

V-31

凍結抑制舗装の供用性調査

北海道開発局 開発土木研究所 道路部 維持管理研究室 正員 二ノ宮秀彦
 " " " " 正員 川村和幸
 " " " " 正員 吉野雅之

はじめに

積雪寒冷地においては冬期間における安全・円滑な交通の確保のために、道路の雪水管理が重要となる。

日本では、これまで冬期間の交通に、その簡便性および効果からスパイクタイヤが使用されてきた。しかし、スパイクタイヤに起因する舗装の摩耗被害、環境への影響が問題となり、1990年6月には指定地域においてスパイクタイヤの使用を禁止する法律が制定された。

こうした状況のなか、路面のすべり止め対策の一環として、凍結抑制材を混入した舗装の検討がなされている。

凍結抑制舗装は、道内各地で試験施工段階となっているものの、その評価方法は確立されていない。そのことは、供用性を検討する上で重要な課題となっている。

本文では、塩化カルシウムを主体としたフレーク状の凍結抑制材を混入した舗装の効果の判定・評価を、主として誘電式路面凍結検知器（以下DPFと略す）および固定式路面撮影カメラによって行った結果について報告する。

1. 調査概要

1.1 調査箇所

調査は一般国道393号小樽市で実施した。調査箇所を図-1に示す。また、調査期間中に実施した交通量測定の結果は、24時間で約2100台、大型車混入率16%であった。調査は平成3年12月から平成4年3月まで実施した。なお、調査箇所において夜間除雪は行われていない。

調査は凍結抑制工区（'89抑制工区、'90抑制工区、'91抑制工区）と一般工区について実施した。なお、凍結抑制工区において、凍結抑制材は5%添加されている。

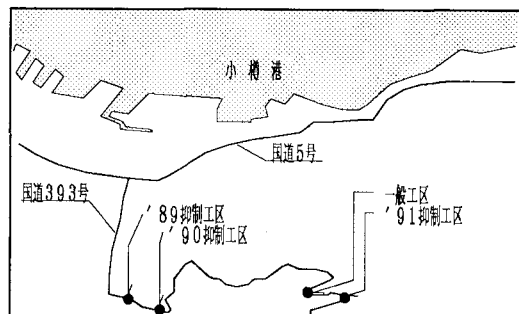


図-1 調査箇所

表-1 雪氷の分類

大分類	小分類
新雪	乾き新雪 (Dry New Snow)
	濡れ新雪 (Wet New Snow)
圧雪	乾き圧雪 (Dry Compacted Snow)
	濡れ圧雪 (Wet Compacted Snow)
粉雪	粉雪 (Powder Snow)
粒雪	乾き粒雪 (Dry Grain Snow)
	濡れ粒雪 (Wet Grain Snow)
水べた雪	水べた雪 (Slush)
氷板	乾き氷板 (Dry Ice Crust)
	濡れ氷板 (Wet Ice Crust)
氷膜	乾き氷膜 (Dry Ice Film)
	濡れ氷膜 (Wet Ice Film)

※ 乾燥露出 (Dry Bare), 湿潤露出 (Wet Bare)

1.2 調査内容

1.2.1 路面写真の解析

路面写真の解析は、固定カメラによって得られた写真をもとに道路雪氷の発生状態および路面の露出率について行った。なお、撮影期間は12月から2月までである。

Performance Evaluation of Anti-Icing Pavement

by Hidehiko NINOMIYA, Kazuyuki KAWAMURA and Masayuki YOSHINO

a) 道路雪氷の分類¹⁾

冬期間の路面状態は道路雪氷の変化の影響を大きく受ける。道路雪氷は、気象の変化による凍結融解作用および車両走行による圧密、攪乱等により変化するが、表－1のように分類することができる。また、湿潤露出および乾燥露出は、路面状態を示すものではあるが、道路雪氷そのものではないことから欄外に示した。

