

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、熊谷政行、柳沢雄二、高橋尚人、丸山記
美雄、徳永ロベルト、安倍隆二、住田則行、川端
優一、切石亮、藤本明宏、田中俊輔、中村隆一、
三浦豪、石川真大

【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急務となっており、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。しかしながら、薬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、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、薬剤散布・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。本報では、平成 24 年度の実施状況について報告する。

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凍結対策の重要性は高まり、散布剤、凍結抑制舗装、散布機械の改良等が進められた。しかし、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¹⁾、更なる対策の充実が求められる。一方で、道路維持管理費は縮減しており、冬期道路の安全性を向上させるためには、管理の効率化を推し進める研究が益々重要となる。

これまでの研究では、塩化物主体の凍結防止剤の散布性能や SMA 等の凍結抑制性能の検証が行われてきた。しかし、塩化物以外の散布剤の開発、舗装種類に適した散布方法、散布車の機械的な改良については検討の余地が残されている。今後、より効果的・効率的に凍結路面对策を行うため、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、薬剤散布・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機械の改良を行い、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

平成 24 年度の実施内容は以下のとおりである。

- 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提案
- 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提案

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提案

3.1 舗装種類毎の凍結防止剤実態及び路面状態の把握

舗装種類毎の凍結防止剤散布実態を把握するために、ケーススタディとして一般国道 230 号を選び、現道調査を実施した。本調査では、排水性舗装区間および密粒度舗装区間における凍結防止剤散布量および路面すべり抵抗値を調べた。

その結果、当該路線における凍結防止剤散布量は、排水性舗装が多い区間（札幌都心側）より密粒度舗装区間（中山峠側）の方が多し事が判った。

図-1は、地形区分別すべり抵抗値の出現率を示す。同図は、すべり抵抗値（HFN）を、45未満（赤色、雪氷路面）、45以上60未満（黄色、断続的な路面）、60以上（緑色、露出路面）の3段階に区別して、それぞれの出現率を示す。雪氷路面の出現率は、都心部から峠部の順で、15.4%、13.3%、18.1%、24.5%および34.7%であり、都心部と郊外部で逆転したものの、標高が高くなるに従い、雪氷路面の出現率が高くなった。図-2は、排水性舗装区間と密粒度舗装区間におけるHFNの出現率を示す。雪氷路面の出現率は、密粒度舗装区間で36.2%、排水性舗装区間で17.3%であり、前者は後者より高い。

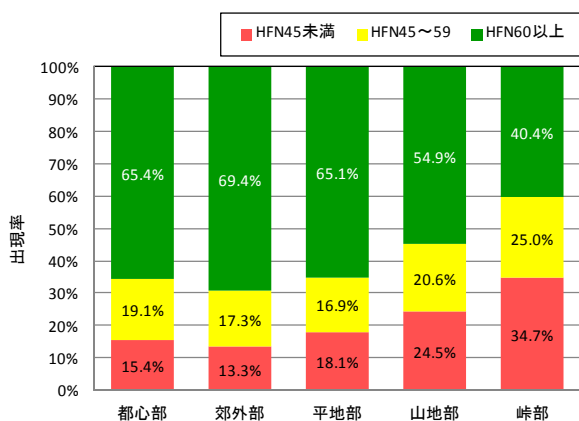


図-1 地形区分別すべり抵抗値の出現率

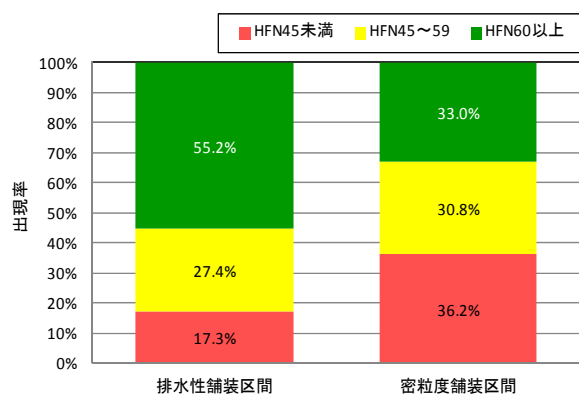


図-2 舗装別すべり抵抗値の出現率

3.2 舗装種類毎の適切な散布技術の開発

3.2.1 室内走行試験

(1) 試験概要

基礎試験として、恒温室内において環境条件を一定に保った状態で、舗装種類毎の凍結防止剤の散布効果を検

証した。本試験は、フルスケールの室内試験を行うことができる北海学園大学所有の室内凍結路面走行試験装置（以下、室内走行試験装置）を用いて、凍結路面（氷膜および氷板）作製後に凍結防止剤散布試験を行い、すべり摩擦係数などによる定量的な評価から、舗装種類毎の凍結防止剤散布効果について検討した。写真-1に室内走行試験装置を示す。

