

## 樹脂モルタルを利用した凍結抑制舗装の開発

大市 貴志, 金野 克美, 斎藤 隆之  
堀川 弘善, 平野 徹, 尾谷 賢  
内山 智幸, 吉田 光則, 蓑島 裕典

### Development of Ice-Restraint Pavement utilizing Polymer Mortar

Takashi OHICHI, Katsumi KONNO, Takayuki SAITOH  
Hiroyoshi HORIKAWA, Toru HIRANO, Masaru OTANI  
Tomoyuki UCHIYAMA, Mitsunori YOSHIDA, Hironori MINOSHIMA

#### 抄 録

冬季間の道路の安全対策として、凍結防止剤の散布による路面凍結の抑制が重要性を増してきている。本研究では凍結防止剤を効果的に利用する方法の一つとして、粉状の凍結防止剤を組み込んだポリマーモルタルを路面上にコーティングして路面の凍結を抑制する「コート法」を提案し、コート層からの凍結防止剤の溶出特性の検討及び小面積の屋外試験を行い凍結抑制効果の評価を行った。その結果、コート法は環境条件に凍結抑制効果が影響を受けやすいが施工箇所を検討することにより、コストを抑えた凍結抑制方法となる可能性があると考えられる。

#### 1. はじめに

冬季間の道路の安全対策として、凍結防止剤の散布による路面凍結の抑制が重要性を増してきている。現在の凍結防止剤の利用方法は、必要時に人力で散布する方法であるため、必要箇所でのリアルタイムな対応は困難であり、降雪後の散布では雪の表面に凍結防止剤を散布する事になり、舗装表面での氷結防止には過剰量の散布が必要となる等の課題がある。

本研究では凍結防止剤を効果的に利用する方法の一つとして、ポリマーモルタル中に粉状の凍結防止剤を組み込み、路面上の必要箇所に薄くコーティングして舗装表面から凍結防止剤を供給することにより路面上の積雪と路面との凍結による強固な付着を抑制し、車両の通行や除雪等により雪氷が容易に路面から剥離しアイスバーンの発生を抑えることを目的とする「コート法」を提案した。コート法は簡単な施工方法により1シーズン毎の対応を考え、シーズン期間中はメンテナンスフリーとする方法である。

コート法の模式図を図1に示す。コート層の厚さは3mm程度を想定している。本法では凍結防止剤の使用量が非常に少ないため、北海道のように長期間に渡って降雪がある地域においては、凍結防止剤のコート層からの溶出速度をコントロールし凍結抑制効果を持続させなければならない。凍結防止剤の溶出は、次に挙げる3段階の過程があると思われる。ただし、どの過程が律速段階であるか断定はできない。

第一段階：水がコート層表面からモルタル内部に浸透し、凍結防止剤の表面に到達する。

第二段階：凍結防止剤が水に溶解する。

第三段階：濃度拡散によりモルタル内部からコート層表面へ移動し、外部へと溶出する。

したがって、凍結防止剤のコート層内部からの溶出速度に影響を与える因子として考えられる項目は、第一及び第三段階についてはコート層厚さやモルタル組成等が挙げられる。第二段階に対しては凍結防止剤の水への溶解性が考えられる。そこで、モルタルに使用するマトリックス樹脂、骨材及び表面処理した凍結防止剤を各種配合した試料を水中に浸漬し、

