

氷結路面における粗面系舗装の凍結抑制効果に関する研究

Study on the anti-freezing effects of open-graded pavements on freezing roads

北海学園大学大学院 ○学生員 田中俊輔 (Shunsuke Tanaka)
 北海学園大学工学部 非会員 岡田 康 (Yasushi Okada)
 北海学園大学工学部 正会員 武市 靖 (Kiyoshi Takeichi)
 世紀東急工業株式会社 正会員 吉野敏弘 (Toshihiro Yoshino)

1. はじめに

積雪寒冷地においては、冬期路面管理手法の一つとして、粗いテクスチャの粗面効果による路面のすべり抵抗の向上を期待して、排水性舗装や機能性 SMA が多く施工されている。しかし、厚い氷板や強固な圧雪路面ができると、密粒度舗装に比べて雪氷が剥離しにくくなるなどの課題も報告されている^{1),2)}。

そこで本研究では、様々な路面状態において路面テクスチャがすべり抵抗の向上に与える影響の変化や特性を明らかにするために、一般的な密粒度舗装、排水性舗装、機能性 SMA、およびそれらを母体とした物理系凍結抑制舗装を用いて、平均プロファイル深さ (Mean Profile Depth: 以下, MPD)³⁾の測定による路面テクスチャ解析と、MPD 算出の際に用いたプロファイルデータに基づき、フーリエ変換によるパワースペクトルに注目したスペクトル解析を行った。

また、写真-1 に示した室内凍結路面走行試験装置を用いて、各路面で制動試験を行い、その結果を路面テクスチャの解析結果と比較検討した。

2. 試験路面

本研究では、密粒度舗装、排水性舗装、機能性 SMA、およびそれらを母体舗装とした凍結抑制舗装を試験路面として用いた。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。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砕石マスチックの長所を併せ持つ舗装である。また凍結抑制舗装は、母体舗装にグルーピングを施し、そこに廃スタッドレスタイヤなどのゴムチップをウレタン

樹脂で結合させたものを凍結抑制材として充填した舗装である。この舗装は凍結抑制材充填部分のたわみ特性による物理的凍結抑制効果を有している。

写真-2 に密粒度舗装を母体としたタイプ (以下, 密粒度-G)、写真-3 に排水性舗装を母体としたタイプ (以下, 排水性-G)、写真-4 に機能性 SMA を母体としたタイプ (以下, SMA-G) を示した。また、凍結抑制舗装の概要を表-1 に、断面図を図-3 にそれぞれ示した。

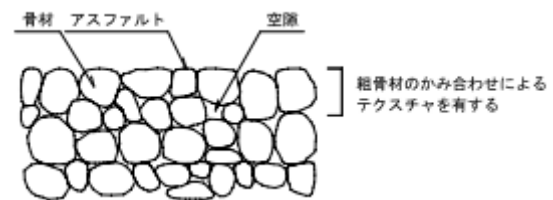
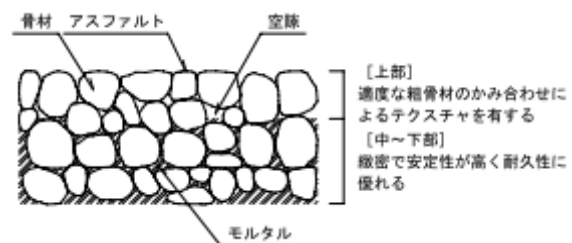
図-1 排水性舗装の断面図⁴⁾図-2 機能性 SMA の断面図⁴⁾

写真-1 室内凍結路面走行試験装置

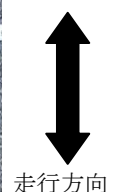


写真-2 密粒度-G

写真-3 排水性-G



写真-4 SMA-G



走行方向

表-1 凍結抑制舗装の概要

タイプ	密粒度-G	排水性-G	SMA-G
母体舗装	密粒度	排水性	機能性 SMA
グルーピング幅 ・深さ・間隔	9mm・10mm・60mm		
凍結抑制材	ゴムチップ、ウレタン樹脂		

