使用済み不凍液の凍結防止剤としての再利用に関する調査研究

富田　和彦，長野　伸泰，高橋　徹
富田　恵一，保科　秀夫，岡　喜秋

Research on Reuse as Anti-Icing Chemicals from Waste Antifreeze

Kazuhiko TOMITA, Nobuhiro NAGANO, Touru TAKAHASHI
Keiichi TOMITA, Hideo HOSHINA, Yoshiaki OKA

抄　録

酢酸カリウムを主成分とする環境に優しい不凍液の再利用として，その使用済み不凍液を木チップに含浸させて凍結路面の滑り止め材として利用する方法，および保水性コンクリートブロックに含浸させて凍結抑制舗装として利用する方法を検討した。木チップ滑り止め材については，現在使用されている砕砂に比べ滑り抵抗性に優れるが，市販の塩化カルシウム含浸木チップよりも劣る。そこで，不凍液を増粘することにより，木チップへの酢酸カリウム含浸・付着量を約２倍にしたところ，市販木チップ滑り止め材よりも優れた滑り止め性能が得られた。このことから，使用済み不凍液が木チップ滑り止め材含浸用凍結防止剤として再利用できることが分かった。また凍結抑制舗装については，保水性を有するコンクリートブロックに含浸させることによって，雪氷剥離性に優れた凍結抑制舗装として利用できることが確認された。なお，使用済み不凍液中には鉛や亜鉛などの有害物質を含有する恐れがあるため，稼働中の実システムから不凍液を採取し成分分析を行った。その結果，一部に鉛が検出されたが，キレート樹脂による除去を行い，鉛含有量を1.6 mg/L から0.2 mg/L に低減することができた。

キーワード：不凍液，凍結防止剤，滑り抵抗，再利用，木チップ，凍結路面，凍結抑止舗装

１．はじめに

本道では冬期路面対策が緊急かつ重要な課題となっており，最近では維持費のかかるロードヒーティング融雪運転から，安価な凍結防止剤，スリップ防止材の散布へと移行しつつある。しかし，現有の環境に優しい凍結防止剤は高価で大量に使用するには難しい状況にあり，より安価で高性能な凍結防止剤の開発が望まれている。

一方，著者らはこれまで，「化学物質排出把握管理促進法」の規制対象となっているエチレングリコールの代替として，酢酸カリウムを主成分とする環境負荷の少ない不凍液の開発を行ってきた。本不凍液は，低温下での粘度が低いため搬送動力が小さく省エネルギー性に優れていることから，ロードヒーティング用不凍液の他，最近急速に普及しつつある地中熱ヒートポンプの採熱側熱媒体としての使用が期待され，数年後にはこの使用済み不凍液が相当量発生するものと予想される。また現在，路面凍結抑制用として酢酸カリウムを主成分とする液状凍結防止剤が実用化されており，本使用済み不凍液を凍結防止剤として再利用することができれば，より安価で環境負荷の少ない凍結防止剤の提供が可能となる。

事業名：一般試験研究
課題名：使用済み不凍液の凍結防止剤としての再利用に関する調査研究

２．環境に優しい不凍液の再利用について

本研究では，酢酸カリウムを主成分とする環境に優しい不凍液の再利用として，その使用済み不凍液を木チップに含浸させて凍結路面の滑り止め材として利用する方法，および保水性コンクリートブロックに含浸させて凍結抑制舗装として利用する方法を検討した。

木チップ滑り止め材は，滑り止め用砕砂の代替として開発されたもので，現在市販されているものは凍結防止剤の塩化

カルシウムが含浸されている。本使用済み不凍液はこの塩化カルシウムの代替品としての再利用を目的としている。また凍結抑制舗装は，住宅の玄関ポーチや階段における雪氷剥離性の向上により除雪労力の軽減をねらいとしている。

一方，先の研究で明らかにされたように，鉛や亜鉛を含有する継手類，配管，および溶接材を用いたシステムでは，不凍液中にこれらの有害物質が溶出する危険性があるため，実用化に際しては使用済み不凍液の性状を予め把握しておく必要があり，有害金属を含有している場合には各種基準に適合するように有害金属を除去する必要がある。

３．使用済み不凍液の性状および鉛の除去方法

3.1　酢酸カリウムを主成分とする不凍液の性状

蛍光X線分析法およびICP発光分光分析法(以下ICP-AES)を用いて未使用の市販不凍液(フードブラインFD-20；ショーワ㈱製)を分析した結果を表１に示す。市販不凍液の組成は，主成分のカリウムの他にりん，ナトリウム等が少量含まれており，添加剤としてりん酸系腐食抑制剤が含まれていると推定される。また，継手類，配管および溶接材からの溶出が懸念される鉛，亜鉛，錫および銅はほとんど含まれていないことが分かった。

表１ 市販不凍液の組成

元素	K(1)	P(1)	Na(1)	
含有量(%)	12	0.05	0.05	
元素	Sn(2)	Zn(2)	Pb(2)	Cu(2)
含有量(mg/L)	<0.4	0.09	<0.5	<0.05

