

## 16.2 効率的な冬期路面管理のための複合的路面処理技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地道路研究グループ（寒地交通）、  
寒地保全技術研究グループ（寒地道路保全）、  
技術開発調整監（寒地機械技術）

研究担当者：石田樹、木村孝司、大槻敏行、高橋尚人、丸山記美雄、徳永ロベルト、安倍隆二、住田則行、切石亮、佐藤賢治、藤本明宏、田中俊輔、中村隆一、三浦豪

### 【要旨】

昨今の厳しい財政事情の中、道路維持管理費が削減され、冬期路面管理についても一層の効率化が求められている。凍結防止剤等についてもより適正な散布が求められているが、凍結防止剤の散布は舗装の種類にかかわらず一律に行われているのが現状である。より効果的・効率的に凍結路面对策を行うためには、舗装の種類・特性に応じた凍結防止剤散布技術を確立する他、凍結防止剤散布、舗装等の個別技術による凍結路面对策に限らず、凍結防止剤散布・舗装対策・散布機械改良等による複合的な凍結路面処理技術の開発が喫緊の課題である。

本研究では、より効果的・効率的な凍結路面对策の実施に資するため、舗装の種類・特性に応じた凍結防止剤の散布技術を確立するとともに、散布剤、散布技術及び散布機械の改良による複合的な凍結路面処理技術の開発に取り組むこととする。平成 26 年度は、室内実験を実施し、凍結防止剤散布後のすべり抵抗値推定手法を粗面系舗装に適用させた。また、試験道路での野外試験を実施し、防滑材の路面残留量がすべり抵抗値に及ぼす影響を明らかにした。さらに、野外試験を通じて加熱水混合散布のすべり抵抗値の改善効果を実道で検証した。

キーワード：凍結路面对策、舗装種類、散布剤、散布機械

### 1. はじめに

スパイクタイヤ使用規制以降、積雪寒冷地における路面管理の重要性は高まり、凍結防止剤の散布、凍結抑制舗装、散布機械の開発等が進められた。しかしながら、依然として冬型事故の約 9 割をスリップ事故が占めており、冬期の道路交通性能は低いままである。

これまで、凍結路面对策に関する試験研究は、塩化物を主体とした凍結防止剤の散布試験、また、SMA 等の凍結抑制舗装の開発や舗装としての効果の検証がそれぞれ行われてきた。しかしながら、凍結防止剤の散布は、舗装種類にかかわらず一律に行われており、舗装種類に適した凍結防止剤散布技術は未開発である。また、加熱水混合散布などに対応する散布機械の改良は未着手であり、散布剤・舗装・散布機械の改良等を組み合わせた路面処理技術も未開発である。

本研究では、舗装の種類・特性に応じた凍結防止剤の散布技術、塩化物以外の散布剤や散布技術の改良、および散布機械の改良も合わせた凍結路面処理技術を開発す

ることで、より効果的・効率的な凍結路面对策の実施に資する技術開発に取り組むものである。

### 2. 研究実施内容

本研究では、より効果的・効率的な凍結路面对策の実現に資するため、以下の研究に取り組んでいる。

- ① 舗装種類に合致した効果的・効率的な凍結防止剤等の散布技術の検討
- ② 散布剤や散布技術の改良、散布機械の改良も合わせた凍結路面処理技術の検討

### 3. 舗装種類に合致した効果的・効率的な凍結防止剤等の散布技術の検討

#### 3.1 舗装種類毎の適切な散布技術に関する試験

交通安全上、交差点付近などを除けば舗装の種類が異なっても路面すべり摩擦係数 ( $\mu$ ) は変化しないことが望ましく、舗装の種類を考慮して適正な散布量を決定することが重要となる。そのためには、凍結防止剤散布後

の $\mu$ や $HFN$ を推定する手法(以下、 $\mu$ 推定法)の確立が必要となる。

平成26年度は、室内実験を実施し、粗面系舗装における路面氷膜厚と $\mu$ の関係を明らかにするとともに、粗面系舗装内部への水分と凍結防止剤の移動を $\mu$ 推定法に考慮するためのパラメータを同定した。また、この成果を過年度に構築した $\mu$ 推定法<sup>2)</sup>に組み込み、粗面系舗装にも適用可能な $\mu$ 推定法を構築した<sup>3)</sup>。

### 3.1.1 $\mu$ 推定法

図1に示す概念図に沿って、 $\mu$ 推定法を説明する。図の上部に記した凍結防止剤散布前の氷膜路面(以下、状態I)と同図の下部に記した散布後の氷膜路面(以下、状態II)を考える。ここで、状態Iの平均氷膜厚 $H'_i$ (mm)、路面温度 $T$ ( $^{\circ}C$ )および凍結防止剤の散布量 $M_{s-in}$ ( $kg/m^2$ )は入力条件とする。状態IIの $\mu$ は、次の5つのステップを踏んで求められる。

ステップ1: 状態Iの氷膜路面に凍結防止剤を散布すると、凍結防止剤を含む水溶液(以下、塩溶液)が発生する。塩溶液は、凝固点曲線に準じた $T$ に対応する塩濃度 $C$ (%)になるまで周囲の氷を融かすことで希釈される。従って、状態IIにおける $C$ は、凍結防止剤の凝固点曲線<sup>4)</sup>から推定できる。