試験舗装は密粒度舗装、粗面系舗装として機能性SMAおよび排水性舗装17%を用いた。

試験条件および測定項目を表-1に示す。試験温度は-3℃、-5℃、-8℃と設定し、路面は2.00/m²散水して氷板を作製した。氷板作製後に散布した凍結防止剤は、塩化ナトリウムを湿式（塩化ナトリウム+塩化ナトリウム水溶液）で20g/m²散布した。



写真-1 室内凍結路面走行試験装置

表-1 試験条件

試験舗装	密粒度舗装13、機能性SMA、排水性舗装(空隙率17%)
試験温度	-3℃、-5℃、-8℃
散水量	2.0 l/m ²
凍結防止剤	塩化ナトリウム20g/m ² 湿式散布(水溶液質量比9:1)
試験項目	塩分濃度、氷膜厚、路面露出率、すべり摩擦係数(2000回のみ)
測定を行う繰返し走行回数	100回、500回、1000回 1500回、2000回
走行速度	繰返し走行試験 5km/h
走行輪荷重	5kN(接地圧0.196MPa程度)

(2) 試験結果

図-3と図-4に、-3℃時と-8℃時のすべり摩擦係数と路面露出率の測定結果を示す。すべり摩擦係数は、500回と2000回走行時が実測値であり、その他は既往研究²⁾で得られたすべり摩擦係数と路面露出率の関係式から推測した値を用いている。

−3℃時では、走行回数の増加に伴いすべり摩擦係数と路面露出率に上昇が見られることから、凍結防止剤散布効果が確認された。−8℃時では路面露出率やすべり摩擦係数の変化が見られず、排水性舗装のすべり摩擦係数がわずかに上昇した程度だった。

舗装種類別に比較すると、密粒度舗装に比べて粗面系舗装（機能性 SMA および排水性舗装）は、大きくすべり摩擦係数が向上している。これは凍結防止剤散布により、粗面系舗装表面の粗いテクスチャによるすべり抵抗改善効果が発現したものと考えられる。



写真-2 凍結路面状況
(左：密粒度舗装 右：排水性舗装)

ウム+塩化カルシウム水溶液)で 20g/m² 散布した状態で交通模擬車両 (以下、ダミー車) を走らせて試験を行った。測定頻度は「散布直後、ダミー車の累計 50 台、100 台、150 台、200 台、250 台、300 台走行」を1サイクル (1日) としたものを4サイクル (4日) 行った。

(2) 試験結果

舗装種類別の HFN、気温および路面温度の推移を図-5に、氷膜厚、気温および路面温度の推移を図-6にそれぞれ示す。各舗装を比較すると、密粒度舗装区間は凍結防止剤散布後のダミー車走行台数の増加に伴う HFN の変化は見られなかったが、粗面系舗装（機能性 SMA および排水性舗装）では、HFN が高くなっていく傾向が確認された。また、図-6より、ダミー車走行台数の増加とともに氷膜厚が減少する傾向が確認され、粗面系舗装表面の粗いテクスチャによる影響により、HFN が高くなったと考えられる。

次に、舗装種類別の残留塩分濃度の測定結果を図-7に示す。排水性舗装 20%は、密粒度舗装よりも残留塩分濃度が高くなったが、その他は明確な差は見られず、傾向もとらえることができなかったことから、残留塩分濃度の計測方法などを検討する必要があると考えられる。