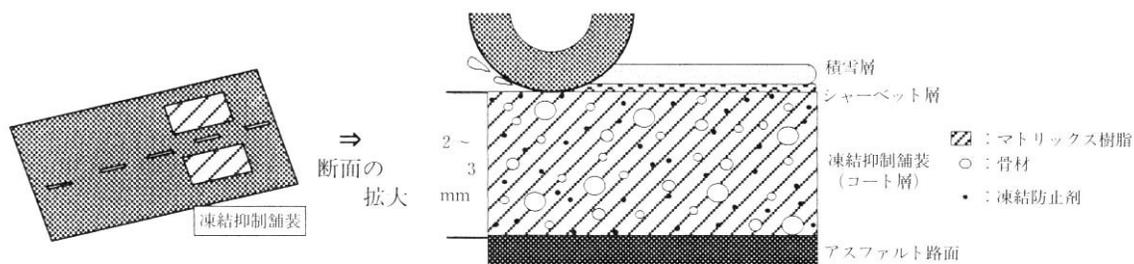


図1 凍結抑制舗装（コート法）の模式図

凍結防止剤の溶出促進試験を行い凍結防止剤の溶出特性の検討を行った。さらにはこれらの試料を用いた小面積の屋外試験を行い凍結抑制効果の検討を行った。

2. 溶出促進試験

2.1 試験方法

1) 凍結防止剤の溶出促進試験

配合割合に従って計量した樹脂に硬化剤及び促進剤を加え攪拌した後、骨材及び凍結防止剤を加え十分に混合した。所定重量(50g)のモルタルを60mm×130mmのプラスチック製型枠内に流し込み、表面はこて仕上げを行い平滑にした後、室温で1日以上放置し供試体とした。

3000gの蒸留水が入っているプラスチック製容器(水深約5cm)に供試体を沈め、所定時間毎に浸せき液の凍結防止剤濃度を測定した。使用する凍結防止剤が塩化ナトリウム系の場合は、浸せき液をサンプリングし塩素イオン電極を用い塩素イオン濃度を測定、または、浸せき液中にSinar Salt Meter(メルバブ(株)製)の検出部を入れ、表示される値を凍結防止剤濃度とした。また、CMA系の場合は、容器中の浸せき液を10mlサンプリングし、ICP発光分析法にてMgイオン濃度を測定した。

2) コート層表面へ溶出する凍結防止剤の測定

路面に施工したコート層表面に直径40mm、高さ5cmのパイプを置き、その中に20mlの蒸留水を入れ30秒間攪拌後10mlを取り出しICP発光分析法にてMgイオン濃度を測定し溶出した凍結防止剤量を測定した。

2.2 使用材料

マトリックス樹脂は、ポリマーモルタル用樹脂として一般的に使用されている表1に示す樹脂を用いた。以後、樹脂の表記は記号を用いることとする。骨材には、配合珪砂(4, 5, 6及び8号珪砂の混合物)及び5号珪砂を使用した。

塩化ナトリウム系の凍結防止剤にはマフィロン(エムアンドイー(株)製)を用い、酢酸カルシウムマグネシウム系はCMA100(クライオテック(株)製)を使用した。

表面処理剤には、無機オイル系及びワックス系の処理剤を

表1 使用したマトリックス樹脂

記号	樹脂名	製造メーカー
M	マーベルレック MR-05	勝ホクコンアイピーシー製
D	ディオバー HTP-460-W	大日本インキ化学工業株式会社製
G	ゴーエスフロアー RM	恒和化学工業株式会社製
T	ポリライト TP-210	大日本インキ化学工業株式会社製

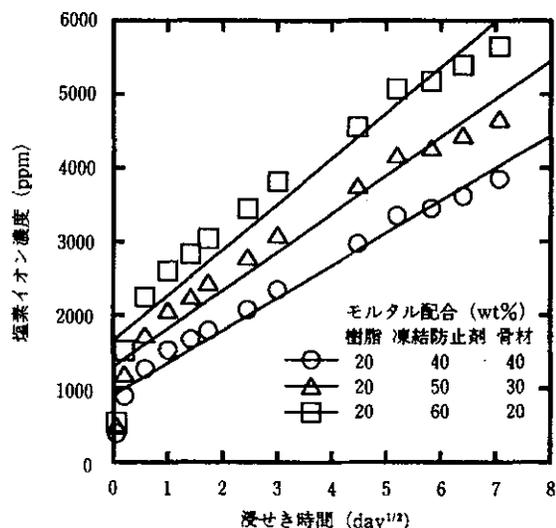


図2 浸せき試験による凍結抑制剤の溶出曲線

使用し、無機オイル系にはシリコン系及びフッ化アルキル系、また、ワックス系には植物系及び石油系の処理剤をそれぞれを使用した。これらを以下に示す。

- シリコン系 KBM3033, KC89R, KF99 (信越化学(株)製)
- FS710 (日本油脂(株)製)
- フッ化アルキル系 F 100 (日本油脂(株)製)
- 石油系 PW500 (東洋インキ(株)製)
- 植物系 カルナバワックス (フロイント産業(株)製)

