

排水性舗装の冬期路面管理について

寺田 剛* 久保和幸**

1. はじめに

排水性舗装は、雨水を路面下に速やかに浸透させ、路側あるいは路肩に排水することで雨天時の走行安全性や水はね、水しぶきによる視認性を向上させるとともに道路交通騒音の低減を目的に、全国の道路で多く施工されている。しかし、排水性舗装は、一般に施工されている密粒度舗装に比べ空隙が多いため、冬期には雪が解けづらい、路面凍結ししやすい等、走行安全性が劣るとの懸念が積雪寒冷地はもとより温暖地域でも指摘されている。このため、冬期においても排水性舗装の走行安全性を確保できる適切な冬期路面管理方法の確立が必要となっている。

本報では、冬期における排水性舗装の融雪、凍結状況及びすべり抵抗性の実態を明らかにし、融雪や路面凍結防止及び除雪に有効な凍結防止剤散布方法を提案した。

2. 冬期路面における排水性舗装の実態調査

冬期路面における排水性舗装の実態を整理した。

排水性舗装は、空隙が空いており排水機能により路面に水分が溜まらないため、極寒冷地では路面凍結

対策の一つとして使用されている箇所がある。しかし、排水性舗装上で凍結防止剤を散布すると、その排水機能によって水分と一緒に塩分も除去されることによる残留塩分濃度の減少が懸念されている。また、排水性舗装は、空隙があるため地熱の伝達がしにくいことと雪融け水が排水性機能層に浸透してしまうため、雪がシャーベット状になりにくい。また、降雪量が少ない場合、写真-1に



写真-1 積雪状態の一例 (つくば市郊外)

示すように状況によっては排水性舗装箇所だけ雪が残る場合もある。これらのことから、表-1に示すように事前散布では、排水性舗装は密粒度舗装より散布量を多く設定されている例が多い。

表-1 凍結防止剤の散布量 (北陸地整の例)

気温	目的						
	凍結防止(事前散布)	凍結融解(事後散布)	圧雪処理(除雪補助)	密粒舗装	排水性舗装	密粒舗装	排水性舗装
-3℃以下	20g/m ²	30g/m ²					
-3℃~-6℃	30g/m ²	40g/m ²					
-6℃以下	40g/m ²	40g/m ²					

3. 効果的・効率的な凍結防止剤散布方法の検討内容

排水性舗装は上述のとおり空隙があると残留塩分濃度が減少しやすく雪が溶けづらい。凍結防止の効果は散布後、残留する塩分濃度の量によって決まる。塩分濃度が薄くなれば除雪や再度、凍結防止剤を散布する。通常は、塩分濃度の量は分からないため、除雪や散布時期の決定は、道路パトロール車を用いた路面状況の目視、降雪量や気温の面的な予測結果と道路管理者の経験に基づく状況判断によって行われているのが現状である。そこで、この塩分濃度に着目して適切な散布量および散布時期を判断する効果的な散布方法の検討・提案を行った。

凍結防止剤を散布した時の経過時間と塩分濃度の関係を図-1に示す。一般的に凍結防止剤が散布されると、塩分濃度は急激に上昇(図中左側の①)し、その後塩分濃度は徐々に減少(図中左側の②)する。その後、路面温度が低下(青色線)し凍結の恐れがある場合塩分濃度が不足なくなる(図中の③)ため、2回目の凍結防止剤が散布され、塩分濃度は再度急激に上昇(図中右側の①)し、その後塩分濃度は徐々に減少(図中右側の②)する。

散布した凍結抑制剤の塩分濃度の推移や凍結させないための路面管理上必要な塩分濃度が予測できれば適切な散布量および散布時期を判断できる。そこで、塩分濃度に着目して気象状況、路面状況等の諸条件から図中の塩分濃度の変化(図中の①から③の以下に示す3つ)を推定し適切な散布

