

粗面系舗装の凍結抑制効果を踏まえた冬期路面管理の効率化に関する基礎的研究

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○田中 俊輔
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 高橋 尚人
北海学園大学 工学部 武市 靖

積雪寒冷地では、凍結防止剤を用いた冬期路面管理が行われている。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。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が、複合させた効果について検討した例は少ない。

本研究は、舗装の種類に応じた凍結防止剤の適正散布技術の開発を目的として、路面凍結抑制効果を定量的に評価するための散水試験、および凍結路面作製後に凍結防止剤散布試験を行い、すべり摩擦係数や路面露出率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。

キーワード：冬期路面管理，粗面系舗装，凍結防止剤，凍結抑制効果

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对策を実施している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⁾。



写真-1 室内凍結路面走行試験装置

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⁷⁾。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キックの長所を併せ持つ舗装である⁷⁾。

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、舗装面に散水をして凍結路面を作製した後、繰返し走行試験および制動試験を行うことで、路面露出率およびすべり摩擦係数を定量的に測定した。

舗装の種類や散水量，走行回数，温度条件などと路面露出率およびすべり摩擦係数の関係を整理した。

路面露出率の算出式を式(1)に示した。

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

本試験では、凍結路面において試験を行うが、氷膜・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⁾。

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部 4m 間の平均値を用いている。

(1) 試験条件

表-2に、試験条件を示した。試験温度は-3℃，-5℃，-8℃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。

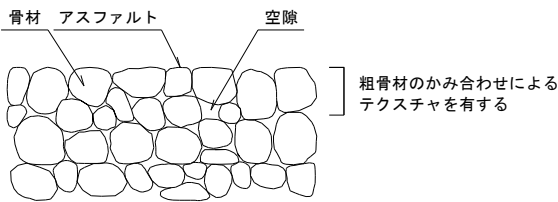


図-1 排水性舗装の断面図⁹⁾

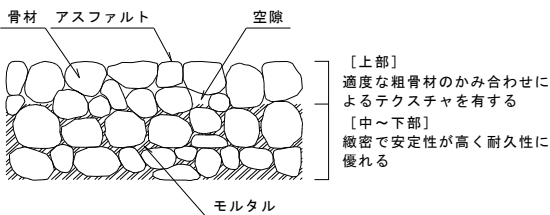


図-2 機能性SMAの断面図⁹⁾

1回の散水量は0.5l/m²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，この試験は同一条件で3回繰返し行った。

(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，密粒度は散水1回目からすべり摩擦係数が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⁸⁾の結果で1300ml/15s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。

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

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℃
1回の散水量	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		
繰返し走行回数	0.5 l/m ²		
試験回数（散水，繰返し走行試験，制動試験）	0回（30分養生），300回		
走行速度	5回		
走行輪荷重	繰返し走行試験 5 km/h 制動試験 10 km/h		
	5 kN（接地圧 0.196 MPa 程度）		