2.3 試験結果

1) モルタル組成が凍結防止剤の溶出特性に与える影響

図2に浸せき液の凍結防止剤濃度と浸せき時間の関係を示す。ここでは、凍結防止剤はマフィロンを用いた。浸せき直

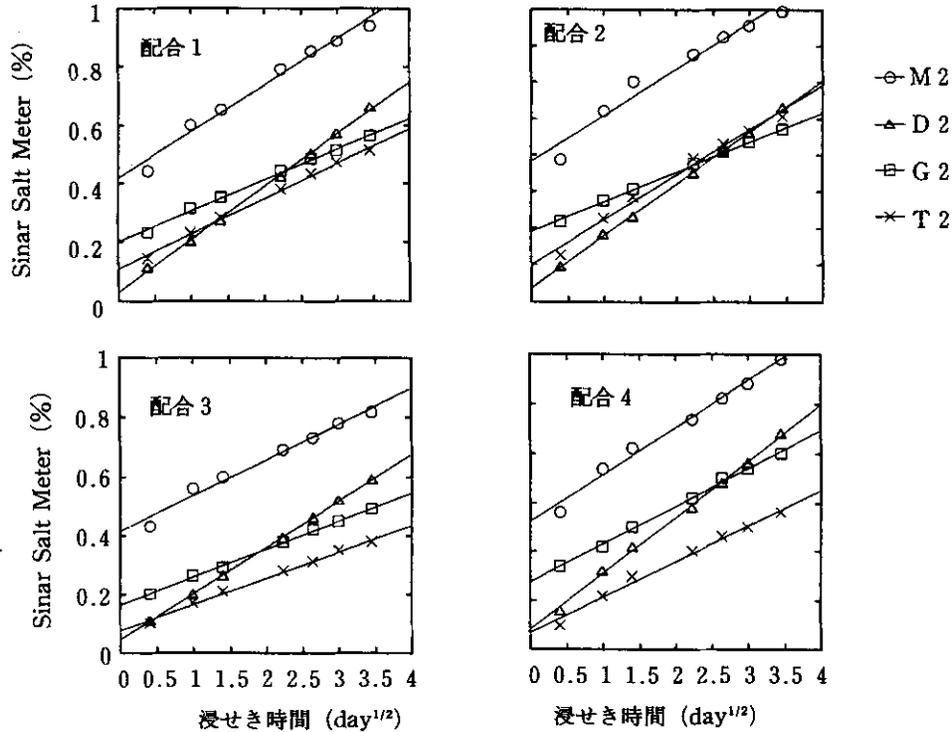


図3 各種モルタル配合における浸せき時間と凍結防止剤溶出量の関係

表2 浸せき試験のモルタル配合割合

配合番号	樹脂 wt%	凍結防止剤 wt%(マフィロン)	骨材 wt%(種類)
1	20	40	40(配合硅砂)
2	20	60	20(配合硅砂)
3	20	40	40(5号硅砂)
4	30	40	30(配合硅砂)

後は急激な凍結防止剤の溶出により比例関係より外れるが、それ以降はほぼ直線関係が認められ、凍結防止剤の溶出量と浸せき時間の1/2乗との間には比例関係が成立した。凍結防止剤がモルタル中から濃度拡散によって溶出すると考えると、この直線の傾きが溶出速度の指標を示すと思われる、各種配合について溶出傾向の比較を行った。

図3に各種モルタル配合割合においてマトリックス樹脂を変えたときの溶出試験結果を示す。また、その時のモルタル配合割合を表2に示す。

何れの配合においてもマトリックス樹脂の違いによる溶出曲線は同様の傾向を示しており、最小二乗法から得られた直線の傾きを表3及び表4に示す。表3より、同一のモルタル配合ではマトリックス樹脂を変えたときの溶出直線の傾きの変化率はほぼ同様な値を示した。また、表4より、配合割合を変えたときの溶出直線の傾きの変化率は樹脂種類に関係なくほぼ一定となる結果が得られ、配合割合及び樹脂を変えたときの溶出傾向が推測されると考えられる。