本調査では、路面写真から道路雪氷の分類（大分類）を行っているが、基本的にはこの表の分類に則った上で、さらに、氷膜と氷板を併せて氷、水べた雪と湿潤露出を併せて湿潤状態としている。

b) 路面露出率の調査

路面撮影によって得られた写真から、それぞれの施工区について、路面露出率の算定を行った。路面露出率は、あらかじめ撮影範囲に設定した1 m角のメッシュをもとに、式（1）から算出した。

$$\text{路面露出率} [\%] = (\text{露出路面面積}) / (\text{撮影路面面積}) \times 100 \quad (1)$$

1.2.2 現場調査

12月から3月にかけて月1回の割合で実施した現場調査では、おもに路面の反射率の測定および塩化物濃度測定用の雪片の採取を実施した。

a) 道路雪氷の反射率の測定

路面雪氷は、融解作用を受けることにより次第に汚れてゆく。したがって、路面の反射率を測定することにより、間接的に凍結抑制効果を評価できると考えられる。本調査では、アルベドメーターを使用して、各施工区における道路雪氷の入射光量に対する反射光量の比を測定した。なお反射率は式（2）により算出した。

$$\text{反射率} = (\text{反射光量}) / (\text{入射光量}) \quad (2)$$

b) 塩化物濃度の測定

塩化物濃度は、現場で直接測定することができなかったため、路面上の雪片を採取して実験室で測定した。

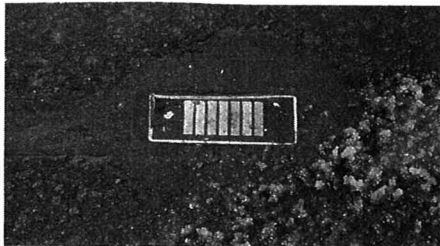
1.2.3 DPFによる凍結抑制効果の検討²⁾

DPF（写真－1）は、コンデンサーの原理と水、氷および空気の誘電特性の違いに着目して開発され、路面の静電容量および路面温度からその状況を判別するものである。本調査では、雪氷への塩化物の混入により検知される静電容量が増大する性質を利用して、凍結抑制舗装の塩化物溶出の評価を試みた。

2. 調査結果

2.1 路面写真の解析結果

各試験施工区間の写真撮影期間の推定平均気温³⁾、小樽市の日照時間⁴⁾および除雪日報による降雪量を表－2に示した上で、結果に移る。なお、各試験施工区の気温の推定および小樽市の日照時間は小樽測候所の気象データに基づいている。



写真－1 埋設されたDPF

表－2 撮影期間の気象条件

月	推定平均気温 ³⁾ (°C)		日照時間 (時間)	降雪量 (cm)
	'89, '90抑制工区	'91抑制工区、一般工区		
12	-1.3	-2.5	69.1	172
1	-2.4	-3.6	37.7	212
2	-2.9	-4.9	86.9	229

注) 小樽測候所の気温データをもとに、測候所との標高差を1989, 1990工区は50m、1991年工区は300mとして、100mあたりの気温低下を0.5℃として補正を行った。