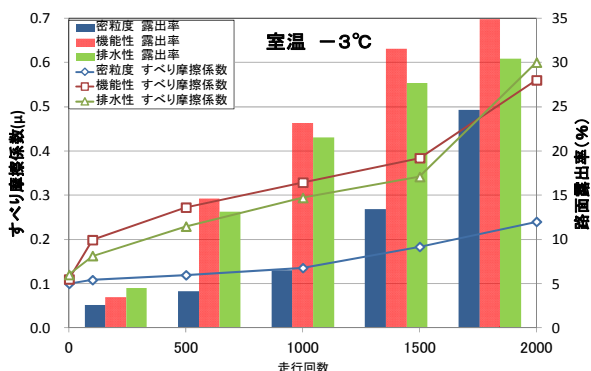


図-3 測定結果 (-3℃時の路面露出率・すべり摩擦係数)

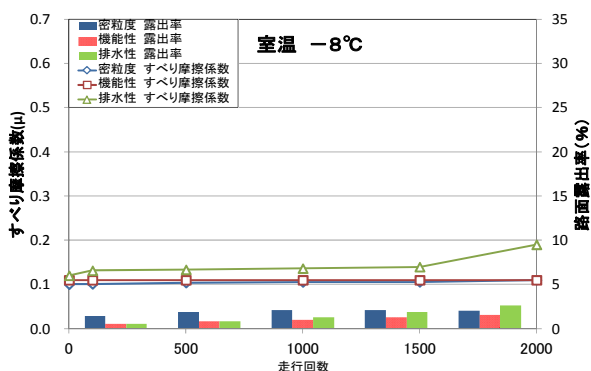


図-4 測定結果 (-8℃時の路面露出率・すべり摩擦係数)

3.2.2 屋外試験

(1) 試験概要

舗装種類毎の凍結防止剤の散布効果を検証するため、苫小牧寒地試験道路に施工している密粒度舗装および粗面系舗装（機能性 SMA、排水性舗装 17%、排水性舗装 20%）の各区間において、バス型すべり測定車および連続路面すべり抵抗値測定装置（Continuous Friction Tester: CFT）を用いて、すべり抵抗値（HFN）、氷膜厚および凍結防止剤残留塩分濃度などの測定を行った。

試験条件は、各舗装延長 100m の区間に散水車を用いて氷膜路面（厚さ 0.5~1.0mm）（写真-2）を作製し、起点から 50m ずつ凍結防止剤を湿式散布（塩化ナトリ

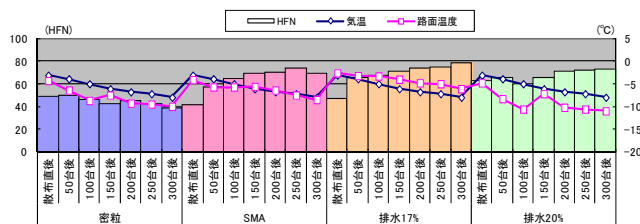


図-5 舗装種類別のHFN、気温および路面温度の推移

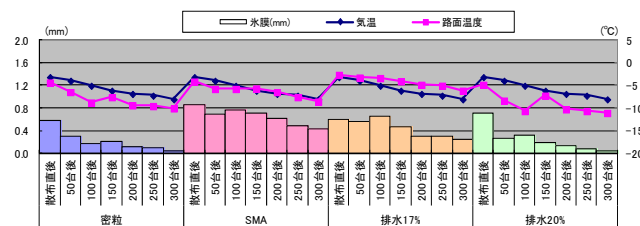
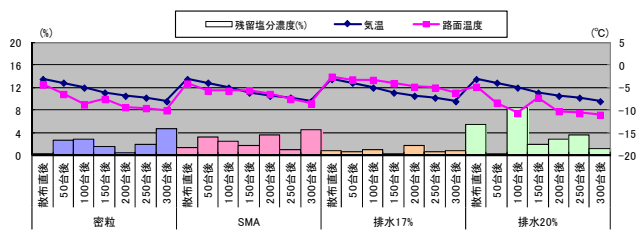


図-6 舗装種類別の氷膜厚、気温および路面温度の推移



図一七 舗装種類別の残留塩分濃度

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の提案

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、散布機械の改良による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。