表3 マトリックス樹脂が溶出傾向に与える影響

樹脂	モルタル配合	傾き	傾きの比率 (各樹脂の傾き/樹脂Mの傾き)
M	1	0.14	1
D		0.18	1.3
G		0.10	0.7
T		0.12	0.9
M	2	0.22	1
D		0.29	1.3
G		0.16	0.7
T		0.23	1.0
M	3	0.11	1
D		0.16	1.5
G		0.10	0.9
T		0.09	0.8
M	4	0.09	1
D		0.11	1.3
G		0.07	0.9
T		0.07	0.8

2) 凍結防止剤の表面改質効果

各種無機オイル系撥水剤で表面処理を行ったCMAを用いたモルタルの浸せき試験の結果を図4に示す。また、シリコン系及びフッ化アルキル系撥水剤の処理量を変えた時の溶出試験の結果を図5及び6に示す。

無処理CMAはモルタルからの溶出が非常に速く、モルタ

表4 モルタル配合が溶出傾向に与える影響

樹脂	モルタル配合	傾き	傾きの比率 (各樹脂の傾き/樹脂Mの傾き)
M	1	0.14	1
	2	0.22	1.6
	3	0.11	0.8
	4	0.09	0.6
D	1	0.18	1
	2	0.29	1.6
	3	0.16	0.9
	4	0.11	0.6
G	1	0.10	1
	2	0.16	1.6
	3	0.10	1.0
	4	0.07	0.7
T	1	0.12	1
	2	0.23	1.9
	3	0.09	0.8
	4	0.07	0.6

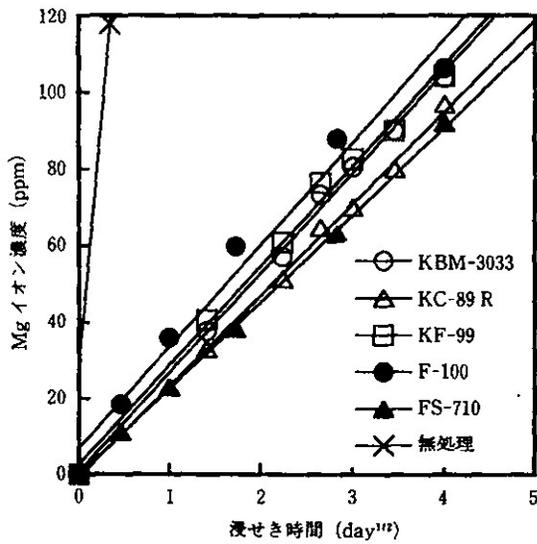


図4 各種無機オイル系表面処理剤の影響

ル配合を変えただけでは溶出速度の抑制には限界があると思われる。CMA を各種表面処理剤でコートした場合、いずれの処理剤を用いても無処理に比較して溶出速度は大幅に抑制された。ただし、表面処理剤の種類は溶出傾向に余り影響を与えなかった。また、表面処理量を変えても溶出曲線の傾きはほぼ同じであった。このため、無機オイル系の撥水処理では、CMA の溶出傾向の制御は困難であると思われる。

次に、CMA の溶出速度を抑制する方法として、石油系及び植物系の WAX で CMA の表面処理を試みた。マトリックス樹脂に樹脂 D を使用したモルタルの浸せき試験結果を図 7 に示す。いずれの系においても処理量による溶出曲線の傾きに

