

ゴムロード舗装と SMA 舗装の凍結抑制効果に関する実験的研究

Experimental Studies on Anti-Freezing Effects of Gum-rolled and SMA Pavements

北海学園大学 学生員 ○新井田 良一 (Ryouichi Niida)
 北海学園大学 蒲原 直樹 (Naoki Kannba-ra)
 北海学園大学大学院 学生員 高橋 朋也 (Tomoya Takahasi)
 北海学園大学工学部 正員 武市 靖 (Kiyoshi Takeichi)
 (株) NIPPO コーポレーション 正員 吉中 保 (Tamotsu Yoshinaka)

1. はじめに

スタッドレスタイヤの普及により様々な問題が起こり、凍結抑制舗装の開発が進められてきた。だが、この凍結抑制舗装の効果は必ずしも十分とは言えない。本研究では、物理特性と化学特性¹⁾の両方の凍結抑制効果を持つ複合型の凍結抑制舗装として、ゴムロード(GR)とゴムロード研磨(GR-A)とSMA-Iについて検討を行った。

まず工学的性質から、路面テクスチャを測定し、路面のキメ深さから雪氷の繰り返し走行荷重による雪氷の剥離・消耗効果を検討し、次に氷板路面に対する繰り返し走行荷重の作用による凍結抑制効果を路面露出率によって評価²⁾し、その両方の結果の関連性を比較検討した。

これまで、薄く透明な氷板路面(ブラックアイスバーン)は画像処理解析による路面露出率の算出ができなかったが、ラミネートシートの使用により可能になった。

2. 各供試体の骨材配合と作製

試験では密粒度舗装 13F(「密粒度」と略称)と排水性舗装(「排水性」と略称)を比較供試体とし、①改良ゴム骨材を転圧入し、凍結防止剤 6%を添加した改良ゴムロード舗装(「GR」と略称)、②北海道型SMA³⁾⁴⁾に凍結防止剤 6%を添加した舗装(「SMA-I」と略称)、③改良ゴムロード舗装表面を研磨し、供用後 1年に相当する劣化を施した舗装(「GR-A」と略称)の 3種類を検討対象とした。

各供試体の骨材配合は、表-1 に示す通りである。ゴム骨材に関しては、「GR」と「GR-A」に硬度 70 のゴム骨材表面に硬度 50 のゴムを薄くコーティングした改良ゴム骨材を用い、ゴム骨材の突出高さ 1~2 mmを目標として実機ローラーで転圧入して供試体を作製した。

凍結防止剤は、当初の添加量である 3% (外割) を 6% (外割) に増量し化学的性質の強化を試みた。各供試体の路面状況を写真-1~写真-3 に示した。



写真-1 GR

写真-2 SMA-I

写真-3 GR-A

表-1 各供試体の配合表 (%)

	密粒度	GR	SMA-I	GR-A
5号砕石	—	18.3	—	18.3
6号砕石	38.8	18.3	66.6	18.3
7号砕石	6.1	—	4.7	—
粗目砂	29.9	—	—	—
細目砂	9.3	46.0	6.1	46.0
スクリーニングス	—	—	5.6	—
石粉	10.0	9.2	10.8	9.2
アスファルト	5.9	8.2	6.2	8.2
凍結防止剤	—	6.0	6.0	6.0

3. 路面テクスチャ測定

テクスチャの測定は、レーザー変位計によって一定の速度で行った。また、測定箇所を 34 本行うことで路面を面的に評価することが可能であり、大量のデータを扱うことにより精度のよい測定が可能である。路面テクスチャの凹凸部分の量を定量的に表現する指標として平均キメ深さ MPD (Mean Profile Depth) を測定し舗装表面の性状を調べた。

また、写真-4 に示した本学の定置式の路面テクスチャ装置では、1本の側線で行うが、STメーターと同様の方法で行うので、両者の測定結果を比較検討した。



写真-4 定置式の路面テクスチャ装置

(1) 試験条件

試験条件は表-2 に示すように、測定には CCD レーザー変位センサーを使用し、舗装面を測定した後、平均キメ深さの算出を行なった。測定長さ 300 mm を 0.1 mm ごとに変位を測定し、STメーターは舗装の縦断方向に 34 本の側線で行い、各箇所のキメ深さの平均を算出した後、その平均値を平均キメ深さとした。比較舗装として密粒度、排水性を用いた。

