

## 凍結防止剤を利用した凍結スリップ防止ユニットの開発

保科 秀夫、白土 博康、蓑嶋 裕典  
小松 康一\*、長田 茂樹\*\*、平井 稔\*\*\*

## Development of Slip Prevention Unit using Anti-freeze Agent .

Hideo HOSHINA , Hiroyasu SHIRATO , Hironori MINOSHIMA  
Kouiti KOMATU\* , Sigeki NAGATA\*\* , Minoru HIRAI\*\*\*

## 抄 録

凍結防止剤を充填したユニットを道路表面に埋設し、溶出する凍結防止剤でユニット上の雪氷を剥離する新しい凍結スリップ防止方式を提案した。この案の実用化には、凍結防止剤をゲル化剤などの添加により半固体状とすることで持続性の向上を図ることや、ユニットを施工および補充作業が簡便に行える構造とすることが必要である。そこで、凍結防止剤とゲル化剤の最適な組み合わせの選定と配合設計、ユニットの構造設計および試作、公道における耐久試験および実地試験を行った。その結果、本方式は実用可能であることが確認された。

## 1 . はじめに

本道では 1992 年より「スパイクタイヤ粉塵の発生防止に関する法律」の施行による、スパイクタイヤの規制が開始された。しかし、その代わりとなるスタッドレスタイヤは、アイスバーンでの制動性能が劣ることや「ツルツル路面」といわれる非常に滑りやすい凍結路面が発生するなど多くの問題があり、安全な車両交通のための冬季路面の維持管理が重要な課題となっている。このために、さまざまな機関において融雪剤や凍結防止舗装の研究が数多く行われているが、設備費、維持費および効果の全てについて優れているものは未だ開発されていない。

そこで本研究は、比較的設備費および維持費がかからず凍結防止剤をより効果的に利用する新しい凍結スリップ防止方式として、凍結防止剤を充填したユニットを道路表面に埋設し、溶出する凍結防止剤でユニット上の雪氷を剥離する方式を提案した。この案の実用化には、凍結防止剤をゲル化剤な

どの添加により半固体状とすることで持続性の向上を図ることや、ユニットを施工および補充作業が簡便に行える構造とすることが必要である。そこで、凍結防止剤とゲル化剤の最適な組み合わせの選定と配合設計、ユニットの構造設計および試作、公道における耐久試験および実地試験を行った。その結果を報告する。

## 2 . 最適な充填材性状の検討

## 2.1 各種充填材の通水試験

凍結防止効果の持続性を高めるためには、凍結防止剤にゲル化剤あるいは結合剤を添加し半固体状（ゲル状）あるいは固体状とすることで、雪の毛管上昇による吸収や拡散による損失を抑えることが必要である<sup>1)</sup>。そこで、凍結防止剤とゲル化剤あるいは結合剤の最適な組み合わせおよび配合を決めるために、各充填材と効果の持続性すなわちしみ出す凍結防止剤量の関係を通水試験<sup>2)</sup>により確認した。凍結防止剤は、現在一般的に使用されている塩化物系に比較し高価だが凍結防止効果が高く環境負荷が小さい酢酸系液状凍結防止剤（クライオテック（株）製、以後 KAC）および酢酸系粒状凍結防止剤（クライオテック（株）製、以後 CMA）、ゲル化剤あるいは結合剤は、寒天あるいはマーベルレック MR-

\* 東亜道路工業（株）

\*\*（株）ホッコンアイピーシー

\*\*\* 富士建設（株）

16 ((株) ホッコンアイピーシー製、以後 樹脂) を使用した。また、CMA は直径 2mm 程度の粒状原料をそのまま使用したもの (以後 CMA (原)) と、粉碎し 100 メッシュ以下に粒度の調整を行ったもの (以後 CMA (粉)) の二種類とした。その内容を表 1 に示す。