ステップ2: 道路上に散布された凍結防止剤は、道路勾配に伴う流出(以下、表流損失塩)、車両通過に伴う飛散(以下、車両損失塩)、粗面系舗装では鉛直下方向の舗装内部への凍結防止剤の損失(以下、鉛直損失塩)が生じる。これらの損失を考慮するために、路面上の氷の融解に作用する凍結防止剤の質量を有効融解塩量 $M_{s-melt}$ ( $kg/m^2$ )と定義し、次式で与える。

$$M_{s-melt} = M_{s-in}(1 - R_z)(1 - R_x)(1 - R_v) \quad (1)$$

ここに、 $R_z$ :  $M_{s-in}$ に対する鉛直損失塩量の比(鉛直損失塩率)、 $R_x$ :  $M_{s-in}$ に対する表流損失塩量の比および $R_v$ :  $M_{s-in}$ に対する車両損失塩量の比である。

ステップ3: 凍結防止剤散布に伴う融水量 $M_{i-melt}$ ( $kg/m^2$ )は、 $M_{s-melt}$ および $C$ を用いて次式より求められる。

$$M_{i-melt} = \frac{100 - C}{C} M_{s-melt} \quad (2)$$

ステップ4: 状態IIの平均氷膜厚 $H_i$ (mm)は、 $H'_i$ から $M_{i-melt}$ を換算した融氷厚 $H_{i-melt}$ を差し引いて求められる。

ステップ5: 最後に、状態IIの $\mu$ は $\mu - H_i$ 関係式から算出される。

$R_z$ および $\mu - H_i$ 関係式については、次項に記載する室内試験より明らかにする。 $R_x$ および $R_v$ については今後の課題として、ここでは考慮されない。

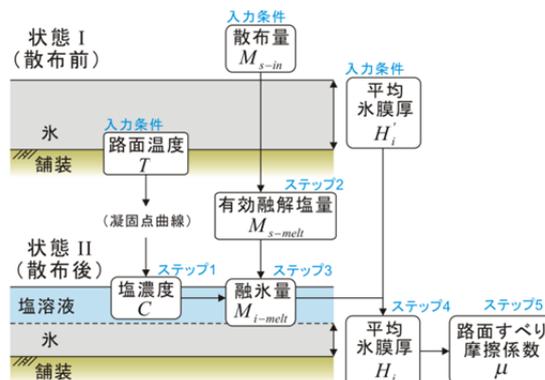


図1  $\mu$ 推定法概念図

### 3.1.2 室内試験の概要

図2に室内試験に用いた舗装供試体を示す。同図に示すように、舗装供試体は排水性舗装(上段)、機能性SMA(中段)および密粒度舗装(下段)の3種類とし、各舗装につき、それぞれ3体を使用した。舗装供試体のサイズは、幅0.40m×長さ0.40m×高さ0.05mである。粗骨材の最大寸法は13mmであり、排水性舗装の空隙率は17%である。

以下に実験の手順を述べる。(i) 低温恒温室で舗装供試体の温度を室内温度にする、(ii) 噴霧器を用いて舗装供試体に淡水を散布する、(iii) 氷膜路面が形成するまで待つ、(iv) 塩化ナトリウムを固形散布する、(v) 塩化ナトリウムの溶解が完了するまで待つ、(vi)  $T$ 、 $\mu$ 、 $C$ 、 $H_i$ の順で測定する。

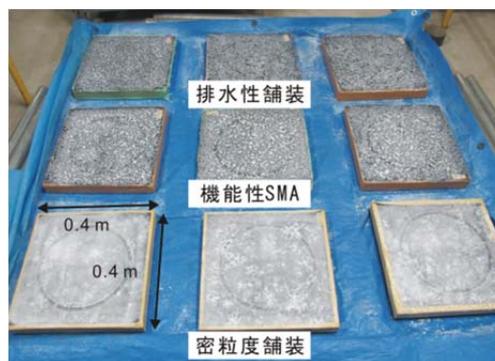


図2 室内試験の様子

表1に実験条件を示す。低温恒温室の室内温度は $5^{\circ}C$ とした。散水条件に関して、散水量 $M_{w-in}$ ( $kg/m^2$ )=1.0および2.0 $kg/m^2$ の2ケースとし、散水する淡水の温度は

0~1.0°Cに制御した。使用した凍結防止剤は塩化ナトリウムであり、 $M_{s-in} = 20, 40, 60$  および  $80 \text{ g/m}^2$  の4ケースとした。なお、比較のために無散布の実験も実施した。

表1 室内実験の条件一覧

環境条件	室温	-5°C
散水条件	量	1.0 kg/m <sup>2</sup> (0.5 kg/m <sup>2</sup> ×2回)、 2.0 kg/m <sup>2</sup> (0.5 kg/m <sup>2</sup> ×4回)
	温度	0~1.0°C
凍結防止剤散布条件	種類	塩化ナトリウム
	量	0, 20 g/m <sup>2</sup> , 40 g/m <sup>2</sup> , 60 g/m <sup>2</sup> , 80 g/m <sup>2</sup>
	形状	粉末状
舗装供試体条件	種類	密粒度舗装、機能性SMA、排水性舗装
	サイズ	幅0.40m×長さ0.40m×高さ0.05m
	個数	各3体
	仕様	粗骨材最大寸法13mm 空隙率17% (排水性舗装)
測定条件	項目	路面温度 (放射温度計)
		$\mu$ (ダイナミック・フリクション・テスター)
		塩濃度 (屈折式塩分濃度計)
		平均氷膜厚 (融解質量式路面氷膜厚計)

