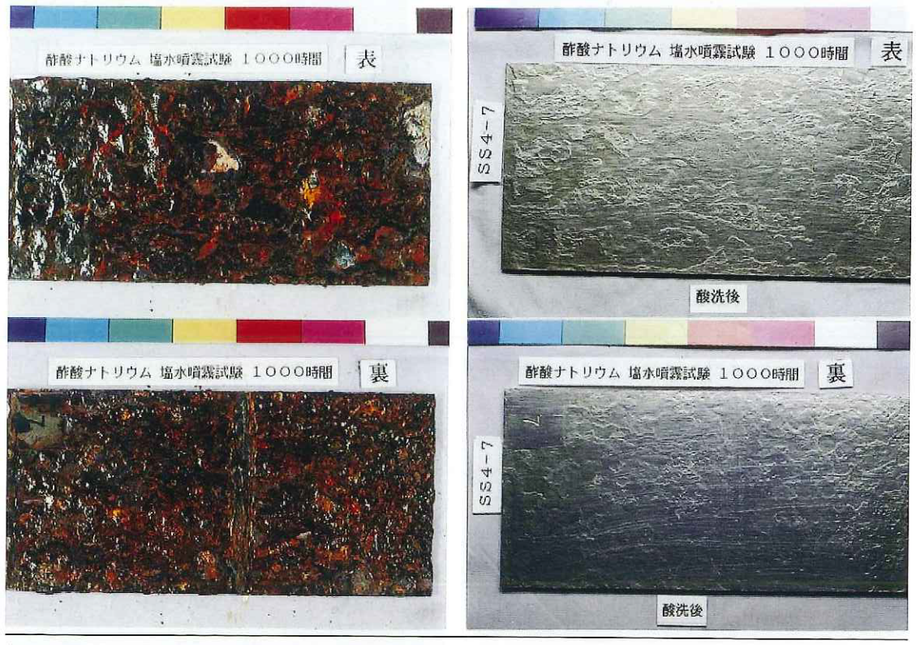


写真 1-3-4　酢酸ナトリウム水溶液噴霧時の鋼板の腐食外観（1000 時間後）

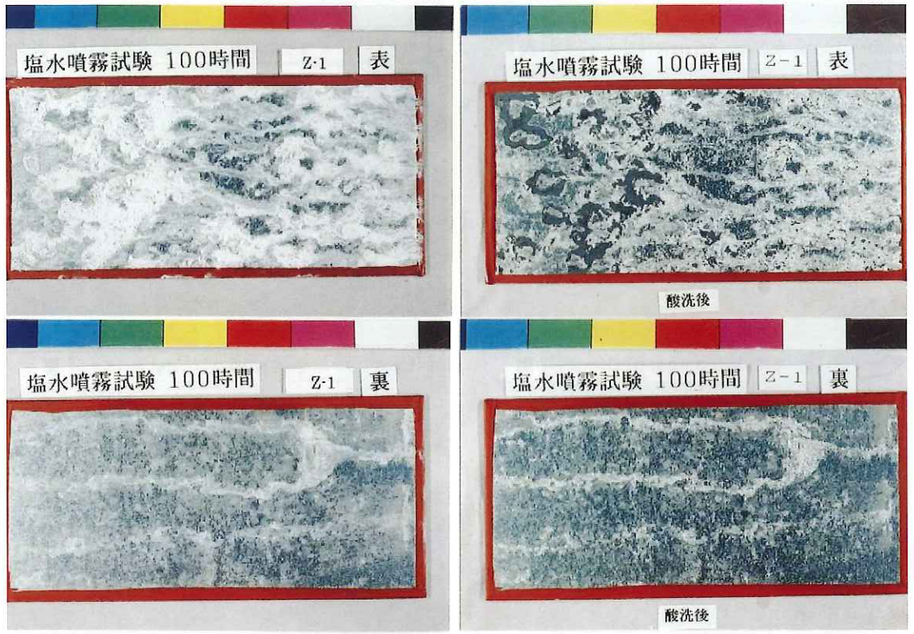


写真 1-3-5　塩化ナトリウム水溶液噴霧時の亜鉛メッキ鋼板の腐食外観（100 時間後）

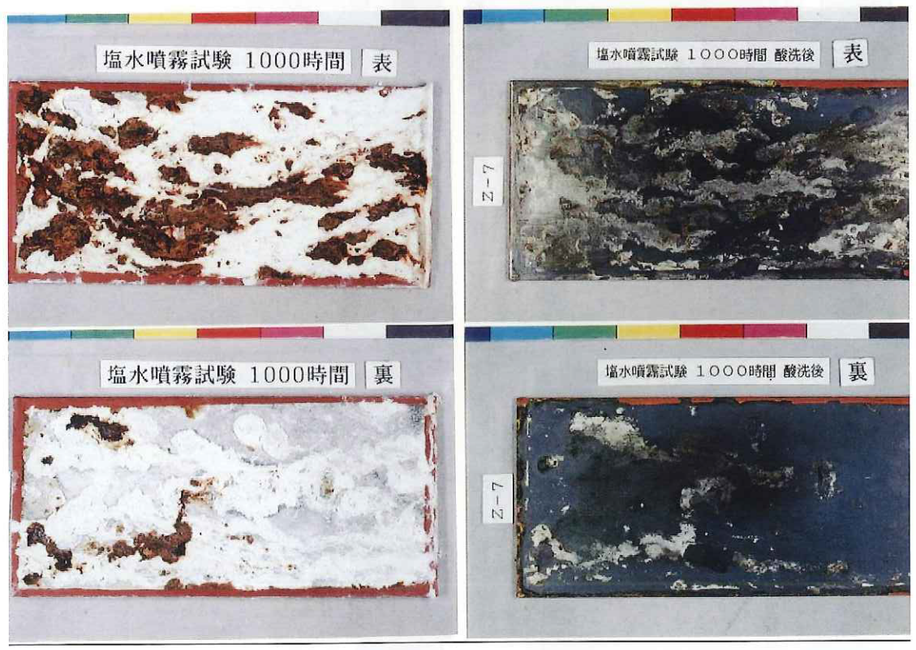


写真 1-3-6　塩化ナトリウム水溶液噴霧時の亜鉛メッキ鋼板の腐食外観（1000 時間後）

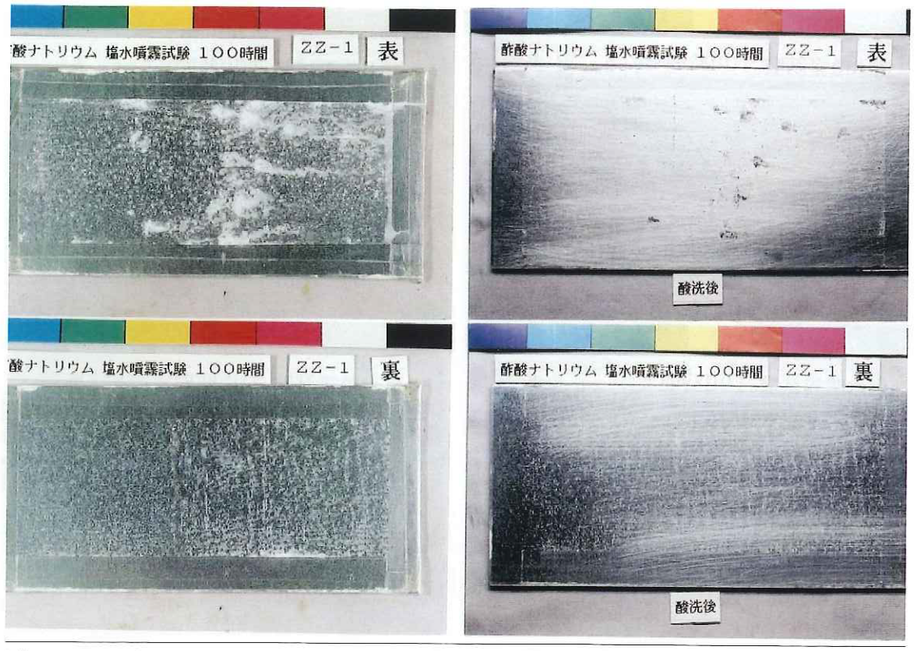


写真 1-3-7　酢酸ナトリウム水溶液噴霧時の亜鉛メッキ鋼板の腐食外観（100 時間後）



写真 1-3-8　酢酸ナトリウム水溶液噴霧時の亜鉛メッキ鋼板の腐食外観（1000 時間後）



写真 1-4-3　塩化カルシウム



写真 1-4-5　酢酸ナトリウムC



写真 1-4-2　塩化ナトリウム



写真 1-4-4　酢酸ナトリウムB

3）平成 14 年度魚類による急性毒性試験
①24 時間後（写真 1-4）



写真 1-4-1　対照試験水



写真 1-4-6　酢酸ナトリウムA

②48 時間後（写真 1-5）



写真 1-5-1　対照試験水



写真 1-5-2　塩化ナトリウム



写真 1-5-3　塩化カルシウム



写真 1-5-4　酢酸ナトリウム A



写真 1-5-5　酢酸ナトリウム B



写真 1-5-6　酢酸ナトリウム C

③72 時間後（写真 1-6）



写真 1-6-1　対照試験水



写真 1-6-2　塩化ナトリウム



写真 1-6-3　塩化カルシウム



写真 1-6-4　酢酸ナトリウム A



写真 1-6-5　酢酸ナトリウム B



