

凍結防止剤の事前散布による散布方法ごとの効果の検討

中村 裕貴, 齊田 光, 奥村 航太, 松島 哲郎, 中村 浩* 1

1. はじめに

北海道など積雪寒冷地では、冬期道路で路面凍結が発生し、路面のすべり摩擦係数（以降、 μ ）が低下すると車両のスリップ事故や旅行速度低下の原因となる¹。路面凍結の発生を防ぎ、安全かつ円滑な道路交通の確保が重要である。積雪寒冷地では、路面凍結対策として凍結防止剤散布が行われている²。日本では、1991年にスパイクタイヤの使用が禁止となり、凍結防止剤の散布量が増加した^{3,4}。凍結防止剤は散布方法、散布量や散布のタイミングなどによって路面のすべりやすさを改善する効果（以降、散布効果）が異なるため、散布効果が高い方法での散布が望まれる。また、昨今の厳しい財政制約の観点から、効率的・効果的な散布方法の検討が必要である。

凍結防止剤の散布効果に関する既往研究⁵の例として、大日向らは凍結防止剤を散布するタイミングの違いによる散布効果の把握などを目的に、凍結防止剤散布試験を実施した。その結果、凍結防止剤の散布は路面凍結後の事後散布よりも路面凍結前の事前散布のほうが、散布効果が優位であることを示した。

道路管理の現場で用いられている凍結防止剤の散布方法の実例として、NEXCO 東日本北海道支社では、4車線区間で湿塩散布、気象条件や路面状態に応じて固形剤散布を実施している⁶。首都高速道路では、道路が平坦な区間は塩水散布、勾配のあるジャンクションや出入口周辺は湿塩散布を実施している。このように、道路区間や地域の特性に応じた方法で凍結防止剤が散布されている。

本研究では、寒地土木研究所が所有する苫小牧寒地試験道路において、複数の方法で凍結防止剤を事前散布したときの散布効果を比較する試験を実施し、散布効果の高い散布方法について検討した。はじめに、連続路面すべり抵抗計測車（Continuous Friction Tester : CFT）で計測された路面のすべり抵抗値（Halliday Friction Number : HFN⁷）から μ を求めた⁸。次に、 μ の推移から散布方法ごとの散布効果を比較し、より効果の高い散布方法を検討した。

2. 試験について

2.1 試験の概要

2023年12月に、苫小牧寒地試験道路で凍結防止剤を事前散布し、散布方法の違いによる散布効果を比較する試

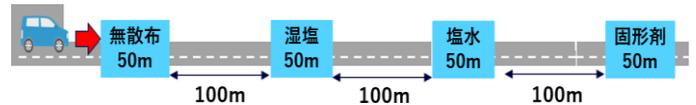


図1 散布区間と散布方法



図2 CFTと散布区間の道路

験を実施した。苫小牧寒地試験道路は全長2.7kmの周回コースで、うち直線区間が1.2km、車線の幅は3.5mである。本試験は、苫小牧寒地試験道路内の密粒度アスファルト舗装区間の、道路線形が直線の区間で実施した。散布効果の高い散布方法を検討するために、3つの方法（湿塩散布・塩水散布・固形剤散布）で凍結防止剤事前散布を実施し、無散布時と μ の推移を比較した（図1）。

凍結防止剤を散布する区間の長さは50mとした。また、次の散布区間までは凍結防止剤のタイヤへの付着による影響を低減させるために、100mの間隔を空けた。HFNを計測するときの連続路面すべり抵抗計測車（以降、CFT）の走行速度は、時速約30kmとした（図2）。

2.2 散布方法と散布量

本研究では、以下に示す3つの散布方法で事前散布し、計測された路面のすべり抵抗値から μ を求めた。散布方法ごとの散布効果の特徴を示す²。

- ・湿塩散布（46.2g/m²）：路面への付着効果があり、路面凍結の抑制に対し即効性・持続性が高く、固形剤が飛散しない効果を期待した散布方法である。
- ・塩水散布（231g/m²）：路面凍結の抑制に対し持続性は低いが、即効性が高い散布方法である。
- ・固形剤散布（15.4g/m²）：路面凍結の抑制に対し即効性は低いが、持続性が高い散布方法である。

散布量は、いずれの散布方法も塩化ナトリウム量が固形剤換算時に同量（15.4g/m²）となるよう設定した。

* 1 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所

表 1 試験手順

手順	内容
1	CFT で試験開始前の路面すべり抵抗値を計測
2	事前散水作業の実施
3	散布前の路面状態を撮影 CFT で散布前の路面すべり抵抗値を計測
4	対象区間に凍結防止剤を散布
5	散布直後の路面状態の撮影 CFT で散布直後の路面すべり抵抗値を計測
6	交通模擬車両を時速 50km で走行させる
7	路面状態の撮影と CFT で路面すべり抵抗値を計測 (50 台走行後)
8	50 台走行後に路面に雪散布を実施
9	手順 6・7 を 300 台走行後まで繰り返す