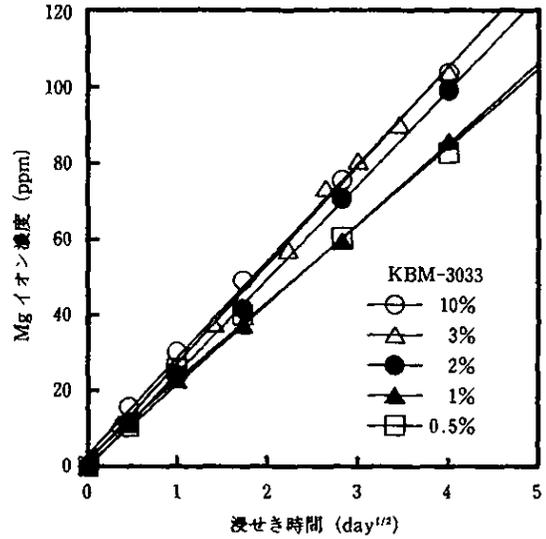


図5 表面処理剤量が溶出特性に与える影響

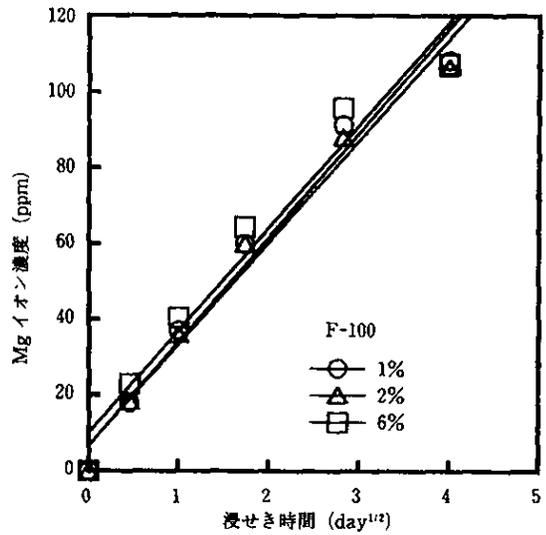


図6 表面処理剤量が溶出特性に与える影響

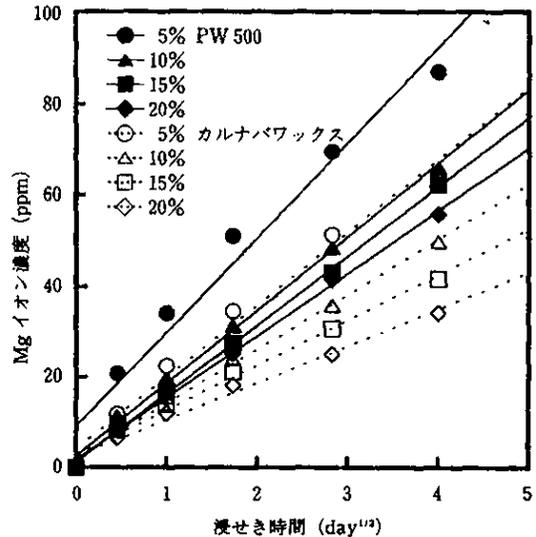


図7 WAX 処理の溶出傾向に与える影響

変化が見られた。最小二乗法で求めた溶出曲線の傾きとWAX処理量の関係を図8に示す。処理量が5%以下であるとCMAの表面に均一にWAXをコートする事が困難になり、コートされていない部分が存在するため凍結防止剤の溶出が急激に早くなるが、WAXの処理量とCMAのモルタルからの溶出傾向には一定の関係が見られ、コート層からの凍結防止剤の溶出特性の制御が可能であると考えられる。

3) モルタル組成及び配合割合の検討

平成6年度にコート法の予備試験を北工試験構内道路にて行った。予備試験のモルタル配合では、目的とする凍結抑制効果は約一ヵ月程度しか持続しなかった。この時のコート層表面へ溶出する凍結防止剤量とコート層施工後日数の関係を図9に示す。また、屋外施工した凍結抑制舗装材料の溶出促進試験結果を図10に示す。