写真 1-6-6　酢酸ナトリウム C

④96 時間後（写真 1-7）



写真 1-7-1　対照試験水



写真 1-7-2　塩化ナトリウム



写真 1-7-3　塩化カルシウム



写真 1-7-4　酢酸ナトリウム A



写真 1-7-5　酢酸ナトリウム B



写真 1-7-6　酢酸ナトリウム C

4）平成 14 年度植害試験写真（写真 1-8）



写真 1-8-1　は種 6 日後（酢酸ナトリウム A）

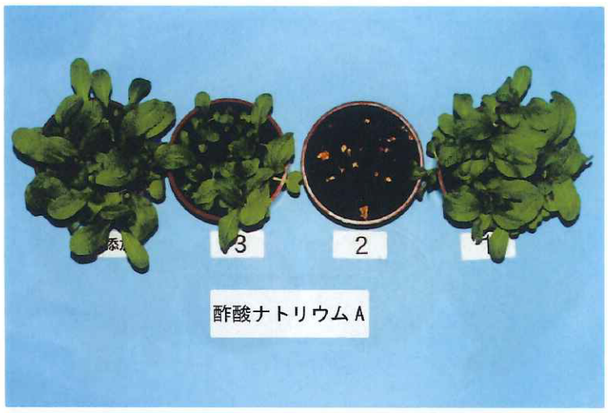


写真 1-8-2　最終調査時（酢酸ナトリウム A）

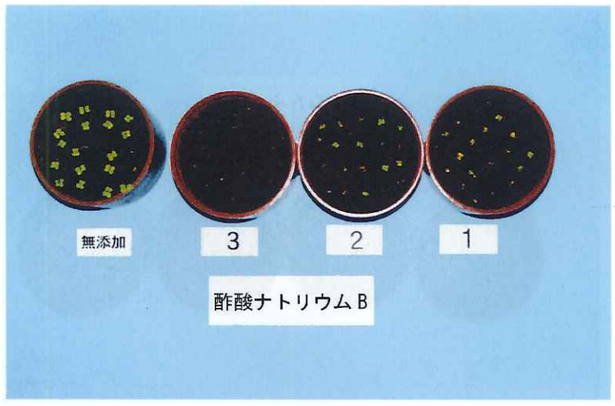


写真 1-8-3　は種 6 日後（酢酸ナトリウム B）

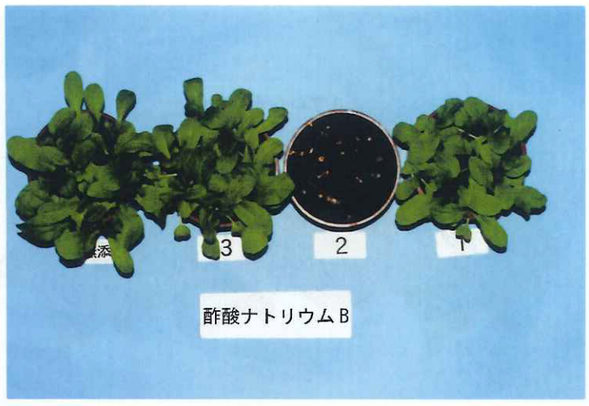


写真 1-8-4　最終調査時（酢酸ナトリウム B）

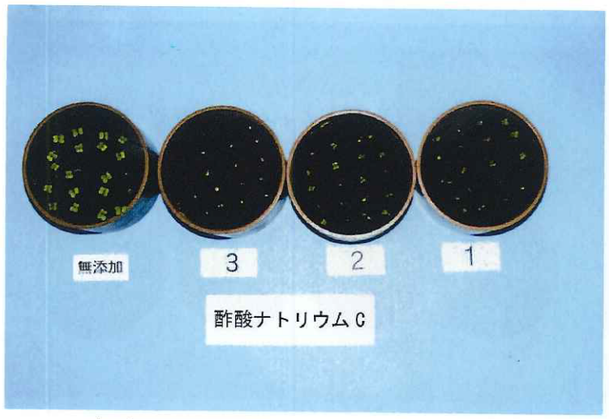


写真 1-8-5　は種 6 日後（酢酸ナトリウム C）



写真 1-8-6　最終調査時（酢酸ナトリウム C）

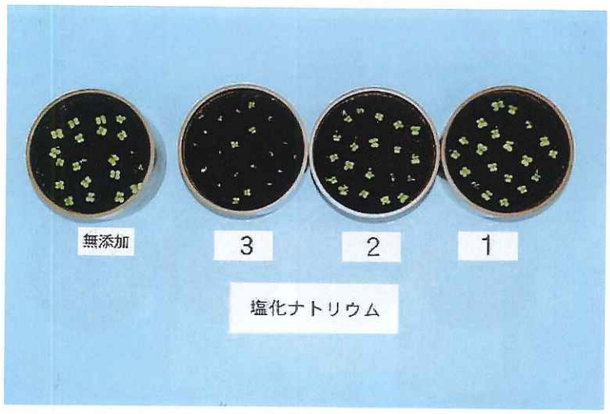


写真 1-8-7　は種 6 日後（塩化ナトリウム）



写真 1-8-8　最終調査時（塩化ナトリウム）

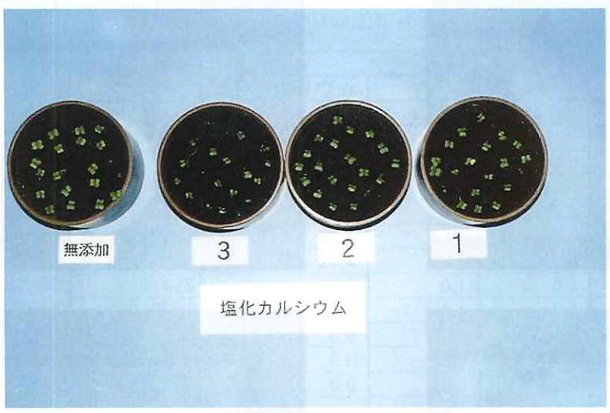


写真 1-8-7　は種 6 日後（塩化カルシウム）



写真 1-8-8　最終調査時（塩化カルシウム）

(1)　平成 13 年度使用薬剤の比較

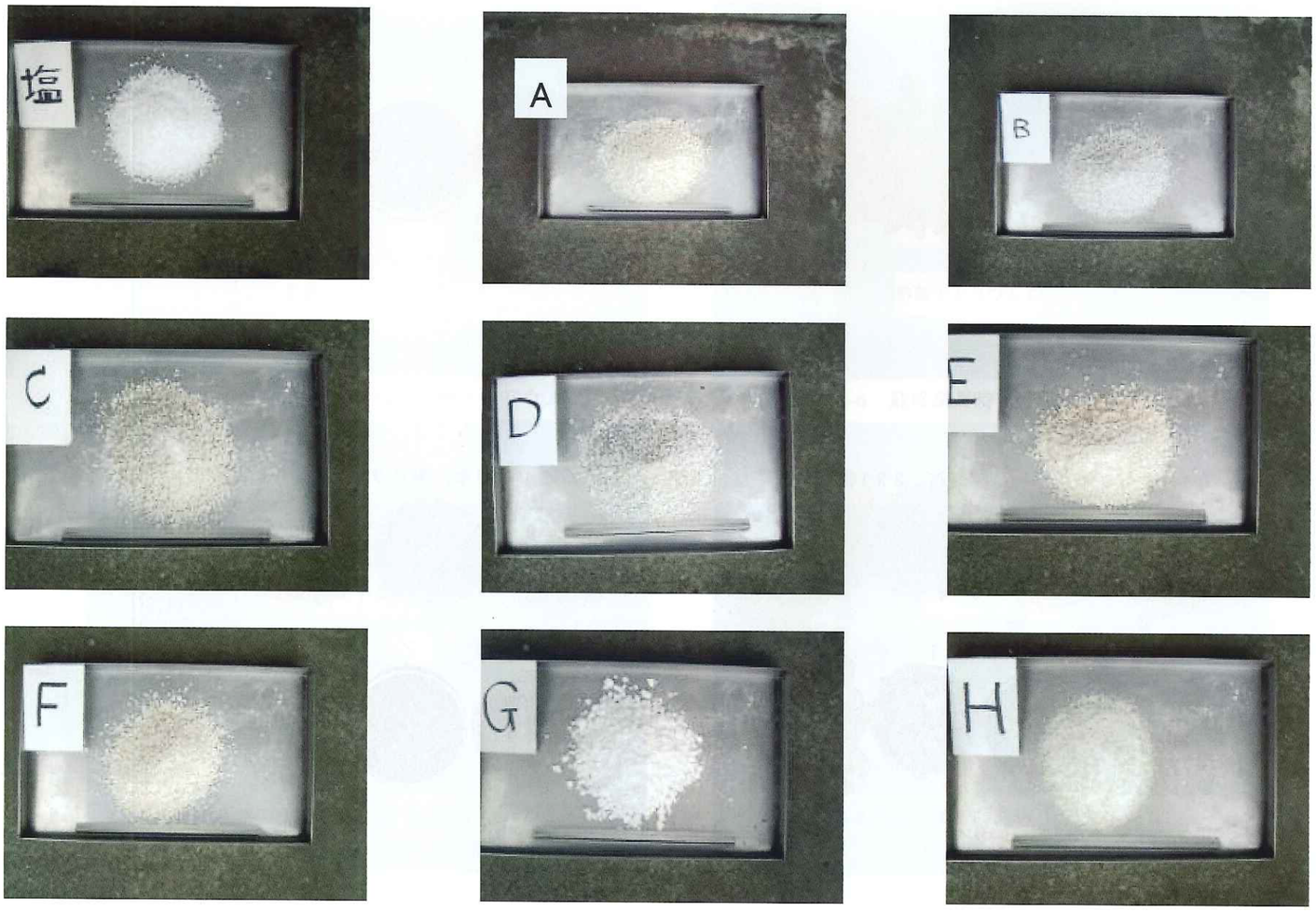
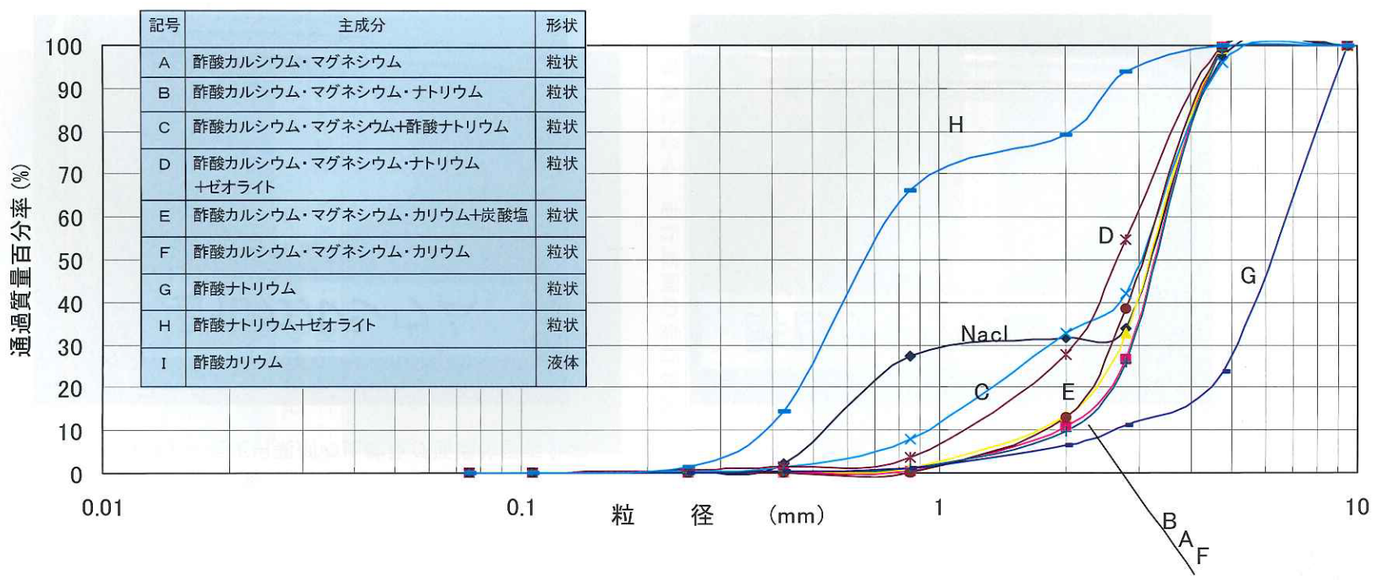