表-2 路面テクスチャ測定の実験条件

試験舗装	密粒度・GR GR-A・排水性・SMA-I
路面状態	乾燥路面
室内温度	10℃
測定長さ	300mm
サンプリング周期	100Hz
測定時間	10000ヶ×11測線で約7分

(2)測定原理

測定原理は図-1 に示すように、三角測量に基づいており、光源から発射されたレーザーを投光レンズで束ね、測定対象に照射する。対象物に照射された光は反射し、受光レンズにより収束する。収束した光は受光用 CCD にスポットを結像する。

対象物が変位した場合、スポットも変位し、像の変位に比例した電圧が出力される。出力された電圧が読み取られ対象の変位を測定する。

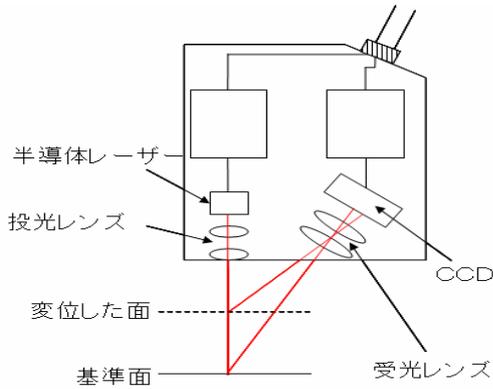


図-1 レーザー変位計概略図

(3)MPD (Mean Profile Depth) の算出方法

一定区間(基長)の範囲を中心から2分割し、それぞれの区間の最大値と平均レベルの差を算出し、さらに相加平均によって求める。解析の概念を図-2 に、計算式を式(1)に示した⁶⁾。

$$\text{平均プロフィール深さ(MPD)} = \frac{(\text{最大レベル(1番目)} + \text{最大レベル(2番目)})}{2} - \text{平均レベル}$$

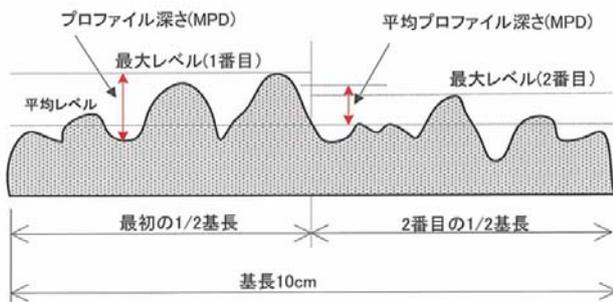


図-2 解析の概念図

$$\text{MPD} = (\text{H}_{\text{MAX}1} + \text{H}_{\text{MAX}2}) / 2 - \text{H}_{\text{mean}} \quad (1)$$

ここで、

MPD: 平均プロフィール深さ

H_{MEAN}: 平均レベル

H_{MAX}1,2:1, 2番目の最大レベル

(4)試験結果

図-3に示すように、密粒度と比較してキメ深さ(MPD)は、SMA-I, GR, GR-A は約3倍~4倍、排水性も約5倍と大きくなっている。この3種の凍結抑制舗装はキメが粗い(凹凸が多い)ので、雪氷の付着力が小さいため、密粒度より繰り返し走行荷重による雪氷の剥離・消耗効果が期待される。

また図-4の測定値について有意差検定(t検定)を行った結果、両者の測定値には有意な差はないと考えられる。よって、本学の定置式の路面テクスチャ装置でも正確にキメ深さが取れることわかる。