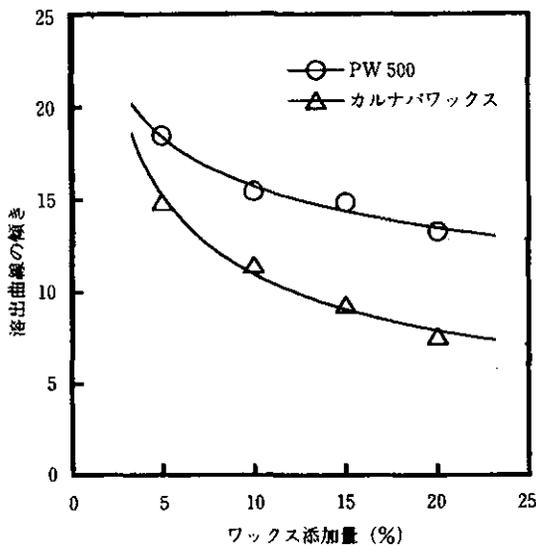


図8 ワックス処理量と溶出曲線の傾きの関係

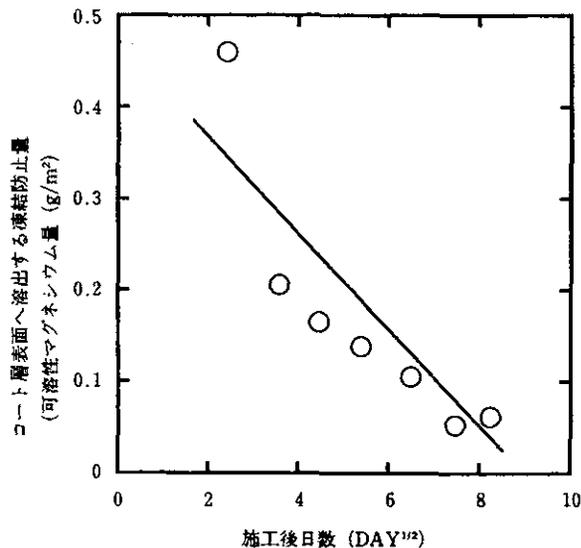


図9 表面へ溶出する凍結防止剤量と施工後日数の関係

コート層表面に溶出してくる凍結防止剤量と施工後日数の1/2乗との間には比例関係が成立し、溶出促進試験から得られる凍結防止剤の溶出曲線と相関が認められる。したがって、凍結防止剤のコート層からの溶出速度を抑制する事、つまり、溶出促進試験から得られる溶出曲線の傾きを小さくする事により凍結抑制効果が持続すると考えられる。この時得られた溶出曲線の傾きでは凍結抑制効果は1ヵ月程度しか持続しなかった。そこで、この傾きの1/3程度の溶出曲線を得るモルタル配合を求めたこととした。

コート法は、降雪期直前にアスファルト路面上に施工するため様々な制約が考えられる。そこで、マトリックス樹脂としては低温域での硬化性に優れ、樹脂の柔軟性が高く、樹脂中にアスファルト層を侵すスチレンモノマーを含まない樹脂Dを使用し、凍結防止剤の表面処理剤には石油系のPWを用いることとした。その結果、平成7年度施工予定のコート層のモルタル配合は施工性等を考慮して表5とする事とした。この時、表3及び4の結果よりモルタル配合によって溶出特性は変化することが求められている。したがって、施工モルタル配合の要求される溶出曲線の傾きを図8の結果を得たモルタル配合に当てはめるとCMAの表面処理量は約2%となる。しかし、WAX処理量が少ないとWAX層が不均一となり溶出特性は急激に変化する。そのため、表面処理量は2及

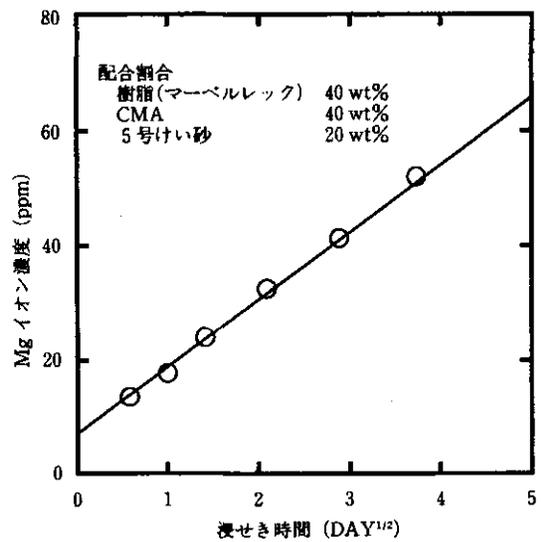


図10 予備試験施工した材料の溶出促進試験

表5 施工予定モルタル配合

	樹脂	凍結防止剤	骨材
種類	D	CMA	5号珪砂
割合(wt%)	30	40	30

び4%とする事とした。

### 3. 小面積での屋外凍結抑制試験

#### 3.1 施 工

北海道立工業試験場構内中央道路及び隣接する市道北大横断線にそれぞれ2×2.5m, 4×2.5mの小面積の試験施工を行った。(写真1, 図11)施工方法は、モルタル材料を路面上に流し込み表面をコテによりならし所定のコート厚さとした。この時、交通遮断の時間は約4時間以内に収めることが可能であった。