写真 2-1-1　使用薬剤比較

資料 2-1-1　平成 13 年度使用薬剤の通過粒径百分率

	通過質量百分率 （%）								
	塩化ナトリウム	A	B	C	D	E	F	G	H
最大粒径mm	4.4	4.3	4.2	5.8	4.0	4.8	4.8	12.3	3.0
ふるい寸法									
9.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4. 75	97.0	99.5	99.4	96.0	99.6	99.2	98.9	23.6	100.0
2. 8	33.9	26.5	32.8	41.9	54.8	38.7	25.8	11.1	93.8
2. 0	31.6	10.9	13.2	32.6	27.6	13.1	9.8	6.5	79.1
0. 85	27.4	0.4	1.1	7.9	3.4	0.0	1.0	1.2	66.1
0. 425	2.3	0.1	0.4	1.4	1.6	0.0	0.4	0.2	14.5
0. 250	0.1	0.1	0.3	0.2	0.9	0.0	0.1	0.0	1.6
0. 106	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0. 075	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.075以下	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

全体の通過質量百分率分布図

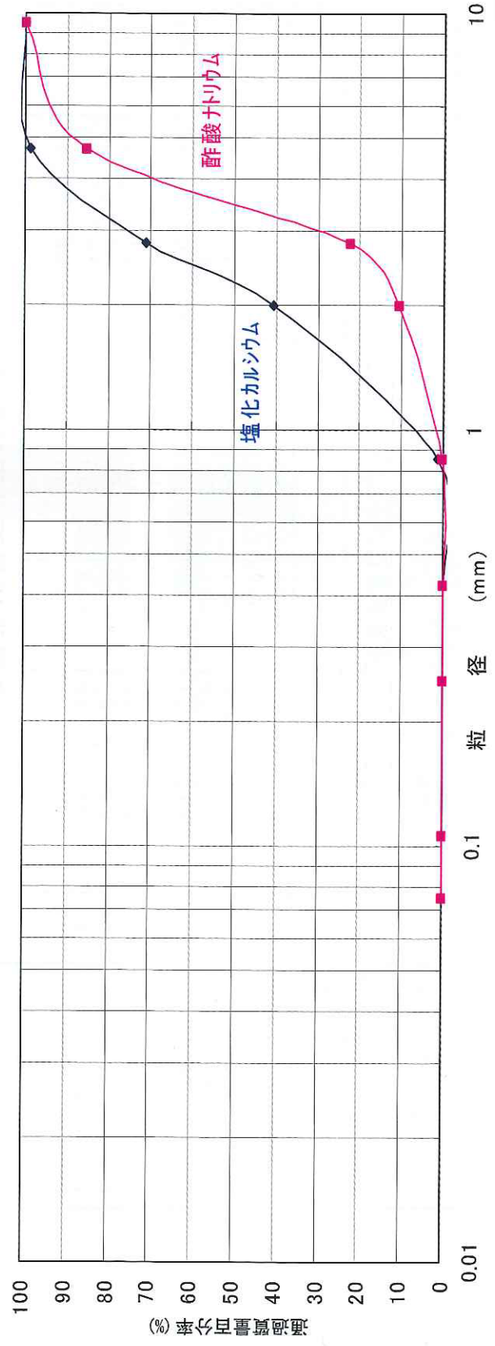


(2)　平成 14 年度使用薬剤の比較

資料 2-1-2　平成 14 年度使用薬剤の比較及び通過粒径百分率







2）現場試験状況

(1)　平成 12 年度～平成 14 年度観測状況(代表例)

①　平成 12 年度現場観測状況



写真 2-2-1　薬剤散布状況（B 区間）



写真 2-2-2　薬剤散布状況（E 区間）



写真 2-2-3　路面凍結の為、散水車による散水状況



写真 2-2-4　走行車両の走行状況



写真 2-2-5　走行車両の走行状況



写真 2-2-6　路面すべり測定車によるすべり摩擦測定状況



写真 2-2-7　路面すべり測定車によるすべり摩擦測定状況



写真 2-2-8　路面すべり測定車のすべり摩擦測定用試験輪



写真 2-2-9　試験輪のすべり摩擦測定使用前・後状況



写真 2-2-10　雪氷ｻﾝﾌﾟﾙ採取状況



写真 2-2-11　雪氷厚計測状況



写真 2-2-12　雪氷路面温度計測状況

②平成 13 年度現場観測状況



写真 2-2-13　各薬剤散布前小分け状況



写真 2-2-14　散布車による散水作業状況



写真 2-2-15　薬剤散布状況



写真 2-2-16　薬剤散布後の路面状況



写真 2-2-17　走行車両の走行状況



写真 2-2-18　散布車による追加散水作業状況



写真 2-2-19　雪氷路面温度計測状況



写真 2-2-20　目視による路面性状観測状況



写真 2-2-21　路面すべり測定車によるすべり摩擦測定状況



写真 2-2-22　試験輪のすべり摩擦測定使用前（左）・後（右）状況

③平成 14 年度現場観測状況



写真 2-2-23　酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ投入状況



写真 2-2-24　酢酸ﾅﾄﾘｳﾑを薬剤散布車へ投入状況



写真 2-2-25　路面すべり測定車の試験輪空気圧確認状況



写真 2-2-26　路面すべり測定車の試験輪取付状況



写真 2-2-27 路面すべり測定車の試験輪上げ状況



写真 2-2-28　路面すべり測定車の試験輪下げ状況



写真 2-2-29　薬剤散布車による薬剤散布状況



写真 2-2-30　路面すべり測定車によるすべり摩擦計測状況



写真 2-2-31　路面すべり測定車によるすべり摩擦計測状況



写真 2-2-32　目視による路面性状及び雪氷路面温度計測状況



写真 2-2-33　現地観測員による路面詳細観測状況



写真 2-2-34　薬剤濃度計測状況

		3／11　17:00	19:00	21:00	23:00
全景	塩化カルシウム				
	凍結防止剤E				
近景	塩化カルシウム	 湿潤	 湿潤	 つぶ雪下層氷膜	 氷膜
	凍結防止剤E	 湿潤	 湿潤	 湿潤	 湿潤

写真2-2-35 平成１２年度第５回目調査路面性状（代表例）

		3／12　1:00	3:00
全景	塩化カルシウム		
	凍結防止剤E		
近景	塩化カルシウム	 氷膜	 氷膜
	凍結防止剤E	 氷膜	 乾燥

写真2-2-35 平成１２年度第５回目調査路面性状（代表例）

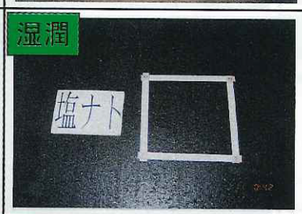
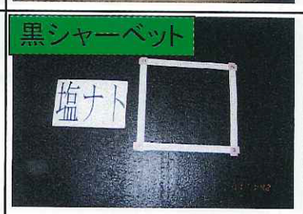
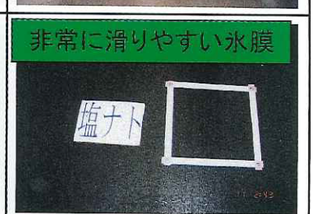
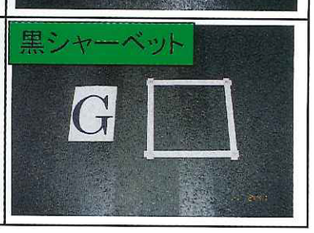
		3／10　19:00	3／11　0:00	1:00	2:00
全景	塩化ナトリウム				
	凍結防止剤G				
近景	塩化ナトリウム				
	凍結防止剤G				

