

粗面系舗装の凍結抑制効果を考慮した凍結防止剤散布手法に関する研究

Study on Salt Spreading Method Considering the Anti-Freezing Effect of Open Textured Surface Pavement

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○正 員 田中俊輔 (Shunsuke Tanaka)
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 正 員 安倍隆二 (Ryuji Abe)
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 正 員 高橋尚人 (Naoto Takahashi)
 北海学園大学工学部 正 員 武市 靖 (Kiyoshi Takeichi)
 北海学園大学大学院 学生員 田湯文将 (Fumimasa Tayu)

1. はじめに

積雪寒冷地では、安全かつ円滑な冬期道路交通を確保する上で重要な対策として、凍結防止剤の散布を主とした凍結路面対策を実施している¹⁾。しかし、昨今の厳しい財政事情の中、冬期路面管理についても一層の効率化が必要とされている。

我が国において、凍結防止剤の散布による路面管理は、1991（平成3）年にスパイクタイヤの使用が禁止されて以降、散布量が急増した^{2), 3)}。また、排水性舗装や機能性 SMA などの粗面系舗装も、すべり抵抗の改善を期待して施工されている²⁾。それら各々の効果は、室内および屋外試験、実道調査などで確認されている^{4), 5)}が、複合させた効果について検討した例は少なく、凍結防止剤による管理基準も定性的評価に基づいて行われている例が多く見られる¹⁾。

そのような現状を踏まえて、筆者らは、舗装の種類・特性に応じた凍結防止剤の散布方法の確立を目指して研究を進めている。

本研究は、写真-1 に示した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）⁶⁾を用いて、路面凍結抑制効果を定量的に評価するための散水試験、および凍結路面（氷膜・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、粗面系舗装の凍結防止剤散布効果について検討した。

2. 試験舗装

本研究では、一般的な密粒度舗装（以下、密粒度）および舗装表面のテクスチャにより路面のすべり抵抗の向上が期待される排水性舗装（空隙率17%・以下、排水性）、機能性 SMA を用いた。

排水性舗装は、図-1 に示したように、表層部の多孔質なアスファルト混合物により粗いテクスチャと透水機能を持つ舗装である⁵⁾。機能性 SMA は、図-2 に示したように、排水性舗装のテクスチャと耐久性に優れた碎石マスの長所を併せ持つ舗装である⁵⁾。

表-1 に、本研究で用いた試験舗装の基本性状を示した。計測はそれぞれ室内走行試験装置と CT メータ⁷⁾を用いて行い、すべり摩擦係数は3回の測定結果の平均値、MPD（平均きめ深さ）は4カ所の測定結果の平均値を示している。

3. 散水試験

本試験では、各種舗装の路面凍結抑制効果を定量的に評価するため、舗装面に散水をした後、繰返し走行試験および制動試験を行った。路面露出率およびすべり摩擦係数を測定することで定量的に評価し、舗装の種類や散水量、走行回数、温度条件などとの関係を確認した。

路面露出率の算出式を式（1）に示した。



写真-1 室内凍結路面走行試験装置

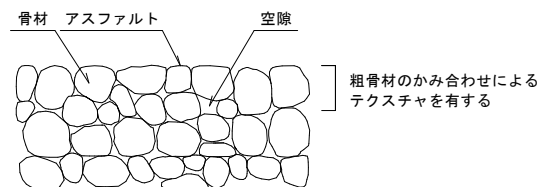
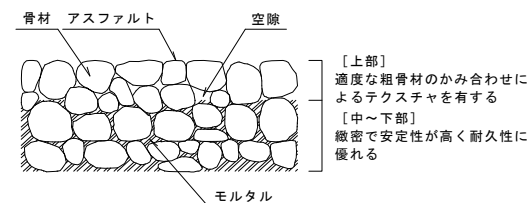
図-1 排水性舗装の断面図⁵⁾図-2 機能性 SMA の断面図⁵⁾