### 3.1.3 室内実験の結果

図3は、 $\mu - H_i$  関係である。すべての舗装において $\mu$ は $H_i$ の増大につれて指数関数的に低下した。ただし、その低下率は、排水性舗装が最も大きく、次いで機能性SMA、密粒度舗装の順であった。本データが示す範囲は機能性SMAで $H_i < 0.85$ 、排水性舗装で $H_i < 0.43$ であるが、これらより $H_i$ が厚くなれば、舗装表面のテクスチャの影響がより小さくなるため、機能性SMAおよび排水性舗装の $\mu$ はともに0.05程度(氷膜路面の $\mu$ )に漸近すると考えられる。

上述した $\mu - H_i$ 関係式は、次式で与えられる。

$$\mu = a \exp(bH_i) + c \quad (3)$$

各舗装の $\mu$ に対する係数 $a$ 、 $b$ および $c$ を図3に示す

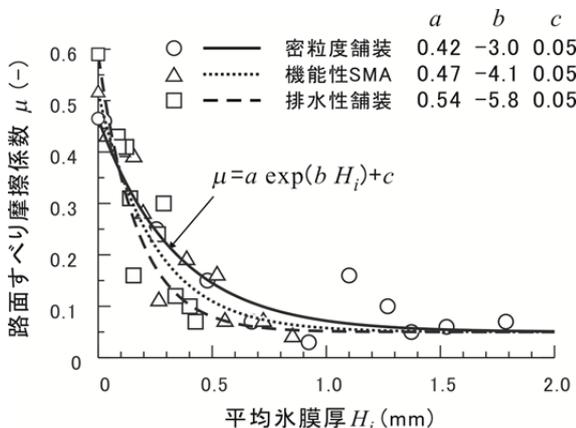
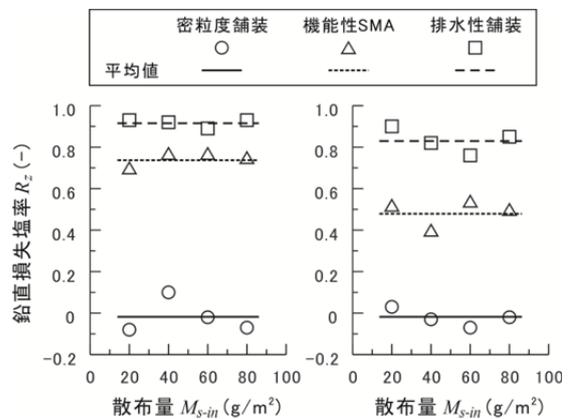


図3  $\mu$ と路面氷膜厚の関係

図4は $R_z$ と $M_{s-in}$ の関係であり、同図(a)および(b)に $M_{w-in} = 1.0$ および $2.0 \text{ kg/m}^2$ の結果をそれぞれ示す。密粒度舗装、機能性SMAおよび排水性舗装の $R_z$ は、 $M_{w-in} = 1.0 \text{ kg/m}^2$ でそれぞれ0.08~0.10、0.69~0.76および0.89~0.93の範囲にあり、平均値はそれぞれ0.02、0.74および0.92であった。 $M_{w-in} = 2.0 \text{ kg/m}^2$ では、それぞれ0.07~0.03、0.39~0.53および0.76~0.90の範囲にあり、平均値はそれぞれ0.02、0.48および0.83であった。同図より、 $R_z$ は $M_{s-in}$ に依存しないことが知れる。機能性SMAおよび排水性舗装では、散布した凍結防止剤の多くが、固形あるいは高濃度の塩溶液として、舗装表面の凹部や舗装内部へ移動したと推察される。機能性SMAおよび排水性舗装の $R_z$ は $M_{w-in}$ が増えると小さくなった。



(a) 散水量 1.0 kg/m<sup>2</sup> (b) 散水量 2.0 kg/m<sup>2</sup>

図4 鉛直損失塩率

### 3.1.4 凍結防止剤散布後の $\mu$ に関する考察

本章では、3.1.1に記載した理論に従い、密粒度舗装、機能性SMAおよび排水性舗装の $\mu$ の推定例を示す。計算条件は、 $M_{s-in} = 30 \text{ g/m}^2$ 、 $M_{w-in} = 1.0 \text{ kg/m}^2$ 、 $T = -3^\circ\text{C}$ とした。次に、 $T$ のみ $0 \sim 8^\circ\text{C}$ に変化させた時の各舗装における $\mu$ の変化を調べた。なお、本推定に用いた $H_i$ は、本実験結果の値として、密粒度舗装、機能性SMAおよび排水性舗装でそれぞれ0.92、0.27および0.15 mmを与えた。