試験は、充填材を 20cm×20cm×4cm のプラスチック製型枠内に充填し、約 6℃ に保った低温室内でその表面に一定流量の蒸留水を連続的に通水し、オーバーフローした液の有機炭素分を全有機体炭素計で測定し、凍結防止剤濃度を算出した。さらに、その拡散速度から滲み出す凍結防止剤量の傾向を定量的に示す濃度拡散係数を算出した。

寒天を添加した充填材の試験結果を図 1-1 ~ 図 1-4 に、樹脂を添加した充填材の試験結果を図 1-5 ~ 図 1-8 に示す。また、寒天を用いた充填材の試験結果から得られた濃度拡散係数を表 2 に示す。寒天を添加したものは、寒天濃度すなわちゲル化の状態による濃度拡散係数の明らかな違いは見られなかった。従って、KAC に寒天を添加したものについては、寒天濃度の持続性に及ぼす影響は小さいことが分かった。樹脂を添加したものは、試験開始直後は水と接している表面部分の CMA が溶出するが、その他の部分からの溶出がないため急激に溶出量が低下することが分かった。従って、公道においてはタイヤとの接触による摩耗などで表面の更新が行われないと継続的な雪氷剥離効果は期待できない。

表1 充填材の内容

実験No.	
1	KAC+寒天; 2wt%
2	KAC+寒天; 4wt%
3	KAC+寒天; 6wt%
4	KAC+寒天; 8wt%
5	CMA(原); 70wt%+樹脂; 30wt%
6	CMA(原); 60wt%+樹脂; 40wt%
7	CMA(粉); 50wt%+樹脂; 50wt%
8	CMA(粉); 40wt%+樹脂; 40wt%+5号珪砂; 20wt%

表2 濃度拡散係数

実験No.	1	2	3	4
傾き	61.3	60.5	58.0	63.5
濃度拡散係数 (m <sup>2</sup> /h)	1.13×10 <sup>-4</sup>	1.10×10 <sup>-4</sup>	1.02×10 <sup>-4</sup>	1.22×10 <sup>-4</sup>

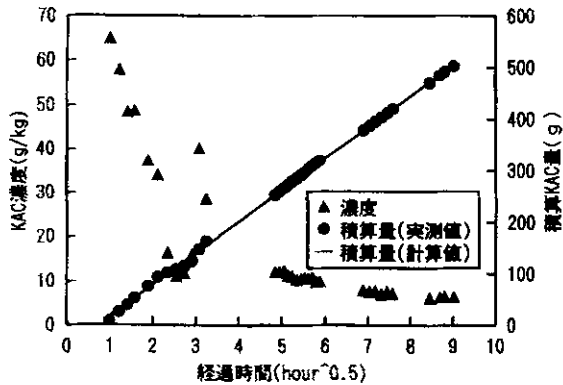


図1-1 試験結果 (実験No.1)

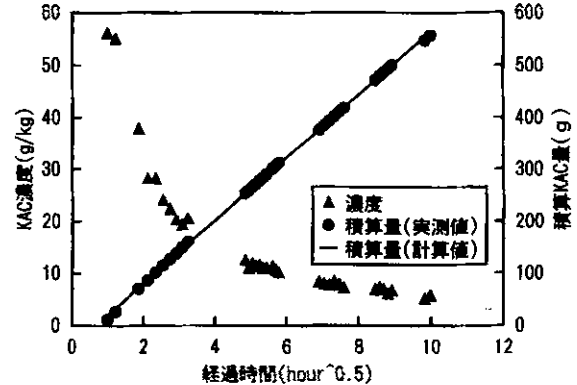


図1-2 試験結果 (実験No.2)