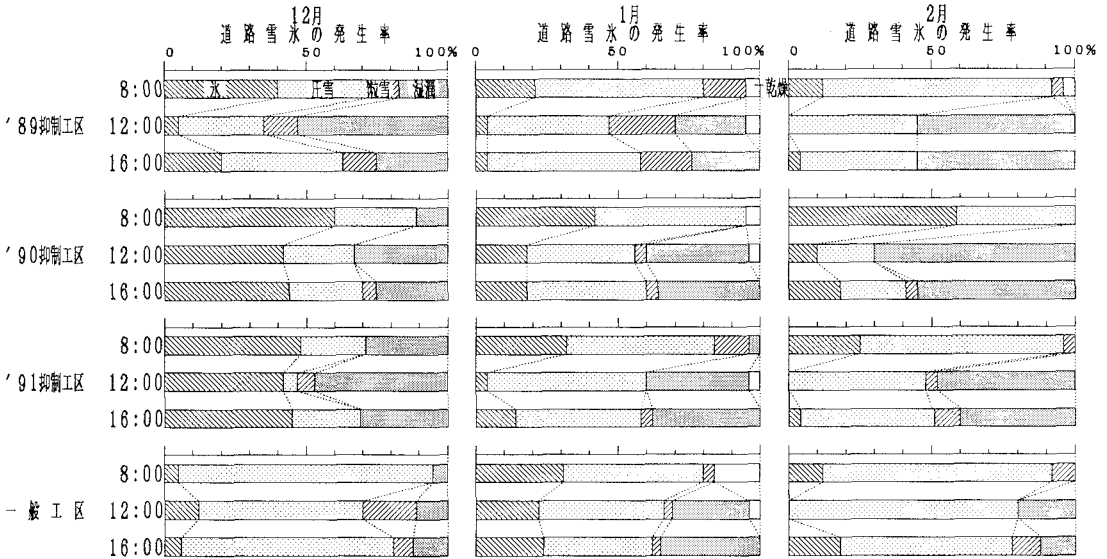
2.1.1 時刻別の道路雪氷の発生割合

月別・時刻別の雪氷発生率を図－2に示す。ここで各月について次のことがわかる。

a) 12月

- ・凍結抑制工区の湿潤状態の発生率は午前から日中にかけて上昇し、夕刻にかけて低下する。また、各時間

帯を通じて、その発生率は一般工区を上回る。



図－２ 時刻別道路雪氷発生頻度

- ・凍結抑制工区の氷の発生率は、湿潤状態とは逆に日中に低下する。
- ・一般工区において、各時間帯を通じて最も発生率が高いのは圧雪である。
- ・一般工区の湿潤状態の発生率は日中あまり上昇していない。また、粒雪の発生率は日中上昇している。
- ・'89凍結抑制工区は他の凍結抑制工区と比べて粒雪の発生率が高い。

b) 1月

- ・凍結抑制工区の圧雪の発生率は、12月と比較して増加している。また、湿潤状態の発生率は、一般工区と比較して大差はない。
- ・一般工区の氷の発生率は、12月と比較して増加している。

c) 2月

- ・凍結抑制工区の湿潤状態の発生率は、8:00の時点ではほとんど見られないものの12:00の時点で非常に高い発生率となっている。また、16:00の時点でもその発生率の低下は小さい。
- ・氷の発生率は12月と比べて低く、また、'90凍結抑制工区を除いて施工区による差異はない。
- ・凍結抑制工区では、'90凍結抑制工区を除いて、比較的圧雪の発生率が高い。
- ・一般工区においては、12月と同様に各時間帯を通じて圧雪の発生率が高い。

これまでの結果から、雪氷の発生状況は、12月、2月については凍結抑制工区における湿潤露出の割合が高いといえる。しかしながら、1月においては凍結抑制工区と一般工区の間で湿潤露出の発生率に大差はなく、必ずしも効果が現われているとは言えない。表－2において、1月の日照時間が12月および2月と比較して極端に少ないことから、効果発現と何らかの関係があるように思える。

また、8:00における凍結抑制工区の氷の発生率は、他の時刻と比較して高い傾向にあり、その原因として溶融した雪氷の夜間の再凍結が考えられる。

2.1.2 路面露出率

各施工区の月別平均路面露出率を図－3に示す。

'89凍結抑制工区と'91凍結抑制工区における路面露出率は、各月・各時間帯において一般工区を大きく上回っている。それに対し、'90凍結抑制工区では一般工区と比較して、2月は上回るものの、12月はほぼ同程度、