新たな機械を開発することは、導入コストが高額となり、実導入に向けて支障となることから、既存の散布機械に改造を行うという方法を採用した。

加熱機器を用いた試作システムを既存の凍結防止剤散布車に搭載(以下、試作機)し、動作試験を行った。

4.1.2 散布機械の改良検討

すべり止め材の定着性向上を目的に、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。

検討する上で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、法規を準拠した設計であること。
- ② 「加熱水混合散布」および「凍結防止剤+塩化水溶液の湿式散布」の散布手法が切り替え可能であること。
- ③ 加熱する対象は真水とし、すべり止め材と混合して散布できること。なお、加熱温度は40℃以上とする。

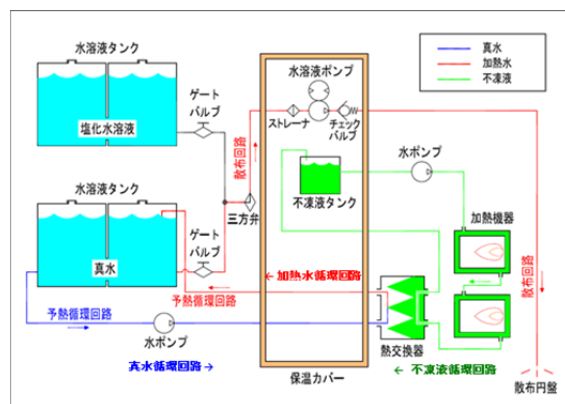
以上の条件から、平成23年度は、車載可能な加熱手法、搭載容積、配管系統等の構築方法の検討、検討に基づく加熱システムの試作および動作確認を行った。その結果、試作機で加熱水混合散布の施工が可能であることを確認したが、実導入する上で水循環回路の凍結対策が課題となったため、平成24年度は、試作機の水循環回路の凍結対策について検討を行った。

試作機は、燃焼式加熱方法を採用し、直列系統の加熱機器2台に水溶液タンク内の水を循環させて加熱する予熱方式とし、制御部を含めてユニット化した。この試作機に凍結対策を講じるため、熱交換器を採用した。熱交換器は、加熱機器1台と2台の組み合わせで加熱効率の

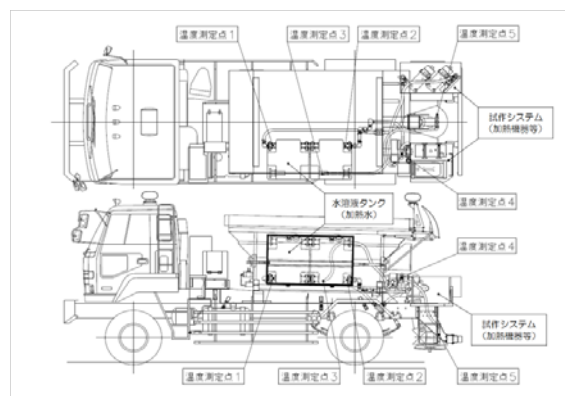
差異が見られなかったことから、循環回路の簡素化を図るため、加熱機器2台に対し、熱交換器1台の組み合わせとした。熱交換器を採用することで加熱効率が10%程度低下するが、30分程度で真水500ℓを40℃以上に加熱することが可能である。

試作機の水循環回路は、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真水を循環させ、熱交換器内で真水を加熱する仕組みとした。熱交換器内で冷却された不凍液は再び加熱機器へ、加熱された真水は水溶液タンクへ循環し、水溶液タンク内の水を予熱する。不凍液を循環させることにより加熱機器の水抜きが不要となり、水溶液タンクから散布円盤までの経路の水抜きのみで待機養生ができる。更に、不凍液の加熱循環時の排熱を利用して、水溶液タンクと熱交換器間の配管系統を保温することで、真水が循環する配管系統を凍結から保護する(図一八)。

加熱水の温度は、散布経路の水温を熱電対で測定し確認した。測定箇所は、主要部である水溶液タンク内、水溶液ポンプ直前、路面に散布される出口部分である散布円盤直前とした。水溶液タンク内は熱対流が起るため水溶液タンク内の底部前方、後方および加熱機器からの循環部の3点の計5点とした(図一九)。気温-5℃程度



図一八 システム系統図



図一九 試作機外観図

の条件で加熱水混合散布した場合、散布開始から15秒程度は、水溶液タンクと散布円盤直前では5～10℃程度の温度低下が確認できた。このことから、局所的に散布する場合は水溶液タンクの加熱水は10℃程度高い温度に保つ必要がある。