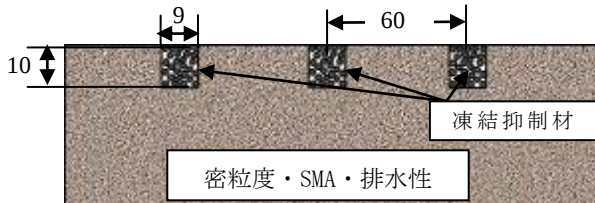


図-3 凍結抑制舗装の断面図 (単位: mm)

表-2 ST メータの仕様

x 方向延長	300mm
y 方向延長	100mm
x インターバル	0.1mm
y インターバル	3.0mm
基長	100mm
測定ピッチ	0.1mm

写真-5 STメータ

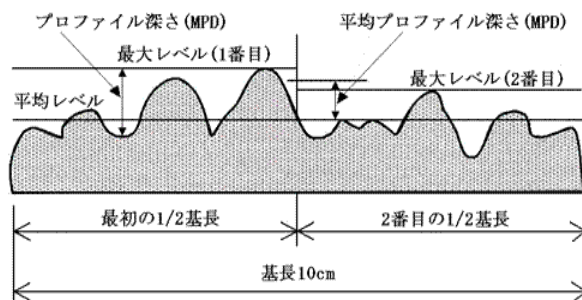


図-4 MPDの算出方法⁵⁾

3. MPD 測定による検証

路面テクスチャによるすべり抵抗を向上させる効果は、発生する氷結路面の違いにより、大きく異なることが考えられる。その傾向や特性を明確にするため、各舗装の各路面状態における MPD を測定した。

(1) MPD の測定方法

本研究では、MPD を測定する際に、面的にテクスチャを評価することができる ST メータ⁵⁾を用いた。

MPD は、式(1)によって算出することができる。

$$MPD = \frac{Max1 + Max2}{2} - \text{平均レベル} \quad (1)$$

ここに、Max1: 1 番目の最大レベル、Max2: 2 番目の最大レベルである。

写真-5 と表-2 に ST メータとその仕様を、図-4 に MPD 算出の概略図⁵⁾をそれぞれ示した。

氷結路面の MPD を測定する場合、ST メータのレーザー光は氷膜や氷板を透過してしまい、そのままでは測



写真-6 パテを用いたMPD測定の様子(左)と舗装に押し付けた後のパテの様子(右)

表-3 試験条件

氷板路面	密粒度に厚さ 0.5mm の氷膜ができる量の水を散布
氷板路面	密粒度に厚さ 1.0mm の氷板ができる量の水を散布
厚い氷板路面	表面に路面テクスチャが現れない厚さの氷板ができる量の水を散布(厚さ 3~5mm)
路面温度	-5℃

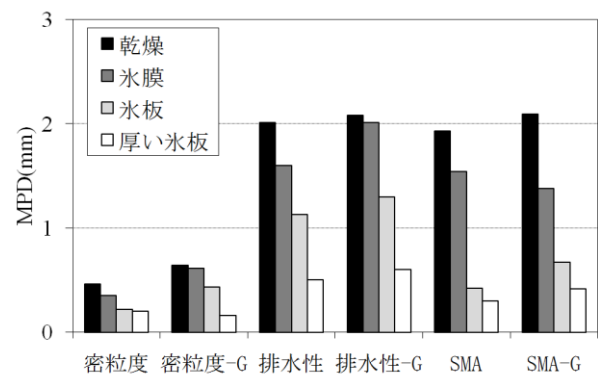


図-5 MPDの測定結果

定が不可能である。そこで、写真-6 のようにパテを押しつけてはがしたものを用いて MPD を測定した。

(2) 試験条件

表-3 に試験条件を示した。路面状態は乾燥路面、密粒度舗装に対して厚さ 0.5mm の氷膜ができる量の水を散布した氷膜路面、同様に厚さ 1.0mm の氷板ができる量の水を散布した氷板路面、路面テクスチャが表面に現れない程度の厚い氷板路面の 4 種類とした⁶⁾。

(3) 結果と考察

図-5 に、MPD の測定結果を示した。

氷が厚くなるにつれて MPD が小さくなる傾向が、全ての舗装で確認されたが、密粒度舗装や密粒度-G よりも機能性 SMA、SMA-G および排水性舗装、排水性-Gの方が、高い MPD の値を保っている。機能性 SMA、SMA-G と排水性舗装、排水性-G を比較すると、氷膜路面ではほぼ同等の MPD となったが、氷板路面では、機能性 SMA、SMA-G は MPD の値に大きな減少が見られた。このことから、きめの粗い舗装は、氷結路面に対し

