

特集：道路のユーザーインターフェース向上に向けて

ユーザーインターフェース向上を目指した冬期路面管理

浅野基樹* 高橋尚人** 徳永ロベルト*** 久保和幸**** 寺田 剛*****

1. はじめに

冬期道路の交通特性、安全性および快適性などに直結し、道路利用者との相互関係（インターフェース）を決定づける最も重要な要素の一つは路面のすべり抵抗である。1990年に「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」が施行されスパイクタイヤ使用が規制されて以来、冬期路面の管理水準を維持するため凍結防止剤等の散布量が増大してきている。そのため、環境影響の懸念や道路管理コストの増大が問題視されており、効率的かつ効果的で道路使用者へアカウンタブルな冬期路面管理が求められている。

積雪寒冷地でも、北海道は低温多雪で都市部でも日最高気温が氷点下となる地域が多く、また雪氷路面上では車両への滑り止め措置が義務づけられている。他方、北海道以外の地域は湿雪多雪地帯が多く、また非積雪地からの交通が混入する地域もある。

本稿では、このような地域の相違に根ざしたユーザーインターフェース向上に資する冬期路面管理に関する研究の内容について、土木研究所寒地交通チーム（寒地土木研究所）及び舗装チームの取り組みを紹介する。

2. 定量的評価による適切な冬期路面管理

冬期路面管理においては、我が国における多様な冬期路面の態様を出来るだけ定量的に予測・評価し、現場の迅速な対応に活用するとともに、利用者に情報提供することが極めて重要である。

2.1 雪氷路面管理のための路面凍結予測

2.1.1 路面凍結予測手法の構築

低温多雪な地域において、雪氷路面を管理する場合、圧雪が融解後に凍結する場合の他、圧雪が日射や走行車両の影響による凍結融解の繰り返しにより滑りやすい凍結路面に変化する場合が多い。

凍結防止剤の散布は、凍結路面が発生しないよう、路面が凍結する前に散布するのが最も効果的な散布方法である。路面状態の変化を予測することができれば、事前の判断で作業体制を構築したり、適切なタイミングで作業を実施することが可能となり、冬期路面管理がよりの確でより効率的になると期待される。

そこで、寒地土木研究所では、走行車両の影響を考慮した路面凍結予測手法を構築するため、熱収支法を用いた路面温度推定モデルと、路面上の水分の収支から路面状態を推定するモデルの構築に取り組んでいる。

2.1.2 路面温度推定モデルの構築

路面温度は、日射等の気象条件の他、土工部や橋梁部といった道路構造によって異なること、更に、走行車両や沿道構造物の影響があることが知られている。走行車両の影響は、車体による日射等の遮蔽、車体からの赤外放射が考えられ、沿道構造物の影響は、沿道構造物による日射等の遮蔽、沿道構造物からの長波放射が考えられ、これらを考慮したモデルを構築した（図-1、式-1～式-3）。

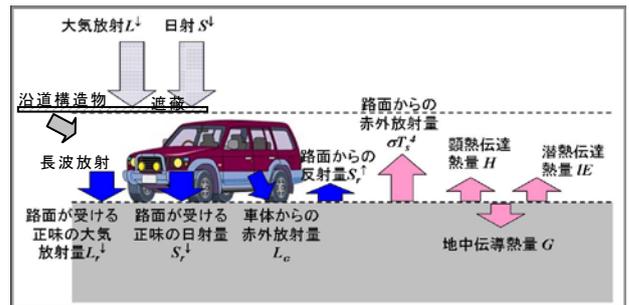


図-1 路面温度推定モデルの概念図

$$R^{\downarrow} = \sigma T_s^4 + H + IE + G \quad (\text{式-1})$$

R^{\downarrow} : 路面への入力エネルギー [W/m²]
 σ : ステファン・ボルツマン係数 (5.67×10⁻⁸W/m²K⁴)
 T_s : 路面温度 [K]
 H : 顕熱伝達熱量 (顕熱フラックス) [W/m²]
 IE : 潜熱伝達熱量 (潜熱フラックス) [W/m²]
 G : 地中伝達熱量 (地中熱フラックス) [W/m²]

$$R^{\downarrow} = S_r^{\downarrow} - S_r^{\uparrow} + L_r^{\downarrow} + L_c \quad (\text{式-2})$$