量および散布時期を判断する効率的な散布方法の提案を行った。

- ① 散布量毎の塩分濃度増加量の推定 (ピーク濃度の推定)
- ② 塩分濃度の減衰の推定 (減衰推定式の提案)
- ③ 路面管理上必要な塩分濃度の推定

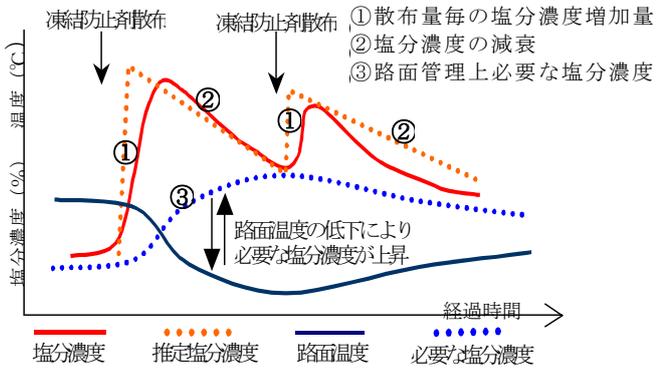


図-1 凍結防止剤散布後の塩分濃度の推移

土木研究所ではこれまでに、密粒度舗装に対して、塩分濃度の推移を推定できる式の検討を行い、密粒度舗装における塩分濃度を指標とした効率的な凍結防止剤の散布方法の提案^{1),2)}を行っている。排水性舗装に対しても密粒度舗装と同様な考え方ができるため、本研究においても現地調査を行い、排水性舗装におけるピーク濃度の推定、減衰推定式の提案、路面管理上必要な塩分濃度の推定を行い、排水性舗装の融雪や路面凍結防止及び除雪に有効な凍結防止剤散布方法を検討、提案した。

3.1 調査方法

散布量毎の塩分濃度増加量の推定、塩分濃度の減衰の推定をするための式の作成及び路面管理上必要な塩分濃度の検討に使用するデータを収集するために、一般国道8号の排水性舗装工区において現地調査を実施した。調査項目を表-2に、現地調査時の状況を写真-2に示す。



写真-2 現地調査時の状況

現地で散布された凍結防止剤は、塩化ナトリウムであった。また、路面性状管理の目的は路面すべり摩擦抵抗の向上にあるため、現地ですべり抵抗測定車を用い雪氷路面のすべり摩擦抵抗値を測定し、路面性状とすべり摩擦抵抗との関係から排水性舗装における適

切な路面性状管理についても検討した。

表-2 調査項目

観測地	一般国道8号大潟除雪ステーション周辺	
対象舗装	排水性舗装	
現地調査回数	H18年度～21年度の6回	
現地観測項目	気象状況	気温、路面温度、降雪量、風向・風速
	路面状況	土木研究所提案の17分類を目視で判別
	凍結防止剤散布車通過時刻及び散布量	
	残留塩分濃度	路面上の水分(雪氷含む)を採取し、残留塩分濃度を光学式(屈折式)塩分濃度計
現地交通量	トラフィックカウンターデータ	

3.2 調査結果

現地調査から排水性舗装におけるピーク濃度の推定、減衰推定式の提案、路面管理上必要な塩分濃度の推定を行った結果を以下に示す。

3.2.1 散布毎の塩分増加量の推定

(1) 路面が湿潤の時

1) 散布量毎の塩分増加量の推定

塩分濃度は図-2に示したように凍結防止剤散布後、増加しピークを過ぎた後に減衰し始める。ここでは湿潤路面時における散布後のピーク濃度を推定することを目的にピーク濃度と気象データ及び散布量等のデータの解析を行った。使用したデータは、平成H18年度～21年度に観測した湿潤時の7事例(7データ)である。

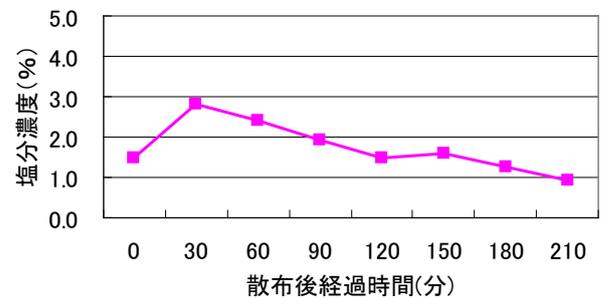


図-2 凍結防止剤散布後の塩分濃度の推移例

ピーク塩分濃度(%)を目的変数として、凍結防止剤散布量(g/m²)、散布時の気温(°C)、路面温度(°C)、雪氷厚(cm)、交通量(台/h) 散布前1時間交通量(台)、散布後1時間交通量(台)、散布後1時間降雪量(cm)の8項目を説明変数とし重回帰分析を行った。重回帰分析を行った結果、すべての変数において有意(有意確率: 0.05)な相関は見られず、推定式を作成することはできなかった。これはデータが少ないため、ばらつきが大きく評価されたためではないかと思われる。しかし、別途供試体を用いた低温室の実験結果から排水性舗装は空隙がある影響で水分とともに塩分が空隙に流れるためピーク濃度は密粒度舗装のピーク濃度の約半分であった。このため、土木研究所が平成