写真2-2-36 平成１３年度第６回目調査路面性状(代表例)

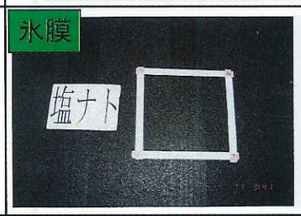
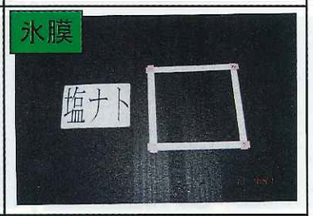
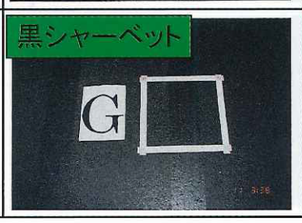
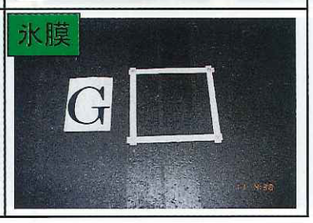
		3／11　3:00	4:00
全景	塩化ナトリウム		
	凍結防止剤G		
近景	塩化ナトリウム		
	凍結防止剤G		

写真2-2-36 平成１３年度第６回目調査路面性状(代表例)

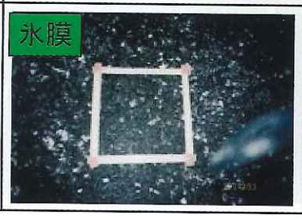
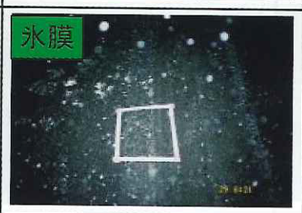
		1／29　5:00	6:00	8:00	9:30
全景	塩化カルシウム				
	酢酸ナトリウム				
近景	塩化カルシウム	 氷膜	 黒シャーベット	 黒シャーベット	 白シャーベット
	酢酸ナトリウム	 氷膜	 氷膜	 氷膜	 粉雪下層氷板

写真2-2-37 平成１４年度第２回目調査路面性状(代表例)

		1／30　21:10	1／31　0:20	3:20	5:30
全景	塩化カルシウム				
	酢酸ナトリウム				
近景	塩化カルシウム	 黒シャーベット	 黒シャーベット	 黒シャーベット	 黒シャーベット
	酢酸ナトリウム	 黒シャーベット	 黒シャーベット	 黒シャーベット	 黒シャーベット

写真2-2-38 平成１４年度第３回目調査路面性状(代表例)

３）平成１４年度試験結果

(1)第１回目～第７回目試験結果

第１回目調査結果（1/21　20:30～1/22　7:00　　散布量は両薬剤ともに20ｇ／㎡）

【当日の気象状況】

1)　調査開始前から弱い降雪があり、1:00頃まで降り続いたが、その後は曇となった。累計降雪量は５mm(21～７時の10時間計)と少なかった。

2)　気温は調査開始時は－4.0℃であったが、その後徐々に低下し、調査終了時には－8.2℃まで低下した。

3)　風速は調査開始から終了まで１～２m/sで推移した。

【各測定項目の調査結果】

1)路面性状

ａ．塩化カルシウム散布箇所の路面性状は、調査開始から３回目散布が始まる5:00頃までは粒雪下層氷板、その後は白シャーベットへと変化した。２回目散布直後からは、上層の雪が時間の経過とともに少なくなっていた。

ｂ．酢酸ナトリウム箇所の路面は、調査開始から２回目散布の１時間後までは粒雪で、その後、路面性状は氷膜へと変化していた。

2)すべり摩擦係数

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、初回散布から２回目散布まではμ＝0.40～0.38と大きな変化はない。２回目散布以降は時間によってバラツキはあるものの時間経過とともに低下(μ＝0.37→0.29)する傾向であった。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所は、初回散布から２回目散布の１時間後まではμ＝0.35～0.39で推移した。その後、路面性状が氷膜へと変化してからはμ＝0.34→0.25と時間の経過とともに低下していった。

3)雪氷路面温度

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、調査開始時は－2.5℃程度であったが、その後時間の経過とともに低下し、３回目散布直後には－4.9℃まで低下していった。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所についても同様の傾向であったが、塩化カルシウム散布箇所より1.0℃程度低い温度であった。

4)残留薬剤濃度

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、１回目散布後0.2～0.6%、２回目散布後0.8～1.4%、３回目散布後1.5～2.4%と、散布回数を重ねる毎に残留薬剤濃度は濃くなっていった。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所についても散布回数を重ねる毎に残留薬剤濃度は増加する傾向であるが、最大で1.1%であった。

【塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの比較】

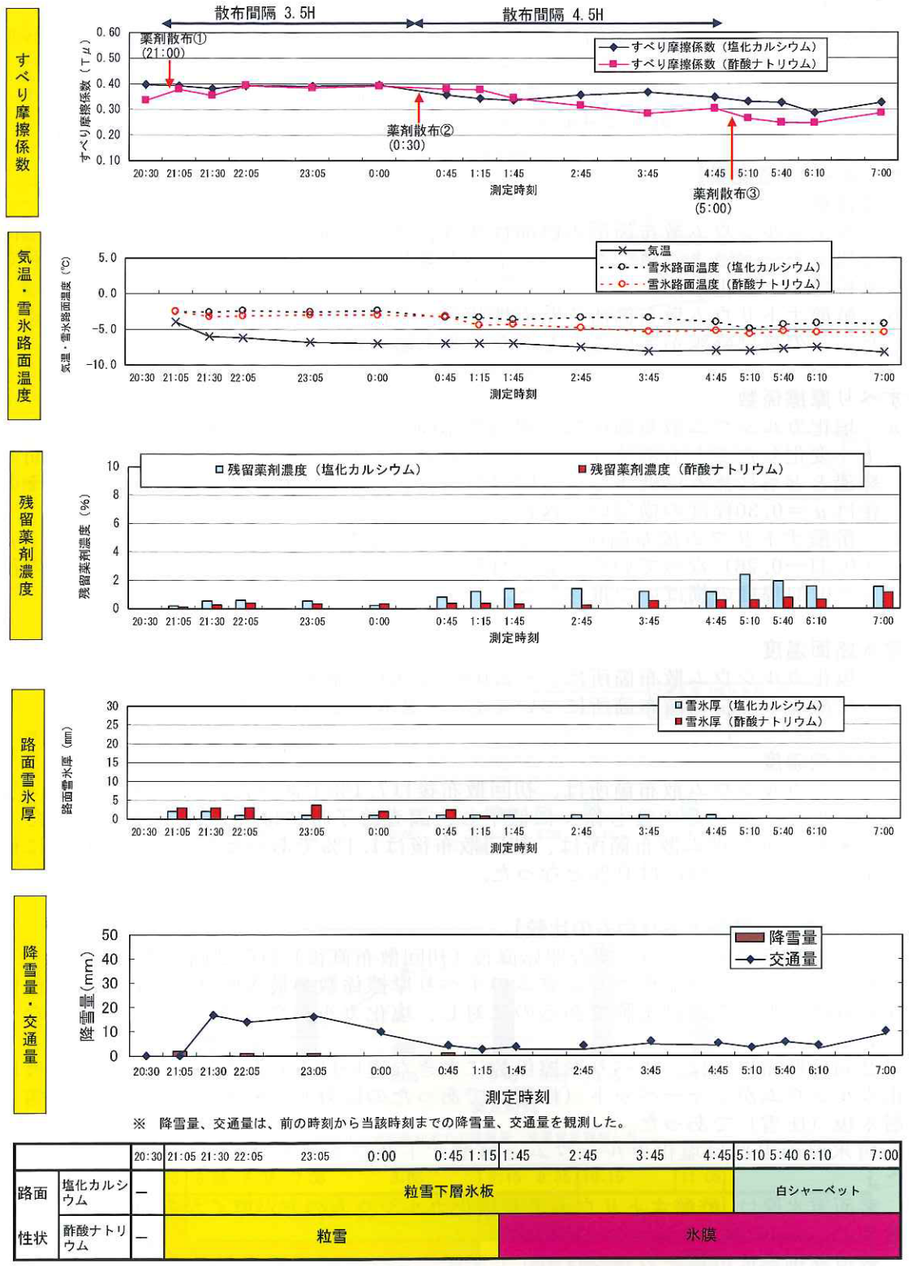
1)　今回の調査結果からは、調査開始から２回目散布開始までは、塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの路面性状及びすべり摩擦係数に顕著な差異はみられないが、２回目散布以降は酢酸ナトリウムの路面性状が氷膜へ変化し、すべり摩擦係数も塩化カルシウムより低くなった。

2)　雪氷路面温度は塩化カルシウムより酢酸ナトリウムが１℃程度低い値を示した。

3)　路面雪氷厚は、僅かに塩化カルシウムより酢酸ナトリウムの方が厚くなる傾向があった。

4)　残留薬剤濃度も酢酸ナトリウムの方が小さい値を示しており、概ね塩化カルシウムの半分程度であった。

5)　この雪氷路面上の残留薬剤濃度の違いにより、塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの路面性状に変化が表れているのではないかと考えられる。