(1)：蛍光X線分析法（点滴ろ紙法）を用い， ファンダメンタルパラメーター法により簡易定量を行った。 なお， カリウム12 wt%（メーカー保証）を用い， 定量値を補正した。
(2)：ICP発光分光分析法を用いて直接噴霧による測定

3.2　回収使用済み不凍液の性状分析

前項で記述した市販不凍液をロードヒーティング用不凍液，地中熱ヒートポンプの採熱用熱媒体および暖房用熱媒体として使用した後の重金属含有量について，ICP-AESにより分析した結果を表２に示す。また，使用時間と暖房用熱媒体中の重金属濃度の関係を図１に示す。表２から，亜鉛および銅はほとんど溶出していないが，錫および鉛は溶出していることが分かった。各用途における詳細な使用条件(継手材質，配管材質，溶接材の材質等)は不明であるが，軟ろうからの溶出と推定される。図１から鉛は使用時間の経過とともに低下する傾向が認められ，溶出した鉛イオンが沈殿・分離していると思われる。また，鉛以外の元素については濃度が低いこともあり，鉛ほど明瞭な濃度の低下傾向は認められなかった。なお，３年間使用したロードヒーティング用不凍液(№3)は重金属濃度が低いことから，継手類，配管および溶接材を配慮することにより，使用済み不凍液を再利用できる可能性が高いことが分かった。

表２　使用済み不凍液の重金属濃度（mg/L）

№.	1	2	3	4	5
用途	ロード（工試）	ロード（A社）	ロード（B社）	暖房	地中熱
運転時間	720hr	10,000hr	3年	8,500hr	−
Sn	1.5	＜0.4	＜0.4	＜0.4	3.4
Zn	0.06	0.08	0.03	0.19	0.21
Pb	1.6	1.4	＜0.5	1.4	0.8
Cu	＜0.05	＜0.05	＜0.05	0.09	＜0.05

ロード：ロードヒーティング用不凍液
暖　房：暖房用熱媒体
地中熱：地中熱ヒートポンプの採熱用熱媒体

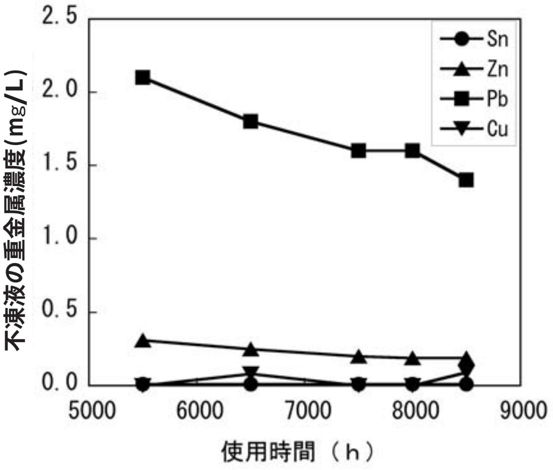


図１　使用時間と重金属濃度の関係

3.3　鉛の除去方法

札幌市の土木部維持管理課で作成した酢酸塩系凍結防止剤仕様書による「有害物質の種類と許容限度」を抜粋し，表３に示す。使用済み不凍液を凍結防止剤として再利用するためには，不凍液の鉛濃度を0.1mg/L以下まで下げる必要があり，キレート樹脂を用いた重金属除去法を検討した。キレート樹脂による鉛抽出の最適なpH領域は４から10とされてい

表３　有害物質の種類と許容限度

有害物質の種類	許容濃度
カドミウム及びその化合物	0.01 mg/L
シアン化合物	検出されないこと
有機燐化合物	検出されないこと
鉛及びその化合物	0.1 mg/L
六価クロム化合物	0.05 mg/L
砒素及びその化合物	0.05 mg/L
水銀及びその化合物	0.0005 mg/L

表４　キレート樹液処理を用いた使用済み不凍液の重金属濃度(mg/L)

	No.1	キレート樹脂処理
Sn	1.5	1.4
Zn	0.06	<0.01
Pb	1.6	0.2
Cu	＜0.05	＜0.05

る。使用済み不凍液(酢酸カリウム30%溶液)のpHは8.5であるため，pH調整せずに抽出できると考えられる。

実験は，使用済み不凍液(№１試料)50mLにイミノジ酢酸型キレート樹脂２mLを添加し，10分間攪拌して抽出を行った。さらに，ろ過した溶液についてフレームレス原子吸光法を用いて鉛を測定し，鉛以外の元素についてはICP-AESにより測定した。表４に示した測定結果から，使用済み不凍液中の亜鉛と鉛はキレート樹脂を用いることにより除去可能となり，錫は除去できないことが分かった。錫は中性および塩基性で錯イオンを形成するため，抽出できなかったと推定される。使用済み不凍液中の鉛濃度は表３に示した許容限度を満足していないため，条件を変えて抽出したが，0.1 mg/L以下まで除去できなかった。鉛の一部は不凍液に添加されている防食抑制剤等と安定な化合物を形成していると考えられ，0.1 mg/L 以下まで除去するには酸分解等の前処理が必要となる。また，そのまま使用する場合には，希釈等により許容限度まで下げなければならない。