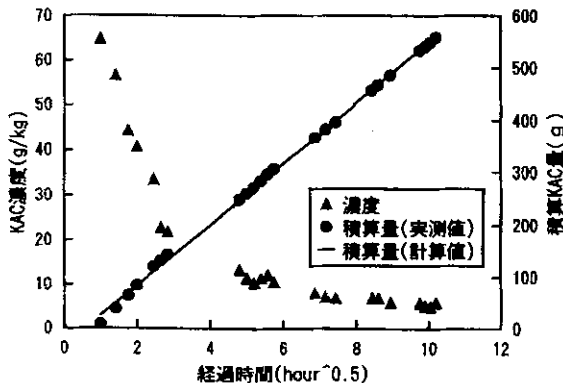


図1-3 試験結果 (実験No.3)

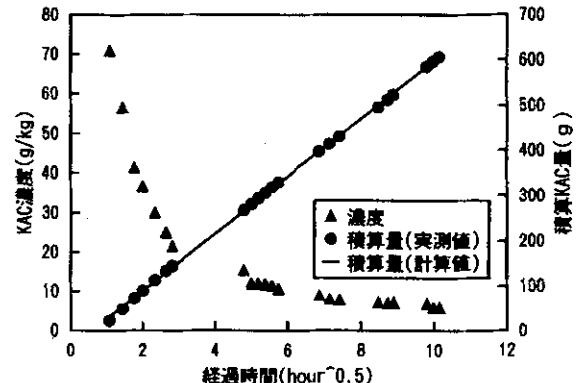


図1-4 試験結果 (実験No.4)

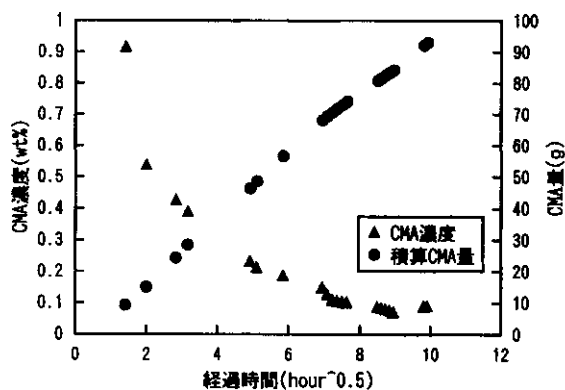


図1-5 試験結果 (実験No.5)

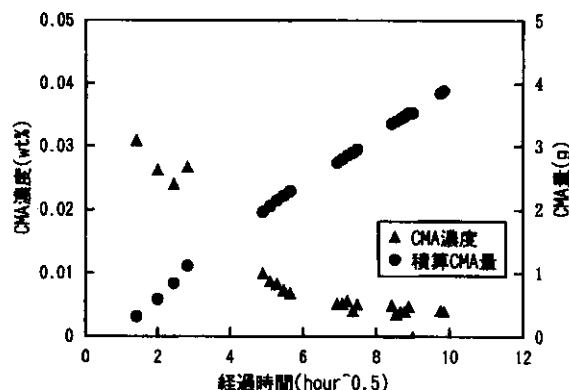


図1-6 試験結果 (実験No.6)

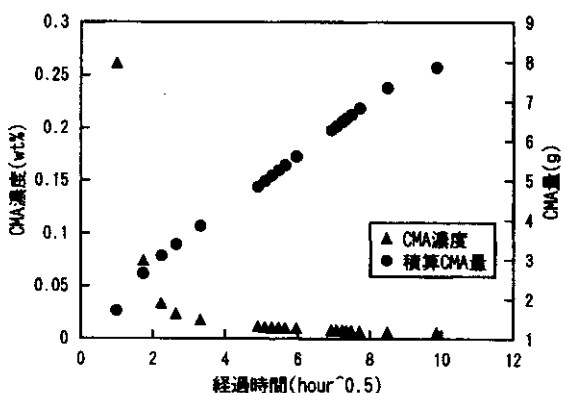


図1-7 試験結果 (実験No.7)