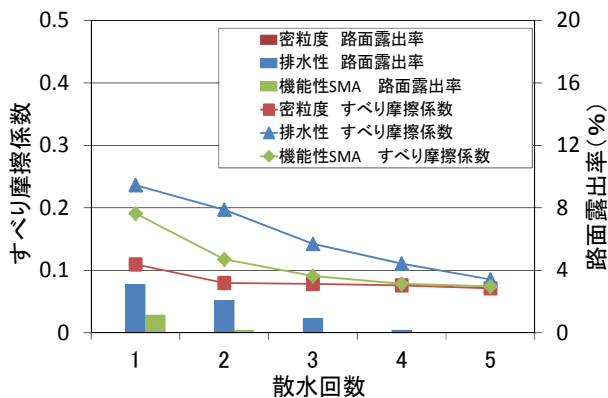


図-3 温度-3°C・300回走行時の試験結果

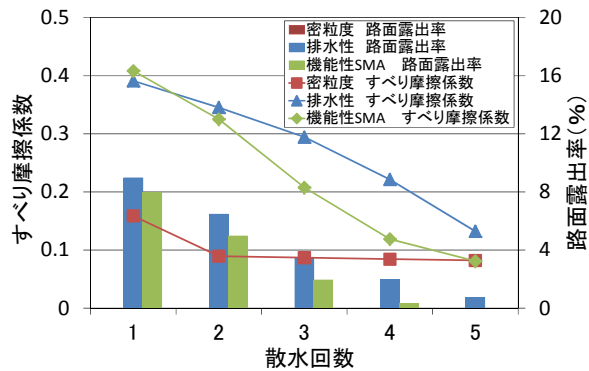


図-4 温度-3°C・走行なしの時の試験結果

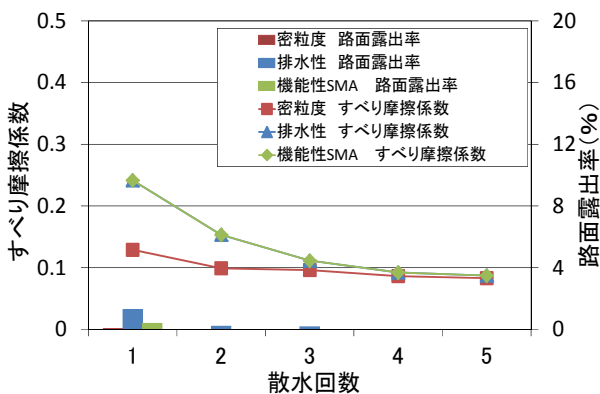


図-5 温度-5°C・300回走行時の試験結果

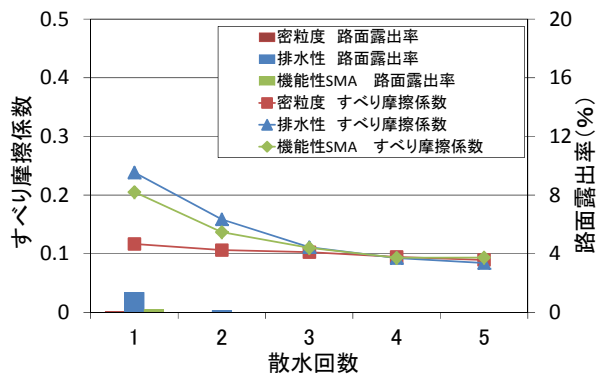


図-6 温度-5°C・走行なしの時の試験結果

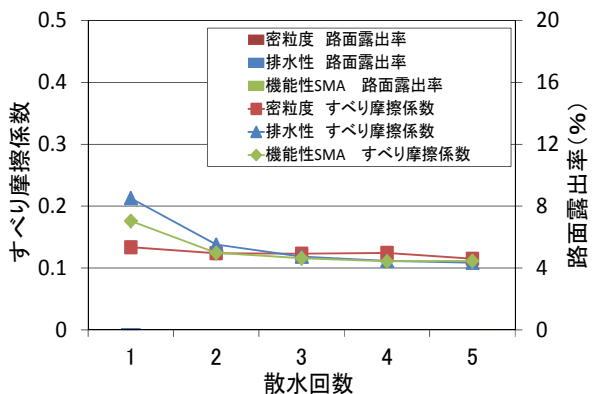


図-7 温度-8°C・300回走行時の試験結果

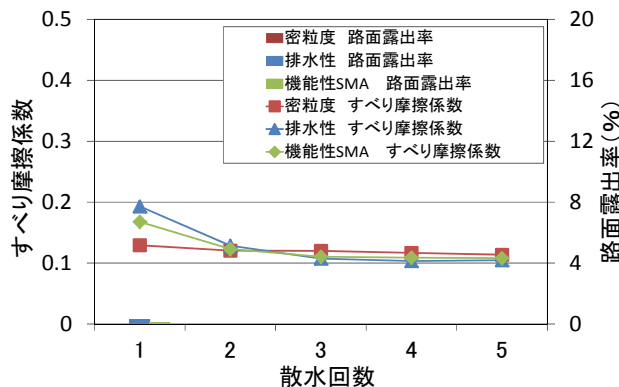


図-8 温度-8°C・走行なしの時の試験結果

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ので、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。

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、人為的に凍結路面を作製した後、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。

(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/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使用し、散布量は20g/m²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2000回まで行った。

表-3 凍結防止剤散布試験の試験条件

試験舗装	密粒度, 排水性, 機能性 SMA	
試験温度	-5°C	
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	100, 300, 500, 1000, 1500, 2000回走行で測定
	すべり摩擦係数	500, 2000回走行後に測定 (制動試験)
	氷膜厚	100, 300, 500, 1000, 1500, 2000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)	



写真-2 簡易式デジタル膜厚計

(2) 試験結果と考察

図-9に各走行回数の路面露出率を、図-10にすべり摩擦係数の実測値（500回および2000回走行時のみ）と予測値を示した。

すべり摩擦係数の予測値は、既存の研究⁹⁾で得られているすべり摩擦係数と路面露出率の関係を表す回帰式を用いて、路面露出率の測定結果から算出した。

路面露出率は、各舗装で走行回数の増加に伴って増加している。走行初期は密粒度の方が粗面系舗装よりも高い路面露出率となっているが、走行回数が増加すると粗面系舗装の方が高い値となった。しかし、すべり摩擦係数に着目すると、密粒度は走行回数の増加に伴う値の上昇が見られず、0.1程度の非常にすべりやすい路面状態が続いているのに対し、粗面系舗装は走行回数500回以降にすべり摩擦係数が大きく上昇しており、走行回数2000回では排水性で約0.3、機能性SMAで約0.2と路面状態の改善が確認された。

次に、図-11に各走行回数の氷膜厚の測定結果を示す。

氷膜厚の測定は、写真-2に示した簡易式の膜厚計を用いた。測定値は、任意に決定した4箇所（粗面系舗装は路面の凸部）の測定結果を平均した値であり、一度決定した測定箇所は固定している。