４．木チップ滑り止め材としての利用法

4.1　供試木チップ滑り止め材

4.1.1　供試木チップ

試験に用いた木チップは，市販木チップ滑り止め材(リンカーW ；㈱ケイジー・エンジニアリング製)の製造工程中間製品である塩化カルシウム溶液含浸前の木チップである。チップの原材料はカラ松で，これをチップ形状に粉砕後，ふるい目５～８mmに分級し，約240℃で30分間焼成したものである(図２)。

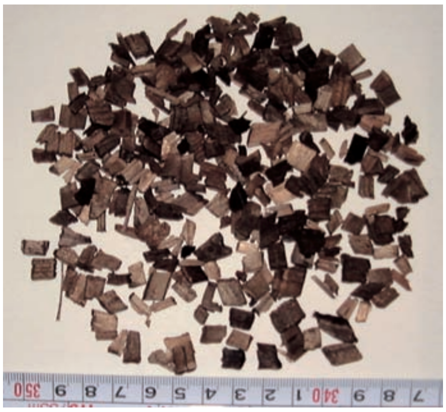


図２　供試木チップ

4.1.2　木チップ滑り止め材の試作

含浸用凍結防止剤として，未使用の市販不凍液(フードブラインFD-20)を使用した。主成分の酢酸カリウム濃度は30 wt%である。供試木チップ滑り止め材は，前述の木チップを含浸用凍結防止剤中に５分間程度浸漬し，凍結防止剤が含浸した木チップを引き上げ，その後90 ℃で乾燥することで作成される。

(1)　市販不凍液の粘度調整

市販不凍液(以後，記号FD-20)を原液のまま含浸した木チップ滑り止め材の予備試験では，期待されたような滑り抵抗が得られなかった。そこで，澱粉を添加してFD-20を増粘させ，木チップに付着するFD-20量を増やすことを試みた。25℃におけるFD-20の澱粉添加量と粘度の関係を図３に示す。FD-20への澱粉添加量は，木チップへの付着量と浸漬作業の容易さを考慮し2.5wt%とした。澱粉添加量2.5wt%でのFD-20の温度と粘度の関係を図４に示す。なお，増粘用澱粉には，㈱美田実郎商店製の顆粒片栗粉を使用した。

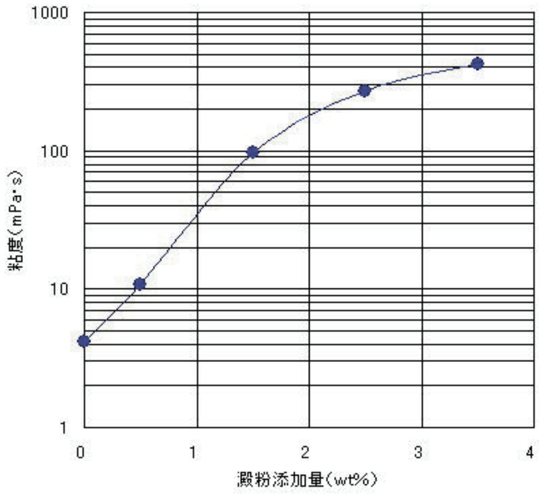


図３　FD-20の澱粉添加量と粘度の関係at.25 ℃

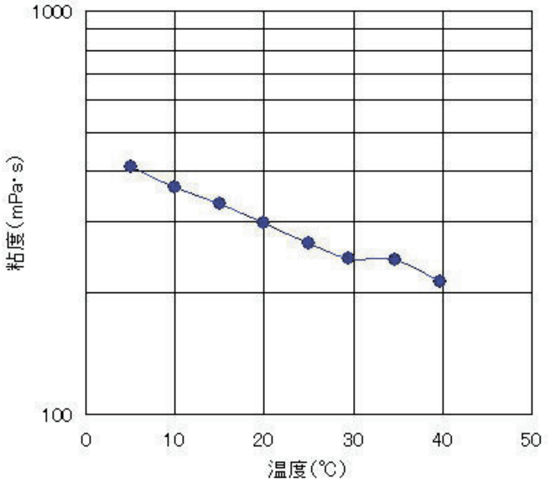


図４　澱粉添加量2.5 wt%FD-20の温度と粘度の関係

(2)　供試木チップ滑り止め材の酢酸カリウム含有量

後述の滑り抵抗試験用サンプルとして，①市販不凍液(FD-20)を含浸させた木チップ滑り止め材(記号：KAc30)，②澱粉2.5wt%添加のFD-20を含浸させた木チップ滑り止め材(記号：KAc30ST)，および，③57wt%の高濃度酢酸カリウム水溶液を含浸させた木チップ滑り止め材(記号：KAc57)の３種類を