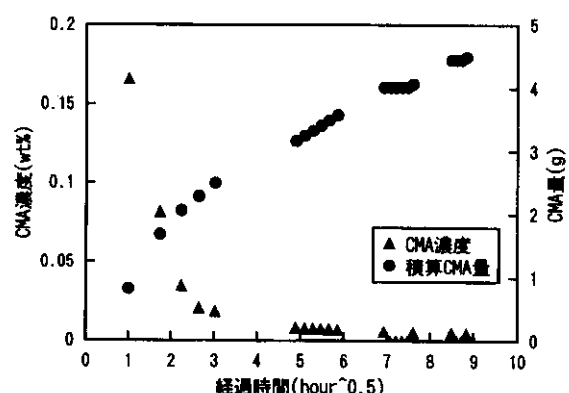


図1-8 試験結果 (実験No.8)

2.2 寒天を添加した充填材の強度試験

空隙率 30% の多孔質樹脂コンクリートの空隙部分に凍結防止剤を保持させて行った実地試験<sup>3)</sup>より、寒天をゲル化剤として添加した KAC が、即効性および持続性ともに最も優れており、効果の持続期間は 47 日間であることが確認されている。そこで、さらに持続性を向上させるためには、ユニット内枠内を全て充填材とし、内枠内単位体積当たり保持できる充填材の量を増やすことが有効である。しかしこの場合、多孔質樹脂コンクリートのような充填材を補強するものがなくなるために充填材の強度が問題となってくる。そこで、KAC に寒天をゲル化剤として添加した充填材の強度試験を行った。

試験は、KAC に添加する寒天量を 2 ~ 10wt% まで変化させ、この時の破断応力、表面下 1mm 応力、破断強度、ゼリー強度、降伏値、ヤング率をレオメーター（不動工業株式会社製 NRM-1010A）により求めた。

その結果を、図 2 に示す。なお、測定時の充填材温度は全て約 20℃ とした。破断応力、破断強度、ゼリー強度および降伏値は寒天濃度とともに上昇するが、表面下 1mm 応力とヤング率は 8wt% でピークを示し、以後は減少していることが分かる。さらに、KAC に寒天を溶解し充填材を調整する際、8wt% を越えると流動性が非常に悪くなることから、現実的には 8wt% が上限であることが確認された。

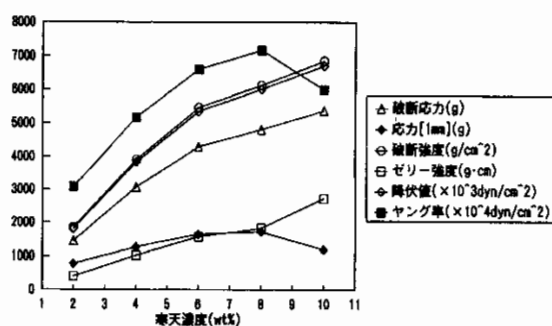


図2 強度試験結果

3 . ユニットの構造検討

「吸蔵法」の研究<sup>1)</sup>において使用した凍結防止舗装体の開口部寸法 (1m×1m) は、公道に施工する際に鉄筋コンクリートでの補強が必要なため、舗装体自身もかなり大きく重量も約 900kg となり、運搬および施工などが大掛かりとなった。

このことから本研究では、図 3 および図 4 に示すようにコンパクト化を図ったユニット状のものを使用することとした。そのことで施工は、舗装表層の一部をコアカッターなどでくり抜きユニット外枠を埋設し、周囲に樹脂などを流し込

んで固定するだけとなり、既存舗装に適用する場合も重機などを用いる必要がなく比較的簡便となる。またその構造は、凍結防止剤を保持する内枠と、それを舗装に固定するための外枠から構成される二重構造とすることで、凍結防止剤の補充作業を予め充填済みの内枠を外枠にはめ込み、ビスで固定するだけの簡便なものとした。ただし内枠内が充填材だけの場合、上部を車輪が通過した際の衝撃で充填材が破壊されたり、充填材の消費による表面の低下は段差となりタイヤを痛めたりする可能性がある。また、凍結は防止できたとしても充填材のみではタイヤとの滑り抵抗を上げる効果はあまり期待できない。そこで、滑り抵抗を上げ、さらに通過するタイヤや充填材を保護するために、内枠上部に滑り止め加工を施したグレーチングと呼ばれる金属製網状蓋体を設けることとした。