表2に $\mu$ 推定の結果を示す。 $T = -3^\circ\text{C}$ の場合、塩化ナトリウムの凝固点曲線から $C = 4.7\%$ が得られる(ステップ1)。 $M_{s-in} = 30 \text{ g/m}^2$ に $1 - R_z$ を乗じることにより、密粒度舗装、機能性SMAおよび排水性舗装の $M_{s-melt} = 30.0, 7.8$ および $2.4 \text{ g/m}^2$ となる(ステップ2)。次に式(2)を用いて $M_{i-melt}$ を求める(ステップ3)と、密粒度舗装、機能性SMAおよび排水性舗装の $H_{i-melt} = 0.66, 0.17$ および $0.05 \text{ mm}$ となる。これより、 $H_i = 0.26, 0.10$ および $0.10 \text{ mm}$

となる(ステップ4)。最後に、式(3)に $H_i$ を代入すると、状態IIにおける密粒度舗装、機能性SMAおよび排水性舗装の $\mu = 0.24, 0.37$ および $0.36$ が得られる(ステップ5)。

表2  $\mu$  推定の結果

	項目	記号	密粒度舗装	機能性SMA	排水性舗装
入力条件	状態I(散布前)平均氷膜厚	$H_i$	0.92 mm	0.27 mm	0.15 mm
	路面温度	$T$	-3°C		
	散布量	$M_{s-in}$	30 g/m <sup>2</sup>		
ステップ1	塩濃度	$C$	4.7%		
ステップ2	鉛直損失塩率	$R_z$	0	0.74	0.92
	有効融解塩量	$M_{s-melt}$	30.0 g/m <sup>2</sup>	7.8 g/m <sup>2</sup>	2.4 g/m <sup>2</sup>
ステップ3	融水厚	$H_{i-melt}$	0.66 mm	0.17 mm	0.05 mm
ステップ4	状態II(散布後)平均氷膜厚	$H_i$	0.26 mm	0.10 mm	0.10 mm
ステップ5	路面すべり摩擦係数	$\mu$	0.24	0.37	0.36

図5は、 $M_{s-in} = 30 \text{ g/m}^2$ および $M_{w-in} = 1.0 \text{ kg/m}^2$ の計算条件における $\mu - T$ 関係である。密粒度舗装では $T = -2.1^\circ\text{C}$ まで湿潤路面の $\mu$  ( $=0.47$ )であった。それ以下になると、 $\mu$ は $T$ の低下につれて指数関数的に低下し、 $-8^\circ\text{C}$ では $0.11$ となった。機能性SMAおよび排水性舗装では、それぞれ $T = -2.0$ および $-1.0^\circ\text{C}$ まで湿潤路面の $\mu$  ( $=0.52$ および $0.59$ )であり、それら以下になると $\mu$ は $T$ とともに低下し、 $-8^\circ\text{C}$ でそれぞれ $0.25$ および $0.30$ となった。このように、湿潤路面の $\mu$ を保持する $T$ と $T$ の低下とともに漸近する $\mu$ の下限値が各舗装で異なるために、各舗装の $\mu - T$ 関係は交差した。例えば、機能性SMAの $\mu - T$ 関係と排水性舗装のそれは約 $-1.3^\circ\text{C}$ と約 $-3.2^\circ\text{C}$ で交差しており、 $T > -1.3^\circ\text{C}$ および $T \leq -3.2^\circ\text{C}$ では前者の $\mu$ が、 $-1.3 \geq T > -3.2^\circ\text{C}$ では前者の $\mu$ が大きい。

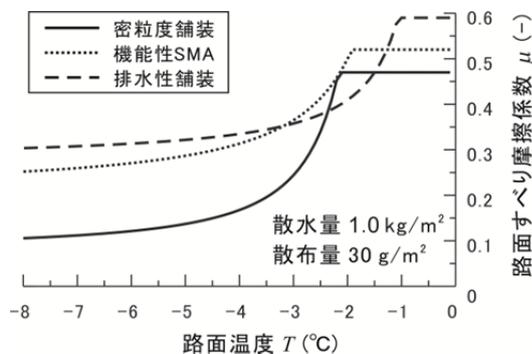


図5 状態IIにおける $\mu$ と路面温度の関係

以上より、状態IIの $\mu$ は、 $M_{s-in}$ 、 $M_{w-in}$ および $T$ が同じであっても舗装の種類によって異なる可能性が示さ

れた。言い換えると、同じ $\mu$ を確保するために必要な $M_{s-in}$ は舗装の種類によって異なる。これは、複数の種類の舗装が存在する路線において、 $\mu$ の連続性を確保しようとする、舗装毎に $M_{s-in}$ を変える必要があることを意味する。ただし、本章で示した $\mu$ の推定値や $\mu - T$ 関係は $R_x$ および $R_y$ が考慮されていないため、必ずしも現道に適用できるとは限らないことを追記しておく。

### 3.1.5 まとめ

本研究により、密粒度舗装だけでなく粗面系舗装においても凍結防止剤散布後の $\mu$ を推定することが可能となり、凍結防止剤の散布効果を $\mu$ で表現できる可能性が高まった。凍結防止剤の散布効果を事前に知ることにより、より客観的で適切な凍結防止剤散布の実現が期待される。ただし、現道では車両による凍結防止剤の飛散が生じる。今後は、車両による凍結防止剤の飛散を定量的に評価し、本手法の汎用性を高め、得られた成果を冬期路面管理マニュアル(案)に反映させる。