#### 3.2 観測結果

構内の路面状況を写真2に示す。目視による観測では、アスファルト路面は積雪層が路面と強固に付着し、圧雪層を除去するのは困難であった。この時、コート層上の積雪はサクサクの状態となっており、車両の通行や人の歩行により路面が容易に露出し、凍結抑制効果が認められた。

市道の路面状況を写真3に示す。コート層上でタイヤが通過する部分は路面が露出していることが認められた。この道

路は道幅が狭くタイヤが通過する場所が限られているため露出部分が限定されたと思われる。この時アスファルト路面上は圧雪またはアイスバーン状になっていた。

降雪前後の市道の路面状況及び気象データを写真4及び図12に示す。この日は午前9時頃まで大雪が観測され、その後は日が射した。除雪車が通過した後コート層上の路面が露出し、路面が凍結していないことが認められた。その後車両の



写真2 構内の路面状況



写真1 凍結抑制舗装の施工状況



写真3 市道の路面状況

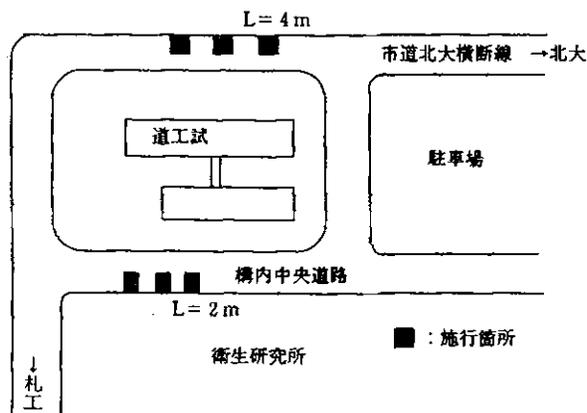


図11 コート法施工位置

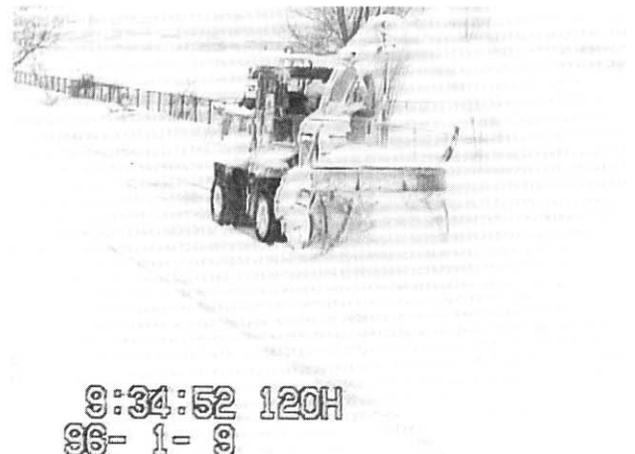


写真4-1 市道の路面状況 (除雪前)



写真4-2 市道の路面状況(除雪後)

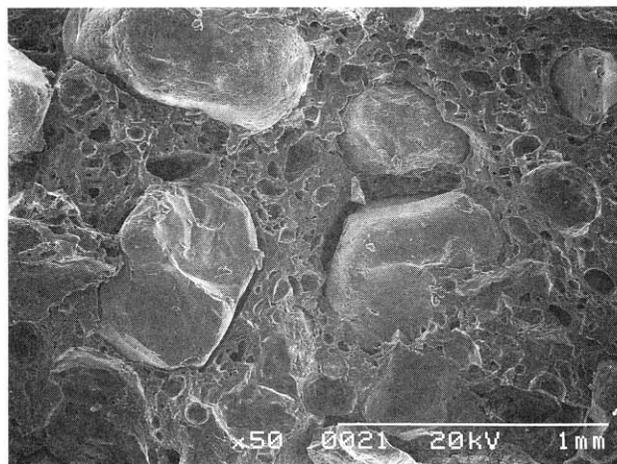


写真6-1 コート層の断面(上部)