2.3 試験手順

表 1 に、本研究で実施した試験の手順を示す。はじめに、CFT で試験開始前の HFN を計測した。HFN の計測間隔は 10Hz であり、散布区間 (50m) の約 60 箇所計測された値の平均値から算出した。次に、各対象区間で積雪前の路面湿潤状態を再現するために事前散水作業を行い、散水後の HFN を計測した。その後、凍結防止剤を事前散布し、同様に HFN を計測した。そのほか、路面状態の撮影および HFN の計測を、実際の道路状況を再現するための車両 (以降、交通模擬車両) の走行後 (50 台・100 台・200 台・300 台) に実施した。さらに、本試験では冬期道路上での降雪を再現するために、交通模擬車両の 50 台走行後に雪を散布 (以降、雪散布) した。 μ は CFT で計測された HFN から、Saida et al. の式を用いて換算した⁸⁾。一般的に、凍結や圧雪ですべりやすい路面状態のとき、 μ は 0.3 より小さい値になる²⁾。HFN のほかに計測時刻、路面温度を記録した。

3. 試験結果

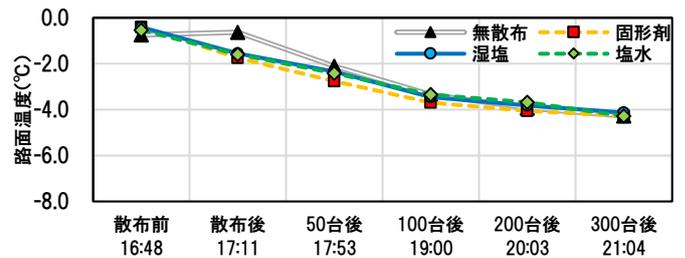
3.1 路面温度と μ の推移と路面状態の変化

図 3 から図 5 は、2023 年 12 月 11 日から 13 日の試験結果である。各図の a) が路面温度の推移、b) が散布方法ごとの μ の推移を示している。三角印の二重線が無散布、丸印の実線が湿塩散布、ひし形印の破線が塩水散布、四角印の破線が固形剤散布を示している。各図の c) は、試験実施日の主な路面状態の画像を示している。

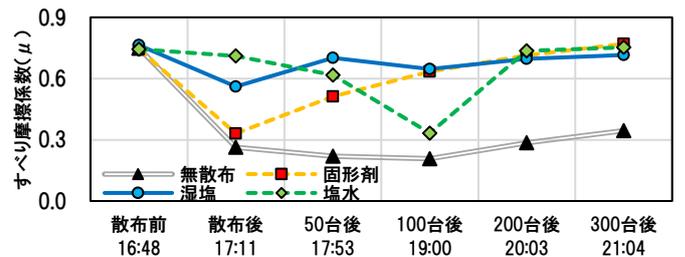
3.2 12 月 11 日の試験結果

図 3 a) によると、路面温度は -0.4°C から -4.3°C で推移した。図 3 b) によると、無散布の μ は散布後から 200 台走

a) 路面温度の推移



b) μ の推移



c) 主な路面の画像

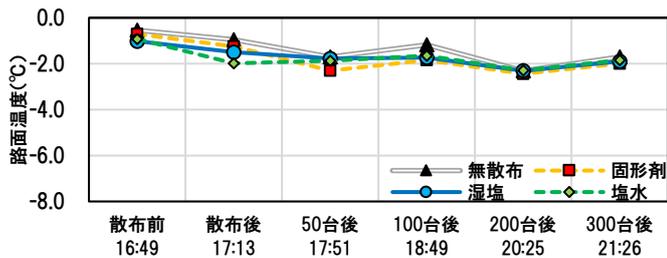


図 3 試験結果と路面の画像 [12 月 11 日]