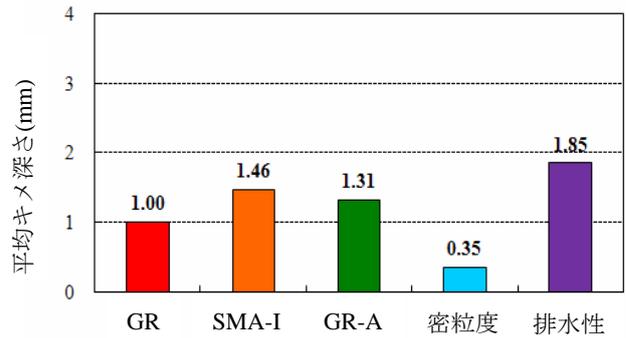


図-3 各舗装の平均キメ深さ

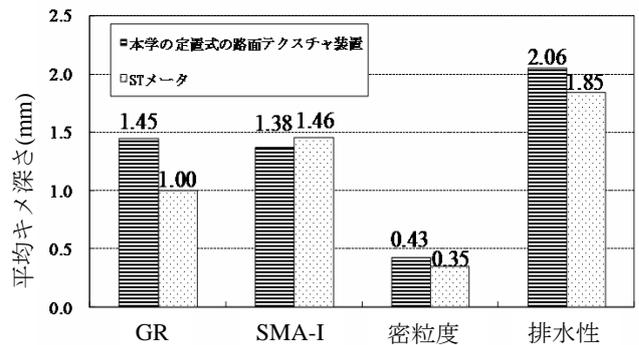


図-4 定置式のテクスチャ装置とSTメータの比較

4. 繰り返し走行試験による露出率の測定

走行試験装置¹⁾は写真-5に示すように、バス型の第5輪によるトルク測定、滑り抵抗測定車とほぼ同様の仕組みを持つものである。恒温室内温度は-20℃から+60℃まで、最大走行速度は10 km/h、最大輪荷重は5kNまで設定が可能である。

恒温室内に設置された4つの走行レーンにより、各舗装面に氷板を作製し、繰り返し走行試験による路面露出率の測定を行った。試験条件は表-3に示した。また、各舗装面はレーン中央の路面で路面露出率を測定した。

表-3 路面露出率測定の実験条件

試験舗装	GR, GR-A, SMA-I
比較舗装	密粒度 13F, 排水性
路面状態	噴霧量 1.1ℓ/m ² の水を凍らせた状態 (密粒度 13F 舗装に対して厚さ 1mm の状態)
路面温度	-5℃, -10℃
走行回数	0, 50, 100, 500, 1000
走行速度	5 km/h
走行輪荷重	5kN



写真-5 恒温室内の走行試験装置

(1) 路面露出率の算定

路面露出率は、路面状況をデジタルカメラで撮影した画像を2値化した解析画像により、画像全体のピクセル数に対する黒に判別したピクセル数の百分率で表した⁵⁾。

氷板路面における舗装路面の露出率を求めるにあたり、撮影した試験路面を画像処理・解析ソフトを用い判別分析法により2値化し、氷板路面を背景画像(白)、舗装露出面を対象画像(黒)として領域を2つに分割した。対象領域(黒)として分割された面積(ピクセル数)を求め、解析画像の全面積(ピクセル数)に対する比を路面露出率とした。路面露出率B(単位:%)を算出するための式(2)を以下に示した。

$$B(\%) = \frac{\text{解析画像全体の面積(pixel)}}{\text{露出した部分の面積(pixel)}} \times 100 \quad (2)$$

(2) 2値化画像処理

2値化画像処理を行うにあたって問題となったのは、氷板路面はブラックアイスバーンであるため、露出状況をデジタルカメラで撮影し、

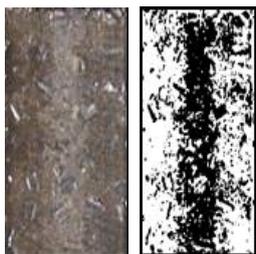


写真-6 そのまま2値化処理を行った場合

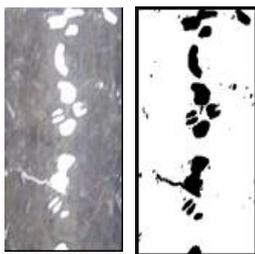


写真-7 ラミネートシートを使用した場合

写真-6 のようにそのまま2値化処理を行った際、露出部分である対象領域(黒)が判別しにくく正確に算定出来ないことであった。そこで、今回はその問題を解決するため、写真-7 のようにラミネートシートを使用した。