表-1 試験舗装の基本性状

		密粒度	排水性	機能性 SMA
すべり 摩擦係数 (μ)	乾燥 路面	0.78	0.77	0.76
	湿潤 路面	0.75	0.57	0.62
路面テクスチャ (MPD)		0.68mm	2.07mm	1.75mm

$$\text{路面露出率 (\%)} = \frac{\text{路面露出面積}}{\text{解析画像全体面積}} \quad (1)$$

氷板は薄く透明なため、透明なラミネートシートと油性のホワイトマーカーを用いて算出を可能にした⁹⁾。

本試験では、凍結路面において試験を行うが、氷膜・

すべり摩擦係数の算出に必要なタイヤトルクは、測定区間であるレーン中央4mの平均値を用いている。

表-2 散水試験の条件

試験舗装	密粒度, 排水性, 機能性 SMA		
試験温度	-3℃	-5℃	-8℃
	室内温度と路面温度がほぼ同値で安定している状態で試験開始		
1回の散水量	0.5 l/m ²		
繰返し走行回数	0回 (30分養生), 300回		
試験回数 (散水, 繰返し走行試験, 制動試験)	5回		
走行速度	繰返し走行試験 5 km/h		制動試験 10 km/h
走行輪荷重	5 kN (接地圧 0.196 MPa 程度)		