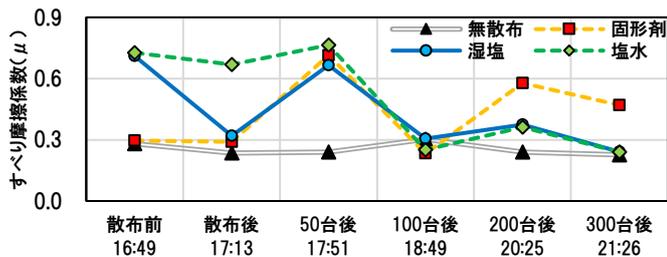
行後まで 0.3 未満、300 台走行後は 0.34 だった。固形剤散布の μ は、散布後は 0.33 まで下降したが、50 台走行後は 0.5 以上で推移した。湿塩散布の μ は、散布後から 300 台走行後まで 0.5 以上で推移した。塩水散布の μ は、散布後から 300 台走行後まで 0.6 以上 (100 台走行後のみ 0.33) で推移した。図 3 c) によると、無散布区間では路面凍結の様子、凍結防止剤の散布区間では、50 台走行後に降雪を再現するための雪散布があり、交通模擬車両の走行によるわだちの発生が画像から確認できる。

これらの結果より、2023 年 12 月 11 日の試験では、50 台走行後までは塩水散布と湿塩散布の効果が高く、雪散布後は固形剤散布と湿塩散布の効果が高い結果となった。雪散布後に塩水散布の μ が低くなった理由として、塩水散

a) 路面温度の推移



b) μ の推移



c) 主な路面の画像



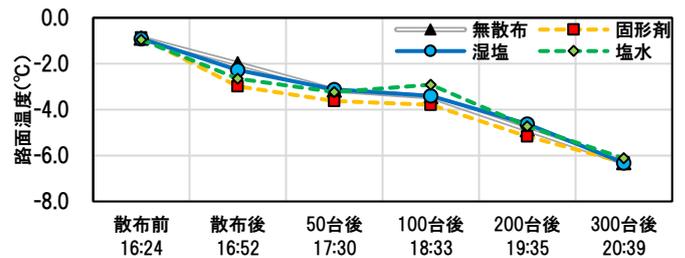
図4 試験結果と路面の画像[12月12日]

布は即効性が高いのに対し持続性が低く、かつ路面温度の低下により凍結した路面において、雪散布により塩水（塩化カルシウム水溶液）の散布効果が薄まった可能性が考えられる。

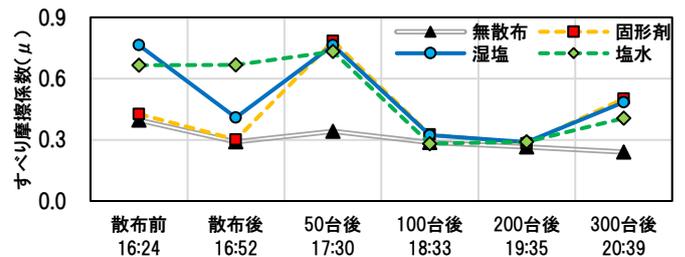
3.3 12月12日の試験結果

図4 a)によると、路面温度は-0.5°Cから-2.5°Cで推移した。図4 b)によると、無散布の μ は散布後から300台走行後まで0.3以下で推移した。固形剤散布の μ は、散布後は0.29だったが、50台走行後は0.71に上昇した。100台走行後に0.23へ再度低下したが、その後は0.5前後で推移した。湿塩散布の μ は、散布後から200台走行後まで0.3以上で推移した。塩水散布の μ は、散布後から50台走行

a) 路面温度の推移



b) μ の推移



c) 主な路面の画像



図5 試験結果と路面の画像[12月13日]

後まで0.6以上で推移したのに対し、100台走行後以降は0.24から0.36に分布した。図4 c)によると、いずれの区間でも雪散布による降雪の様子が画像から確認できる。12月11日と比べて散布区間により散布前の μ が異なるのは、事前散水後の路面凍結が進む度合いに差が生じたためと考えられる。

これらの結果より、2023年12月12日の試験では、50台走行後までは塩水散布、固形剤散布、湿塩散布の順に効果が高い結果となり、雪散布から100台走行後はいずれの区間も μ は低下した。200台走行後以降は、固形剤散布が最も高い効果を得た。固形剤散布は散布効果の持続性が高い傾向にあり、雪散布の影響で一時的に μ が低下した後も、その効果が持続した可能性が考えられる。

3.4 12月13日の試験結果

図5 a)によると、路面温度は -0.9°C から -6.3°C で推移した。図5 b)によると、無散布の μ は散布後から300台走行後まで0.24から0.39に分布した。固形剤散布の μ は、散布後は0.30だが50台走行後は0.78に上昇した。100台走行後に0.32へ再度低下したが、300台走行後には0.50となった。湿塩散布の μ は、散布後から300台走行後まで0.3以上(200台走行後のみ0.28)で推移した。塩水散布の μ は、散布後から50台走行後まで0.7前後、100台・200台走行後に0.3未満、300台走行後は0.40で推移した。12月12日と同様に、散布区間により散布前の μ が異なるのは、路面の凍結度合いに差が生じたためと考えられる。12月13日は他の試験日と比べて路面温度が低いものの、図5 c)によると、いずれの区間でも雪散布によるシャーベット状の路面状態であることが画像から確認できる。