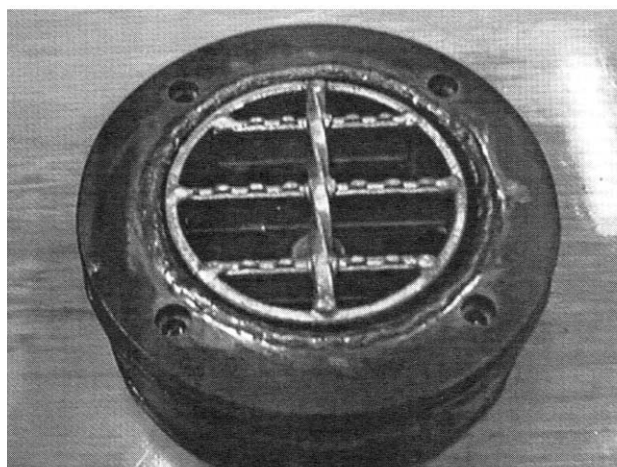


図3 凍結スリップ防止ユニット

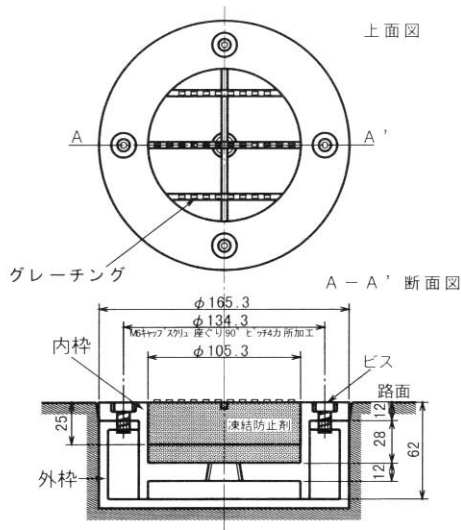


図4 ユニット概略図 (単位: mm)

#### 4. 公道におけるユニット耐久試験

3項の結果に基づき試作を行い、その実使用環境における耐久性と、各種充填材の挙動を把握するために、平成9年8月22日から10月31日までの約2ヶ月間にわたり、交通量が約4000台/日・方向の室蘭市市道(市場通線)においてユニット耐久試験を行った。

試験に使用した充填材を表3に示す。充填材は、凍結防止剤としてKACやCMA、ゲル化剤あるいは結合剤として寒天や樹脂を使用し、充填材の内部まで水が浸透するように穴を開けたものなどの計11種類とした。試験は、これらを充填した内枠を、予め現地舗装に埋設してある外枠に固定して行った。ここで、ベアリングバーのピッチが30mmのグレーチングを「Aタイプ」、15mmを「Bタイプ」とした。その概略を図5に示す。

試験結果を、表4に示す。樹脂を使用した充填材はいずれも当初期待したタイヤの衝撃などによる表面の磨耗はなく、表面の更新はなされないことが確認された。また、寒天を使用した充填材は、いずれも表面が内枠の中程まで低下する形で半分ほどが残ったが、添加量8wt%ではひび割れが起こり損傷が大きいため、寒天添加量は2wt%が適当と思われる。