17年度に提案を行っている密粒度舗装のピーク濃度の推定式を用い、その値の半分を排水性舗装におけるピーク濃度と見なすこととした。下記にその(式-1)を示す。

$$Y=0.235X1+0.305X2-0.005X3-82.85\cdots \text{(式-1)}$$

ここで、Y：ピーク濃度(%)

X1：散布量(g/m²)

X2：気温(K値)

X3：1時間前交通量(台/h)

この式を基に実際の路面管理時において、必要な塩分濃度に到達させる散布量を求める式として(式-2)を作成した。

$$Y=4.26X1-1.30X2+0.02X3+352.55\cdots \text{(式-2)}$$

ここで、Y：散布量(g/m²)

X1：必要なピーク濃度(%)

X2：気温(K値)

X3：1時間前交通量(台/h)

2) 推定式の妥当性の確認

推定式の妥当性を確認するために、各観測データにおける実測値のピーク濃度と推定式(式-1)から求めたピーク濃度の推定値を比較したものを図-3に示す。この結果、一部合っていないものもあるが、ほとんどの箇所合っており、今回算出した推定式の妥当性が検証できた。

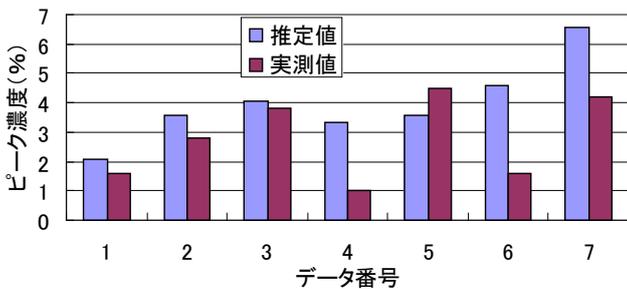


図-3 湿潤路面時におけるピーク濃度例

(2) 路面がシャーベット及び圧雪の時

湿潤路面時と同様にシャーベット及び圧雪路面状態における散布後のピーク濃度を推定することを目的にピーク濃度と気象データ及び散布量等のデータについて解析を行った。使用したデータは、平成19年度と21年度冬期に観測された3事例である。湿潤時と同様に重回帰分析を行った結果、全ての変数において有意な相関はみられず、推定式を作成することはできなかった。推定式が作成できなかった理由としては、データ数が少ないのとシャーベットおよび圧雪路面のピーク濃度は散布時の雪氷厚に大きな影響を受けるためであると考

えられる。よって、気象データ等から推定することが困難であるため、ここでは、路面上の雪氷の厚さと密度から散布後の濃度を推定する方法を提案する。

雪氷厚(t)の路面上の液相と固相を合わせた水の量(g/m²)は(式-3)で得られる。

$$Y=10000 \rho t\cdots \text{(式-3)}$$

ここで、Y：舗装面上の水の量(g/m²)

t：雪氷厚(cm)

ρ：密度(g/cm³)

なお、一般国道18号や8号で観測された雪氷の密度の範囲はシャーベット(つぶ雪を含む)：0.5～1.0g/cm³、やわらかい圧雪：0.4～0.7g/cm³、かたい圧雪0.5～0.9g/cm³である。

例えば0.5cmの厚さのシャーベット路面に30g/m²の散布量で凍結防止剤を散布し、完全に融解したとすると、期待されるピーク濃度は散布量を(式-3)で求めた水の量で除せばいいので30(g/m²)/5000～2500(g/m²)×100=0.6～1.2(%)となる。

同様に1cmの厚さの圧雪路面に30g/m²の散布量で凍結防止剤を散布し完全に融解したとすると、期待されるピーク濃度は30(g/m²)/9000～4000(g/m²)×100=0.3～0.8(%)となる。

