

## 化学的特性を改良した凍結抑制舗装に関する検討

## Study on Anti-Freezing Pavements with Improved Chemical Properties

北海学園大学大学院 ○学生会員 高橋 朋也

北海学園大学工学部 正会員 武市 靖

## 1. はじめに

積雪寒冷地の道路雪氷管理において、ランニングコストの高いロードヒーティングは、既設置区間の運転停止や新規設置の抑制により、凍結防止剤やすべり止め材による管理が主となってきた。しかし、これらによる路面管理も費用がかかると同時に、北米・北欧に見られる塩害などが、顕在化するおそれがあり、凍結防止剤散布量の抑制が必要となってきている。対策として、舗装の観点からは凍結抑制舗装の開発が進められてきており、ある程度の凍結抑制効果の評価<sup>1)</sup>がなされているが、その性能は必ずしも十分なものとは言えない。凍結抑制舗装は一般に、化学的作用タイプと物理的作用タイプの2つに分類され、特に、前者は効果の持続性、後者は効果発現の程度などが問題点として指摘されている<sup>2)</sup>。

本検討では、前年度研究<sup>2)</sup>の凍結抑制舗装に化学的持続性をさらに改良した凍結防止剤を混入して化学的作用による雪氷と路面との付着抑制効果を持たせると同時に、改良したゴム骨材を転圧入して物理的作用によるたわみ効果をさらに高める改良を行ったものである。改良を施した凍結抑制舗装の凍結抑制効果を調べるために、走行試験装置による制動試験および路面露出率の測定を実施した。試験では密粒度舗装 13F（「密粒度」と略称）を基準供試体とし、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-1」と略称）、②北海道型SMA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-2」と略称）の3種類を検討対象とした。そして、前年度の

改良ゴム骨材と凍結防止剤 3%を添加した北海道型SMA（「前SMA」と略称）、改良ゴム骨材と凍結防止剤 3%を添加したゴムロード舗装（「前GR」と略称）の2種類<sup>2)</sup>との凍結抑制効果に関する比較検討を行った。

## 2. 供試体の骨材配合と作製

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-1」、「GR-2」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 を目標として屋外で実機ローラを用いて転圧入して供試体を作製した。凍結防止剤は前年度研究の添加量 3%（外割）を 6%（外割）に増やした。各供試体の表面状況を写真-1~写真-3に示した。



写真-1 GR-1

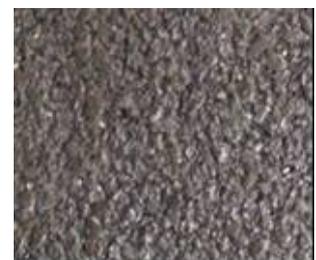


写真-2 SMA-I



写真-3 GR-2

表-1 各供試体の配合表 (%)

	密粒度	GR-1	SMA-I	GR-2	前SMA	前GR
5号碎石	—	18.3	—	18.3	—	18.3
6号碎石	38.8	18.3	66.6	18.3	63.9	18.3
7号碎石	6.1	—	4.7	—	7.5	—
粗目砂	29.9	—	—	—	—	—
細目砂	9.3	46.0	6.1	46.0	6.1	46.0
スクリーニングス	—	—	5.6	—	5.6	—
石粉	10.0	9.2	10.8	9.2	10.8	9.2
アスファルト	5.9	8.2	6.2	8.2	6.1	8.2
凍結防止剤	—	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0

### 3. 走行試験による滑り摩擦係数と露出率の測定

走行試験装置<sup>1)</sup>は写真-4 に示すように、バス型の第 5 輪によるトルク測定用の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-30℃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<sup>3)</sup>。恒温室内に設置された 4 つの走行レーンにより、各舗装面に氷板や圧雪路面を作製し、制動試験による滑り摩擦係数の測定、繰り返し走行試験による路面露出率の測定を行った。



写真-4 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と 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<sup>2)</sup>。