表3 充填材の内容

	内容	グレーチング	その他
A	CMA(原)充填+KAC+寒天; 2wt%	A, B	
B1	CMA(原)充填+樹脂	A	
B2	KAC; 50wt%+CMA(粉); 50wt%	A	60°C熟処理
C	CMA(粉); 50wt%+樹脂; 50wt%	A, X	
D	↑	A, X	穴(8カ所)
E	CMA(粉); 40wt%+樹脂; 40wt%+5号; 20wt%	A, X	
F	↑	A, X	穴(8カ所)
G	CMA(原); 60wt%+樹脂; 40wt%	A, X	
H	↑	A, X	穴(8カ所)
I	KAC+寒天; 2wt%	A, B	
J	KAC+寒天; 8wt%	A, B	

表4 耐久試験結果

	試験結果(残留した充填材の状況)
A, B2 (CMA+KAC+寒天)	全量消耗(残留分無し)。
B1, C, D, E, F, G, H (樹脂コン系)	ほとんど変化無し。
I(寒天2wt%)	半分ほど残留。
J(寒天8wt%)	半分ほど残留、ひび割れによる損傷大。

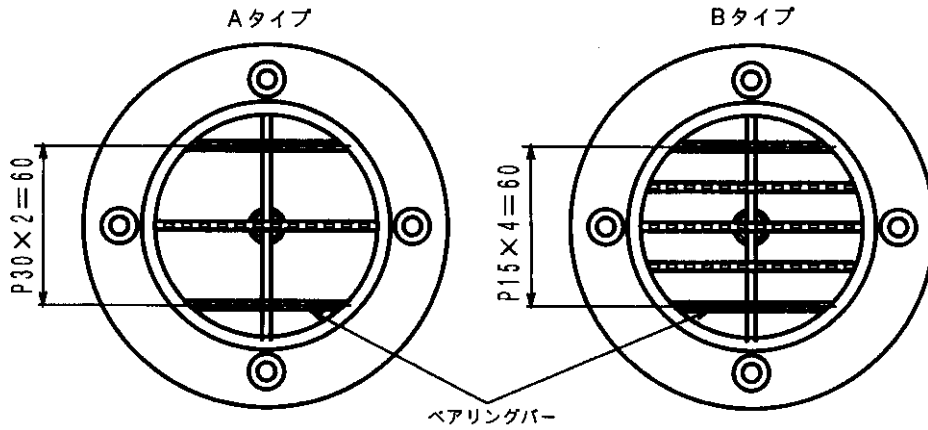


図5 グレーチングの概略図 (単位: mm)

5. 公道における実地試験

5.1 試験方法

試験は、先の耐久試験と同一の場所および方法で12月4日から翌年3月3日までの3ヶ月にわたり行った。試験に使用した充填材とグレーチングの組み合わせを表5に、その配置を図6に示す。路面状態の観測は、監視カメラを用いて行った。

雪氷剥離効果の評価は、ユニット上と路面との表面状態の差により行った。すなわち、路面がユニット上の状態より雪氷剥離状態が劣る場合は効果があり、ユニット上と同じ状態が出現した段階でユニットの優位性が消失し、効果は無くなったと判断した。なお、延長方向で約9mある試験エリアの中で、日射の当たり方や車両の走行状態などが不均一で路面状態のばらつきが大きいため、今回の試験では路面状態の観察ポイントをユニット施工箇所近傍とした。

これを定量評価するために、降雪時の画像中最も効果があるユニット施工部分とその近傍の最も融雪が早い路面部分の黒度を、画像処理によりそれぞれ数値化(完全な白=0%、完全な黒=100%)し、次式に示すコントラスト比を算出することにより、画像全体の明暗の変化を相殺し、雪氷剥離効果の有無を評価した。