(3) ラミネートシートを使用した場合の作業

各走行回数毎に舗装表面に透明なラミネートシートを敷き、写真-8 に示すように、氷が剥離した箇所を油性のホワイトマーカーで塗りつぶした。

次に、そのラミネートシートを敷いた路面を撮影し、写真-9 を参照しながら写真-10 の余分な汚れ箇所を消し、写真-11 のように仕上げた。



写真-8 ラミネートシートを使用した作業



写真-9



写真-10

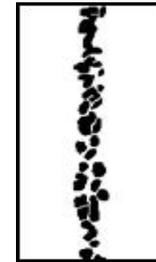


写真-11

(4) 試験結果

各試験舗装の繰り返し走行試験による露出率の測定結果を写真-12、写真-13 に示した。GR の画像解析結果から、-5℃の場合、露出が顕著にみられるところは、初期段階ではタイヤ中心のゴム骨材部分で、走行回数が増すと、タイヤ中心部から外側に帯状に分布した。

SMA-I は、凹凸が大きい箇所、または、凍結防止剤の溶出が多い所から露出してきた。GR-A については、GR と同様であるが、表面を研磨して供用後1年に相当する劣化を施した舗装と見なすことができるので、GR よりも凍結防止剤の溶出が多いため露出率は大きくなった。

図-5 と図-6 は、-5℃と-10℃の場合における画像解析による路面露出率結果をまとめたものである。

-5℃では、密粒度と比較し、GR, GR-A, SMA-I は大きい露出率となっている。また、500 から 1000 回になると急激に路面露出率が高くなった。-10℃では、GR-A で露出率 10%が最大で、他の舗装では効果発現が見られない。これは、温度が-10℃では氷板の付着が強固になったこと、凍結防止剤の溶出が著しく低減したことが原因と考えられる。