では、その発生を抑制する効果があり、機能性 SMA および SMA-G は氷膜路面、排水性舗装および排水性-G は氷板路面に近い状態まで、粗面効果が期待できると推測される。また、全ての凍結抑制舗装は、母体舗装に比べて高い MPD の値となっていることから、粗面効果が路面の走行安全性に寄与できると考えられる。

4. スペクトル解析による検証

舗装表面の凹凸量を定量的に表す MPD による解析を行ったが、路面テクスチャは凹凸量（振幅）だけでなく、空間周波数からも構成されることから、すべり抵抗の向上に寄与すると推測される路面テクスチャの変化を明確にするには不十分と考えられる。そこで、路面テクスチャを不規則波形と仮定し、それを一連の和と考え、各周波数成分のパワーの分布を示したパワースペクトル⁷⁾から、路面テクスチャを解析した。

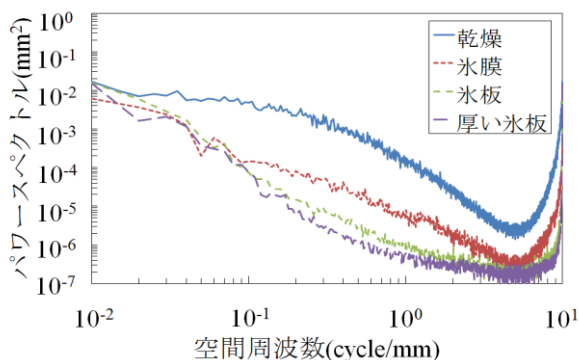


図-6 密粒度の空間周波数－パワースペクトル曲線

(1) トレンドの除去

今回は、MPD を算出する際に用いたプロファイルデータをもとに、フーリエ変換に FFT 法を用いてスペクトル解析を行った。しかし、そのデータには、試験路面のわずかな傾斜が、路面テクスチャの波形の周波数よりも非常に低い周波数の変動成分（トレンド）として現れてしまう⁸⁾。そこで、この低周波成分を除去するために平均勾配を求め、変動分を除去してから解析を行った。

(2) 解析結果と考察

図-6 から図-11 に各試験路面における空間周波数－パワースペクトル曲線の全計測線を平均したものを示した。

全ての試験路面において、路面状態が氷膜、氷板、厚い氷板と変化するに伴って、パワースペクトルが小さくなっている。これは、氷が厚くなるに従い、路面は平坦になっていく現象を表していると考えられる。