ここで仮に各路面雪氷の密度をシャーベット0.8g/cm³、やわらかい圧雪：0.6g/cm³、かたい圧雪0.7g/cm³とすると散布量と路面雪氷厚とピーク濃度は表-3に示したとおりとなる。

表-3 各路面性状における散布量と路面雪氷厚とピーク濃度の関係

散布量 (g/cm ²)	シャーベット(%)					やわらかい圧雪(%)					かたい圧雪(%)				
	2.5	0.5	0.3	0.1	0.1	3.5	0.7	0.3	0.2	0.1	3	0.6	0.3	0.1	0.1
20	4	0.8	0.4	0.2	0.1	5	1	0.5	0.3	0.1	4.5	0.9	0.4	0.2	0.1
30	5	1	0.5	0.3	0.1	6.5	1.3	0.7	0.3	0.1	5.5	1.1	0.6	0.3	0.1
40	6.5	1.3	0.6	0.3	0.1	8.5	1.7	0.8	0.4	0.2	7	1.4	0.7	0.4	0.1
50	0.1	0.5	1	2	5	0.1	0.5	1	2	5	0.1	0.5	1	2	5
雪氷厚 (cm)															

※密度をシャーベット0.8g/cm³、やわらかい圧雪：0.6g/cm³、かたい圧雪0.7g/cm³と仮定した場合

3.2.2 塩分濃度減衰推定式の作成

(1) 路面が湿潤の時

1) 塩分濃度減衰式の作成

湿潤路面において1時間後の塩分濃度を推定することを目的に気象データ及び散布量等のデータの解析を行い、塩分濃度減衰推定式を散布前時の

各データおよび推定ピーク濃度を基に散布から1時間後ごとの塩分濃度を推定した。使用したデータは、平成19年度～平成21年度の現地調査6事例31個のデータである。

1時間後塩分濃度(%)を目的変数、現在塩分濃度(%)、凍結防止剤散布量(g/m²)、現在の気温(°C)、雪氷厚(cm)、路面温度(°C)、前1時間交通量(台)、後1時間交通量(台)、後1時間降雪量(cm)、散布後経過時間(分)の9項目を説明変数として重回帰分析を行った。ステップワイズ法(有意確率:0.05)により解析を行った結果、重相関係数(R)が0.88の(式-4)が得られた。

$$Y = 0.217X_1 - 0.040X_2 - 0.001X_3 - 0.241X_4 + 1.977 \dots \dots \dots \text{(式-4)}$$

- ここで、 Y : 1時間後塩分濃度 (%)
 X1 : 現在塩分濃度 (%)
 X2 : 散布量 (g/m²)
 X3 : 後1時間交通量 (台/h)
 X4 : 後1時間降雪量(cm)

密粒度舗装における推定式に取込まれた散布前1時間交通量と路面温度が選ばれず、その代わり散布後1時間交通量及び散布後1時間降雪量が選ばれた。これは排水性舗装においては水分が空隙より抜けるため、散布後1時間交通量が散布前1時間交通量より影響が大きく、気温・路面温度よりも降雪量の影響が大きいためであると思われる。

2) 推定式の妥当性の確認

推定式の妥当性を確認するため湿潤路面の各観測データにおける30分毎の濃度の実測値と(式-4)から求めた減衰濃度の推定値を比較した1例を図-4に示す。この結果、同等の値となっており、今回算出した推定式の妥当性が検証できた。