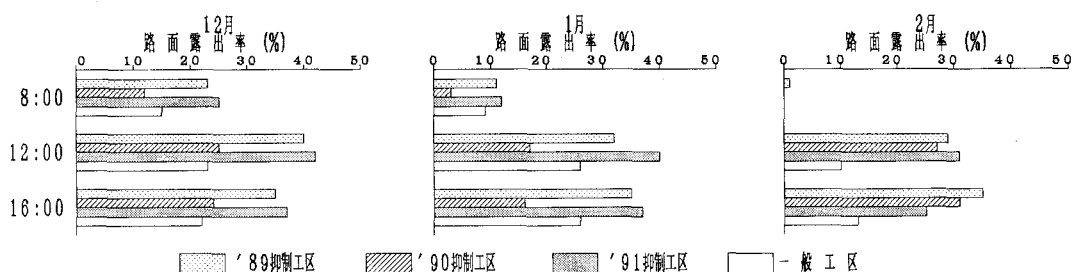


図-3 月別路面露出率

1月においては下回る結果となっている。この原因としては、'90工区では、12月半ば頃から車道の路肩側に氷板が付着した状態となり、最大限露出して85%程度となっていたことが挙げられる。

ここで、露出率を5段階に分類し、それぞれの階級の発生率を図-4に示す。分類は、片車輪程度の露出、両車輪程度の露出、小型車幅程度の露出、全露出とした。

全露出の発生率は'91抑制工区が最も多く、次いで'89工区、一般工区、'90工区となっている。両車輪以上の露出発生頻度は'89抑制工区、'91抑制工区、'90抑制工区、一般工区の順となっており、'90抑制工区において、両車輪程度の露出の発生割合は一般工区と比較して高いことがわかる。道路雪水の発生率から見ても、'90抑制工区の効果は低下しているとは言い切れず、局所的な効果の低下も考えられる。この原因については、施工時の状況も含め今後解明して行きたい。

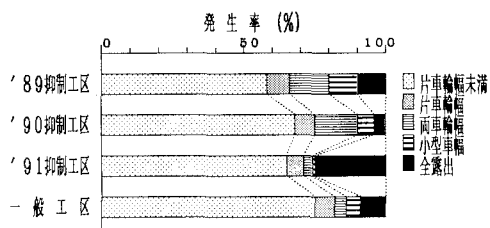


図-4 路面露出の階級別発生率

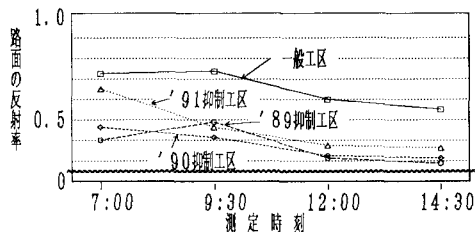


図-5 路面の反射率

2.2 現場調査結果

2.2.1 道路雪水の光の反射率測定結果

道路雪水は、車両走行に伴う汚れや融解過程における湿潤により光の反射率が低下してゆく。路面の反射率は、同一路面であっても日射等の影響により変化するが、塩化物による雪水の融解効果を把握する上で一つの指標となると考えられる。図-5は各月に行われた現場観測において実施した路面の反射率の値を時刻別に平均したものである。

この結果を見ると、'89抑制工区の7:00から9:30において、0.1程度の上昇が見られるが、おおむね時間の経過とともに減少しているといえる。また、標高の違いから一概には言えないが、凍結抑制工区の路面の反射率は一般工区と比較して低く、雪水の汚れや融解が大きいものと考えられる。このことは、標高差のほとんどない'91抑制工区と一般工区の反射率が、7:00の時点で比較的高い状態にあるものの、'91抑制工区においては時間の経過とともに他の抑制工区と同程度の値まで低下していることからわかる。

2.2.2 塩化物濃度測定結果

現場調査において、調査時刻毎に道路上から採取した雪片を持ち帰り、実験室において塩化物濃度を測定した。塩化物濃度は、雪氷の状態、積雪厚によっても変化するが、直接的に塩化物の溶出を評価する有効な手法が他にないこと、および調査時の雪氷厚さが20mm前後と比較的薄いこと等の理由から、傾向については