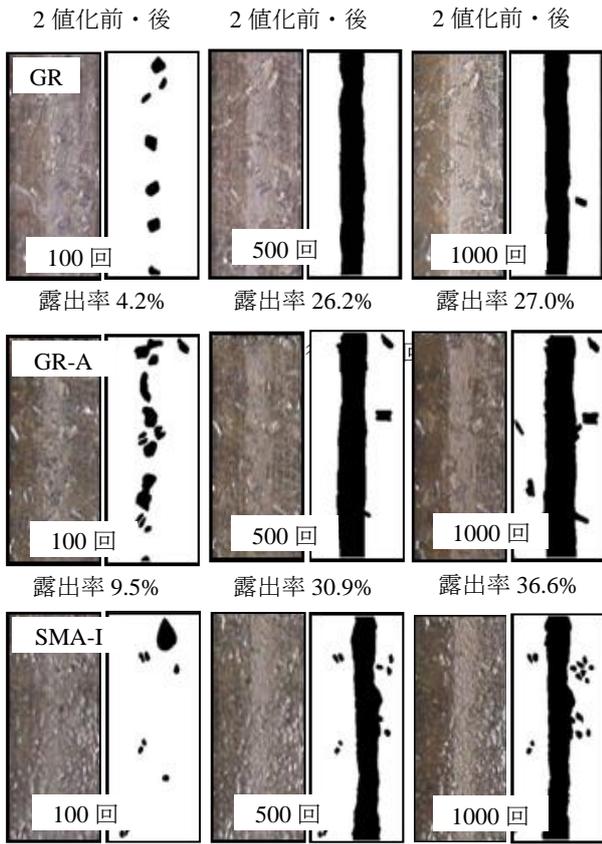


写真-12

氷板路面-5°Cの走行回数に対する各路面の露出率の変化

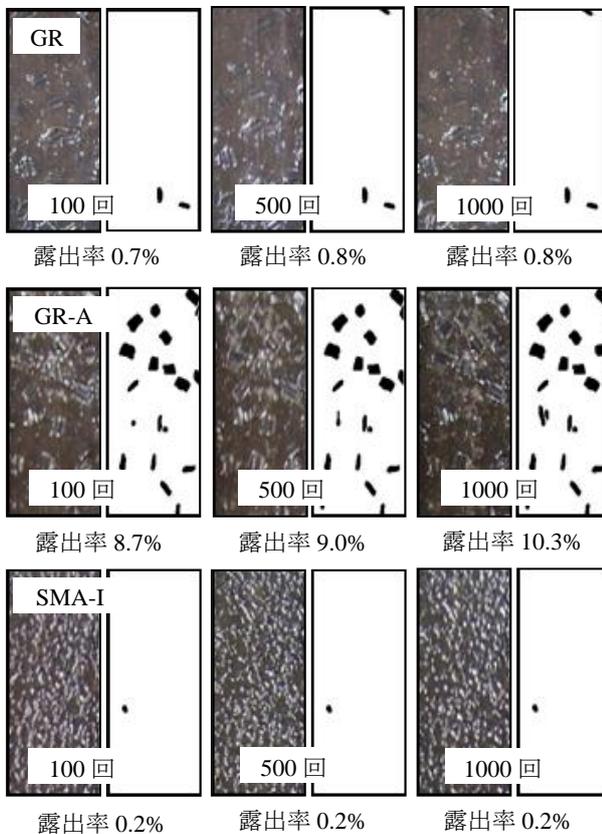


写真-13

氷板路面-10°Cの走行回数に対する各路面の露出率の変化

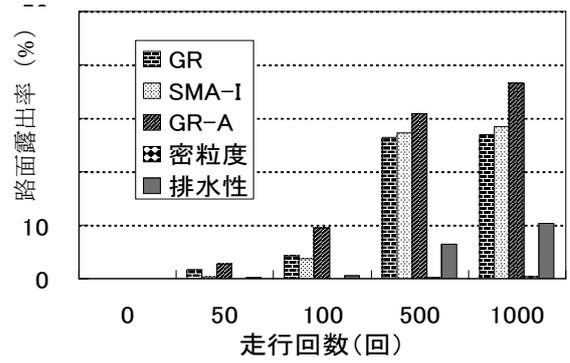


図-5 舗装別の走行回数毎の露出率(-10°C)

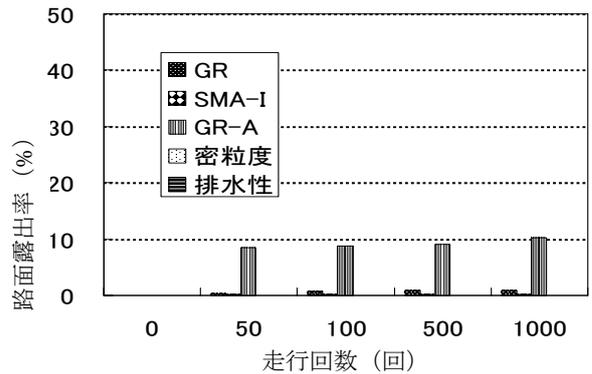


図-6 舗装別の走行回数毎の露出率(-5°C)

5.まとめ

- (1) 路面テクスチャ試験の結果に基づくと、3種の凍結抑制舗装及び、排水性舗装のキメ深さは、比較舗装の密粒度よりもキメ深さが大きいので、繰り返し走行荷重による雪氷の剥離・消耗効果が期待できる。
- (2) 繰り返し走行試験による路面露出率の測定結果に基づくと、-5°Cでは3種の凍結抑制舗装では、凍結抑制効果が確認された。
- (3) 氷板路面に対する3種の凍結抑制舗装では、-5°Cでは物理特性と化学特性により、凍結抑制効果が確認されたが、-10°Cでは確認されなかった。

【参考文献】

- 1) 凍結抑制舗装技術研究会:凍結抑制舗装ポケットブックpp.1~pp.5, 2002.
- 2) 武市 靖, 田近 裕善:寒冷地舗装における路面テクスチャの違いが凍結抑制効果に与える影響, 舗装工学論文集, 第8巻, pp43~53, 2003.
- 3) 市原 敏明, 早坂 保則, 森川 友紀:排水舗装のキメ深さをもつ積雪寒冷地用 SMA の試験施工, 第22回日本道路会議論文集 1997.
- 4) 笠原 彰彦, 内田 精一, 松尾 久志, 市原 利明:ゴムロールドアスファルト舗装の開発と適用事例, 舗装 32-9, pp.15-21, 1997.
- 5) 武市 靖, 松田 謙治, 溝渕 優:物理系凍結抑制舗装の改良に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第11巻, 2006.
- 6) 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