S_r^{\downarrow} : 路面が受ける正味の日射量 [W/m²]
 S_r^{\uparrow} : 路面での反射量 [W/m²]
 L_r^{\downarrow} : 路面が受ける正味の大気放射量 [W/m²]
 L_c : 自動車の車体からの赤外放射量 [W/m²]

$$Lr^{\downarrow} = (1 - \phi)Lr^{\downarrow} + \phi L_{stre}^{\downarrow} \quad (\text{式-3})$$

ϕ : 遮蔽率(沿道構造物で天空が覆われている割合)
 L_{stre}^{\downarrow} : 沿道構造物等からの長波放射量[W/m²]

平成18年度の冬期間(平成18年12月～平成19年3月)、札幌市内の一般国道5号及び274号で気象観測及び路面温度観測を行い(図-2)、路面温度の変動特性を捉えるとともに、路面温度推定計算及び精度検証を実施したところ、推定精度は約±2℃であった(図-3)。



図-2 現地気象観測(左)及び路面温度観測(右)

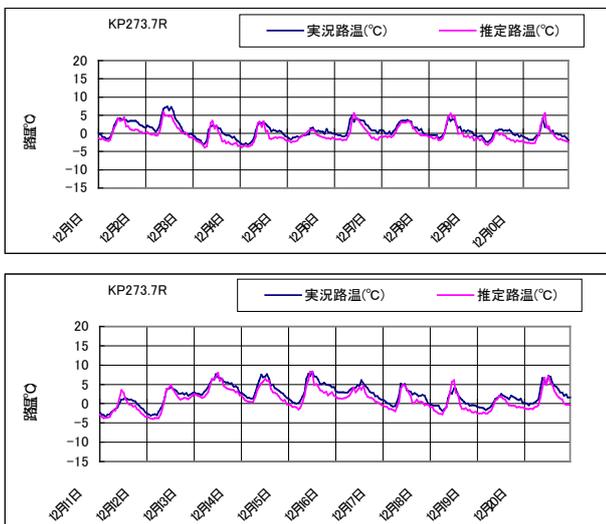


図-3 路面温度推定結果(平成18年12月1日～12月20日)

2.1.3 路面状態推定モデルの構築

路面状態は、路面上の水分の収支(供給・損失)と路面上の水分の状態(相)から決定される。そこで、水分の相変化を考慮した熱収支及び水・雪・氷の収支を推定し、路面上の水・雪・氷の貯留量を推定するモデルを構築した(図-4)。

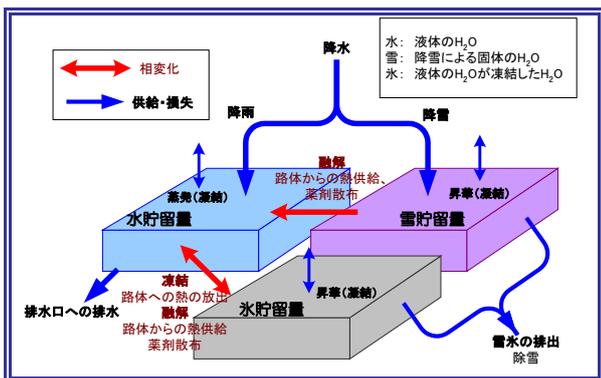


図-4 路面状態推定モデルの概念図

平成18年度冬期間の路面状態推定精度は、「凍結、圧雪、シャーベット、湿潤、乾燥」の5分類で約6割、「凍結リスク」{高(凍結)、中(圧雪、シャーベット)、低(湿潤、乾燥)}の3分類で約7割であった。

2.1.4 今後の展望

路面凍結予測は冬期路面管理をよりの確で効率的に行うための技術であり、冬期路面状態という道路と利用者のインターフェースの改善に資する技術の一つである。今後さらに精度の向上を図っていきたい。

2.2 すべり抵抗値による定量的な冬期路面評価

2.2.1 連続路面すべり抵抗値測定装置の導入

冬期路面のモニタリングはほとんどの場合目視によって実施されているのが実情である。目視によるモニタリングには誤差が多く凍結防止剤の過剰散布やすべりやすい箇所の見落としなどが発生している可能性が高い。また、冬期道路と利用者のインターフェースを決定付けるすべり抵抗を定量的に評価することができない。