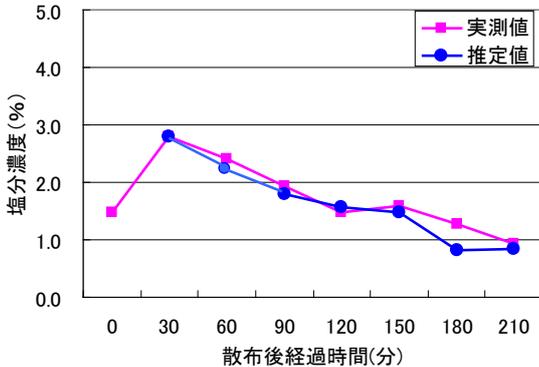


図-4 湿潤路面時における実測値と推定値の比較

(2)路面がシャーベット及び圧雪の時

1) 塩分濃度減衰式の作成

シャーベット及び圧雪路面のピーク後の塩分濃度減衰推定式の作成に用いたデータは、平成19年度及び21年度の現地調査3事例15個のデータである。1時間後塩分濃度(%)を目的変数に、現在塩分濃度(%)、凍結防止剤散布量(g/m²)、現在の気温(°C)、雪氷厚(cm)、路面温度(°C)、散布前1時間交通量(台)、散布後1時間交通量(台)、散布後1時間降雪量(cm)、散布後経過時間(分)を説明変数とし、重回帰分析を行った。ステップワイズ法(有意確率:0.05)により解析を行った結果、重相関係数(R)が0.84の(式-5)が得られた。

$$Y = 0.660X_1 - 0.006 \dots \dots \dots \text{(式-5)}$$

- ここで、 Y : 1時間後塩分濃度 (%)
 X1 : 現在塩分濃度 (%)

説明変数として現在塩分濃度(%)しか選ばれなかったが、これはデータが少ないため、その他の要素のばらつきが大きく評価されたためではないかと思われる。

2) 推定式の妥当性の確認

推定式の妥当性を確認するために、シャーベット路面の各観測データにおける30分毎の濃度の実測値と(式-5)から求めた減衰濃度の推定値を比較した1例を図-5に示す。この結果、シャーベットであるため塩分濃度は1%と小さいがほとんど合っており、今回算出した推定式の妥当性が検証できた。

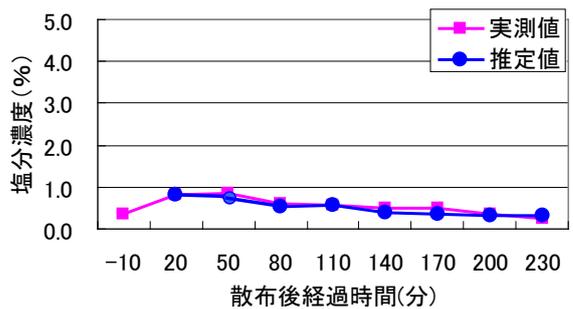


図-5 湿潤路面時における実測値と推定値の比較

3.2.3 路面管理上必要な塩分濃度の指標の検討

1) 検討方法

路面温度、路面性状(湿潤、シャーベット、圧雪)及び塩分濃度には密接な関係にあり、路面温度が下がれば路面性状は、湿潤からシャーベットへ、シャーベットから圧雪へ変化する。よって、路面を適切に管理するには、路面性状を悪化させないために凍結防止剤を散布し、必要な塩分濃度を確保する必要がある。路面を適切に管理するの

に必要な塩分濃度とは、現在の路面性状からより滑りやすい路面性状へと変化することを防ぐのに必要な濃度であると考えられる。この考えの下、土木研究所では平成17年度に密粒度舗装に対して、図-6に示すように塩分濃度と路面温度の関係から、湿潤とシャーベット、シャーベットと圧雪の境界の回帰式を求め、この式から求められる塩分濃度が路面性状を悪化させないために路面管理上必要な濃度であるとしている²⁾。排水性舗装においても密粒度舗装と同様に、塩分濃度を冬期路面管理指標とし、現地調査結果及び低温室実験結果を用いて密粒度舗装との比較・検討を行い、路面管理に必要な塩分濃度の検討・提案を行った。