充分検討できると判断し実施した。塩化物の時刻別平均濃度を図-6に示す。

その結果、施工年度が新しい順に塩化物濃度が高くなる傾向が見られた。また、一般工区については、塩化物が確認できず、隣接する凍結抑制工区からの塩化物の持ち込みがないことがわかる。

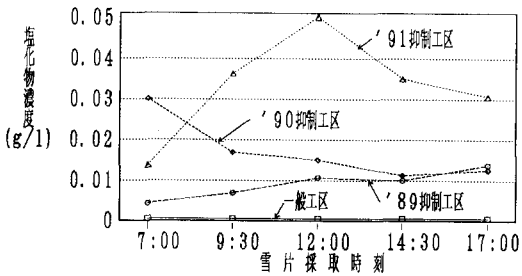


図-6 塩化物濃度

表-3 回帰および分散分析結果

データ数		相 関 係 数		寄 与 率	
57		0.71		0.50	
分 散 分 析					
変動要因	自由度	平 方 和		不 偏 分 散	分 散 比
回帰	21	186,020.00		583,011.00	$27.38 \geq 5.04$ ($F_{0.01}$)
残差	54	1,150,030.00		21,296.80	
全体	56	2,316,050.00			

2.3 DPFによる凍結抑制効果の検討

静電容量による塩化物溶出の評価を実施する前に、採取した雪片の塩化物濃度および路面の温度と、採取した時点での路面の静電容量について、回帰・分散分析を行った。結果を表-3に示す。

その結果、データ数57、危険率1%において、 $F_{0.01}=5.04$ に対し $F_0=27.38$ と高い有意性が得られたほか、相関係数 $r=0.71$ が確認できた。