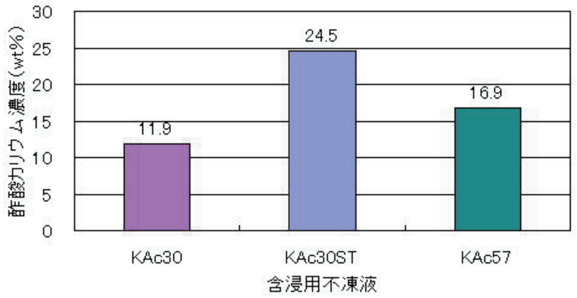


図５　木チップすべり止め材の酢酸カリウム含有量

作成した。これら供試木チップ滑り止め材の酢酸カリウム含有量を図５に示す。市販不凍液を増粘させることにより，酢酸カリウム含有量が約２倍程度増加しているのが分かる。

4.2　滑り抵抗試験

4.2.1　試験装置

道立北方建築総合研究所が所有する滑り性試験機を用いて，木チップ滑り止め材の滑り抵抗係数(C.S.R)を測定した。使用した滑り性試験機は，JIS A1454「高分子系張り床試験方法」の滑り性試験に準じており，雪介在時の床材料の滑り性試験の標準化の研究等に使われている。

本試験機付属の専用「滑り片」(図６左)は，試験片との接触面積が80mm×70mmの大きさになっている。今回の木チップ滑り止め材の試験では，図７に示すような散布状態になるため，測定精度を上げるには接触面積を出来るだけ大きくとる必要があり，既存の1.7倍の大きさ(80mm×120mm)の滑り片(図６右)を別途製作した。また，これに合わせ，JISが

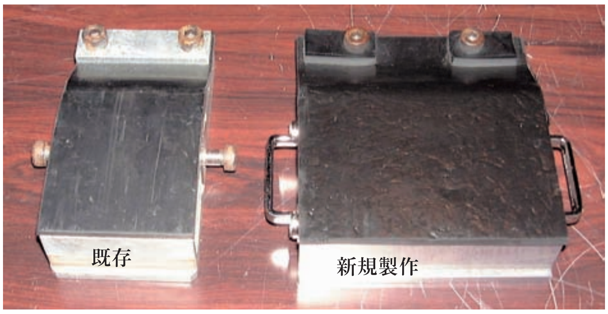
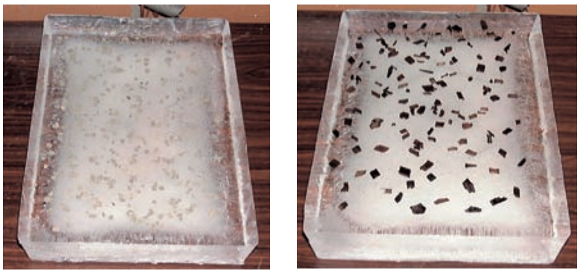


図６　滑り片の外観



(a) SD　　(b) KAc30ST

図７　試験片の滑り止め材散布状況

規定する面荷重(13.66 N/cm^2)に相当する荷重を載荷し試験を行った。なお，「滑り片」台座の底面に取り付ける「滑り材料」には，厚さ５mmの合成ゴムSBR(ショア硬度80)を使用した。この材料は，紳士靴夏底の材質に相当する。

4.2.2　試験方法

(1)　試験片

凍結路面を模擬した約200mm(縦)×290mm(横)×50mm(厚さ)の氷盤を作製し，表面をアイロンで平滑にした後，滑り止め材を所定量散布し，試験片とした。

(2)　供試滑り止め材(散布材)

滑り止め材は，前述の酢酸カリウムを含浸させた木チップ滑り止め材３種類(KAc30，KAc30ST，KAc57)の他，比較対象に酢酸カリウム含浸前の木チップ(記号：WC)，市販の塩化カルシウム含浸木チップ滑り止め材(記号：RW)，および旭川市内の国道際収納箱より入手した砕砂(記号：SD)の３種類，合計６種類とした。

(3)　散布量

木チップ滑り止め材(WC，RW，KAc30，KAc30ST，KAc57)の散布量は，市販RWの推奨値に従い，70 g/m^{2}とし，砕砂(SD)の散布量は，北海道開発局の冬期路面管理マニュアル(案)を参考に350 g/m^{2}とした。

(4)　試験条件

測定雰囲気温度は－５℃とし，時間経過の影響を調べるため，各試験片について散布直後，散布３時間経過，および散布５時間経過の滑り抵抗値を測定した。また散布直後については，ブランクとして散布無しの氷盤のみの試験も行った。

4.2.3　試験結果

滑り抵抗試験の結果を，図８にまとめて示す。散布剤の無い氷盤のみのC.S.Rは0.16と最も小さい値を示すのに対し，他の滑り止め材を散布した試験片は何れもC.S.R 0.2以上の値を示す。ここで，C.S.R は「滑りにくさ」を表す指標であり，積雪路面を実際に歩行して滑り評価を行った試験では，安全な歩行を確保するには水平面でC.S.R 0.2以上であることが報告されている。