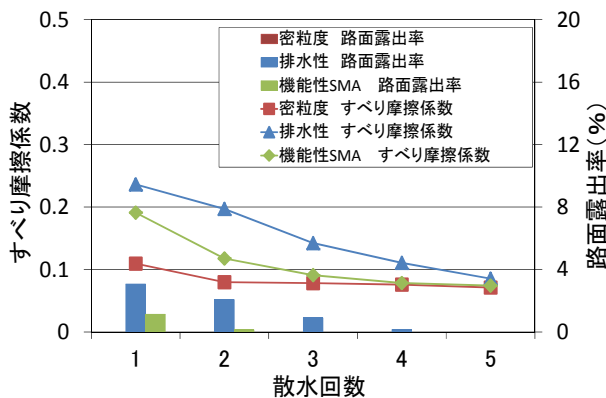


図-3 温度-3℃・300回走行時の結果

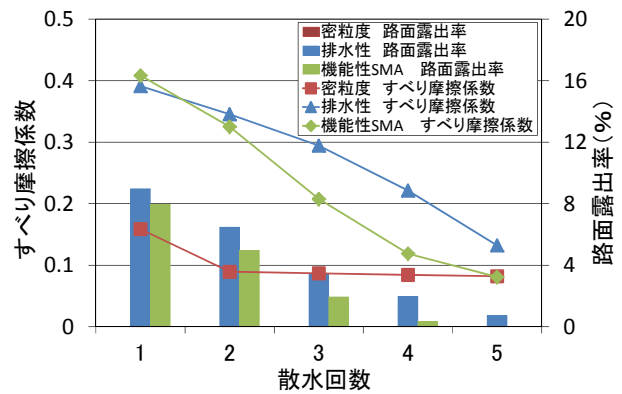


図-4 温度-3℃・走行なし時の結果

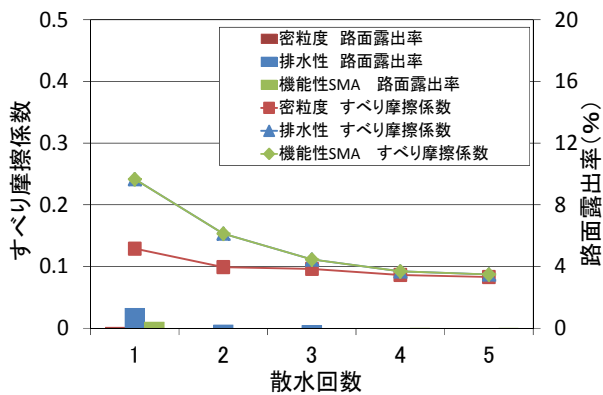


図-5 温度-5℃・300回走行時の結果

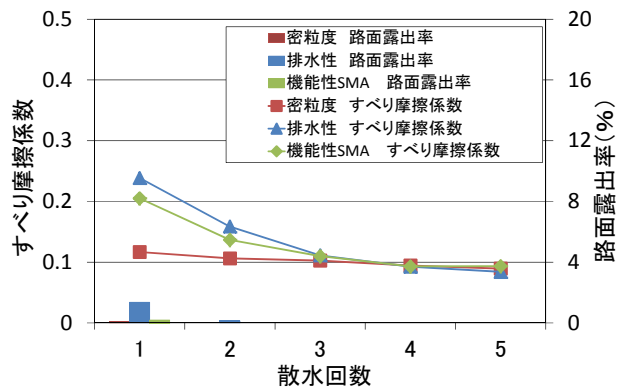


図-6 温度-5℃・走行なし時の結果

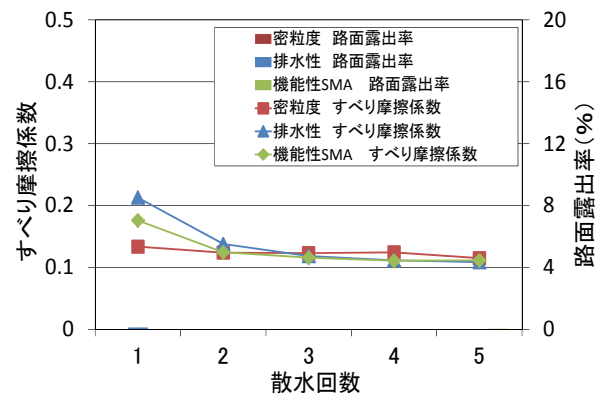


図-7 温度-8℃・300回走行時の結果

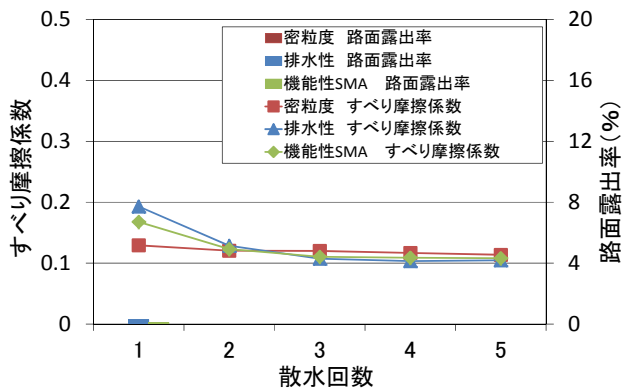


図-8 温度-8℃・走行なし時の結果

3.1 試験条件

表-2 に、試験条件を示した。試験温度は -3°C 、 -5°C 、 -8°C と設定し、試験開始時に室内温度と路面温度がほぼ同値で安定するまで養生して試験を行った。

1 回の散水量は 0.5l/m^2 とし、散水後に 300 回繰返し走行、もしくは 30 分間養生（繰返し走行 0 回）を行った後に制動試験を行い、さらに散水という行程を 5 回繰返し行った。なお、この試験は 3 回繰返し行った。

3.2 試験結果と考察

図-3 から図-8 に、試験結果を示した。粗面系舗装は、散水回数の増加とともに、すべり摩擦係数および路面露出率の低下が確認された。しかし、密粒度はすべり摩擦係数が 0.1 程度で、路面の露出もほぼ見られなかった。

機能性 SMA と排水性を比較すると、排水性の方が、すべり摩擦係数および路面露出率ともに高くなる傾向が見られた。本試験で用いた排水性は、現場透水試験⁹⁾の結果で $1300\text{ml}/15\text{s}$ 程度の透水機能が確保されており（常温時）、機能性 SMA に比べて、路面に残留する水分量が少なくと予測されることから、この影響が試験結果に現れたと考えられる。このように、粗面系舗装は、密粒度に比べて路面凍結の発生を抑制・遅延する効果が期待されるが、その効果は舗装の種類によって変化するため、両者の関係を明確にする必要があると考えられる。

温度条件の差に着目すると、初期のすべり摩擦係数および路面露出率や、粗面系舗装のすべり摩擦係数が密粒度とほぼ同値（0.1 程度）に収束するまでの散水回数に差が見られた。路面凍結の抑制には、粗面系舗装の路面排水機能や路面凸部の露出が寄与するが、温度低下に伴い、路面上の水分が凍結するまでの所要時間が短縮されて粗面系舗装の凍結抑制機能を上回ったと考えられる。

走行回数の違いに着目すると、粗面系舗装は繰返し走行なし（30 分養生）の方が、路面露出率、すべり摩擦係数ともに高くなる傾向が確認された。繰返し走行をさせた路面は、タイヤに付着している水が走行の度に供給されることにより、凸部表面にも氷膜ができて、すべり摩擦係数や路面露出率が低下したと考えられる。一方、繰返し走行なしの方は、路面凸部に水分が供給されることはないで、繰返し走行させた路面の試験結果に差が現れたと考えられる。