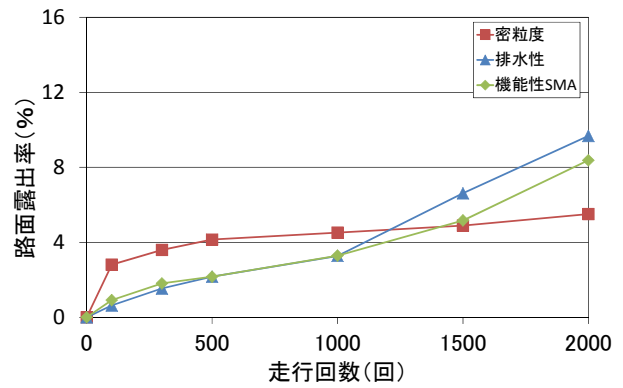


図-9 各走行回数の路面露出率

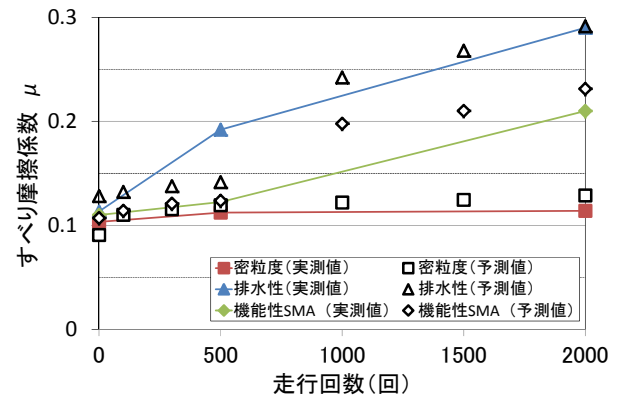


図-10 すべり摩擦係数の実測値と予測値

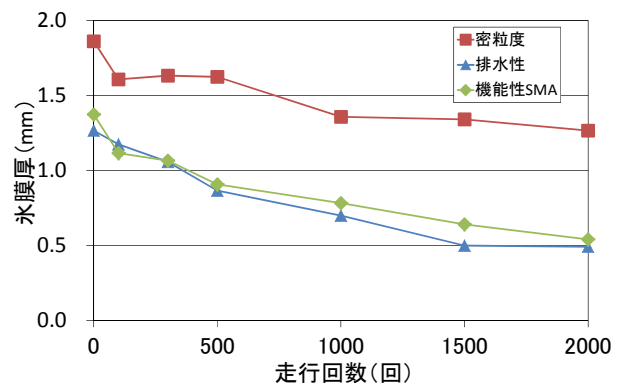


図-11 走行回数と氷膜厚の推移

粗面系舗装は密粒度に比べて、繰返し走行前で0.5mm程度、2000回走行後で0.8mm程度、氷膜が薄くなっており、路面の粗いテクスチャによる効果が期待できるまで路面状態が回復していることが明確になった。凍結防止剤散布後の氷膜厚さの変化は、凍結防止剤の散布と繰返し走行回数の増加に伴う氷板の消耗によって生じる。粗面系舗装の氷膜厚さの変化が密粒度より大きいのは、凍結防止剤散布と消耗の効果が粗面系舗装の方が大きいからである¹⁰⁾。これは、粗面系舗装の粗いテクスチャが関係していると考えられるが、密粒度と粗面系舗装に形成される氷膜厚さと凍結防止剤散布と消耗による氷膜厚さの変化の差によってすべり摩擦係数の変化に差が生じたと考えられる。

さらに、機能性SMAと排水性を比較すると、路面露出率、すべり摩擦係数ともに、排水性の方が高い値となっている。これも、散水試験でも確認された透水機能の差から、路面に残留する水分量の違いが結果として現れたものと考えられる。

これらの結果より、舗装の種類を考慮することで、凍結防止剤散布量や散布回数の低減など、より効率的な路面管理を行うことのできる可能性が示唆された。

5. まとめ

本研究で得られた結果・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) 密粒度は走行回数の増加に伴うすべり摩擦係数の上昇が見られず、0.1程度の非常にすべりやすい路面状態が続いているのに対し、粗面系舗装は走行回数500回以降にすべり摩擦係数が大きく上昇した。
- 6) 粗面系舗装は密粒度に比べて、繰返し走行前で0.5mm程度、2000回走行後で0.8mm程度、氷膜が薄くなっており、路面の粗いテクスチャによる効果が期待できるまで路面状態が回復していることが明確になった。これは、粗面系舗装の粗いテクスチャが関係していると考えられるが、密粒度と粗面系舗装に形成される氷膜厚さと凍結防止剤散布と消耗による氷膜厚さの変化の差によってすべり摩擦係数の変化に差が生じたと考えられる。
- 7) 機能性SMAと排水性を比較すると、路面露出率、すべり摩擦係数ともに、排水性の方が高い値となっている。これも、散水試験でも確認された透水機能の差から、路面に残留する水分量の違いが結果として現れたものと考えられる。

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：冬期路面対策事例集，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.156-207，2011.
- 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，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.47-53，2006.
- 9) 田中俊輔：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.30-46，2012.
- 10) 田中俊輔：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.51-54，2012.