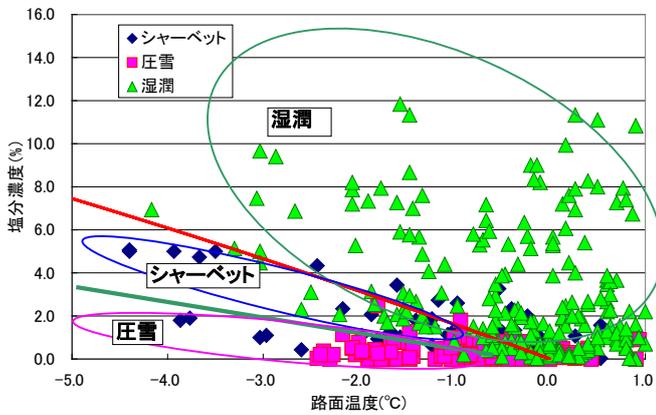


図-6 密粒舗装における塩分濃度と路面性状の関係

2) 検討結果

現地調査の路面性状毎における塩分濃度と路面温度の関係をプロットした結果を図-7に示す。

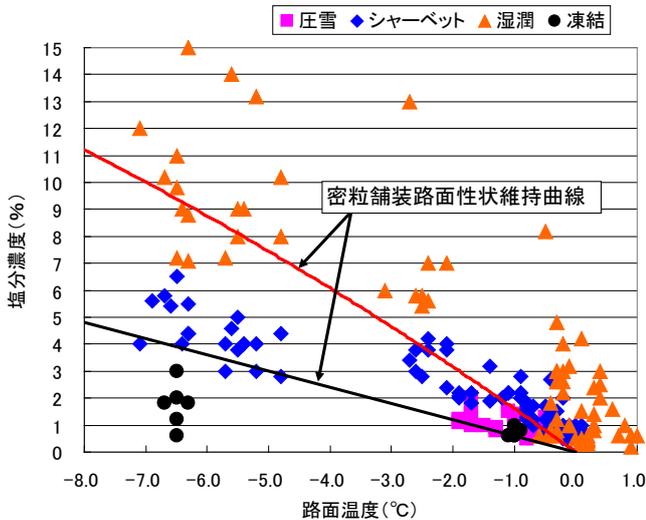


図-7 排水性舗装の塩分濃度と路面温度

圧雪及び高温部のシャーベット路面では密粒度舗装路面性状維持曲線と合致しない部分があるが、

概略適合している。排水性舗装はまだ密粒度舗装より施工面積は少なく、排水性舗装箇所のみ散布量を変えるのも効率上好ましくないと思われるため、この結果から密粒度舗装路面性状維持曲線は排水性舗装にも適用できると思われる。その式を(式-6)と(式-7)に示す。

・ 湿潤路面：

$$Y > -0.03x^2 - 1.64x - 4 \times 10^{-1} \dots \dots \dots (式-6)$$

・ シャーベット：Y > -0.6x …………… (式-7)

ここで、Y：路面性状を悪化させないために必要な濃度 (%)
X：路面温度 (°C)

3.2.4 各路面性状におけるすべり摩擦抵抗性

現地調査におけるすべり摩擦測定結果から路面性状とすべり摩擦抵抗との関係を整理し、排水性舗装に適切な路面性状管理について検討した。図-8に各路面性状における雪氷厚とすべり摩擦抵抗との関係を示す。データは少ないが、同じ路面性状において、排水性舗装は密粒度舗装に比べすべり摩擦抵抗は大きい、あるいは同程度であるため、車両走行安全性は密粒度舗装に比べ高いか同程度の可能性がある。そのため、密粒度舗装と同様な路面管理を実施すれば、同程度あるいは高い走行安全性を得ることができると推測される。しかし、図から分かるように排水性舗装では、路面雪氷厚が厚い場合はすべり摩擦抵抗が低下する場合もあり、雪氷厚の管理に注意が必要と考えられる。

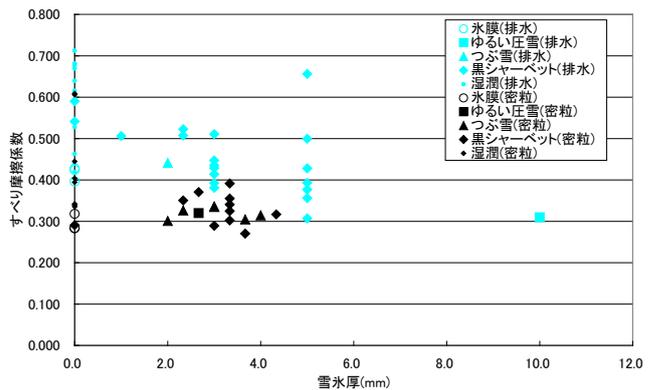


図-8 路面雪氷厚とすべり摩擦係数との関係

3.2.5 排水性舗装における冬期路面管理方法の提案

現地調査等の結果から排水性舗装における適切な凍結防止剤の散布方法を含めた冬期路面管理方法について検討した結果と提案内容を以下に示す。

(1)路面性状管理

密粒度舗装と同様な路面性状管理を行えば密粒度舗装と同程度あるいは以上の走行安全性が得られる。これは同様な路面性状では排水性舗装が密粒度舗装に比べ、路面摩擦抵抗が同程度あるいは大きいと推測されるためである。また、密粒舗装と同様に塩分濃度を路面性状管理の指標にする。これは排水性舗装においても同じ塩分濃度では密粒度舗装と同様な路面性状が得られると推測されるためである。