測定結果グラフ（第１回目調査　1/21　20:30～　1/22　7:00）

第２回目調査結果(1/29　5:10～12:00　散布量は両薬剤ともに20ｇ／㎡)

【当日の気象状況】

1)　調査開始間もなく降雪が始まり、調査が終了する12:00までに約14cmの降雪があった。
2)　気温は調査開始から終了まで－4.9～－７℃で推移した。
3)　風速は平均２m/s、最大で４m/sであった。

【各測定項目の調査結果】

1)路面性状

ａ．塩化カルシウム散布箇所の路面性状は、初回散布前は氷膜であったが、散布後は黒シャーベット、白シャーベットへと変化した。その後は降雪が多いこともあり粒雪へと変化した。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の路面性状は、初回散布の２時間後までは氷膜が続いた。その後は降雪が多いこともあり粒雪下層氷板・圧雪へと変化した。

2)すべり摩擦係数

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、初回散布前後で雪氷路面が氷板から黒シャーベットへ変化したこともありμ＝0.39→0.45と高くなった。しかし、その後は時間の経過とともに徐々に低下し、２回目散布直後にはμ＝0.25まで低くなった。その後はμ＝0.30程度の横ばいで推移した。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所は、初回散布から２回目散布にかけて徐々に低く(μ＝0.31→0.26）なっていた。２回目散布後はμ＝0.26→0.32へと上昇し、その後μ＝0.31程度の横ばいで推移した。

3)雪氷路面温度

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、－2.0～－2.6℃で推移した。
ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所についても、－2.0～-2.8℃で推移した。

4)残留薬剤濃度

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、初回散布後は7.1％であったが、30分後には3.0％まで低下した。その後も徐々に低下し、調査終了時には0.1％にまで低下した。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所は、初回散布後は1.1％であったが、その後徐々に低下し、調査終了時には０％となった。

【塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの比較】

1)　今回の調査結果からは、調査開始直後（初回散布直後）から２回目散布前までは、酢酸ナトリウムより塩化カルシウムのすべり摩擦係数が最大0.20程度高く、路面性状も酢酸ナトリウムは氷膜であるのに対し、塩化カルシウムはシャーベットとなっていた。

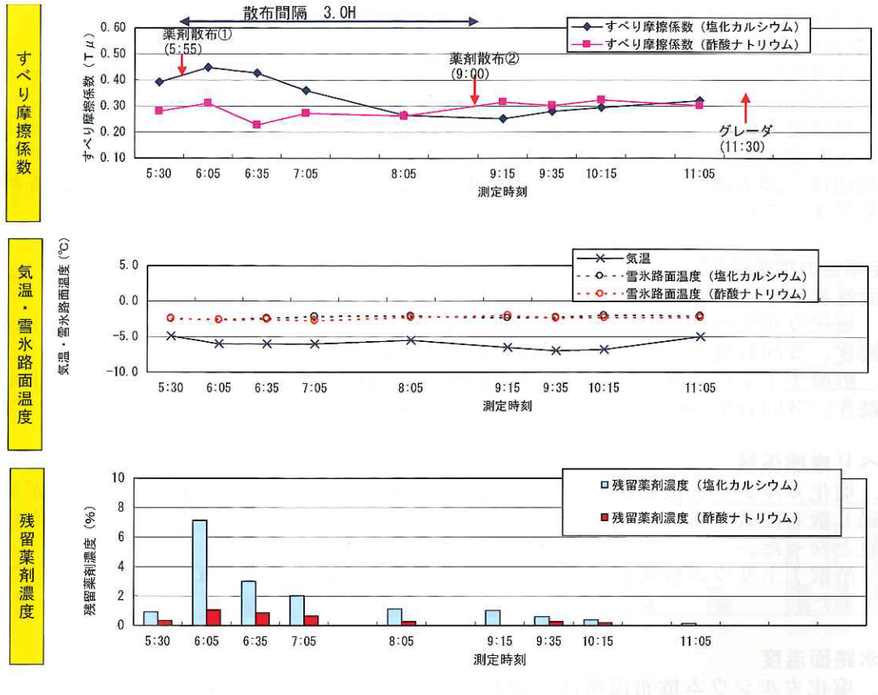
　２回目散布以降は、すべり摩擦係数に大きな違いはみられないが、路面性状は塩化カルシウムがシャーベット（粒雪）であったのに対し、酢酸ナトリウムは粒雪下層氷板（圧雪）であった。

2)　雪氷路面温度は塩化カルシウムと酢酸ナトリウムで大きな違いはみられなかった。

3)　路面雪氷厚は、酢酸ナトリウムより塩化カルシウムの方が厚くなる傾向があった。最大で、5mmの差が生じていた。

4)　残留薬剤濃度は塩化カルシウムより酢酸ナトリウムが低くなっており、特に初回散布直後では塩化カルシウム7.1%、酢酸ナトリウム1.1%と大きな差が生じていた。

　この雪氷路面上の残留薬剤濃度の違いが、初回散布以降の路面状況・すべり摩擦係数に表れているのではないかと考えられる。



※　降雪量、交通量は、前の時刻から当該時刻までの降雪量、交通量を観測した。

		5:30	6:05 6:35 7:05 8:05	9:15 9:35	10:15	11:05	
路面性状	塩化カルシウム	氷膜	黒シャーベット	白シャーベット	粒雪		
	酢酸ナトリウム	氷膜		粒雪下層氷板		粒雪下層圧雪	

測定結果グラフ（第２回目調査　1/29　5:30～　1/29　11:05）

第３回目調査結果（1/30　21:00～1/31　6:30　　散布量は両薬剤ともに20ｇ／㎡）

【当日の気象状況】

1)　調査開始時から天候は小雪で調査終了まで降り続いたが、累積降雪量は８㎜と少なかった。

2)　気温は調査開始時から－７～－８℃で推移し、6:00頃から上昇して調査終了時には－３℃まで上昇した。

3)　風速は、調査開始から４時頃までは平均２m/s程度であったが、その後は調査終了まで４～５m/sと強くなった。

【各測定項目の調査結果】

1) 路面性状

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、調査開始から３回目散布までは黒シャーベットが続き、３回目散布直後からは湿潤路面へと変化した。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所も、調査開始から３回目散布までは黒シャーベットが続き、３回目散布直後からは湿潤路面へと変化した。

2) すべり摩擦係数

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、調査開始時はμ＝0.32と比較的低いが、時間が経過し散布回数を重ねる毎にすべり摩擦係数は高くなり、6:00にはμ＝0.56と高い値となった。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所は、塩化カルシウム散布箇所とほぼ同様の傾向を示していた。

3) 雪氷路面温度

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、調査開始から終了まで－3.0℃前後で推移した。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所も、調査開始から終了まで－3.0℃前後で推移した。

4) 残留薬剤濃度

ａ．塩化カルシウム散布箇所は、調査開始から３回目散布前までは２％前後で推移し、３回目散布以降は路面性状が湿潤となったこともあり、７～８％と高い濃度を示した。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所は、調査開始から終了まで２％前後の値で推移した。

【塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの比較】

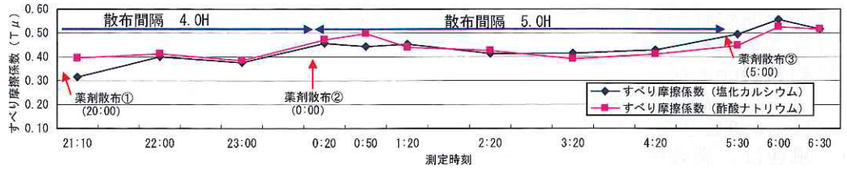
1)　今回の調査結果では、路面性状及びすべり摩擦係数には大きな違いは表れていなかった。

2)　雪氷路面温度並びに路面雪氷厚についても、塩化カルシウムと酢酸ナトリウムとで大きな違いはみられなかった。

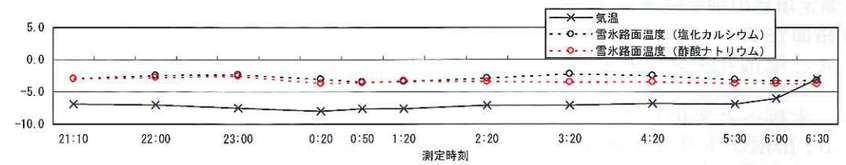
3)　残留薬剤濃度については、時間帯によって若干のバラツキはあるが３回目散布までは大きな違いはみられなかった。

4)　３回目散布以降は塩化カルシウムの残留薬剤濃度が酢酸ナトリウムの３倍以上の濃度を示していた。

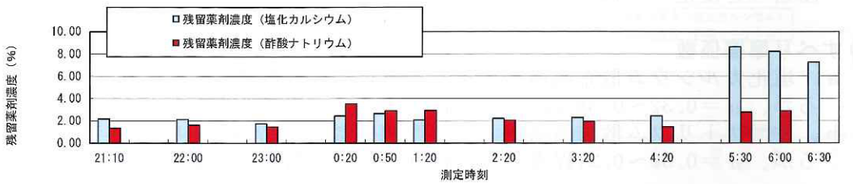
すべり摩擦係数



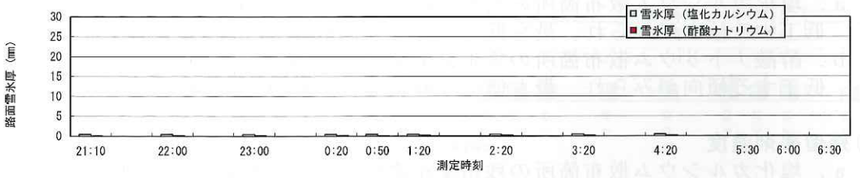
気温・雪氷路面温度



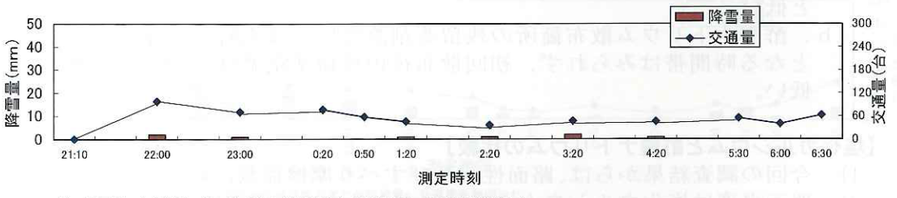
残留薬剤濃度



路面雪氷厚



降雪量・交通量



※　降雪量、交通量は、前の時刻から当該時刻までの降雪量、交通量を観測した。

		21:10	22:00	23:00	0:20	0:50	1:20	2:20	3:20	4:20	5:30	6:30	
路面性状	塩化カルシウム	黒シャーベット									湿潤		
	酢酸ナトリウム	黒シャーベット									湿潤		