そこで、寒地土木研究所では、路面のすべり抵抗を連続的に測定することができる連続すべり抵抗値測定装置を導入し、客観的かつ定量的な冬期路面のモニタリング、路面管理の事後評価及びすべりやすい路面が発生しやすい箇所等の抽出等を通じ、冬期路面管理の適正化を図る技術について研究を行っている。

2.2.2 すべり抵抗値の計測方法

当該装置は、Real Time Traction Tool(通称:RT3™)と呼ばれ、路面のすべり抵抗値を連続的に測定・記録するために開発された(写真-1)。

この装置は、制動力を利用してすべり抵抗を算出する既往の測定装置とは異なり、測定輪や搭載車両に制動をかける必要がなく、通常走行の状態ですべり抵抗値を連続的に測定することができる。測定輪を車両進行方向に対して内側に約1～2度の角度を与えることによって発生する横力を測定し、開発者が独自に設定したすべり抵抗値(HFN: Halliday Friction Number)を出力する。すべり抵抗値(HFN)は、横力無負荷状態0、乾燥路面状態を100とし、その間を100等分した値である。また、すべり抵抗値は走行中にリアルタイムに確認できるほか、時刻や測位データ等と

ともに外部記録装置（GPSロガー・パソコン等）への同時記録が可能である（図-6）。



写真-1 連続路面すべり抵抗測定装置及び牽引車

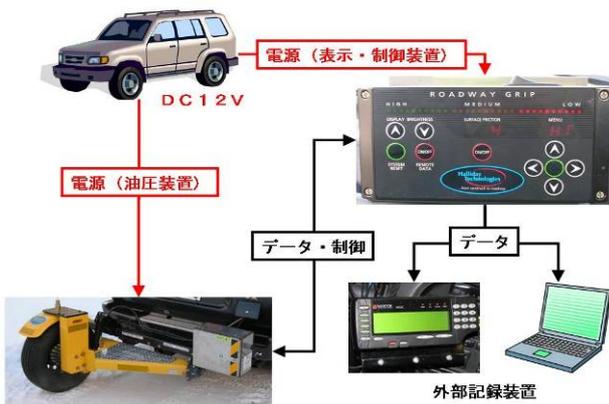


図-5 測定装置のシステム構成図

2.2.3 冬期路面状態の把握

平成18年12月下旬から平成19年2月下旬の内の10日間（1日4往復）、札幌市内の一般国道5号及び274号（通称：札幌新道）の往復42km区間で

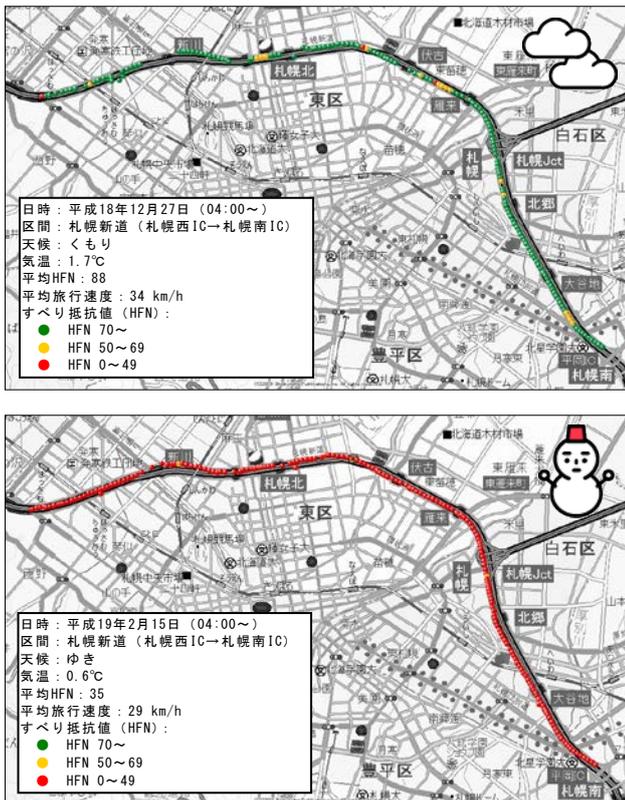


図-6 天候の違いによる路面状態の変化のサンプル図

（上：くもり・下：ゆき）

試験を実施した。試験の結果、天候の変化および時間経過による路面状態の変化等の詳細かつ定量的な把握が可能であることを確認した（図-6）。また、交通の流れに沿って測定可能なため、旅行速度等も同時に測定できた。