## 4. 散布剤や散布技術の改良、散布機械の改良も合わせた凍結路面処理技術に関する検討

### 4.1 機械的改良による散布技術の検討

#### 4.1.1 機械散布の概要

すべり止め材の定着性向上を図るために、すべり止め材と加熱水の湿式散布手法(以下、加熱水混合散布)の可能性について検討した。

検討にあたり、新たな機械を開発することは、導入経費が高額となり、実導入に向けて支障となることから、既存の散布機械を改造する方法を採用した。

加熱水混合散布の試作システムを設計し、既存の凍結防止剤散布車に搭載(以下、試作機)して動作試験を行った。

#### 4.1.2 散布機械の改良検討

凍結防止剤散布車に車載可能な加熱機能の検討を行った。本検討を行う際、以下の基本条件を設定した。

- ① 国内で販売されている凍結防止剤散布車に搭載可能であり、車検取得等の各種法令、法規を準拠した計とする。
- ② 「加熱水混合散布」及び「凍結防止剤+塩化水溶液の湿式散布」の散布手法を切り替え可能とする。
- ③ 加熱する対象は水とし、温度は過年度の基礎試験結果から $40^\circ\text{C}$ 以上とする。

上記条件から、平成23年度は、車載可能な加熱手法、

搭載容積、配管系統などの検討、試作機の製作及び動作確認を行った。その結果、試作機で加熱水混合散布の施工が可能であることを確認したが、水循環回路の凍結対策が課題となった。

平成 24 年度は試作機の水循環回路の凍結対策として、水溶液タンクと加熱機器間に熱交換器を配置し、加熱機器側の循環系統に不凍液を循環させることで、加熱機器の凍結を防止する検討を行った。

平成 25 年度は平成 24 年度の検討に基づく、凍結対策を施した試作機を用いて動作試験を行った。

試作機は、図 6 に示すとおり、直列系統の加熱機器 2 台と熱交換器 1 台により、水溶液タンク内の水を循環させ加熱する予熱方式とし、制御部を含めてユニット化した（以下、加熱ユニット）。水循環回路は、加熱機器と熱交換器間には不凍液を、水溶液タンクと熱交換器間には水を循環させ、熱交換器内で水を加熱することとした。熱交換器で冷却された不凍液は、再び加熱機器へ循環する。また、加熱された水是水溶液タンクへ循環し、水溶液タンク内の水を予熱する。

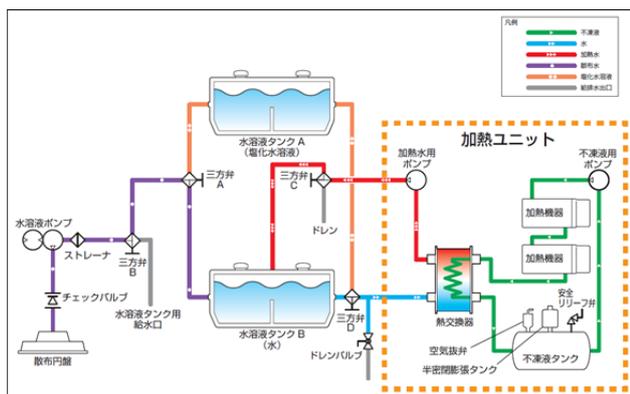


図 6 試作システムの水循環系統図

平成 26 年度は、平成 25 年度までとは別規格の凍結防止剤散布車へ載せ換えを行ったため、加熱ユニットの搭載位置を散布装置後方から運転室と散布装置の間のスペースへ変更した（図 7）。また、平成 25 年度まで搭載していた加熱ユニット用の汎用発電機は、車両走行中に発電ができず、加熱ユニットの運転が停止するため、散布区間への回送や散布作業中の水温低下を加味した水温設定が必要であった。このため、車両のオルタネータを大容量タイプに改良し、電源を車両から供給することで、走行中の加熱を可能とした。また、外気に露出し凍結しやすい水溶液ポンプ、ストレーナを含む水循環回路に保温ヒータを取り付けた。

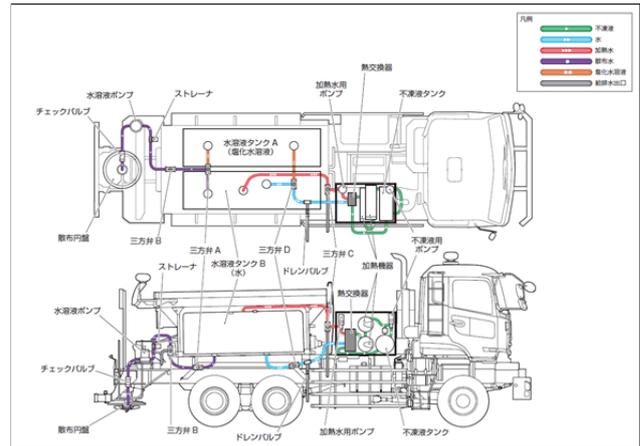


図 7 試作機の外観図

この結果、走行中における安定的な加熱水製作が可能となるとともに、運転室から各経路の温度を確認しながら加熱ユニットを操作できるので、溶液経路の温度管理が容易となった。