測定結果グラフ（第３回目調査　1/30　21:10～　1/31　6:30）

第４回目調査結果（1/31　18:30～2/1　7:00　　散布量は両薬剤ともに20ｇ／㎡）

【当日の気象状況】

1)　調査開始時から降雪があり、開始から約５時間(1/31 23:00頃)が経過する頃の累計降雪量は約９cmとなった。その後も弱い雪が降り続き、調査終了時の累計降雪量は約12.0cmとなった。

2)　気温は、調査開始時は－5.0℃であったが、その後緩やかに低下し、調査終了時には－6.0℃となった。

3)　風速は、調査開始から終了まで２～３m/sであった。

【各測定項目の調査結果】

1)路面性状

ａ．塩化カルシウム散布箇所の路面性状は、調査開始時に粉雪下層圧雪が続き、その後、粒雪下層圧雪に変化し、調査開始から約９時間が経過する頃には粒雪下層氷板へと変化していた。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の路面性状は、調査開始時は粒雪下層氷板であったが、その後、粉雪下層氷板に変化し、開始から約3.5時間が経過する頃には粒雪下層圧雪へと変化し、調査終了時まで続いた。

2)すべり摩擦係数

ａ．塩化カルシウム散布箇所のすべり摩擦係数は、時間によってバラツキはみられるが、μ＝0.32～0.38程度でほぼ横ばい状態で推移していた。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所のすべり摩擦係数も、時間によってバラツキはみられるが、μ＝0.30～0.37程度でほぼ横ばい状態で推移していた。

3)雪氷路面温度

ａ．塩化カルシウム散布箇所の雪氷路面温度は、調査開始から終了にかけて僅かに低下する傾向がみられ、最も低くなったのは1:45(－3.0℃)であった。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の雪氷路面温度は、調査開始から終了にかけて僅かに低下する傾向がみられ、最も低くなったのは0:45（－3.1℃）であった。

4)残留薬剤濃度

ａ．塩化カルシウム散布箇所の残留薬剤濃度は、調査時間全体を通して１％以上となる時間帯は殆どみられず、初回散布後の残留薬剤濃度を平均すると0.3％程度と低い。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の残留薬剤濃度は、調査時間全体を通して0.5％以上となる時間帯はみられず、初回散布後の残留薬剤濃度を平均すると0.1％程度と低い。

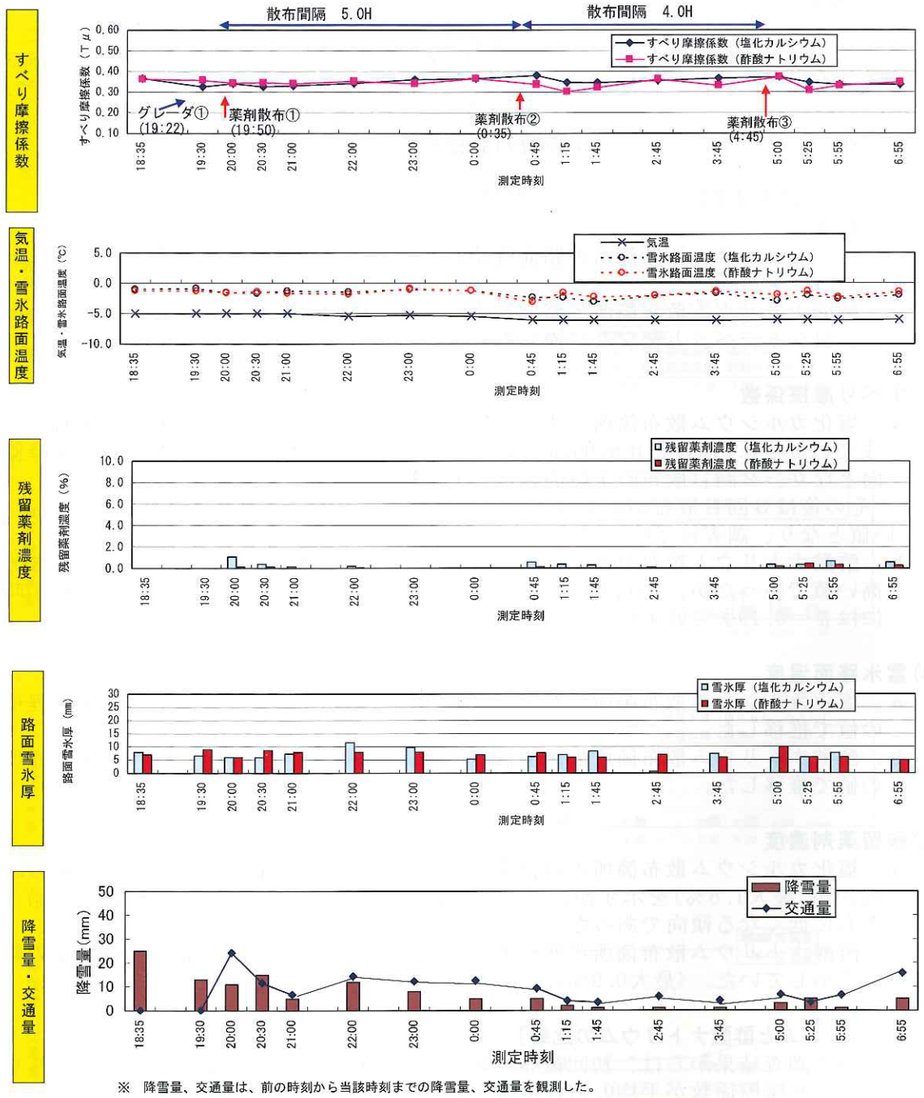
【塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの比較】

1)　今回の調査結果からは、路面性状及びすべり摩擦係数に顕著な差異はみられない。

2)　路面温度は塩化カルシウムより酢酸ナトリウムの雪氷路面温度が低くなる時間帯が多くみられた。（最大で0.8℃程度低くなる）

3)　路面雪氷厚は、塩化カルシウムより酢酸ナトリウムの方が厚くなる状況が多く計測された。

4)　残留薬剤濃度も塩化カルシウムより酢酸ナトリウムが低くなる傾向がみられた。（最大で0.5％、平均0.2％）



測定結果グラフ（第４回目調査　1/31　18:35～　2/1　6:55）

第５回目調査結果（2/16　22:00～2/17　7:00　　散布量は両薬剤ともに20ｇ／㎡）

【当日の気象状況】

1)　調査中の天候は、調査開始から小雪が降っており、時々曇となる状況であった。
2)　気温は調査開始から終了まで-1.0～-2.0℃の間で推移しており、他の調査実施日に比べて比較的暖かい状況であった。降雪量は調査開始から終了までの９時間で2.5cmであった。
3)　風速は、調査開始から終了まで概ね静穏であった。

【各測定項目の調査結果】

1)路面性状

ａ．塩化カルシウム散布箇所の路面性状は、調査開始から終了まで黒シャーベットが続いていた。
ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の路面状況も、調査開始から終了まで黒シャーベット及び白シャーベットを交互に繰り返しながら推移していた。

2)すべり摩擦係数

ａ．塩化カルシウム散布箇所のすべり摩擦係数は、調査開始から初回散布１時間後まではμ＝0.5前後と比較的高い値であるが、その後時間の経過とともに下降傾向となり、２回目散布の１時間後にはμ＝0.22となった。
　その後は３回目散布が始まるまでは横ばいで推移し、３回目散布後は徐々に高い値となり、調査終了時にはμ＝0.30まで上昇した。
ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所のすべり摩擦係数は、調査開始時はμ＝0.44と比較的高い値であったが、初回散布の30分後からは徐々に下降傾向となり、調査終了時にはμ＝0.19まで低下した。