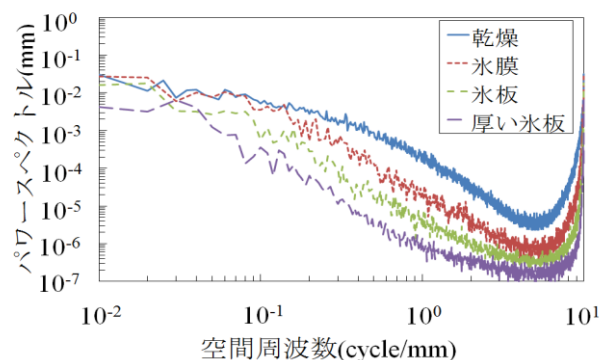


図-7 密粒度-Gの空間周波数－パワースペクトル曲線

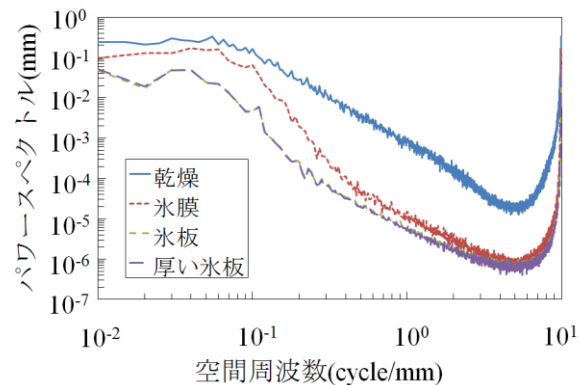


図-8 排水性の空間周波数－パワースペクトル曲線

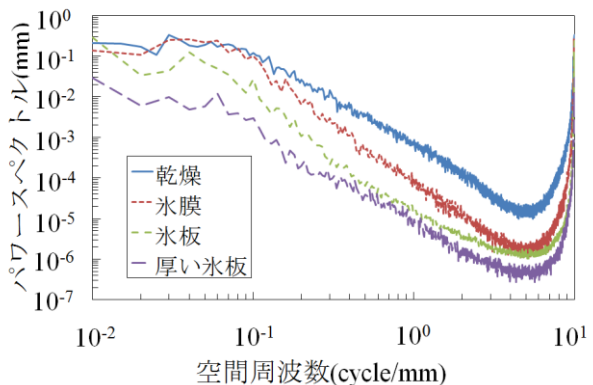


図-9 排水性-Gの空間周波数－パワースペクトル曲線

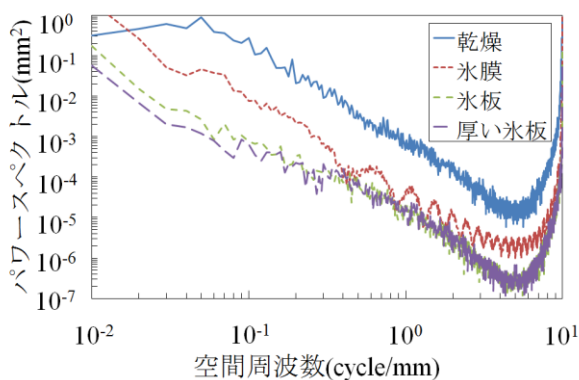


図-10 SMAの空間周波数－パワースペクトル曲線

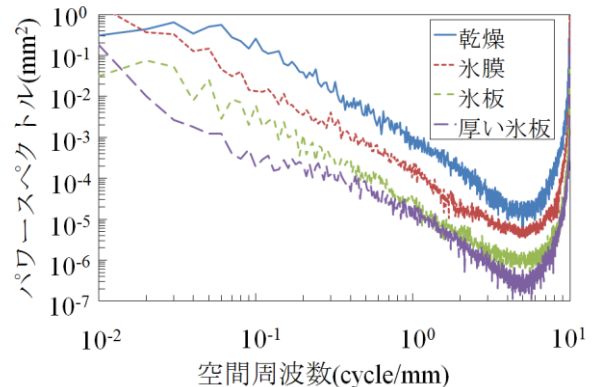


図-11 SMA-Gの空間周波数－パワースペクトル曲線

表-4 制動試験の試験条件

路面温度	-5℃
輪荷重	5kN
走行速度	10km/h
使用タイヤ	冬期すべり測定用標準タイヤ 165/80R-13

密粒度舗装および密粒度-G は、機能性 SMA、SMA-G や排水性舗装、排水性-G よりも、パワースペクトルが小さくなった。それぞれを比較すると、母体舗装が氷板路面で厚い氷板路面とほぼ同様のパワースペクトルとなっているのに対して、グルーピングを施した凍結抑制舗装は厚い氷板路面の時よりもパワースペクトルが大きくなっている。したがって、路面テクスチャによるすべり抵抗を、より厳しい環境においても確保することができると推測される。

5. 室内走行試験による検証

恒温室内に氷結路面作製し、室内凍結路面走行試験装置で制動試験を行ってすべり摩擦係数を算出した。その結果と、MPD 測定およびスペクトル解析による路面テクスチャ解析から得られた結果を比較検討した。試験条件は、表-4 に示した通りである。