2.2.4 今後の展望

冬期路面のすべり抵抗は、冒頭にも触れたように冬期道路の利用者とのインターフェースを決定づける重要な要素である。適正な冬期路面管理手法への活用のみならず、道路利用者への説明責任を果たせるアカウンタブルな冬期路面管理のツールとしての活用も視野に入れ引き続き研究を進める。

2.3 冬期路面管理支援システムによる路面管理支援

2.3.1 冬期路面管理支援システムの構築

寒地土木研究所では、2.1で紹介した凍結予測情報を気象予測情報とともに道路管理者に提供する“冬期路面管理支援システム”（以下「システム」と略す）を構築し、平成17年度より試行運用している。

構築・試行運用にあたっては、利用しやすさの改善を重視し、当初より路面管理作業サイクル、時間帯、情報提供項目および操作性等について道路管理者からのヒアリングを繰り返し、逐次改善しながら試行運用している。

2.3.2 トップページ/メッシュ気象情報画面

トップページは、降雪、吹雪視程、降水、気温の予測情報と過去データを表示するメッシュ気象情報画面を兼用する（図-7）。



図-7 トップページ/メッシュ気象情報画面

情報の表示については、道路管理者が作業を行う上で参考にしていく値や色分けの視認しやすさを考慮し5段階程度での工夫をしている。

2.3.3 路面凍結予測画面（線的予測）

トップページの地図か地図横のウィンドウから路面凍結予測（線的予測）画面に移動し、路面温度と路面状態の予測情報を閲覧できる。

路面凍結予測（線的予測）トップ画面では、対象路線の路面温度分布が表示される（図-8）。路面温度は、凍結のおそれのほとんど無い+2℃以上の他に5段階に区別され、1時間毎、16時間先まで表示可能である。16時間先までとしたのは、都市部では深夜から未明（通勤時間帯前）における凍結防止剤散布作業を、前日の日中に検討・計画することが多いためである。

また、地図左上には、天候、気温、降水量の気象予報が表示される。更に、本画面から拡大地図に移動し、より詳細な路面温度分布を確認できる。



図-8 路面温度予測画面

2.3.4 システムの利用状況

時間帯では夕方から朝方5～8時にかけて、その他では不安定な天候時や気温が+1～2℃を下回る時に多く利用されている。道路管理者からは凍結防止剤散布開始やパトロールの出動時間の判断材料として利用しているといった評価を得ている。

平成18年度冬期間（平成18年12月～平成19年3月）のアクセス数は約12,000件に達した。

2.3.5 今後の展望

本システムは、路面凍結予測やすべり抵抗値の活用による冬期路面管理の高度化における道路管

理者との重要なコミュニケーション・システムである。今後、道路利用者とのインターフェースとして直接的に活用が可能な方策も視野に入れ検討したいと考えている。

2.4 湿潤路面を保つための凍結防止剤散布支援

2.4.1 塩分濃度を指標とした効率的な凍結防止剤の散布方法

冬期において路面を塩分濃度が自動測定可能な湿潤状態等に保ちつつ路面管理を行うことは、湿雪多雪で比較的気温が高く、非積雪地からの交通が混入する地域において、交通管理上からも高水準な冬期路面管理であると言える。

そのため、舗装チームでは路面を湿潤又はシャーベット状態に保つための道路管理者に対する技術的支援方策について検討を行った。

図-9に効率的な凍結防止剤の散布方法イメージを示す。効率的な凍結防止剤散布のためには、気温気象状況や路面状況等の諸条件から適切な散布量および散布時期を判断する必要がある。このため、以下に示した3つの課題を設定した。