3)雪氷路面温度

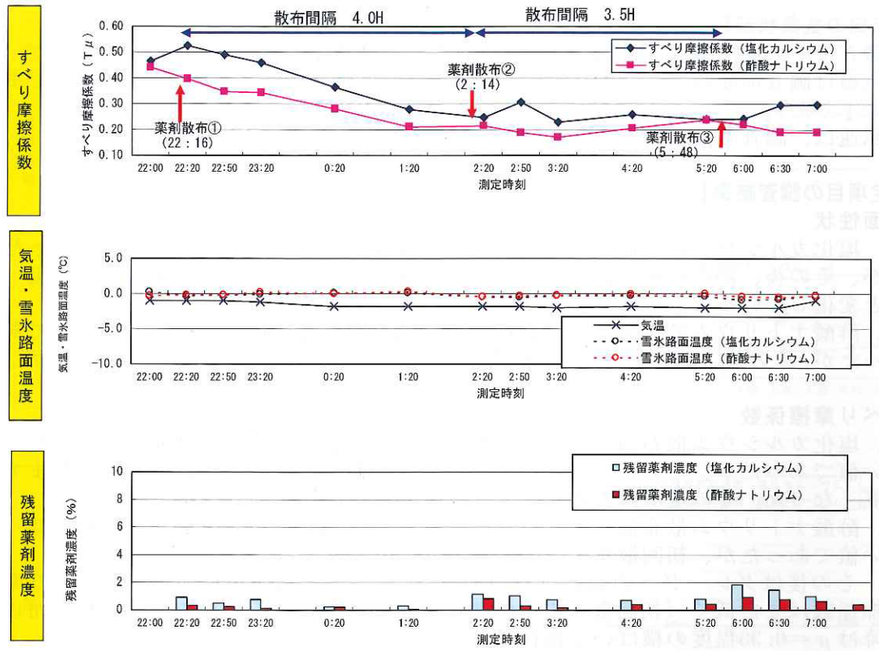
ａ．塩化カルシウム散布箇所の路面温度は、調査開始から終了まで０～－１℃程度の値で推移した。
ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の路面温度も、調査開始から終了まで０～－１℃程度の値で推移した。

4)残留薬剤濃度

ａ．塩化カルシウム散布箇所の残留薬剤濃度は、３回の散布とも散布直後は比較的高い値(最大1.8%)を示すが、その後は降雪があることも影響し、時間の経過とともに低くなる傾向であった。
ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の残留薬剤濃度も塩化カルシウム散布箇所と同様の傾向を示していた。(最大0.9%)

【塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの比較】

1)　今回の調査結果からは、初回散布以降において塩化カルシウムより酢酸ナトリウムのすべり摩擦係数が平均0.07程度低い値となっていた。
2)　路面性状は、両散布箇所ともにシャーベット路面であるが、路面雪氷厚は僅かに塩化カルシウムより酢酸ナトリウムの方が厚い傾向にあった。
3)　雪氷路面温度は、塩化カルシウム散布箇所と酢酸ナトリウム散布箇所で大きな違いはみられなかった。
4)　残留薬剤濃度は、塩化カルシウムより酢酸ナトリウムが低く、平均0.4%程低い値であった。



		22:00	22:20 22:50 23:20	0:20	1:20	2:20	2:50 3:20	4:20	5:20	6:00 6:30 7:00	
路面性状	塩化カルシウム	黒シャーベット									
	酢酸ナトリウム	湿潤	黒シャーベット				白シャーベット	黒シャーベット	白シャーベット	黒シャーベット	

※　降雪量、交通量は、前の時刻から当該時刻までの降雪量、交通量を観測した。

測定結果グラフ（第５回目調査　2/16　22:00～　2/17　7:00）

第６回目調査結果　2/20　20:00～2/21　7:05　　散布量：塩化カルシウム　初回20g/㎡、他30g/㎡
酢酸ナトリウム　初回20g/㎡、他40g/㎡

【調査当日の気象状況】

1)　調査中の天候は雪で、調査開始から終了までの11時間で約24cmもの降雪があった。
2)　気温は調査開始時は－3.2℃であったが、その後徐々に低下し4:40には－6.0℃まで低下した。
3)　風速は、調査時間中は5～6m/sであった。

【各測定項目の調査結果】

1)路面性状

ａ．塩化カルシウム散布箇所の路面性状は、調査開始時はゆるい圧雪路面であったが、その後、かたい圧雪路面となり、２回目散布の30分後からは粒雪下層氷板へと変化していった。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の路面性状は、調査開始時は粉雪下層圧雪・氷板であったが、その後、２回目散布の３時間後からは粒雪下層圧雪へと変化していった。

2)すべり摩擦係数

ａ．塩化カルシウム散布箇所のすべり摩擦係数は、初回散布直後はμ＝0.12と低くい値であったが、その後、徐々に上昇し、初回散布の４時間後にはμ＝0.37まで高くなった。その後は調査終了までμ＝0.35程度の横ばいで推移した。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所のすべり摩擦係数は、初回散布直後はμ＝0.14と低くい値であったが、初回散布１時間後にはμ＝0.39まで高くなった。

その後はグレーダーの通過（21:12）により、雪氷路面が鏡面化し、すべり摩擦係数はまた低く（初回散布の３時間後でμ＝0.26）なるものの、２回目散布以降はμ＝0.33程度の横ばいで推移した。

3)雪氷路面温度

ａ．塩化カルシウム散布箇所の雪氷路面温度は、調査開始から終了まで０℃付近で横ばいに推移した。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の雪氷路面温度は、調査開始から終了まで０℃付近で横ばいに推移した。

4)残留薬剤濃度

ａ．塩化カルシウム散布箇所の塩分濃度は、調査開始から終了まで0.7%を超えることはなく、低い値で推移していた。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の塩分濃度は、調査開始から終了まで0.7%を超えることはなく、低い値で推移していた。

【塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの比較】

1)　今回の調査結果からは、初回散布から２回目散布までの間に、塩化カルシウム散布箇所と酢酸ナトリウム散布箇所のすべり摩擦係数に違いはみられるが、それ以降は大きな変化はみられなかった。
2)　雪氷路面温度及び残留薬剤濃度は、塩化カルシウム散布箇所と酢酸ナトリウム散布箇所で大きな違いはみられない。
3)　路面雪氷厚は、降雪量が多かったこともあり、両散布箇所とも厚くなっていたが、酢酸ナトリウムより塩化カルシウムの方が厚くなる状況が多く計測された。（最大14 mmの差が生じていた）
4)　２回目散布以降は、散布量が酢酸ナトリウム散布箇所40g/㎡、塩化カルシウム散布箇所30g/㎡と異なるが、すべり摩擦係数に大きな違いはみられなかった。また、酢酸ナトリウム散布箇所の方が散布量が10g/㎡多いにもかかわらず、残留薬剤濃度は酢酸ナトリウム散布箇所が僅かではあるが低い値となっていた。

※　降雪量、交通量は、前の時刻から当該時刻までの降雪量、交通量を観測した。

		20:00 20:30 21:00	22:00	23:00 0:00 0:40	1:10 1:40 2:40	3:40 4:40 5:20 5:45 6:15 7:05
路面性状	塩化カルシウム	ゆるい圧雪	かたい圧雪		粒雪下層氷板	
	酢酸ナトリウム	粉雪下層圧雪		粉雪下層氷板	粉雪下層圧雪	粒雪下層圧雪

測定結果グラフ（第６回目調査　2/20　20:00～　2/21　7:05）

第７回目調査　2/26　23:55～2/27　10:55　　散布量：塩化カルシウム　2,3回目30g/㎡、他20g/㎡
酢酸ナトリウム　２回目40g/㎡、他20g/㎡

【当日の気象状況】

1)　調査中の天候は雪で、途中小雪になったりする時間もあるが、調査終了まで降り続いた。

2)　気温は、調査開始時は－1.0℃であったが、その後徐々に低下し6:15には－3.8℃まで低下した。その後は上昇し、調査終了時には0.2℃まで上昇した。

3)　風速は、調査時間中は3～4m/sであった。

【各測定項目の調査結果】

1)路面性状

ａ．塩化カルシウム散布箇所の路面性状は、調査開始時は湿潤路面であったが、その後降雪の影響もあり、シャーベット、粒雪下層圧雪、粒雪下層氷板、粉雪下層氷板へと変化していた。３回目散布後からは、黒シャーベットから湿潤路面へと変化していた。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の路面性状は、調査開始時は湿潤路面であったが、その後降雪の影響もあり、シャーベット、粒雪下層圧雪、粉雪下層圧雪・氷板へと変化していた。３回目散布後からは、黒シャーベットで推移していた。

2)すべり摩擦係数

ａ．塩化カルシウム散布箇所のすべり摩擦係数は、調査開始時は湿潤路面ということもありμ＝0.55と高い値であったが、路面が黒シャーベットへと変化した1:20頃から急激に低くなり、粒雪下層圧雪となった2:20にはμ＝0.19まで低下した。

その後は8:45頃にかけて徐々に上昇し、３回目散布以降は路面が黒シャーベットから湿潤と変化し、μ＝0.46～0.54と高い値になった。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所のすべり摩擦係数は、調査開始時は湿潤路面ということもありμ＝0.52と高い値であったが、路面が白シャーベットへと変化した1:20頃から急激に低くなり、2:20にはμ＝0.18まで低下した。その後はμ＝0.3程度の値で推移した。

3)雪氷路面温度

ａ．塩化カルシウム散布箇所の雪氷路面温度は、調査開始から終了まで0.9℃前後で推移した。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の雪氷路面温度は、調査開始から終了まで0.2℃前後で推移した。

4)残留薬剤濃度

ａ．塩化カルシウム散布箇所の残留薬剤濃度は、初回散布後は降雪の影響もあり、雪氷路面上に残留薬剤濃度は殆ど計測されていなかった。

ｂ．酢酸ナトリウム散布箇所の残留薬剤濃度は、初回散布後は降雪の影響もあり、雪氷路面上に残留薬剤濃度は殆ど計測されていなかった。

【塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの比較】

1)　今回の調査結果からは、２回目散布から３回目散布にかけて酢酸ナトリウムのすべり摩擦係数が塩化カルシウム散布箇所より平均0.05程度高い値を示している。

2)　路面性状は初回散布後には、塩化カルシウム散布箇所の路面が早くシャーベット、粒雪下層圧雪へと変化した。

２回目散布後は塩化カルシウムと酢酸ナトリウムの路面に大きな変化はみられない。

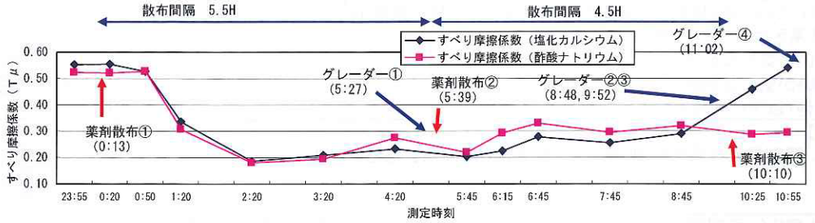
３回目散布以降は塩化カルシウム散布箇所が黒シャーベットから湿潤と変化しているのに対し、酢酸ナトリウム散布箇所はシャーベットのままであった。