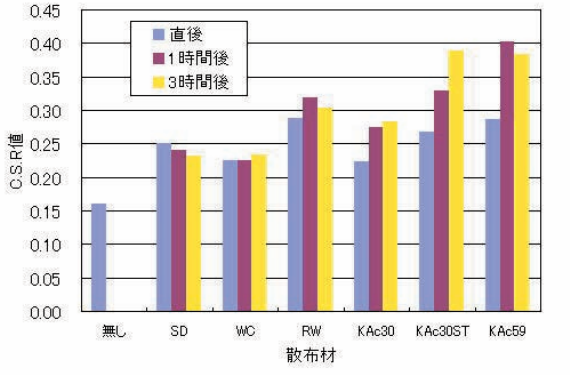


図８ 氷盤面の滑り抵抗値

(1)　散布直後の滑り抵抗

散布直後における各種滑り止め材の「滑りにくさ」を比較すると，C.S.RはWC＜KAc30＜SD＜KAc30ST＜KAc57 RWの順に大きくなっている。使用済み不凍液の再利用を想定したKAc30は，SDの90%，RWの78%であり，現在使われている滑り止め材料に比べ性能はやや劣るが，澱粉を増粘剤に用いて酢酸カリウム含有量を増やしたKAc30STでは，RWの93%，SDの107%と，塩化カルシウム含浸の市販品RWには若干及ばないが砕砂SDよりも優れた性能を示すことが分かる。

(2)　時間経過後の滑り抵抗

1時間経過時のC.S.Rは，WC＜SD＜KAc30＜RW＜KAc30ST＜KAc57，3時間経過時では，SD　WC＜KAc30＜RW＜KAc59　KAc30STの順になっている。SDとWCでは時間経過による増加はほとんど見られないのに対し，他の凍結防止剤を含浸させた4種類(RW，KAc30，KAc30ST，KAc57)の散布材では，3時間後のRWとKAc57で1時間後より小さな値を示すものの，時間の経過と共に増加する傾向にある。これら滑り抵抗値の時間経過に伴う変化の相違は，木チップに含浸させた凍結防止剤に起因するものと考えられる。すなわち凍結防止剤を含まないSDとWCでは，室内に放置した状態では日射の影響を受けないため，時間が経過しても氷盤への埋没は起こらないのに対し，凍結防止剤を含浸させた散布材では，散布直後は木チップ表面に付着する凍結防止剤がこれと接触する周囲氷盤を融かし，その融けた氷盤中に木チップが埋没するために滑り抵抗値が大きくなったものと考えられ，さらに時間が経過すると，木チップ中の凍結防止剤が表面に浸み出すことで木チップが氷盤中に徐々に埋没していくためと考えられる。これらの様子は目視からも観測された。

以上のことから，使用済み不凍液の再利用を想定したKAc30の滑り止め効果は，現在使用されている散布砕砂SDと塩化カルシウム含浸の市販品RWのほぼ中間にあり，即効性にやや欠けるが，澱粉を増粘剤に用いて含浸量を増加させたKAc30STでは，市販RWと同等かそれ以上の性能を示すことから，塩化カルシウムの代替として十分に利用できることが分かる。また，高濃度の酢酸カリウムを含浸させたKAc57は，KAc30STと同等以上の性能を示すことから，価格の面では不利となることは避けられないが，増粘させる必要が無く，有害金属を含むことも無いため，これらに要する費用や手間を考えると塩化カルシウムの代替として検討する余地は十分にあると考えられる。

4.3　フィールド散布試験

砕砂の場合，屋外の日射を受ける実環境下では自重と日射吸収により時間経過に伴い圧雪(または凍結)路面内に埋没し，滑り止め効果が持続しないなどの問題が指摘されている。これに対し凍結防止剤を含浸させた木チップの場合，黒色なために効率よく日射を吸収し，同時に凍結防止剤の作用で周囲路面を融かす一方，軽量であるため路面内に埋没することはなく路面付近に留まり滑り止め効果を長時間維持することが期待される。本散布試験では，これらの状況を確認することを目的に行った。

4.3.1　試験方法

供試散布材として，前述の滑り抵抗試験同様，酢酸カリウム含浸の木チップ滑り止め材3種類(KAc30，KAc30ST，KAc57)，市販木チップ滑り止め材RW，凍結防止剤を含浸させない木チップWC，および滑り止め砕砂SDの6種類を用いた。

試験場所は，道立工業試験場の敷地内車道で，試験を行った2006年2月6日は，圧雪の「ツルツル路面」状態にあり，試験中の天候は，わずかに薄日の射す曇天で，気温0～1℃，無風状態であった。

試験は，6種類の滑り止め材を300mm×300mmの広さに所定量散布し，散布10分後，30分後，1時間後，2時間後，3時間後，および5時間後の路面状況を写真撮影した。散布量は，滑り抵抗試験と同様，砕砂350 g/m^2，木チップ70 g/m^2とした。また，5時間経過後，一般の防寒長靴を履いた状態での歩行滑り試験を行った。