以上の検討から、平成24年度は、加熱機器と熱交換器を組み合わせ、凍結対策を講じた車載式システムを試作した。

4.2 散布剤や散布技術の改良による散布技術の検討 (新たな散布剤の導入可能性検討)

我が国では、凍結防止剤として一般的に塩化物を使用しているが、一層の散布コスト削減、環境負荷低減等の観点から、散布剤の改良や散布技術の改良についても検討が必要である。

海外では、凍結防止剤の路面への定着性および散布効果の持続性を向上させるため、湿式剤に、塩化物水溶液よりも粘性の高い糖蜜液を使用している例がある(写真-3)。そこで、糖蜜液の導入可能性を検討するため、苫小牧寒地試験道路において散布試験を行った。なお、試験については4.3.2で述べる。



写真-3 ワシントン州で使用している糖蜜液

4.3 散布技術の効果の試験道路での検証

4.3.1 すべり止め材散布試験

試験方法は、図-10に示すとおり、試験道路の直線区間に散水を行い、日没後の気温の低下を利用して、延長50mの水膜路面を4区間作製した。作製した水膜路面4区間のうち、3区間にはすべり止め材単体(以下、7号砕石)、7号砕石+加熱水(20℃および40℃)、7号砕石+塩化カルシウム水溶液(以下、CaCl₂水溶液)とし、比較用に、散布を行わない区間を設けた。写真-4に、試作機による散布状況を、図-11に、加熱水混合散布後の路面の熱画像を示す。

測定項目は、水膜路面のHFN、気温および路面温度

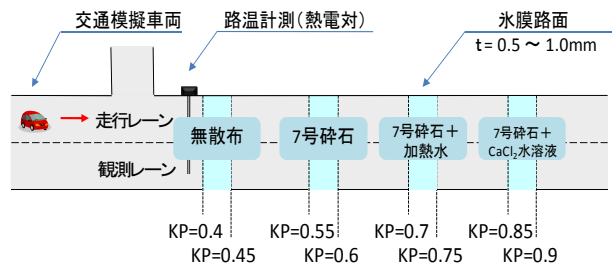


図-10 試験コースレイアウト



写真-4 試作機による散布状況

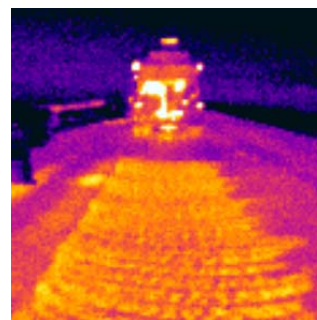


図-11 加熱水混合散布後の路面の熱画像

とした。気温および路面温度はKP=0.4地点において測定した。なお、各種測定は、散布直後、ダミー車50台通過毎に300台通過後まで行った。

散布試験結果について、以下に述べる。

加熱水温度20℃の場合における試験結果を図-12、加熱水温度40℃の場合における試験結果を図-13に示す。加熱水温度が20℃の場合は、散布直後からダミー車300台走行後までのすべり抵抗値の改善が確認できなかった。他方、加熱水温度が40℃の場合においては、ダミー車50台走行後からダミー車300台走行後までHFNの改善が確認できた。本試験条件下では、加熱水温度40℃での高い散布効果とその持続性を確認し、加熱水混合散布手法の有効性を示す結果となった。また、本試験において、乾式散布、湿式散布(湿式剤にCaCl₂水溶液を使用)、加熱水混合散布(湿式剤として加熱水を使用)

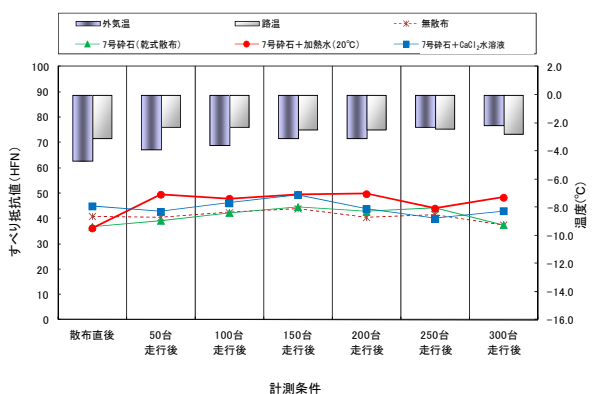


図-1 2 加熱水混合散布試験結果 (加熱水温度 20°C)