この結果から、塩化物の溶出状況は、静電容量の大小によって比較することができると考えられる。

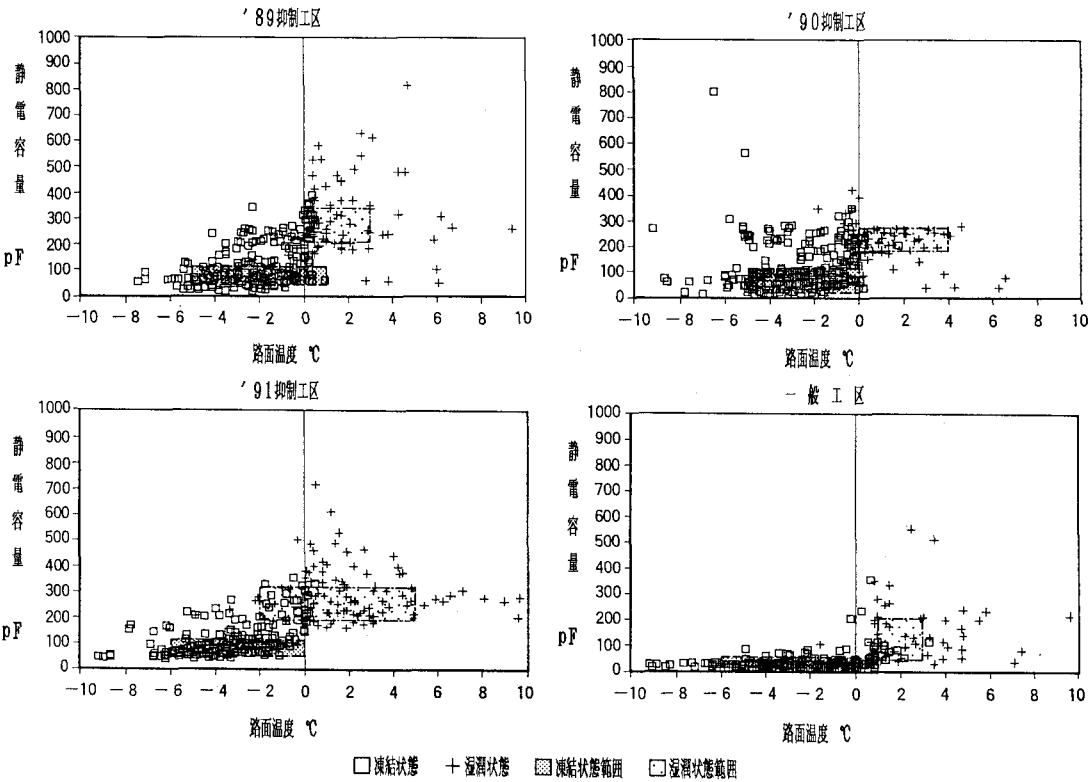


図-7 凍結状態および湿潤状態の発生状況

回帰・分散分析の結果をふまえた上で、路面状態を凍結状態（氷、圧雪、粒雪）と湿潤状態に分類し、路面温度と静電容量から発生状況を検討した。各施工区の凍結状態と湿潤状態の発生状況を図-7に示す。

なお、雪氷の発生範囲は、得られたデータについて路面温度を 1℃、静電容量を10pF単位で階級分けし、全データ数の 5 %以上の頻度が確認された最大階級および最小階級をもって決定している。

その結果、凍結抑制工区の静電容量は、凍結、湿潤の両状態について一般工区を上回っている。先の分析結果から、塩化物の混入によるものと考えられる。また、凍結抑制工区の中で静電容量値の比較をした場合、それらに明確な差は見られない。

凍結状態における路面温度の発生範囲の最大値を見ると、一般工区の 1℃に対し、'89抑制工区では 1℃、'90抑制工区では 0℃、'91抑制工区で 0℃となっており、'90および'91抑制工区で 1℃の温度低下が見られる。

次に、湿潤状態における路面温度の発生範囲の最低値を見ると、一般工区の 1℃に対し、'89抑制工区で 0℃、'90抑制工区で 0℃、'91抑制工区で-2℃となっており、凍結抑制工区について 1～3℃の温度低下が見られる。

したがって、凍結、湿潤両状態における路面温度からの効果のランク付けをすると、

① '91抑制工区、② '90抑制工区、③ '89抑制工区

といった順となり、施工年の新しい順に効果が高いことがわかる。

3. まとめ

これまでの結果から以下のことがわかった。

- ・凍結抑制工区は一般工区と比較して湿潤状態が発生しやすい。
- ・凍結抑制工区は溶融した雪氷の再凍結に対する配慮を必要とする。
- ・凍結抑制工区の路面は一般工区と比較して路面露出率が高い傾向にある。
- ・凍結抑制工区の路面の反射率は一般工区と比較して低く、溶出した塩化物により道路雪氷の汚濁・融解作用が促進されているものと考えられる。
- ・凍結抑制工区において、路面上で採取した雪片に含まれる塩化物は、施工年が新しい順に濃度が高い傾向にある。
- ・凍結抑制工区において検知される道路雪氷の静電容量は塩化物の混入により一般工区と比較して高くなる。
- ・凍結抑制工区において検知された道路雪氷の静電容量は、施工年別に見てほとんど差異がない。
- ・路面温度から凍結抑制効果を検討した結果、施工年の新しい順に凍結抑制効果が高いことがわかった。

あとがき

今回の調査では、施工年別の比較まで行っているが、3冬目においてもある程度の効果がみられることが分かった。しかしながら、試験施工箇所の交通区分はA交通であり、今後それ以上の交通区分への適用を含め検討を重ねてゆく必要があると考える。本調査を行うにあたり御協力くださった北海学園大学工学部武市教授、小樽開発建設部並びに平成3年度北海学園大学武市卒論生の方々に謝意を表する。

参考文献

- 1) 武市靖, 前野紀一: 道路雪氷の種類別発生頻度とその特性, 開発論集 第42号, 1989.
- 2) 武市靖, 前野紀一: 誘電式路面凍結検知器の実用化研究, 開発論集 第44号, 1990.
- 3) 平凡社: 平凡社版 気象の事典, pp.175, 1986.
- 4) 日本気象協会北海道本部: 北海道の気象, No.465～468, 1992.