4.3.2　試験結果

SD散布の結果を図9に，KAc30ST散布の結果を図10に，

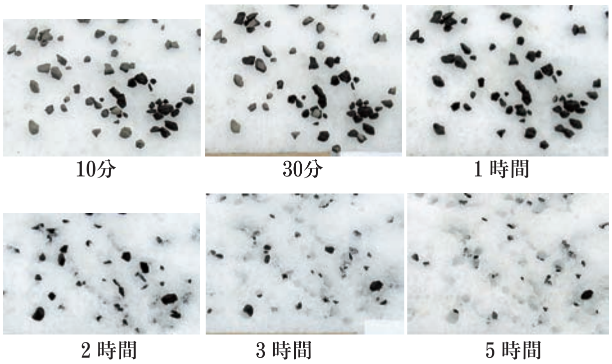


図9 SD散布の路面状況

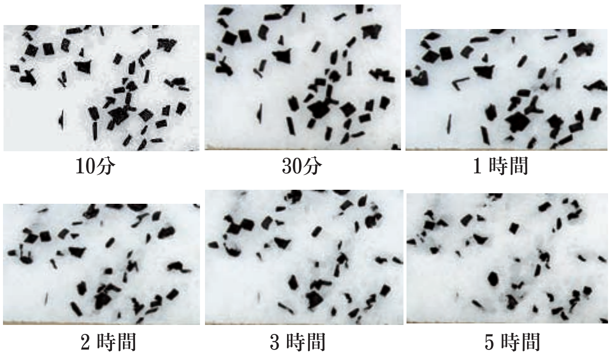


図10 KAc30ST散布の路面状況

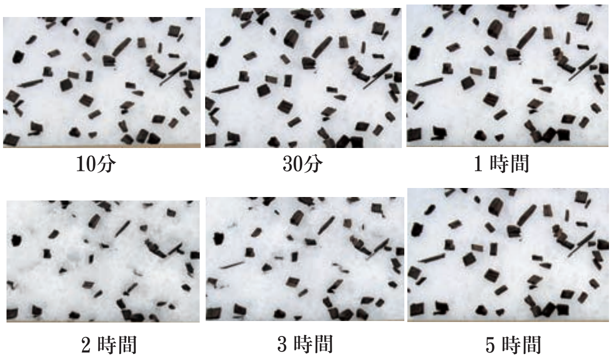


図11　WC散布の路面状況

およびWC散布の結果を図11に示す。なおKAc30，KAc57およびRWについては，KAc30STとほぼ同じ様相を呈したため省略する。

砕砂の場合，図９に示すように，時間の経過と共に圧雪路面に埋没していく様子が見て取れ，2時間後には大部分が埋没する。一方KAc30STの場合，SD同様，木チップは時間と共に圧雪路面の中に徐々に埋没していくものの，SDに比べその進行は遅く，また埋没する割合も少なく，多くは表層部に留まる(図10)。次に，図11に示す凍結防止剤を含浸していないWCについてみると，KAc30STに比べ埋設の進行は少々遅いものの，5時間後，圧雪路面の表層部に大部分埋没しているのが分かる。試験日が曇天であったにも関わらずWCで埋没が見られたことから，滑り止め材の圧雪路面への埋没は，日射吸収と滑り止め材の重量に起因していることが分かる。また，WCとKAc30STとの差は，凍結防止剤の有無によるものと考えられる。

次に，５時間後に行った歩行滑り試験では，凍結防止剤を含浸させたKAc30，KAc30ST，KAc57，およびRWで滑り難かったのに対し，WCとSDでは極めて滑りやすい路面状況を呈した。この原因として，5時間後の路面状態は，SDが圧雪路面の中に完全に埋没した状態，WCは木チップ周辺の表層が圧雪状態のままであるのに対し，凍結防止剤を含浸させた滑り止め材は，木チップ周囲の路面が融けたシャーベット状態になっていたためと考えられる。

５．凍結抑制舗装としての利用法

5.1　供試インターロッキングブロック

試験に用いたインターロッキングブロック(寸法：200mm×100mm×厚さ60mm)は，ヒートアイランド対策用に開発

表５　供試インターロッキングブロック

供試ブロック	保水率(%)	商品名	メーカー
保水A	16.4	セラクール	大成ロテック㈱
保水B	22.9	パークスルー	三和グラント㈱
一般品	15.4		北海道ポラコン㈱

された市販保水性ブロック２種類(保水A，保水B)と一般品の計３種類である。表５に示す保水率は，各供試体３片を72時間水中浸積させて測定した容積含水率の平均値である。なお，保水性ブロックについては，積雪寒冷地での使用を考慮すると凍害が懸念されることから，予め300サイクルの凍結融解試験を行い，凍害の発生が無いことを確認した。

5.2　雪氷剥離試験

5.2.1　試験方法

含浸用凍結防止剤に未使用の酢酸カリウム30wt%不凍液(KAc30)を使用し，また供試舗装体として，保水A，保水B，一般品の各供試インターロッキングブロック３片で構成する３体，および比較対象に凍結防止剤を含浸させない保水Aブロック３片を用いた舗装体(略称：非含浸)，計４体を使用した。