$$\text{コントラスト比 (C.R.)} = \frac{\text{ユニット施行部黒度}}{\text{道路わだち部黒度}}$$

従ってコントラスト比が1以下の場合には効果がなく、1より大きい場合は効果があり、その数値が大きくなるほど効果が高いと評価した。

5.2 試験結果および考察

平成10年2月5日6:58の画像を図7に示す。この時点でGとH以外の充填材については効果が見られなくなっている

表5 充填材の内容

	内 容	グレーチング	備 考
A	KAC+寒天(2wt%)+多孔質樹脂コン	×	上部2cmに樹脂コン層
B	CMA(原)充填+樹脂	A、×	
C	KAC+寒天(2wt%)+樹脂膜	A	表面に1~5mmの樹脂膜
D	KAC+寒天(2wt%)+CMA(原)密+樹脂	A	樹脂 KAC+寒天 CMA
E	KAC+寒天(2wt%)+CMA(原)粗+樹脂	A	
F	KAC+寒天(0.2wt%)+多孔質樹脂コン	×	昨年度チャンピオン
G	KAC+寒天(2wt%)	A	
H	↑	B	

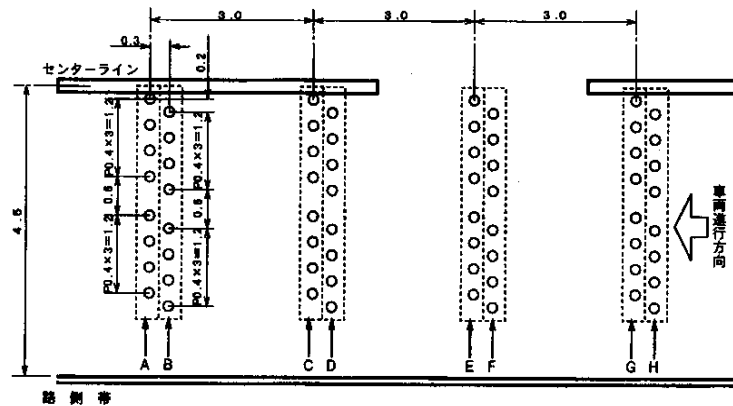


図6 ユニットの配置図 (単位: m)

ことが分かる。このことから効果の持続性に最も優れていたのは、KACに寒天を2wt%添加したGとHであることが確認された。

このGとHについて積雪から雪氷剥離効果が見られなくなるまでの時間におけるコントラスト比の経時変化をまとめたものを表6に示す。2月12日まではコントラスト比が1以上となる時間があり、雪氷剥離効果が確認できる。しかし、その後3月3日の時点まで路面のわだち部が積雪状態となるほどの降雪が無く、効果の持続は確認が不可能であった。従って、カメラによる雪氷剥離効果の評価ができる程度の積雪が確認された期間は3月3日の時点で70日間であり、最も持続性に優れたGとHはその全期間を通して効果が持続していたことが確認された。ただし、2月に入ってからは効果の出現時間が遅くなったり短くなるなど効果が低下していることが伺え、また3月6日に充填材の状況を目視で確認した結果、内枠内はほとんど空となっていたことから、積雪期間が70日を越える場合や、降雪量が本年度以上あった場合については効果の持続性が不明である。このことから、寒気および降雪などの気象条件が一段と厳しくなり効果が低下するシーズン中盤に内枠を交換し、充填材の補充を一回程度行うことで、より効果的な雪氷剥離が可能となる。なお、本方式で用いられるユニット形状は、充填材の交換および補充が比較的簡便に行えるように二重構造となっているため、シーズン中一回程度の補充はそれほど大きな労力あるいは経費の負担とはならないものと思われる。