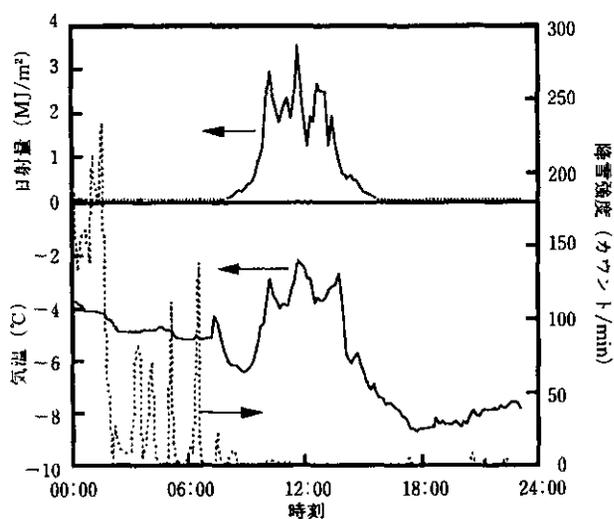


図12 気象データ('96/1/9)

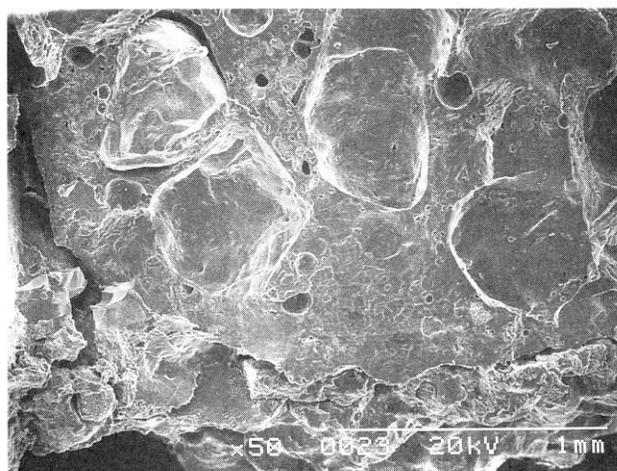


写真6-2 コート層の断面(下部)



写真5 コート層の磨耗状況

通行及び日射の増加とともに露出面積が大きくなっていく事が認められ、凍結抑制効果が確認された。この効果は2, 3ヵ月持続した。この時、構内の道路は除雪が行き届かず道路上の圧雪層が約20cmにも達した。このため、多量の圧雪層に阻まれ外力が作用することが期待できず路面を露出させる

事が無かった。

施工から約3ヵ月後の市道の路面状況を写真5に示す。また、コート層の断面を走査型電子顕微鏡にて観察の結果を写真6に示す。施工後2ヵ月頃からコート面が磨耗し始め、3ヵ月後には一部アスファルト路面が露出するのが観測された。断面写真を見るとコート層の表面側は凍結防止剤が溶出して出来たと思われる小さな空洞が多く観察された。その結果、凍結防止剤が溶出した後のコーティング層は強度が弱くなり磨耗しやすくなったと思われる。この時点で、コート層下部にはあまり空洞が認められず凍結防止剤が溶出せず残存しており、凍結抑制効果は持続すると思われる。

#### 4. まとめ

粉状の凍結防止剤を組み込んだ樹脂モルタルを路面上にコーティングして路面の凍結を抑制する「コート法」を提案し、コート層からの凍結防止剤の溶出特性の検討及び小面積の屋外試験を行い凍結抑制効果の評価を行った。その結果以下の知見が得られた。

- 1) 樹脂モルタルに使用するマトリックス樹脂，骨材及びそれらの配合条件はコート層からの凍結防止剤の溶出特性に一定の影響を与えた。また，凍結防止剤をワックス系撥水剤で表面処理することによりコート層からの凍結防止剤の溶出特性を制御する事が可能であった。
  
- 2) 屋外試験においてコート層上の積雪は路面に固着せず車両の通行や除雪等の外力が働く事により剥離し，凍結抑制効果が確認され，その効果は3ヶ月程度持続した。ただし，機械除雪が行き届かず多量の圧雪層が発生する路面においては効果は発現しなかった。また，凍結防止剤が溶出した後のコーティング層の強度が弱くなり摩耗しやすくなる等課題があった。
  
- 3) 一般的に凍結抑制舗装の路面凍結抑制効果は環境条件の影響を受けやすい。コート法についても同様であると思われるが，施工箇所を検討することにより，降雪期間中メンテナンスフリーでコストを抑えた凍結抑制方法となる可能性があると考えられる。