- ① 散布量毎の塩分濃度増加量の推定（散布量の指標）
- ② 塩分濃度の減衰の推定（散布時期の指標）
- ③ 路面管理上必要な塩分濃度

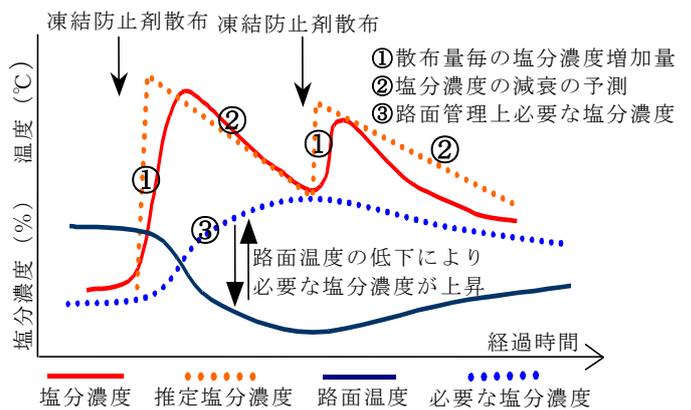


図-9 効率的な凍結防止剤の散布方法イメージ

この3つの課題に対して、それぞれ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推定式の作成及び路面管理上必要な塩分濃度の指標について検討したので、その結果について述べる。

2.4.2 現地観測データの収集

一般国道18号の新潟長野県境付近に位置する二俣地区に設置した自動観測機器のデータを収集し、これを用いて解析した。観測項目および観測

方法を表-1に示す。対象とした凍結防止剤は、塩化ナトリウムである。

表-1 観測項目及び方法

観測項目	方法
塩分濃度	4極式塩分濃度センサーを使用し連続的に自動観測した。
路面性状	VTR映像を基に湿潤、シャーベット、積雪、凍結の4種類に分類した。
気象観測	気温、路温、平均風速、降水強度
通過車両台数	トラフィックカウンターを用いて観測した。

2.4.3 散布量毎の塩分増加量の推定

(1) 湿潤路面時における散布量毎の塩分増加量の推定

湿潤時において必要な塩分濃度に到達させるには何g/m²散布すれば良いかを判断するための推定式を求めため、重回帰分析を行った。解析の結果、説明変数としてピーク濃度(%)と交通量(台/h)の2項目が採用され、重相関係数(R)が0.63の下記に示す式-4が得られた。

$$Y = -1.59X_1 + 0.02X_2 + 7.25 \dots \dots \dots (式-4)$$

ここで Y : 散布量 (g/m²)
X1 : 必要なピーク濃度(%)

(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-4)から求めたピーク濃度の推定値を比較したものを図-10に示す。この結果、ほとんどの箇所でも適合しており、今回算出した推定式の妥当性が検証できた。

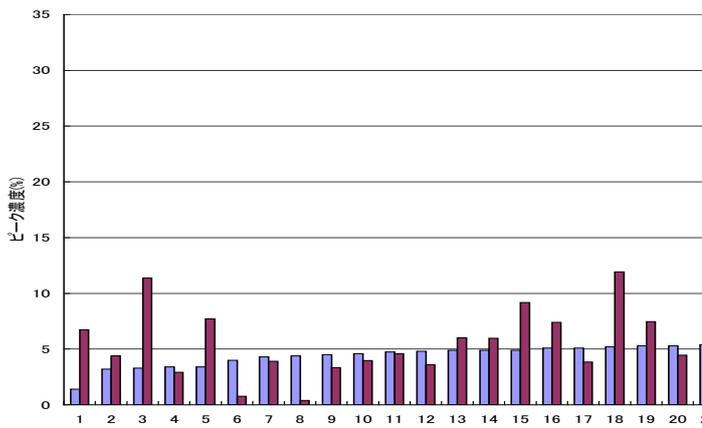


図-10 湿潤路面時における実測値と推定値のピーク濃度

2.4.4 塩分濃度減衰予測式の作成

(1) 湿潤路面における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、塩分濃度減衰予測式を作成した。

11項目の観測データを説明変数として重回帰分析を行い推定式を作成した。解析の結果、説明変数として現在塩分濃度(%)、散布量(g/cm²)、散布後1h交通量(台/h)が採用され重相関係数(R)が0.66の式-5が得られた。

$$Y = 0.486X - 0.033X_2 - 0.002X_3 + 1.961 \dots \dots (式-5)$$

ここで Y : 1時間後塩分濃度(%)
X1 : 現在塩分濃度(%)
X2 : 散布量(g/cm²)
X3 : 散布後1h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1時間後濃度の実測値と式-5から求めた1時間後濃度の推定値を比較したものを図-11に示す。この結果、今回算出した推定式の妥当性が検証できた。