表-3 凍結防止剤散布試験の条件

試験舗装		密粒度，排水性，機能性 SMA
試験温度		−5℃
路面状態		凍結路面 散水量：2.0l/m ²
凍結防止剤		塩化ナトリウム 20g/m ² 湿式散布
試験項目	路面露出率	50， 100， 300， 500 回走行で測定
	すべり摩擦係数	500 回走行後に測定（制動試験）
	氷膜厚	50， 100， 300， 500 回走行で測定
走行速度		繰返し走行試験 5 km/h 制動試験 10 km/h
走行輪荷重		5 kN（接地圧 0.196 MPa 程度）

4. 凍結防止剤散布試験

本試験は、舗装種別の凍結防止剤散布による効果を明らかにするために、人為的に作製した凍結路面上に凍結防止剤を散布して走行試験を行い、すべり摩擦係数や路面露出率、氷膜厚などから定量的に評価した。

なお、本試験は事後散布による路面管理を想定した条件設定である。

4.1 試験条件

表-3 に試験条件を示した。試験温度は -5°C とし、路面に 2.0l/m^2 散水して氷板を作製した。凍結防止剤は塩化ナトリウムを使用し、散布量は 20g/m^2 で湿式散布（塩化ナトリウム+塩化ナトリウム水溶液、質量比 9:1）とした。繰返し走行は 500 回まで行った。

4.2 試験結果と考察

図-9 に各走行回数の路面露出率、図-10 に 500 回繰返し走行後のすべり摩擦係数と路面露出率の測定結果を示した。すべての舗装で、走行回数の増加とともに路面露出率の上昇が確認されている。舗装種類別に比較すると、密粒度が最も高い路面露出率となっており、排水性が最も低い値となっている。しかし、すべり摩擦係数は排水性が最も高く、密粒度は最も低い値となり、路面露出率と全く逆の結果となった。これは、繰返し走行回数の増加とともに氷板が消耗し、粗面系舗装が持つ路面の粗いテクスチャによる効果が現れたと考えられる。ただし、この現象を路面露出率では表現できていない可能性が考えられ、路面状況をより詳細に確認するために、簡易式の膜厚計を用いて、路面の氷膜厚を確認した。

図-11 に各走行回数の氷膜厚を示した。示した値は、

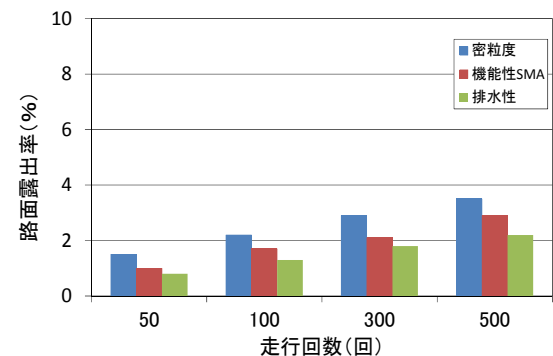


図-9 各走行回数の路面露出率

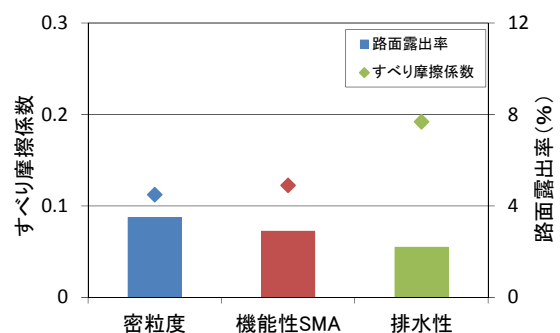


図-10 500 回走行後の路面露出率とすべり摩擦係数

任意に決定した4箇所（粗面系舗装は路面凸部）の測定結果の平均値であり、一度決定した測定箇所は固定した。

排水性や機能性 SMA は、密粒度に比べて氷膜厚の初期値が非常に小さくなっている。走行回数の増加に伴う氷膜厚の減少度合いは各舗装で大きな差は見られない。しかし、初期値の差から排水性の氷膜厚は密粒度の 1/2 程度となっており、散水試験でも確認された透水機能により路面に残留する水分量が少なく、すべり抵抗の向上も早期に期待できる結果となった。これらの結果からも、各舗装の特性を把握することによって、より効率的な凍結防止剤による路面管理が可能になると考えられる。