(2) 散布量と散布頻度

路面性状を悪化させないために凍結防止剤を散布し、必要な塩分濃度を確保する必要がある。よって、路面状況毎に必要な排水性舗装の散布量と散布頻度は、路面管理上適切なすべり摩擦を保ち、現在の路面性状からより滑りやすい路面性状へと変化することを防ぐのに必要な濃度として(式-6)と(式-7)から求めた濃度を確保できる散布量と散布頻度で撒くと良い。また、必要な塩分濃度を確保するには、散布後のピーク濃度およびその後の濃度減衰も考慮する必要があるため、(式-1)から(式-5)の塩分濃度増加量の推定式及び塩分濃度減衰推定式を用いて散布量と散布頻度を決定すると良い。

なお、湿潤路面において、凍結防止剤の散布により短時間に密粒度舗装と同程度の効果を得るためには、排水性舗装は空隙がある分、散布量を増加させる必要がある。シャーベット及び圧雪路面において、常に水分の供給があり、また、塩水は路面上のシャーベット及び圧雪を通して拡散が行われやすいため、同じ散布量であれば同程度の効果が得られると思われる。

(3) 散布方法

湿潤路面において、排水性舗装では湿塩散布方法が凍結防止剤の効果が現れやすい可能性がある。これは排水性舗装では水が舗装の窪みに溜まる程度であるため塩が多く溶けず、また、塩水の拡散も行われにくいいため、湿塩散布により、均等な散布、塩の融解促進、塩水が拡散しやすくなるなどの効果が期待できるためである。

4. まとめ

以上から結果をまとめると以下のとおりである。

1) 排水性舗装における効果的・効率的凍結防止剤の散布手法として、凍結防止剤の適切な散布

量の指標となる塩分濃度増加量の推定式、適切な散布時期の指標となる塩分濃度減衰推定式、路面管理上必要な塩分濃度を提案することができた。今後は現地でこの推定式を用いて散布の試行を行い、効果の検証を行っていく予定である。

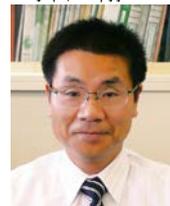
2) 排水性舗装における冬期路面管理方法を提案することができた。以下に提案した冬期路面管理方法を示す。

- ① 路面性状管理：密粒度舗装と同様な路面性状管理を行えば同程度あるいは以上の走行安全性が得られ、また、密粒度舗装と同様な塩分濃度が路面性状管理の指標になる。
- ② 散布量：湿潤路面においては凍結防止剤の散布により短時間に密粒度舗装と同程度の効果を得るためには散布量を増加させる必要があり、シャーベット及び圧雪路面においては同じ散布量であれば同程度の効果が得られる。
- ③ 散布頻度：湿潤路面、シャーベット及び圧雪路面において、凍結防止剤の散布頻度は密粒度舗装と同程度あるいは少なくとも良いと推測される。
- ④ 散布方法：湿潤路面において、排水性舗装では湿塩散布方法が凍結防止剤の効果が現れやすい可能性がある。

参考文献

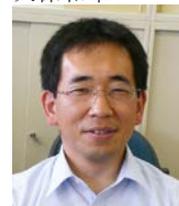
- 1) 花岡正明、小林一治、久保和幸、寺田剛、池田慎二：塩分濃度を指標とした効率的な凍結防止剤散布に関する試験調査、雪みらい研究発表会、2006.2
- 2) 寺田剛、久保和幸、加藤秀樹、池田慎二：塩分濃度を指標とした効率的な凍結防止剤散布に関する試験調査(その2)、雪みらい研究発表会、2007.2

寺田 剛*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員
Masaru TERADA

久保和幸***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム 上席研究員
Kazuyuki KUBO