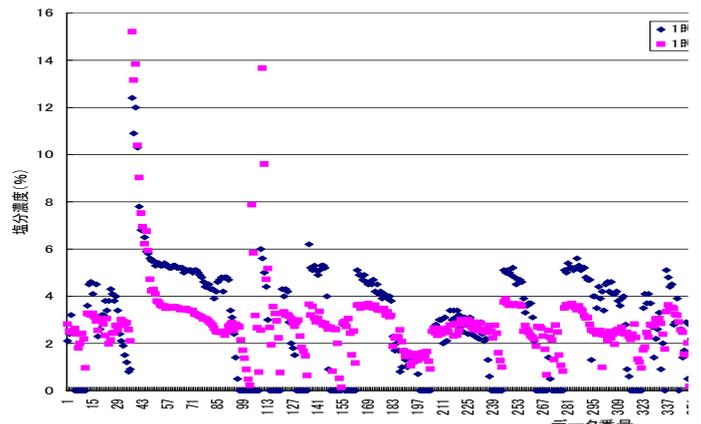


図-11 湿潤路面時における実測値と推定値の1時間後濃度

2.4.5 路面管理上必要な塩分濃度指標の検討

適切なすべり摩擦を保つには、現在の路面性状からより滑りやすい路面性状へと変化させることを防ぐことが必要であると考え、各路面性状における塩分濃度と路面温度の関係を調査した。その結果を図-12に示す。この結果から、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た。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た。

- ・湿潤路面 : $Y > -0.03x^2 - 1.64x - 4E \times 10^{-1}$
- ・シャーベット : $Y > -0.6x$

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

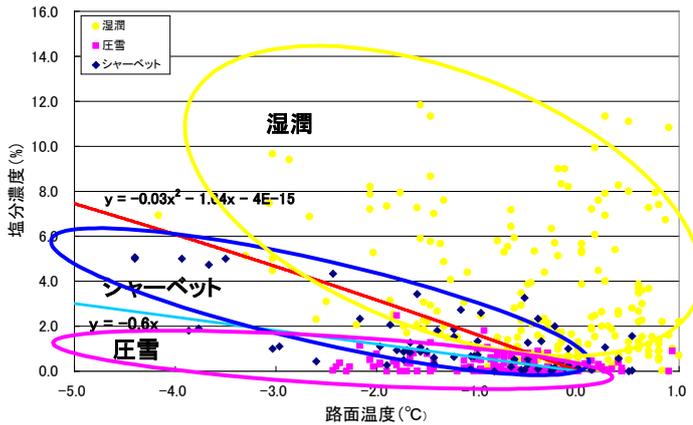


図-12 各路面性状における塩分濃度と路面性状の関係

2.4.6 今後の展望

湿潤路面を保つための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予測式、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、これらの指標の現地における適合性を更に高めるとともに、これらを用いた具体的な路面管理手法を構築することが必要である。

3. おわりに

雪氷路面での自動車の交通性能を決定づける最も重要なファクターは路面のすべり抵抗能力である。スパイクタイヤ規制はこれに決定的な制約を与えた。道路の分かり易さ、利用し易さは、道路と利

用者との相互関係（インターフェース）と関係する問題とするならば、まさにスパイクタイヤ規制はこのインターフェースに大きな影響を与えたことになる。

このインターフェース向上としてすべり抵抗能力を向上させるために大量の凍結防止剤を散布しているが、環境影響の懸念や管理コスト削減が課題となっており、適正で効率的・効果的な冬期路面管理手法が求められている。

積雪寒冷地といえども極めて温度が低い地域もあれば降雪量が多いが比較的温度が高い地域もある。これらの地域特性に根ざし、道路管理者の負担が過重にならず、適切で道路利用者へアカウンタブルな冬期路面管理手法の確立が必要である。

浅野基樹*



独立行政法人土木研究所
地土木研究所寒地道路研究
グループ寒地交通チーム上
席研究員，博士（工学）
Dr. Motoki ASANO

高橋尚人**



独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所寒地
道路研究グループ寒地
交通チーム総括主任研
究員
Naoto TAKAHASHI

徳永ロベルト***



独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所寒地
道路研究グループ寒地
交通チーム主任研究
員，博士（工学）
Dr. Roberto
TOKUNAGA

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

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