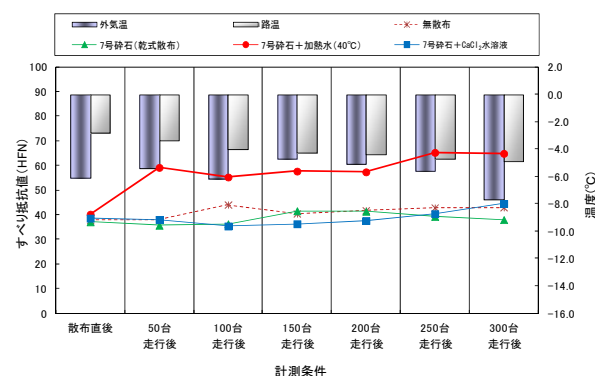


図-1 3 加熱水混合散布試験結果 (加熱水温度 40°C)

を試験対象としたが、湿式剤に CaCl_2 水溶液を使用した場合、乾式散布と散布効果の差は見られない結果となった³⁾。

今回の試験結果は、加熱水温度 40°C での高い散布効果とその持続性を確認し、加熱水混合散布の有効性を確認することができた。このため、40°C の加熱水を得ることを目標に、凍結防止剤散布車の改良について検討を行った。

4.3.2 シュガーソルト散布試験

本研究では、糖蜜液 (シュガーソルト) の導入可能性を検討するため、苫小牧寒地試験道路において氷膜路面 (厚さ 0.8~1.0mm) を作製し、散布試験を行った。

試験薬剤は、固形剤として用いた塩化ナトリウムの散布量 20g/m^2 に、湿式剤として CaCl_2 水溶液またはシュガーソルト (それぞれ固形剤の重量比 10%) を加え、路面温度 -4.7°C ~ -2.1°C の条件において事後散布を実施し、湿式剤の違いによる散布効果について検証した。

試験結果は、塩化ナトリウム+シュガーソルトは、散布直後からダミー車 300 台走行後まで、塩化ナトリウム+ CaCl_2 水溶液と同等のすべり抵抗値 (HFN) を示していることを確認した (図-1 4)。

以上のことから、本試験条件では、シュガーソルトは、

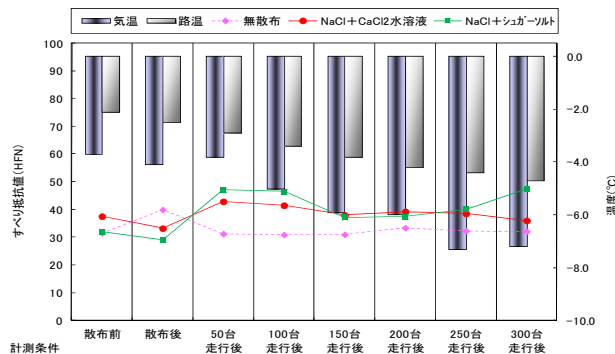


図-1 4 シュガーソルト散布試験結果

従来から使用している塩化物水溶液と同等の効果があることを確認した。今後も他の散布剤や散布技術について調査を行い、様々な気象条件や散布時期の違いによる散布試験を重ね、データの取得を行う。

5. まとめと今後の課題

平成 24 年度は、舗装の種類・特性に応じた凍結防止剤の散布技術を確認し、散布剤、散布技術および散布機械の改良による複合的な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取り組みを行った。以下にその項目および成果を記す。

①舗装種類に合致した効果的・効率的な凍結防止剤の散布技術の提案として、2つの項目について検討を行った。

- ・舗装種類毎の凍結防止剤散布実態及び路面状態の把握
一般国道 230 号における地形区分別および舗装種類毎のすべり抵抗出現傾向を把握した。その結果、地形区分別では、都心部から峠部に向かって標高が高くなるに従い、雪氷路面の出現率が高くなる傾向にあること、密粒度舗装は排水性舗装に比べて、雪氷路面の出現率が高いことが判った。