なお、試作システムは、凍結防止剤散布車の規格に制限されず、搭載スペースや散布装置の構造が異なっても搭載可能である。

加熱水混合散布作業終了後の凍結対策は、水溶液タンクから散布円盤までの散布回路及び水溶液タンクから熱交換器間の水循環回路の水抜き後、それらの回路に塩化水溶液又は不凍液を循環させることで完了できる。

#### 4.1.3 まとめ

車両走行中においても加熱ユニットを運転できるようにし、安定的な加熱水の製作が可能となった。なお、試作システムは、凍結防止剤散布車の規格に制限されず、搭載スペースや散布装置の構造が異なっても搭載可能である。

#### 4.2 散布剤や散布技術の改良による散布技術の検討

当研究所では、過年度までに苫小牧寒地試験道路において防滑材の加熱水混合散布に関する野外試験を行い、散布効果を HFN で評価した。その結果、加熱水混合散布は従来の塩化カルシウム溶液を湿式剤とした湿式散布より高い HFN を確保できることが分かった。また、加熱水温度は 40℃以上が望ましく、防滑材に対する加熱水の混合割合は 30%が 20%より高い HFN を示した。

平成 26 年度は路面上の防滑材の量と HFN の関係に着目した加熱水混合散布の野外試験を苫小牧寒地試験道路で実施するとともに、現道における加熱水混合散布の HFN 改善効果を検証した<sup>5)</sup>。

#### 4.2.1 散布技術の効果の試験道路での検証

##### (1) 試験の概要

図8は苫小牧寒地試験道路で実施された加熱水混合散布試験のレイアウトである。同図に示すように、本試験では、無散布区間、乾式散布区間、加熱水混合散布区間および湿式散布区間を設けた。加熱水混合散布区間は防滑材の散布量を変えた5区間に分けられる。いずれの区間も延長は50mとした。また、車両に引きずりによる干渉を避けるために、散布区間と散布区間の間には50mのスペースを設けた。

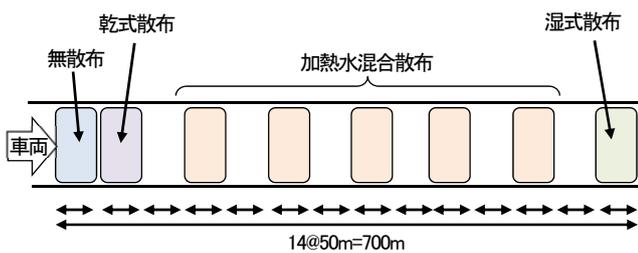


図8 散布試験のコースレイアウト

本試験の手順は次の(i)～(vii)のとおりである。(i)路面温度  $< 0^{\circ}\text{C}$ を確認した後、散水車を用いて無散布区間および各種散布区間の路面に散水する、(ii)気温の低下によって道路表面の水分を完全に凍結させ、氷膜路面を形成させる、(iii)散布区間に防滑材を散布する、(iv)防滑材量を測定し、連続路面すべり抵抗値測定装置 (Continuous Friction Tester: CFT) を装着した車両を用いて路面温度と路面すべり抵抗値 $HFN$ を測定する、(v)5台の走行車両を周回させる、(vi)10周回毎 (50台通過毎) に防滑材量、路面温度および $HFN$ を測定する、(vii)60周回 (300台通過、計測回数7回) に達するまで(v)および(vi)を繰り返す。なお、防滑材量は、防滑材散布区間内における規定区画 ( $0.3\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ ) をカメラで撮影し、試験終了後に規定区画内の防滑材の個数を数え、質量に換算して求めた。

表3に試験条件を示す。散水量は、厚さでおよそ1mmに相当する量とした。本試験に用いた防滑材は7号砕石である。散布に関して、乾式散布での防滑材は $150\text{ g/m}^2$ である。湿式散布では、防滑材 $150\text{ g/m}^2$ に濃度30%の塩化カルシウム溶液を防滑材の30%分付加した。加熱水混合散布は、防滑材を50、100、150、200および $250\text{ g/m}^2$ の5条件として、いずれも $40^{\circ}\text{C}$ の加熱水を防滑材量の30%分付加した。対象とした舗装は密粒度アスファルト舗装である。交通条件として、走行速度はCFTを装着した車両および走行車両ともに $40\text{ km/h}$ とした。走行台数はのべ300台であり、時間交通量に換算すると約70台/hである。

表3 試験条件の一覧

散水条件	量	1 mm
防滑材散布条件	乾式散布	7号砕石 ( $150\text{ g/m}^2$ )
	湿式散布	7号砕石 ( $150\text{ g/m}^2$ ) + 塩化カルシウム溶液 (濃度30%、混合割合30%)
	加熱水混合散布	7号砕石 (50、100、150、200、 $250\text{ g/m}^2$ ) + 加熱水 (温度 $40^{\circ}\text{C}$ 、混合割合30%)
舗装条件	種類	密粒度舗装
交通条件	走行速度	$40\text{ km/h}$ ( $HFN$ 測定の数値も同じ)
	走行台数	延べ300台

##### (2) 試験の結果

図9は加熱水混合散布の状況の熱画像である。同図より、加熱水と接する散布円盤部の温度は約 $40^{\circ}\text{C}$ であり、加熱水と防滑材が散布された路面の温度は $10^{\circ}\text{C}$ 程度であったことが知れる。