試験は，－３℃の低温室内で一般品，保水A，保水Bの各供試舗装体を各々凍結防止剤(KAc30)に1.5時間～２時間浸漬させ，浸漬前後の舗装体重量を測定した後，22℃の室温に移し，これら凍結防止剤含浸舗装体に非含浸舗装体を加えた４種類の舗装体上面に自然雪を用いて２cm程度の圧雪路面を形成(積雪工程)。続いて22℃室温で15分～30分間放置し，融解が進み圧雪表面がシャーベット状に変化するのを目視で確認後，－３℃の低温室に移し，さらに６時間以上放置(凍結工程)後，スクレーパーによる剥離テストを行った。次に，22℃の室温に移動し30分間放置することで，舗装体上面に残存する氷があれば融解・除去し，同時に舗装体温度をプラスに上昇させる(融解工程)。そして，再度，舗装体上面に圧雪

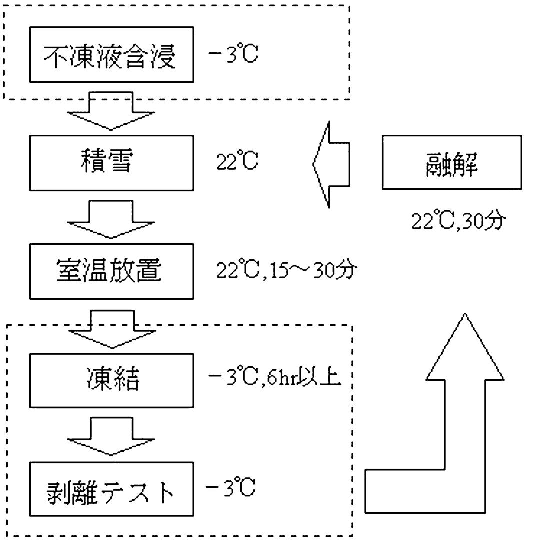


図12　雪氷剥離試験の操作手順

を形成する積雪工程に戻るサイクル試験を行った(図12)。

5.2.2　試験結果

(1)　凍結防止剤の含浸量

保水性インターロッキングブロック舗装供試体の凍結防止剤含浸量は，保水Aが252g，保水Bが334gで，その比率は１：1.3となっている。この相違は，供試ブロックの保水率(容積含水率)に起因すると考えられ，表５に示すように，保水Aと保水Bの保水率の比率は１：1.4と，同様な値を示すことからも判断でき，保水率と凍結防止剤含浸量はほぼ比例関係にあることが知れる。これに対し一般品の場合，表５に示すように，保水率は15.4%と保水Aの16.4%に近い値を示すが，凍結防止剤含浸量は111gと保水Aの半分以下である。この原因は，保水率と凍結防止剤含浸量の測定時における浸漬時間の相違，および保水性機能を特徴づける構造上の違いによるものと考えられ，保水率の水中浸漬時間は72時間であるのに対し，凍結防止剤への浸漬時間は２時間以内と短かく，一般品の場合，この時間内では凍結防止剤がブロック内部まで浸透しなかったためと推測される。

(2) 雪氷剥離性

試験の結果を，表６にまとめて示す。ここで，表中の◎印は舗装体の上面に形成した圧雪層の大部分がシャーベット状態にあり，かつ舗装体に氷着することなく容易に剥離できた場合を示す。○印は圧雪層表面は氷結状態にあるが，舗装体に氷着することなく比較的容易に剥離できた場合，△印は圧雪層が氷結し，下層の一部が舗装体に氷着して剥離できなかった場合，×印は圧雪層全体が舗装体に氷結し，そのほとんどが剥離できなかった場合を示す。これらの代表的な状況を図13に示す。

表６　供試舗装体

供試舗装体	不凍液含浸量(g)	雪氷剥離回数					
		1	2	3	4	5	6
一般	111	◎	○	○	△	△	△
保水A	252	◎	◎	◎	○	△	△
保水B	334	◎	◎	◎	◎	△	△
非含浸	0	×	−	−	−	−	−

判定基準

	上層	下層
◎	シャーベット	未氷着
○	氷結	未氷着
△	氷結	一部氷着
×	氷結	氷着

×：非含浸　1 cycle

△：一般品　4 cycle

○：保水A　4 cycle

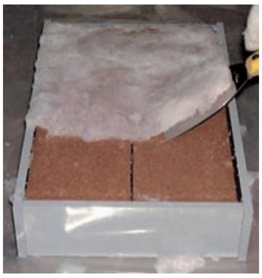

◎：保水B　2 cycle

図13　雪氷剥離テストの状況

表６から分かるように，凍結防止剤を含浸させない供試舗装体(非含浸)の場合，１サイクル目で剥離できなかったこと，また定性的ではあるが，一般品＜保水B＜保水Aと凍結防止剤含浸量が多くなる程，雪氷剥離性に優れ，持続性も向上するのが分かる。以上のことから，酢酸カリウム30wt%不凍液は，凍結防止剤として保水性を有するコンクリートブロックに含浸させることによって，雪氷剥離性に優れた凍結抑制舗装として利用できることが確認された。