- ・舗装種類毎の適切な散布技術の開発

恒温室内および苫小牧寒地試験道路で各種試験を行った。

室内試験では、舗装種類毎のすべり摩擦係数や路面露出率、塩分濃度等を測定し、路面凍結発生メカニズムおよび凍結防止剤散布効果の違いを検証した。その結果、排水性舗装は密粒度舗装と比べて、路面露出率とすべり摩擦係数の改善が顕著であった。また、路面上の残塩量は、排水性舗装の方が少なく、減り方が大きい。塩分濃度は高かった。この現象は、排水性舗装の排水機能によるものと考えられる。

苫小牧寒地試験道路における屋外の散布試験では、試験舗装区間に氷膜路面を作製して凍結防止剤散布試験を行い、すべり抵抗値および凍結防止剤の残留塩分濃度を

測定した。その結果、密粒度舗装区間では車両の走行とともにすべり抵抗値が低下したが、粗面系舗装（機能性 SMA および排水性舗装）ではすべり抵抗値の改善を確認した。

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提案として、3つの項目について検討した。

・機械的改良による散布技術の検討

既存の散布機械に改造を加える方法を採用した。加熱機器と熱交換器を組み合わせた車載式システムを設計・試作し、既存の凍結防止剤散布車に搭載して、苫小牧寒地試験道路においてすべり止め材の加熱水混合散布試験を行った。その結果、車載式システムは、良好な稼働であった。

・散布剤や散布技術の改良による散布技術の検討

凍結防止剤として使用している塩化物の散布コスト削減、散布剤の改良や散布技術の改良について検討を行った。散布剤の改良について、海外では凍結防止剤の路面への定着性向上、散布効果の持続性向上のため、湿式剤に塩化物の水溶液より粘性の高い糖蜜液（シュガーソルト）を使用している例があることが判った。そこで、シュガーソルトの導入可能性を検討するため、苫小牧寒地試験道路において、従来の塩化物水溶液を使用した場合と、シュガーソルトを使用した場合の散布効果を比較するすべり計測を行った。その結果、シュガーソルトは塩化物水溶液と同等の効果があることを確認した。

・散布技術の効果の試験道路での検証

車載式システムを搭載した凍結防止剤散布車を用いて、苫小牧寒地試験道路においてすべり止め材の加熱水混合散布試験を行った。作製する加熱水温度を 20℃および 40℃に設定して、それぞれすべり止め材と混合させて散布した。その結果、加熱水温度 20℃では、ダミー車の走行がある場合には散布効果が確認できなかった。他方、加熱水温度 40℃は、ダミー車の走行がある場合でもすべり抵抗値の改善が確認できた。

今後は、舗装種類別の凍結防止剤散布後の拡散状況や効果の持続性、散布時期（事前散布、事後散布）の影響などを確認する予定である。他の散布剤や散布技術についても調査を行い、実用性や効果のあると思われるものについては導入可能性を検討する。また、現道における試験を含め散布効果をj確認する予定である。更に、散布機械のシステム構成、操作性、メンテナンス性等の課題を解決し、道路管理者へ加熱水作製システムを提案する。以上を踏まえて、凍結防止剤やすべり止め材の効果的・

効率的な散布手法を確立する所存である。

参考文献

- 1) 高田哲哉、徳永ロベルト、高橋尚人、2009：冬期交通事故の発生要因に関する基礎的分析、第 25 回寒地技術論文・報告集 vol.25、pp.311-314
- 2) 田中俊輔、2012：凍結路面における路面露出率に着目したすべり抵抗特性に関する研究、北海学園大学学位論文、pp.51-54.
- 3) 切石亮、大日向昭彦、徳永ロベルト、高橋尚人、中村隆一、2011：冬期路面管理における防滑材の定着性向上に関する研究、北海道の雪氷、No.30 (2011)、pp51-54

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

Budgeted: Grants for operating expenses
General account

Research Period: FY2011-2016

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

Authors: ISHIDA Tateki, TAKAHASHI Naoto
TOKUNAGA Roberto, KAWABATA Yuichi, KIRIISHI Makoto, FUJIMOTO Akihiro, KUMAGAI Masayuki, MARUYAMA Kimio, ABE Ryuji, TANAKA synsuke, YANAGISAWA Yuji, SUMITA Noriyuki, NAKAMURA Ryuichi, MIURA Go, ISHIKAWA Masahiro

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