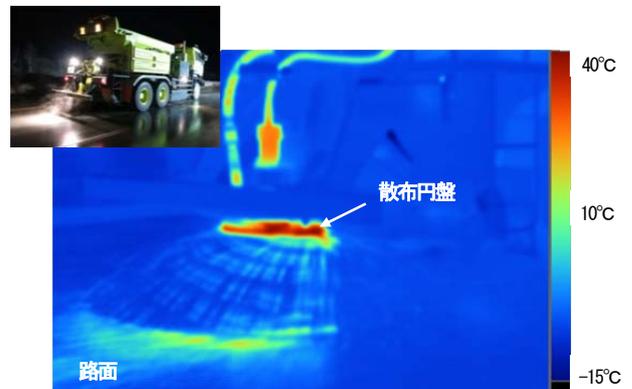


図9 加熱水混合散布状況 (熱画像)

図10は通過台数に伴う路面に残留する防滑材の質量 (残留防滑材量) の変化である。本報告書では、乾式散布と、加熱水混合散布の内、7号砕石の散布量が100および $200\text{ g/m}^2$  (以下、加熱100および加熱200と呼称) の結果について述べる。乾式散布に着目すると、散布直後の残留防滑材量は約 $110\text{ g/m}^2$ であるが、通過台数50台後には $10\text{ g/m}^2$ 以下まで急激に減少している。一方、加熱100および加熱200の残留防滑材量は散布直後から通過台数の増大に伴い減少するものの、その減少率は乾式散布と比較して明らかに小さい。これは図11に示すように、加熱水の凍結によって路面と防滑材が定着したためである。

図12に通過台数に伴う $HFN$ の変化を示す。散布前の $HFN$ はいずれも30～40の間である。乾式散布の $HFN$ は散布直後も30程度であり、散布による $HFN$ の改善は見られない。一方、加熱水100および200は散布直後に約70まで増大した。その後、通過台数とともに低下したも

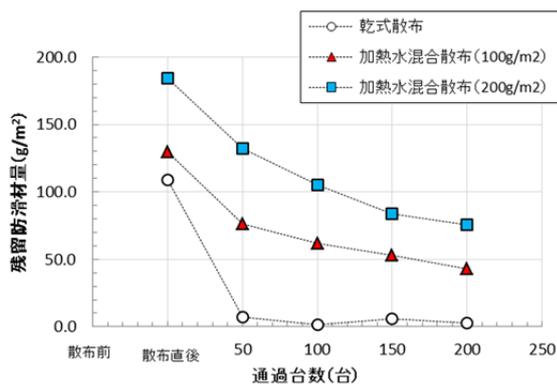


図10 通過台数に伴う残留防滑材量の変化

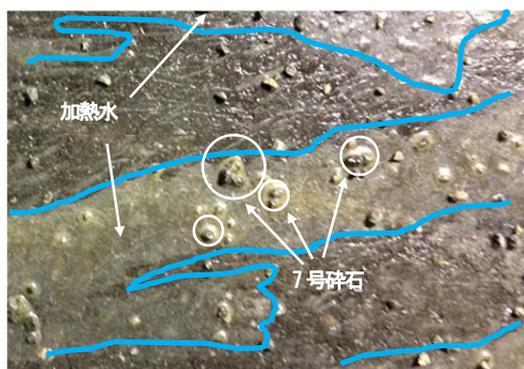


図11 防滑材の路面定着状況

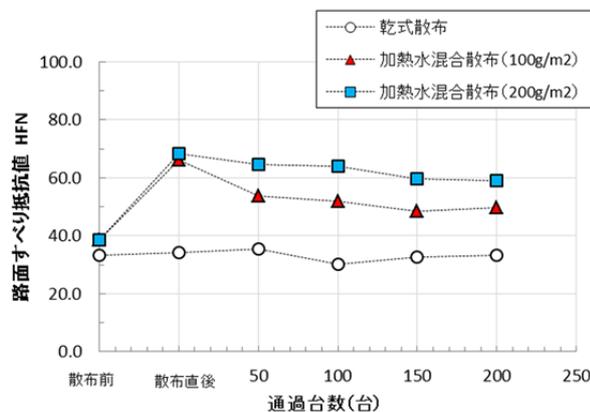


図12 通過台数に伴うHFNの変化

の、200台通過後のHFNは加熱水100および200でそれぞれ約60および約50であり、乾式散布と比較して加熱水混合散布のHFN改善効果の優位性を確認できた。

#### 4.2.2 実道での検証

##### (1) 実道試験の概要

加熱水混合散布に関する実道試験は、北海道樺戸群新

十津川町内の一般国道451号線で行われた。表4に試験条件を示す。実道試験では図13に示すように、無散布区間、湿式散布区間および加熱水混合散布区間を設定した。調査項目は、HFN、天候、気温、路温、路面状態および加熱水散布機構内における加熱水温度(3箇所)とした。気温、路温、路面状態はKP=51.0を代表地点として計測した。HFNは、散布前(3時台)、散布後(6時台、8時台、10時台)の計4回計測した。