3)　雪氷路面温度は塩化カルシウム散布箇所の路面温度が平均0.7℃程度高い値を示していた。

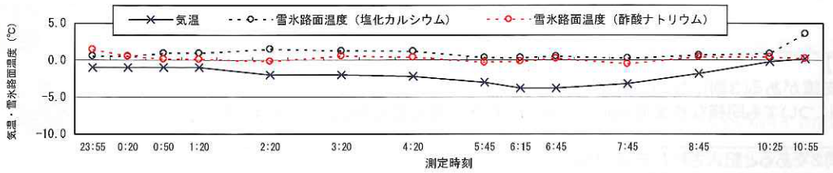
4)　残留薬剤濃度は塩化カルシウムと酢酸ナトリウムとで大きな違いはみられなかった。

5)　２、３回目散布は、散布量が酢酸ナトリウム散布箇所40(20)g/㎡、塩化カルシウム散布箇所30g/㎡と異なり、すべり摩擦係数も酢酸ナトリウム散布箇所が塩化カルシウム散布箇所よりμ＝0.05程度大きい値を示していた。３回目散布は塩化カルシウムの方が酢酸ナトリウムより散布量が10g/㎡多いこともあり、すべり摩擦係数、路面性状に差が表れている。

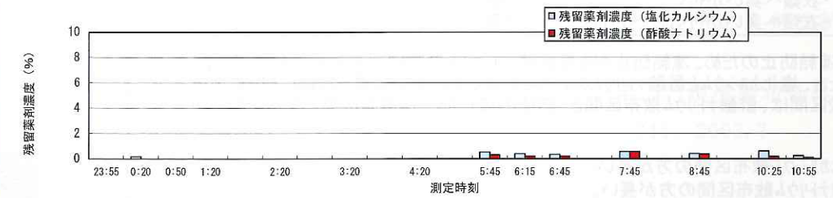
すべり摩擦係数



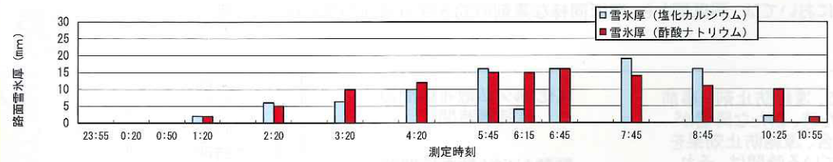
気温・雪氷路面温度



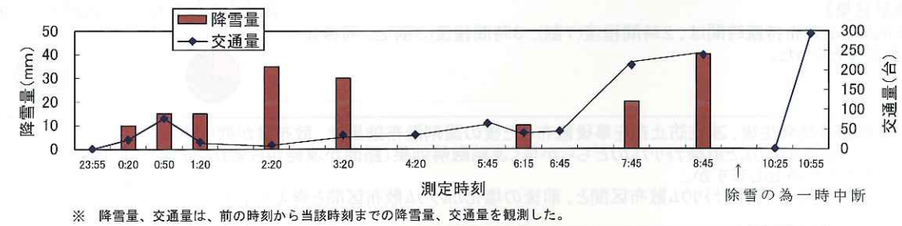
残留薬剤濃度



路面雪氷厚



降雪量・交通量



※　降雪量、交通量は、前の時刻から当該時刻までの降雪量、交通量を観測した。

		23:55 0:20 0:50	1:20	2:20	3:20	4:20	5:45 6:15	6:45 7:45 8:45		10:25	10:55
路面性状	塩化カルシウム	湿潤	黒シャーベット	粒雪下層圧雪		粒雪下層氷板		粉雪下層氷板		黒シャーベット	湿潤
	酢酸ナトリウム	湿潤	黒シャーベット	白シャーベット	粒雪下層圧雪	粉雪下層圧雪	粉雪下層氷板			黒シャーベット	

測定結果グラフ（第７回目調査　2/26　23:55～　2/27　10:55）

(2)標準薬剤と比較薬剤の薬剤散布に関するアンケート調査集計結果

質問		アンケート集計結果	
問1. 酢酸ﾅﾄﾘｳﾑの袋を開封して薬剤散布車へ投入する時に酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ独特の臭気がありますが、作業を行うに当たり気になりますか。			
1. においが気になる(ガマンできない)		9	90%
2. においが気になる程ではない		1	10%
3. その他(以下に内容を記入して下さい)		0	0%
【集計結果】 ・作業員は、薬剤投入作業を行うにあたり、薬剤の臭気が気になる。(9割)			
問2. 上記と同じく、薬剤投入時に酢酸ﾅﾄﾘｳﾑの粉じんが舞い上がりますが作業上、支障がありますか。			
1. ある		3	30%
2. ない		7	70%
【集計結果】 ・作業時、支障がある(3割)、ない(7割)。 ・他の薬剤についても同様な作業傾向になる為、作業員の個人差もあるとかんがえられる。			
問2. -2 問2であると記入された方は、内容を記入して下さい。 例)マスクだけでは、臭いがきついので防塵メガネが必要。 〔 ・衣類へ臭いが付く 2票 ・衣類へ臭いが付くし、べた付く 1票 〕			
問3. 路面凍結防止のため、凍結防止剤を事前散布した時の薬剤散布効果は散布量が同じであるとき、塩化ｶﾙｼｳﾑと酢酸ﾅﾄﾘｳﾑのどちらが長く凍結防止効果を持続していますか。 (比較区間は、酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ散布区間と、前後の塩化ｶﾙｼｳﾑ散布区間と考えて下さい)			
1. 塩化ｶﾙｼｳﾑ散布区間の方が長い。		2	20%
2. 酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ散布区間の方が長い。		1	10%
3. どちらもあまり変わらない。		7	70%
【集計結果】 ・事前散布においては、両区間とも、ほぼ同様な薬剤の効き目の傾向が見られる。(7割)			
問4. 問3で、凍結防止剤を事前散布した時、新たな降雪が無い場合、凍結防止効果を持続している時間は、それぞれおよそ何時間ですか。	塩化ｶﾙｼｳﾑ散布区間の持続時間		
	1. 1時間	0	0%
	2. 2時間	7	70%
	3. 3時間	3	30%
	酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ散布区間の持続時間		
	1. 1時間	0	0%
	2. 2時間	7	70%
	3. 3時間	3	30%
【集計結果】 ・両区間とも散布持続時間は、2時間程度(7割)，3時間程度(3割)と、同様な集計結果となった。	塩化カルシウム		
	酢酸ナトリウム		
問5. 路面凍結発生後、凍結防止剤を事後散布した後の薬剤散布効果は、散布量が同じであるとき、塩化ｶﾙｼｳﾑと酢酸ﾅﾄﾘｳﾑのどちらが早く凍結融解効果(路面が凍結から濡れ，乾燥へ変化する)を出しますか。 (比較区間は、酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ散布区間と、前後の塩化ｶﾙｼｳﾑ散布区間と考えて下さい)			
1. 塩化ｶﾙｼｳﾑ散布区間の方が早い。		6	60%
2. 酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ散布区間の方が早い。		0	0%
3. どちらもあまり変わらない。		4	40%
【集計結果】 ・事後散布の効果が早く現れるのは、塩化カルシウム(6割)・どちらもあまり変わらない(4割)と塩化カルシウムの方が早いと現場では感じている。 ・酢酸ナトリウムの方が早いとは、感じていない。			
・上記以外で、酢酸ﾅﾄﾘｳﾑ散布区間と、前後の塩化ｶﾙｼｳﾑ散布区間の冬期路面状況の違いで、お気付きの点がありましたら、記入して下さい。 〔 ・塩化カルシウムの方が扱い易い(作業性がよい) 1票 〕			

3．発表論文リスト

本共同研究に当たっての発表論文は、以下のとおり。

1) 井良沢道也・林健一・荒川智之：非塩化物凍結防止剤を用いた現地実証試験、平成13年度北陸地方整備局管内技術研究会論文集、pp349-352、2001.7
2) 中村俊彦、明嵐政司：すべり摩擦力測定による凍結防止剤評価方法の検討、第24回日本道路会議一般論文集(A)、pp360-361、2001.10
3) 井良沢道也・林健一・荒川智之：非塩化物型凍結防止剤を用いた現地実証試験、第24回日本道路会議一般論文集(A)、pp362-363、2001.10
4) 林健一：非塩化物型凍結防止剤を用いた散布実験について、日本雪氷工学会誌Vol.17No.4(Ser.No.61)、pp21-22、2001.10
5) Nozomu MORI・ Seishi MEIARASHI・ Toshihiko NAKAMURA・ Michiya IRASAWA and Kenichi HAYASHI：Snowy and Ice Road Countermeasures Using Anti-freezing Admixture、ＸＩth International Winter Raod Congress、2002.1
6) 武士俊也・林健一・小林一治・安藤達弥:非塩化物型凍結防止剤を用いた散布試験(２)、第19回日本雪工学会論文報告集、pp75-76、2002.10
7) 武士俊也・小林一治・林健一：非塩化物型凍結防止剤を用いた現道散布効果試験、平成15年度北陸地方整備局管内技術研究会論文集、pp341-344、2003.7