６．まとめ

酢酸カリウムを主成分とする環境に優しいロードヒーティング用不凍液の再利用として，使用済み不凍液を木チップに含浸させて凍結路面の滑り止め材として利用する方法，および保水性インターロッキングブロックに含浸させて凍結抑制舗装として利用する方法を検討した。以下に結果を要約する。

(1)　試験販売で稼働中の実システムから採取した不凍液について成分分析を行った結果，一部に有害物質の鉛が検出されたため，当試験場で行ったロードヒーティング試験後の不凍液を対象にキレート樹脂による除去方法を検討し，鉛含有量を1.6mg/Lから0.2mg/Lに低減することができた。しかし，例えば札幌市が定める凍結防止剤の有害物質許容限界(Pb：0.1mg/L以下)を満たしていないため，さらなる除去方法について検討する必要がある。

(2)　酢酸カリウム含浸の木材チップ滑り止め材として，未使用の酢酸カリウム30wt%不凍液(KAc30)，この不凍液を澱粉で増粘させた不凍液(KAc30ST)，および未使用の高濃度酢酸カリウム57wt%不凍液(KAc57)の３種類を試作し，酢酸カリウム含有濃度を測定した結果，増粘させることで酢酸カリウム含有量を11.9wt%(KAc30)から約２倍の24.5wt%(KAcST)に増加させることができた。

(3)　これら酢酸カリウム含浸木チップ滑り止め材の滑り抵抗値を，JIS　A1454規定の滑り性試験に準じて測定した。また比較対象に，砕砂(SD)，市販塩化カルシウム含浸木チップ(RW)，凍結防止剤を含浸させない木チップ(WC)の３種類を加えて測定した。

(4)　その結果，使用済み不凍液の再利用を想定したKAc30の滑り止め性能は，現在使用されているSDとRWのほぼ中間にあり，即効性にやや欠けるが，澱粉を増粘剤に用いて含浸量を増加させたKAc30STおよび高濃度の酢酸カリウムを含浸させたKAc57は，RWと同等以上の性能を示すことから，塩化カルシウムの代替として十分に利用できることが分かった。

(5)　上記６種類の滑り止め材を使ったフィールド散布試験を行った結果，屋外の日射を受ける実環境下では，砕砂の場合，曇天の場合でも自重と日射吸収により時間の経過に伴い圧雪路面内に埋没するため滑り止め効果が持続しないこと，これに対し凍結防止剤を含浸させた木チップの場合，日射の吸収と凍結防止剤の作用で周囲路面を融解し，軽量で路面表層に留まることから，長時間滑り止め効果を維持することが確認できた。

(6)　インターロッキングブロックに凍結防止剤を含浸させた凍結抑制舗装による雪氷剥離試験の結果，KAc30は凍結抑制舗装用の凍結防止剤として利用できること，また舗装体に凍結防止剤含有量の大きな保水性ブロックを用いることで，雪氷剥離性や持続性が向上することを確認した。

以上，ロードヒーティング用に開発した酢酸カリウムを主成分とする使用済み不凍液について，木チップ滑り止め材および凍結抑制舗装として再利用の可能性を明らかにすることができた。しかし，これらの利用法は本使用済み不凍液が今後大量に発生することが前提になっている。従って，本成果を実用化へ進展させるには，本不凍液がグリコール系不凍液の代替として，ロードヒーティングに限らず地中熱ヒートポンプや他の冷凍空調分野で広く普及することが鍵であり，是非そのようになることを期待したい。

謝　辞

滑り抵抗試験を行うにあたり，多くの助言，協力を頂きました道立北方建築総合研究所の月館司科長，林昌宏研究職員に心から感謝致します。また，㈱KGエンジニアリング，竹内木材工業合資会社から木チップの提供に加え滑り止め材の試作に際し多くの助言を頂きました。さらに㈱ショーワ，三和グラント㈱，および大成ロテック㈱からも貴重なサンプルを提供頂きました。ここに記して感謝致します。

また，本研究で使用したICP発光分光分析装置は，日本自転車振興会の補助により整備したものであり，関係各位に感謝いたします。

引用文献

1)　富田和彦・白土博康・佐々木雄真・他：低環境負荷型ロードヒーティング用不凍液の開発，北海道立工業試験場報告，№304，pp.33-40，(2005)

2)　http://www.patine-jp.com/cryo/cf７/index.html

3)　http://hnof.co.jp/pdf/kamagu/k_gijutusiryou.pdf

4)　http://kg-eng.co.jp/pic/seihin/reincarw/reincar_W.pdf

5)　JIS A 1454：高分子系床材試験方法，(1998)

6)　林　昌宏・長谷川雅治：外部歩行面の雪による滑り性試験の検討，第18回寒地シンポジウム,pp.902-905 (2002)

7)　林　昌宏・長谷川雅治：斜面歩行時の積雪による滑りに関する研究，第20回寒地シンポジウム,pp.795-798 (2004)

8)　北海道開発局：冬期路面管理マニュアル(案)，(1997)

9)　高田忠彦・他：北海道立工業試験場報告，№283，pp.183-197,(1984)