表4 実道試験の条件一覧

試験日時		2014年2月5日 3:00~11:00	
天候		晴	
気温		-19.3 ~ -12.8°C	
路温		-16.5 ~ -9.5°C	
路面状態	雪水厚	21.3mm	
	雪氷密度	808kg/m³	
	雪氷硬度	18.8kg/cm²	
試験場所	試験区間A	湿式散布	KP=50.8~51.0
		無散布	KP=50.4~50.6
		加熱水混合散布	KP=50.0~50.2
	試験区間B	湿式散布	KP=42.8~43.0
		無散布	KP=42.4~42.6
		加熱水混合散布	KP=42.0~42.2
散布条件	湿式散布	150g/m² (凍結防止剤水溶液混合割合20%)	
	加熱水混合散布	150g/m² (加熱水温度40°C、加熱水混合割合30%)	



図13 実道試験の散布区間

##### (2) 試験の結果

図14に加熱水混合散布後の路面状況を示す。同写真から、防滑材は均一に散布されているのに対して、加熱水は均等の間隔でカーブを描くように路面に散布されていることが分かる。



図14 加熱水混合散布後の路面状況

加熱水混合散布のHFNの改善効果について以下に述べる。図15は試験区間BにおけるHFNを上下車線に区別して箱ひげ図で示す。箱ひげ図のデータは各計測区間200mにおける1秒毎のHFNであり、サンプル数は11~17件である。これらの図より、防滑材散布後の6時台以降では、試験区間及び上下車線の区別なく全てのケースにおいて湿式散布に比べて加熱水混合散布の方が中央値は高い値を示した。しかしながら、上り車線の8時台のように、湿式散布と加熱水混合散布のHFNに大きな違いが見られない場合があった。

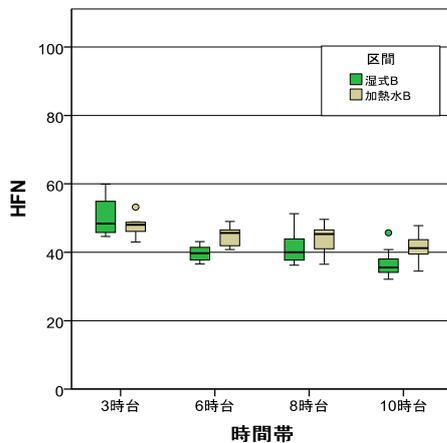


図15 HFN (試験区間B)

## 5. 今後の予定

引き続き、室内試験、苫小牧寒地試験道路での試験、[実道での散布機械の動作試験](#)およびデータ取得を行い、舗装種類に合致した効果的・効率的な凍結防止剤等の散布技術の提案、散布剤や散布技術の改良、散布機械の改良も合わせた凍結路面処理技術の提案に向けて研究に取り組む予定である。

## 参考文献

- 1) 田湯文将、武市靖、高橋尚人、田中俊輔、藤本明宏：粗面系舗装における凍結防止剤散布後の塩分および融解水の移動現象に関する研究、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol69、No.3、pp.I\_67-I\_74、2013.
- 2) Akihiro Fujimoto, Makoto Kiriishi, Roberto Tokunaga, Naoto Takahashi, Tateki Ishida, 2015: Method for Predicting Change in Skid Resistance on Icy Road Surface by Deicing Salt, Transportation Research Board 94th Annual Meeting.
- 3) 藤本明宏、山本悠介、田中俊輔、川端優一、武市靖：凍結防止剤散布による氷膜の融解を伴う密粒度舗装および粗面系舗装のすべり摩擦係数の推定法、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol. 70、No. 3、I\_173-I\_180、2014.
- 4) (社)日本建設機械化協会、2004：2005 除雪・防雪ハンドブック (除雪編) 213-214.
- 5) 切石亮、藤本明宏、徳永ロベルト、高橋尚人、石田樹、中村隆一、住田則行：すべり止め材の加熱水混合散布に関する実道試験、ゆきみらい研究発表会、Vol. 27、2015.

## A STUDY ON COMPLEX ROAD SURFACE TREATMENT TECHNOLOGY FOR EFFICIENT WINTER ROAD SURFACE MANAGEMENT

**Budged:** Grants for operating expenses  
General account

**Research Period:** FY2011-2016

**Research Team:** Cold Region Road Engineering Research Group (Traffic Engineering Research Team Road Maintenance Research Team)  
Cold Region Technology Development Coordination (Machinery Technology Research Team)

**Authors:** ISHIDA Tateki, KUMAGAI Masayuki, OTSUKI Toshiyuki, TAKAHASHI Naoto, MARUYAMA Kimio, TOKUNAGA Roberto, ABE Ryuji, SUMITA Noriyuki, KIRIISHI Makoto, SATO Kenji, FUJIMOTO Akihiro, TANAKA Shunsuke, NAKAMURA Ryuichi and MIURA Go

**Abstract:** In order to implement more efficient and effective measures against icy road surface is necessary to establish a spreading technology of salt and/or abrasive according to the characteristics and type of pavement. In addition to individual technologies through pavement and anti-freezing spreading, it is necessary to develop a management technology that combines spreading technology, pavement technology and machinery improvement.

In this project, to contribute in the more effective and efficient winter roadway management implementation, the authors conducted a series of studies and experiments such as non-chloride materials, new spreading methodology, spreader machine improvement, etc. to establish a complex road surface treatment technology.

**Key words:** snow and ice control, pavement types, agents, spreader machine