##### ・ 2 値化画像処理

2 値化画像処理とは、多階調で入力された画像の濃度値をある濃度値を閾値として背景領域と対象領域の 2 階調に落とす処理のことである。

2 値化処理を行うためには閾値を設定しなければならない。コンピュータによる自動閾値指定法は、基本的に画像に輝度の変化があまり見られない場合でも 2 値化が可能のように考案されている。これは、多少の色の違いでも 2 値化される場合もありうることを示す。従って目視で舗装がまったく露出していないと分かる状態でもタイヤの走行などで雪に汚れがついた場合に雪と汚れを分けるように 2 値化され、露出効果の評価に影響をもたらすと考えられる。

本検討は、目視でも明らかに舗装面が露出していないにも関わらず、自動で閾値を決定する判別分析法を行うことによって、タイヤ走行による汚れなどが露出していると判断されてしまうために、自動で閾値を決定することは不可能と思われる。

そこで、本検討では、タイヤ走行などの汚れが対象画像(黒)として処理されずに、画像の濃度ヒストグラムから露出率が 0%になるように手動で閾値を設定出来る閾値指定法を用いた<sup>3)</sup>。

雪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 2 値化し、雪路面を背景画像(白)、舗装露出面を対象画像(黒)として領域を分割した。分割された領域の面積(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を以下に示した。

$$B = \frac{\text{露出した舗装(対象領域)の面積(pixel)}}{\text{解析画像全体の面積(pixel)}} \times 100$$

試験温度は-5℃と-10℃、輪荷重 5kN、走行速度は繰り返し走行試験では 5km/h、制動試験では 10km/h で実施した。制動試験はレーン中央の路面でしかできないため、「SMA-I」を中心に配置して滑り摩擦係数と路面露出率の測定を行い、その両端のレーンに施工した「GR-1」と「GR-2」は路面露出率のみ測定した。

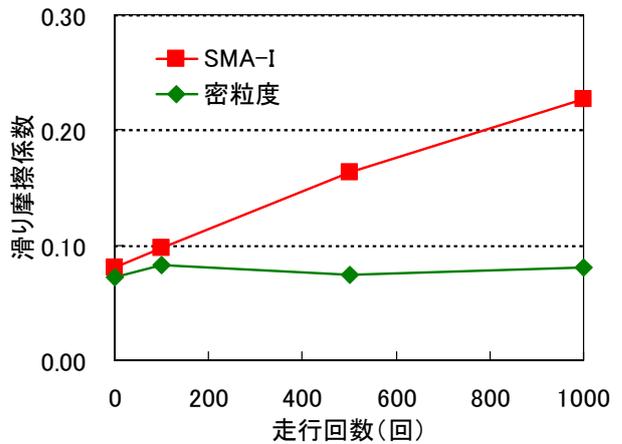


図-1 -5℃の氷板路面での滑り摩擦係数

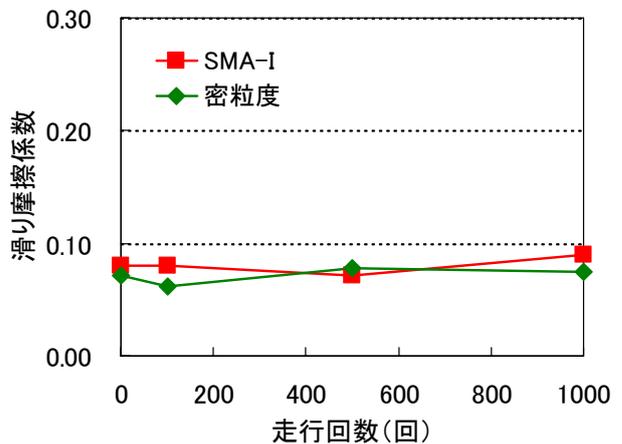


図-2 -10℃の氷板路面での滑り摩擦係数

#### (2) 氷板路面の滑り摩擦係数の測定

図-1 と図-2 に-5℃と-10℃に冷却した舗装路面に噴霧器により 0℃の水を噴霧して、厚さ約 1 mm に作製した氷板路面での滑り摩擦係数の測定結果を示した。