なお、本試験では路面露出率が 4%未満と低い値を示し、凍結防止剤散布による路面性状の変化を十分に再現できていないと考えられる。走行車両が路面上の雪氷を乱すことによる影響が報告されていること^{9), 10)}、また、散水試験で試験温度が粗面系舗装の凍結抑制効果の発現に影響していることが確認されたので、引き続き、繰返し走行回数と試験温度を変化させて試験を行い、粗面系舗装の凍結抑制効果や凍結防止剤散布による路面性状の変化を明確にする必要がある。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示した。

散水試験：

- 1) 排水性と機能性 SMA は、路面凍結の発生を抑制・遅延する効果が期待される。
- 2) 機能性 SMA と排水性を比較すると、排水性の方が、すべり摩擦係数および路面露出率ともに高くなる傾向が見られた。これは、舗装の透水機能の差が影響したと考えられる。
- 3) 各温度条件の試験結果に着目すると、路面凍結の抑制には、粗面系舗装の路面水の排水や路面凸部の露出が寄与しているが、温度条件の影響を大きく受けることが確認された。
- 4) 各走行回数の試験結果を比較すると、粗面系舗装は繰返し走行なし（30 分養生）の方が、路面露出率、すべり摩擦係数ともに高くなる傾向が確認された。これは、繰返し走行によるタイヤからの水の供給が一因と考えられるが、引き続き、検討する必要がある。

凍結防止剤散布試験：

- 5) すべり摩擦係数は排水性が最も高い値となった。これは、繰返し走行回数の増加とともに氷板が消耗し、粗面系舗装が持つ路面の粗いテクスチャによる効果が現れたものと考えられる。
- 6) 排水性や機能性 SMA は、密粒度に比べて氷膜厚の初期値が非常に小さくなった。走行回数の増加に伴う氷膜厚の減少度合いは各舗装で大きな差は見られないが、初期値の差から、排水性の氷膜厚は密粒度の 1/2 程度となっており、散水試験でも確認された透水機能により、すべり抵抗の向上も早期に期待できる結果となった。

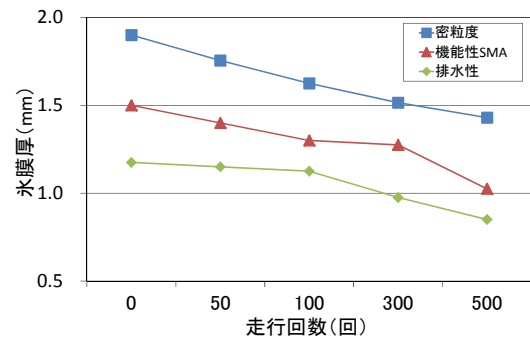


図-11 各走行回数の氷膜厚

なお、上記 5)および 6)は試験温度-5℃、繰返し走行 500 回で行った試験に基づくものであり、今後、繰返し走行回数と試験温度を変化させて試験を行い、さらに検証する必要がある。

6. おわりに

本研究は、室内試験で各舗装の性状や凍結防止剤の効果を評価した。凍結防止剤散布の判断基準が定性的な現状において、舗装の凍結抑制効果や、凍結防止剤の効果を定量的評価することは大きな意義があると考えられる。

今後、室内試験を進めるとともに、屋外試験や実地調査も行う予定であり、凍結防止剤散布による効率的な冬期路面管理手法の確立を目指して研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案），1997。
- 2) （社）雪センター：冬期路面对策事例集，pp.159-206，1997。
- 3) （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，丸善，2011。
- 4) 川端優一，高田哲哉，徳永ロベルト：凍結防止剤散布の効果に関する試験研究，第 55 回北海道開発技術研究発表会，2012。
- 5) 千葉学，田高淳，安倍隆二：開粒度舗装の雪氷路面におけるすべり抵抗に関する一検討，第 22 回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集，Vol.22，pp.209-213，2006。
- 6) 田中俊輔，武市靖，増山幸衛，高橋尚人：凍結路面のすべり抵抗特性および凍結抑制効果の定量的評価方法に関する研究，土木学会論文集，Vol.67/E1，pp.53-64，2011。
- 7) （社）日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，第 1 分冊，丸善，pp.104-116，2007。
- 8) （社）日本道路協会：舗装性能評価法—必須および主要な性能指標の評価方法編—，pp.47-53，丸善，2006。
- 9) 前野紀一，福田正己：雪氷の構造と物性，pp.152-153，古今書院，1986。
- 10) 木下誠一，秋田谷英次，田沼邦雄：道路上の雪氷調査Ⅱ，低温科学 物理編，第 28 集，北海道大学低温科学研究所，1971。