6.まとめ

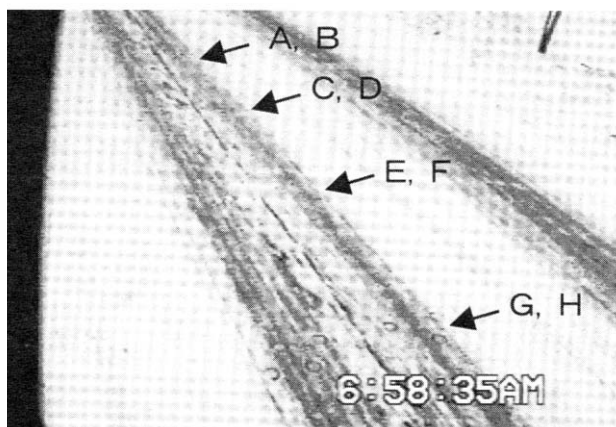


図7 2月5日 6:58の画像

表6 実地試験結果

観測日時		観測時間	C.R.>1の時間
12/12	16:58 ~ 12/13 3:10	10:00	10:00
1/ 1	0:50 ~ 1/ 1 9:30	8:40	8:00
1/ 5	2:10 ~ 1/ 5 10:00	8:50	6:00
1/14	0:00 ~ 1/14 9:00	9:00	3:30
2/ 5	4:36 ~ 2/ 5 8:31	4:00	1:30
2/12	6:54 ~ 2/12 10:00 (試験開始後70日目)	3:00	1:20

凍結防止剤を舗装表層部分に埋設したユニットに充填し、常にユニット上面の雪氷を剥離させるスリップ防止方式を提案し、実用化のための試験を行い以下の知見を得た。

- 1) 各種充填材の通水試験により、CMAを樹脂で固めた充填材は、表面以外からのCMAの溶出がないため防止効果が持続しないことが分かった。また、KACに寒天を添加した充填材は、寒天濃度による溶出特性の明らかな違いは見られなかった。
- 2) 寒天を添加した充填材で行った強度試験の結果から、寒天濃度は8wt%が上限であることが分かった。
- 3) 公道における耐久試験により、樹脂を添加した充填材はいずれも当初期待したタイヤの衝撃などによる表面の摩耗は確認されず、表面の更新はなされないことが分かった。また、寒天を添加した充填材はいずれも表面が内枠の中程まで低下する形で残ったが、寒天濃度8wt%はひび割れが起り損傷が大きいため、濃度は2wt%程度が適当であることを確認した。
- 4) 公道における実地試験において、KACに寒天を2wt%添加した充填材が最も持続性に優れており、画像処理で評価可能な積雪が確認された70日間を通して効果が持続していたことが確認された。ただし、2月に入ってからは効果出現が遅くなったり時間が短くなるなど効果が低下していることがうかがえ、また積雪期間が70日を越える場合や、降雪量が本年度以上あった場合については効果の持続性が不明である。このことから、シーズン中盤に、充填材の補充を一回程度行うことが必要であり、そのことでより確実に効果的な凍結スリップ防止を行うことが可能となる。なお、本方式で用いられるユニットは、充填材の補充が比較的簡便に行えるように二重構造となっているため、シーズン中一回程度の補充は、それほど大きな経費の負担とはならないものと思われる。

以上の結果、本方式の特徴をまとめると次のようになる。

- ・ロードヒーティングと異なり、付帯設備や電力、ガスなどを必要とせず、維持費が比較的低い。
- ・ポンプなどにより凍結防止剤を散布する方式と異なり、付帯設備や電力を必要とせず、さらに使用される凍結防止剤の

量が少ないため、臭いや塩害などの環境に対する影響が少ない。

・弾性体を利用する方式と異なり、車両の通過などの衝撃をあまり必要としない。

・舗装材に練り込んで施工する方式と異なり、補充の回数により効果の持続性を調整することが可能である。

このような特徴を持つ本方式は、比較的降雪量が少なく人口や建造物が密集し付帯設備の設置が難しい地域の歩道や横断歩道付近あるいは交通量の少ない交差点付近の車道などでの利用が有効であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 保科秀夫ほか：凍結防止剤を利用した凍結防止舗装の開発、北海道立工業試験場報告 No.295、p.101-106 (1996)
- 2) 北海道：平成6年度 北海道地域技術おこし事業報告書、P.122-132 (1995)
- 3) 保科秀夫ほか：凍結防止剤を利用した凍結防止舗装の開発、平成8年度共同研究報告書 (1997)