これらの結果より、2023年12月13日の試験では、50台走行後までは塩水散布、湿塩散布、固形剤散布の順に効果が高い結果となった。雪散布後は散布方法ごとの差異はほとんど見られなかったが、固形剤散布と湿塩散布が塩水散布よりわずかに効果の高い結果となった。理由として、雪散布以降の路面温度は -3°C を下回っており、厳しい寒さの影響で路面凍結が進み、散布効果が持続しなかった可能性が考えられる。300台走行後に μ が上昇しているのは、交通模擬車両の走行に伴うタイヤの摩擦の影響で、路面の乾燥が進んだためと考える。

4. まとめ

本研究では、苫小牧寒地試験道路内の直線区間において、凍結防止剤を事前散布し、路面凍結後の路面のすべりやすさに対する散布効果の調査・比較のための試験を実施した。具体的には、連続路面すべり抵抗計測車(CFT)で計測された路面のすべり抵抗値(HFN)を路面のすべり摩擦係数(μ)に換算し、散布方法ごとの μ の推移を比較することで、より効果の高い散布方法について調査した。その結果、本試験で実施した範囲において、凍結防止剤事前散布について得られた知見を以下に記す。

2023年12月11日の試験結果より、50台走行後までは塩水散布と湿塩散布の効果が高く、雪散布後は固形剤散布と湿塩散布の効果が高い結果を得た。雪散布後に塩水散布の μ が低くなった理由として、塩水散布は即効性が高いのに対し持続性が低く、路面温度の低下により凍結路面において、雪散布により塩水散布の路面上に降雪がある状態となり、散布効果が薄まった可能性が考えられる。

2023年12月12日の試験結果より、50台走行後までは塩水散布、固形剤散布、湿塩散布の順に効果が高い結果とな

ったが、雪散布から100台走行後はいずれの区間も μ は低下した。200台走行後以降は、固形剤散布が最も高い効果を得た。固形剤散布は散布効果の持続性が高い傾向にあり、雪散布の影響で一時的に μ が低下した後も、その効果が他の散布方法より持続したと考えられる。

2023年12月13日の試験結果より、50台走行後までは塩水散布、湿塩散布、固形剤散布の順に効果が高い結果となった。雪散布後は散布方法ごとの差異はほとんどなかったが、固形剤散布と湿塩散布が塩水散布よりわずかに効果が高い結果を得た。理由として、雪散布以降の路面温度は -3°C 以下であり、他の試験実施日より路面温度が低く、路面凍結により散布効果が持続しなかった可能性が考えられる。300台走行後に μ が上昇しているのは、交通模擬車両の走行に伴うタイヤの摩擦の影響で、路面の乾燥が進んだためと考える。

このように、本研究で実施した試験内でも、路面温度や路面凍結の程度は試験実施日によって異なるものの、3日間とも50台走行後までは塩水散布、雪散布後は固形剤散布が散布効果の高い傾向を示した。また、本試験で散水により作製した凍結路面は平坦であり、実際の冬期道路上で発生する路面凍結とは異なる可能性が考えられる。今後、実際の道路走行環境に近い凍結路面でも、より高い散布効果を得られる散布方法について検討を重ねたい。

参考文献

- 1) 高木秀貴：北海道における雪氷路面と交通事故，雪氷，57巻4号，pp. 371-378, 1995.
- 2) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案），1997.
- 3) （社）雪センター：冬期路面対策事例集，pp. 159-206, 1997.
- 4) （社）土木学会舗装工学委員会：舗装工学ライブラリー6，積雪寒冷地の舗装，pp. 156-207, 2011.
- 5) 大日向昭彦，高田哲哉，徳永ロベルト：凍結防止剤の散布手法に関する基礎的研究，第54回北海道開発技術研究発表会，2011.
- 6) 大廣智則，高倉清，桜庭拓也，花塚泰史，萩原亨：自動路面判別状態システムを活用したスマート凍結防止剤散布システムの開発，交通工学論文集，第5巻，第4号（特集号B），pp. B_7-B_15, 2019.
- 7) 舟橋誠，徳永ロベルト，浅野基樹：連続路面すべり抵抗値測定装置(RT3)の導入について，寒地土木研究所月報，No. 651，pp. 40-46, 2007.
- 8) Saida, A., Okumura, K., Ohiro, T., Matsumoto, K., Murakami, K. and Konishi, K.: Road friction coefficient estimation system using road surface images and a convolutional neural network, Proceedings of the XXVIIth World Road Congress, 2023.