-5℃では「SMA-I」の滑り摩擦係数に明らかな増加が見受けられ、写真-5 に示すように 100 回走行の時点でタイヤが通過した舗装面の約三分之一(破線で囲んだ部分)の氷が剥離し、500 回、1000 回ではほぼ全て氷が剥

離した。「密粒度」の滑り摩擦係数では0.08程度で変化がなく、写真-6のように路面にも変化がない結果となった。その理由として、「SMA-I」については、舗装のキメ凹部に氷が充填され、キメ凸部の氷が繰り返し荷重により剥離・消耗する物理的作用と舗装内部からの凍結防止剤の溶出による化学的作用の両方の効果が発現されたことによるものと考えられる。

-10℃では「SMA-I」と「密粒度」共に滑り摩擦係数に大きな変化は見られなかった。また路面状況にも変化は見られなかった。これは、温度が-10℃では氷板の付着が強固になったことと、凍結防止剤の溶出が著しく低減したことが考えられる。よって、凍結防止剤の溶出により雪氷と舗装路面との付着破壊を助長する機能を、-10℃以下の極低温下においても十分に発現されるようなさらなる改良が必要であると考えられる。

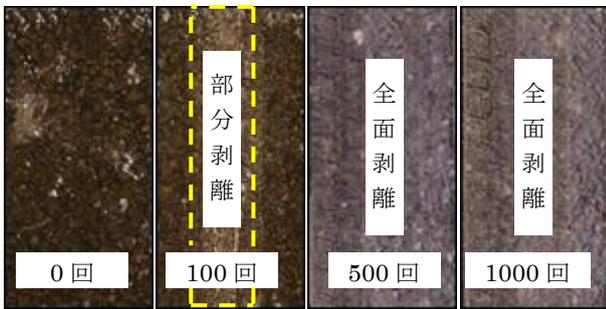


写真-5 SMA-Iの走行回数に対する氷板路面の剥離状況の変化 (-5℃)

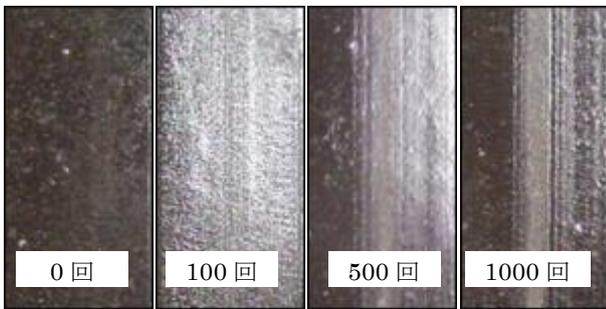


写真-6 密粒度の走行回数に対する氷板路面の剥離状況の変化 (-5℃)

### (3) 軟圧雪路面の露出率の測定

軟圧雪路面の作製に使用した雪は、屋外の乾き雪を採取し、-15℃の冷凍庫で養生した後、走行レーンにコテを使い敷き均した。

軟圧雪路面は、敷き均し面積、締固め後の厚さおよび密度を算定して、まず、含水比に基づく乾き雪と噴霧する水(0℃)の質量をあらかじめ計量しておき、軟圧雪路面は含水比が10%になるように1層敷き均すたびに水を噴霧し、2層仕上げとした。軟圧雪路面は輪荷重5kN、走行速度1km/hで10回走行させて締固めた<sup>2)</sup>。写真-7に軟圧雪路面作製の様子と作製した圧雪路面を示した。軟圧雪路面の厚さは2.0cm、密度は凍結抑制舗装3種は



写真-7 軟圧雪路面作製状況 (左) と圧雪路面 (右)

約0.57g/cm<sup>3</sup>、「密粒度」は約0.52g/cm<sup>3</sup>である。試験は-5℃で実施した。そして、本検討の露出率と走行回数に対する露出状況と前年度研究とを比較した。