(1) すべり摩擦係数の算出と試験条件

制動試験は、制動時にタイヤの回転を固定した状態（スリップ率 100%）で走行させたときに、タイヤを固定するのに要したタイヤトルクを測定し、すべり摩擦係数を式(2)によって算出するものである。

$$\mu = \frac{M_t}{r \times F} \quad (2)$$

ここに、 μ ：すべり摩擦係数、 M_t ：タイヤトルク(Nm)、 r ：タイヤ半径(m)、 F ：荷重(N)である。

(2) 試験結果と路面テクスチャ解析結果との比較検討

図-12 に、制動試験の結果を示した。

路面テクスチャ解析の結果で得られた推測と同様に、機能性 SMA、SMA-G や排水性舗装、排水性-G は、密粒度舗装および密粒度-G よりも、高いすべり抵抗となった。また、密粒度舗装、密粒度-G や機能性 SMA は、氷板路面と厚い氷板路面の結果がほぼ同値になったが、排水性舗装、排水性-G や SMA-G は、厚い氷板路面時よりも、高いすべり抵抗を維持した。この結果においても、路面テクスチャ解析の結果とほぼ同様となった。

6. まとめ

本研究では、路面テクスチャによる凍結抑制効果を MPD の測定およびスペクトル解析から検討した。さらに室内凍結路面走行試験装置を用いて制動試験を行い、路面テクスチャ解析の結果と比較検討した。

その結果、きめの粗い舗装およびグルーピングを施した凍結抑制舗装の、氷結路面における凍結抑制効果を推測することができた。また、きめの粗い舗装は密粒度舗

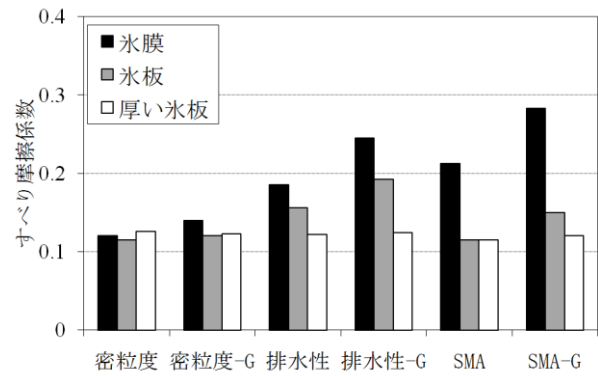


図-12 制動試験の結果

装に対して、凍結抑制舗装は母体舗装に対して、高い凍結抑制効果を示すことが確認された。したがって、今回用いた凍結抑制舗装は、走行車両による物理的凍結抑制効果に限らず、氷結路面の発生を抑制する効果もあると考えられる。さらに、その結果は、制動試験の結果とほぼ同様の傾向を示すことが確認されたことから、実路においても同様の結果となる可能性を示すことができた。

7. おわりに

舗装の種類や凍結路面状況などの環境条件は様々であるが、今回のようなアプローチを行い、舗装の凍結抑制効果に対する特性を把握することで、より効率的な路面管理を行うことが可能になると考えられる。

今後、室内試験で得られた結果の実路適用性を検討するとともに、様々な環境下で舗装の凍結抑制効果に対する特性を明らかにしていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 水口達也，田中俊輔，武市靖，岩岡宏美：凍結抑制舗装のせん断法による氷着強度試験の検討，土木学会北海道支部論文報告集，第 66 号，E-03，2010。
- 2) 岩岡宏美，田中俊輔，吉野敏弘，武市靖：凍結抑制舗装のせん断法による氷着強度試験に関する検討，第 65 回年次学術講演会講演概要集，V-014，2010。
- 3) CHARACTERIZATION OF PAVEMENT TEXTURE UTILIZING SURFACE PROFILES-PART1 : DETERMINATION OF MEAN PLOFILE DEPTH, International Organization for Standardization, International Standard ISO 13473-1, 1996.
- 4) 吉井昭博，田高淳，安倍隆二：積雪寒冷地における開粒度舗装のすべり抵抗に関する検討，第 11 回北陸道路舗装会議技術報文集，B-14，2009。
- 5) 増山幸衛，片山潤之介，草刈憲嗣，岩井茂雄，寺田剛：解析方法の違いを考慮したテクスチャの評価に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第 9 巻，pp.231-239，2004。
- 6) 前野紀一，成田英器，西村浩一，成瀬廉二：道路雪氷の構造と新分類，低温科学 物理編，第 46 集，pp.119-133，北海道大学低温科学研究所，1988。
- 7) 南茂夫：科学計測のための波形データ処理，pp.72-73，CQ 出版社，1986。
- 8) 日野幹雄：スペクトル解析，pp.186-187，朝倉書店，1977。