#### ・軟圧雪路面

図-3に示すように、「密粒度」と比較して凍結抑制舗装3種は走行回数500回以降の露出率が高くなっている。また、前年度研究も同様に図-4に示すように、「前GR」の露出率が高くなっている。特に、「SMA-I」は「前SMA」の約4倍の露出率となっている。この結果から、凍結抑制舗装3種は前年度研究と比較して、雪氷の剥離効果が十分に発現されている。写真-8、写真-9に軟圧雪路面の走行回数に対する各路面の露出状況の変化を示した。

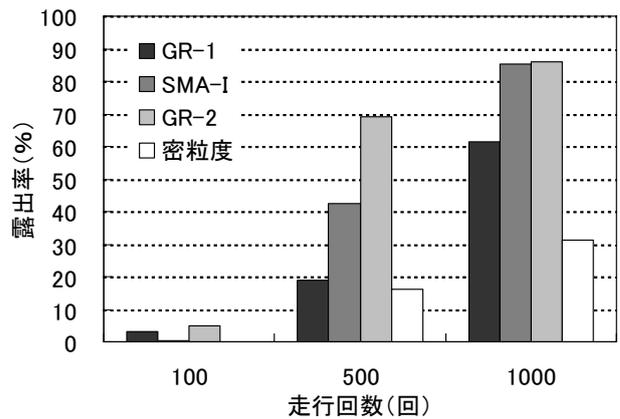


図-3 本検討の軟圧雪路面の露出率 (-5℃)

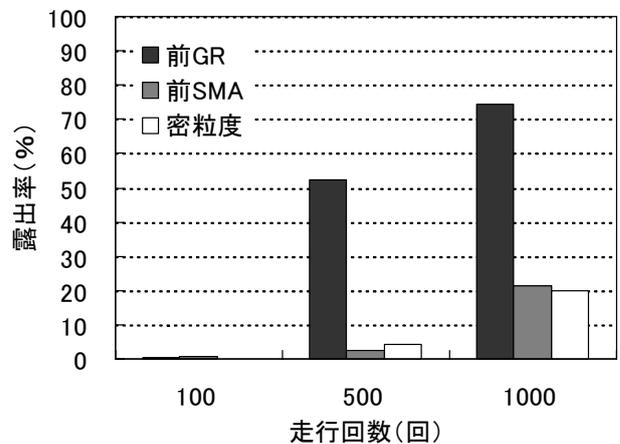


図-4 前年度研究の軟圧雪路面の露出率 (-5℃)

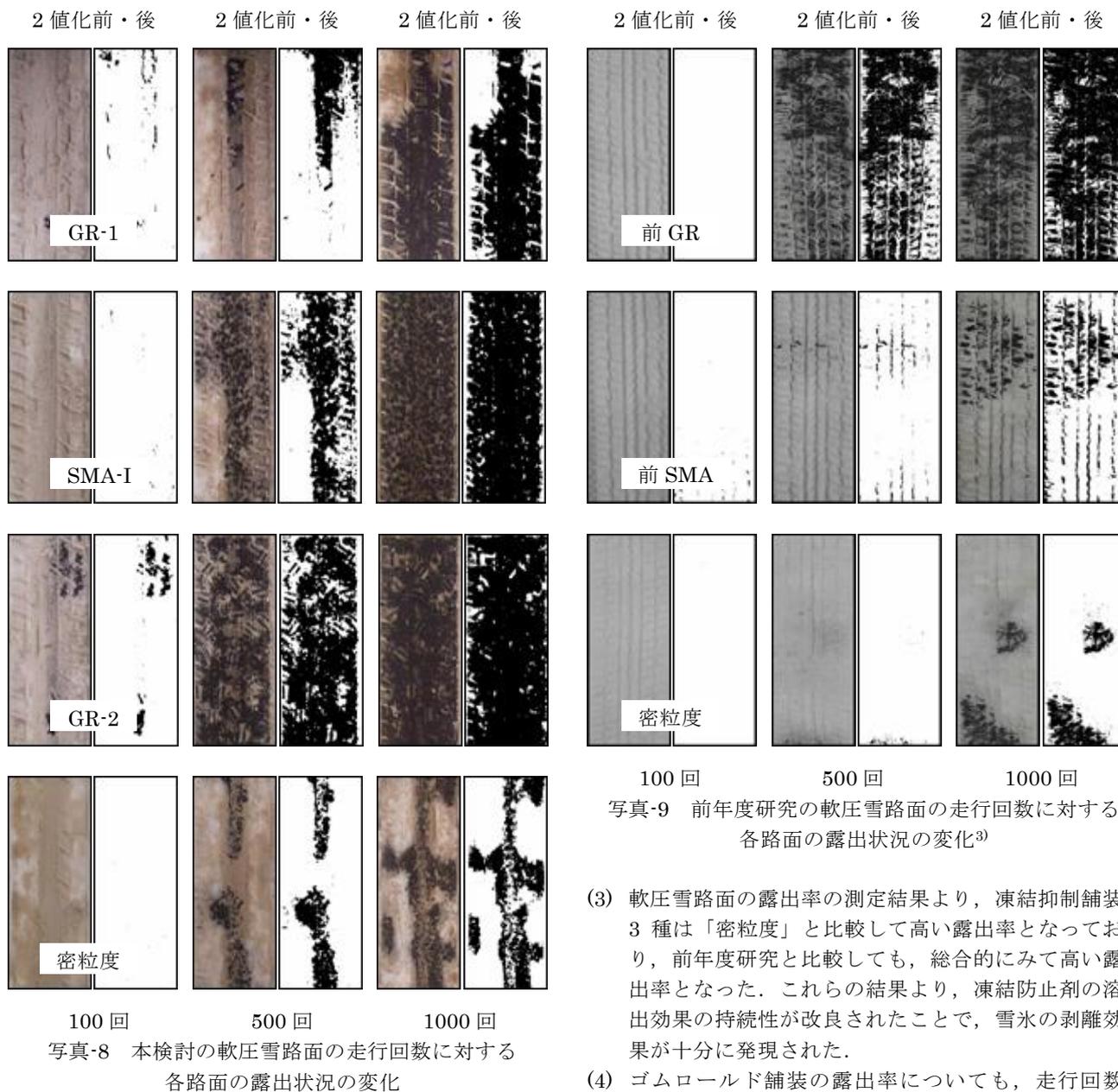


写真-8 本検討の軟圧雪路面の走行回数に対する各路面の露出状況の変化

写真-9 前年度研究の軟圧雪路面の走行回数に対する各路面の露出状況の変化<sup>3)</sup>

#### 4. まとめ

- (1) 室内走行試験による $-5^{\circ}\text{C}$ の氷板路面の繰り返し走行試験の結果より、「密粒度」と比較して「SMA-I」は、キメ凹部における氷の充填効果と繰り返し荷重による凍結防止剤の溶出効果で、走行回数100回において氷の剥離が確認され、500回以降では、ほぼ全て剥離した。
- (2)  $-5^{\circ}\text{C}$ の氷板路面の滑り摩擦係数の測定結果より、「密粒度」と比較して「SMA-I」は走行回数の増加に伴い、上昇している。 $-5^{\circ}\text{C}$ では凍結抑制効果が大きく発現された。しかし、 $-10^{\circ}\text{C}$ では前年度研究と同様に走行回数1000回でも、「SMA-I」と「密粒度」共に変化は見られなかった。

- (3) 軟圧雪路面の露出率の測定結果より、凍結抑制舗装3種は「密粒度」と比較して高い露出率となっており、前年度研究と比較しても、総合的にみて高い露出率となった。これらの結果より、凍結防止剤の溶出効果の持続性が改良されたことで、雪氷の剥離効果が十分に発現された。
- (4) ゴムロード舗装の露出率についても、走行回数500回と1000回において、「GR-2」は「前GR」よりも高い露出率となった。

#### 参考文献

- 1) 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舗装に与える影響, 舗装工学論文集, 第8巻, pp. 43-53, 2003
- 2) 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, pp. 75-80, 2006
- 3) 松田 謙治: ゴムロード舗装の工学的性質と路面凍結抑制効果に関する研究, 修士論文, 2006