

物理系凍結抑制舗装の改良に関する検討

武市 靖¹・松田 謙治²・溝渕 優³

¹正会員 工博 北海学園大学教授 工学部社会環境工学科(〒064-0926 札幌市中央区南26西11)

E-mail:takeichi@cvt.hokkai-s-u.ac.jp

²正会員 財団法人 北海道農業開発公社 施設課 (〒085-0032 釧路市黒金町12丁目10-1)

³正会員 工博 株式会社NIPPOコーポレーション技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川3-32-34)

高性能の物理系凍結抑制舗装を見出すため、既存のゴムロール舗装および凍結抑制機能の付与が可能な機能性SMA混合物を取り上げた。これらに融氷剤を混入して化学的作用による付着抑制効果を持たせると同時に、従来品を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更に高める複数の改良を施し、交通荷重のもとで路面雪氷の剥離、消耗をより助長することを目指した。これらの改善による凍結抑制効果を調べるために、本検討では、氷着強度試験、載荷試験、滑り抵抗試験、および路面露出評価試験などを実施した結果、改良を施した物理系凍結抑制舗装は、従来品のゴムロール舗装や比較舗装体よりも凍結抑制効果にある程度向上が見られたが、さらなる改良の必要性が明らかになった。

Key Words : anti-freezing pavements, bare-pavement ratio, skid-resistance, gum-rolled pavement,

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（薬剤と略称）や滑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コストがかかると同時に、北米・北欧に見られる塩害などが今後、顕在化するおそれがあり、薬剤散布量の低減が必要となってきた。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¹⁾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。

本検討では、従来の物理系凍結抑制舗装に市販の塩化物系薬剤（融氷剤と略称）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。改良を施した物理系凍結抑制舗装の凍結抑制効果を調べるために、氷着強度試験、載荷試験、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、改良した物理系凍結抑制舗装を、①従来の機能性SMA混合物^{2),3)}に

ゴム骨材を転圧入し、融氷剤を混入した舗装（「SMA-HW」と略称）、②従来型のゴムロール舗装（「従来型」と略称、ゴム骨材は従来型）、③改良ゴム骨材を用い融氷剤を混入した改良型ゴムロール舗装（「改良型」と略称）の3種類とした。

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、「SMA-HW」と「改良型」には硬度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、「従来型」には硬度70のゴム骨材（従来型）を用い、ゴム骨材の突出高さ1～2mmを目標として屋外ヤードで実機ローラを用いて転圧入して供試体を作成した。各供試体の表面状況を写真-1～写真-3に示した。

表-1 各供試体の配合表 (%)

	密粒度	SMA-HW	従来型	改良型
5号碎石	—	—	18.3	18.3
6号碎石	38.8	63.9	18.3	18.3
7号碎石	6.1	7.5	—	—
粗目砂	29.9	—	—	—
細目砂	9.3	6.1	46.0	46.0
スクリーングス	—	5.6	—	—
石粉	10.0	10.8	9.2	9.2
アスファルト	5.9	6.1	8.2	8.2
融氷剤	—	3.0(外割)	—	3.0(外割)

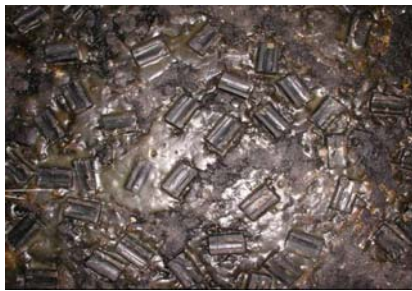


写真-1 「SMA-HW」



写真-2 ゴムロールド舗装(「従来型」)



写真-3 ゴムロールド舗装(「改良型」)

3. 氷着強度試験

氷着強度試験には、図-1の模式図に示す建研式を用い、鋼製治具に接着した不織布に15ccの水を含ませ、 -5°C で4時間養生した後、 $13\text{mm}/\text{min}$ の引張速度で実施した⁴⁾。氷着強度は、ゴム骨材の位置や個数により異なるので、図-2の模式図に示すように氷着面がゴム骨材1個の中央の場合と、4個の4隅の場合の2通りで試験を行った。

氷着強度は、図-3に示すように「SMA-HW」、「改良型」、「従来型」、「密粒度」の順に大きい結果となった。同図より、ゴム骨材と融氷剤による改良結果は明らかであり、「改良型」と「従来型」の氷着位置を考慮した氷着強度比較から、従来品より改良したゴム骨材の方が凍結抑制効果は大きいと考えられる。

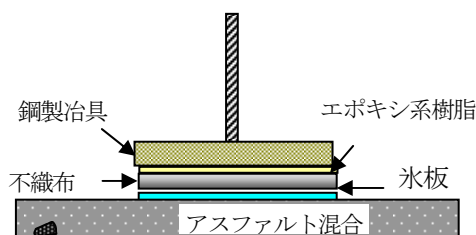


図-1 氷着強度試験の模式図

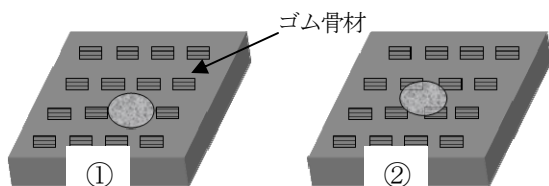


図-2 治具の氷着位置: ゴム骨材の①中央と②4隅

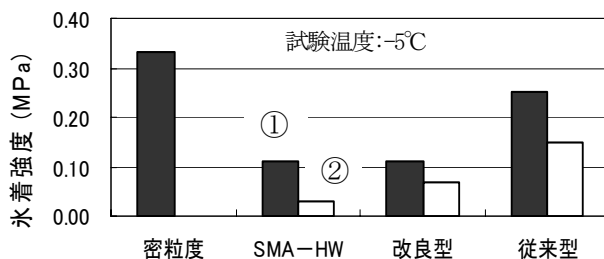


図-3 各供試体と氷着位置の違いによる氷着強度

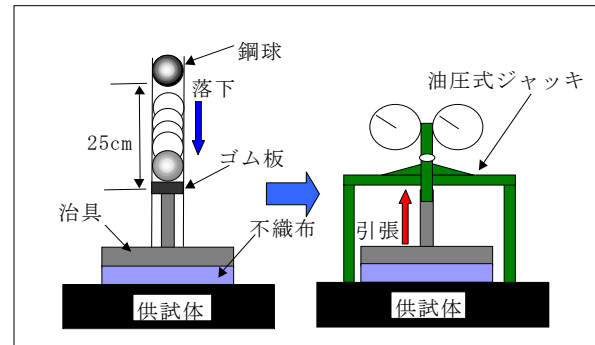


図-4 交通荷重を考慮した氷着強度試験装置

氷着強度試験において考慮すべき点として、実路では走行車両の輪荷重と攪乱・衝撃作用などにより、雪氷と路面との付着を脆弱にしたり、逆に強化したりする。

図-4は建研式との比較の観点から、交通荷重を考慮した凍結抑制舗装技術研究会(案)の氷着強度試験装置⁵⁾を示したものである。 -5°C 、載荷重 32N 、 420g の鋼球を10回落下の条件で「密粒度」と「従来型」の氷着強度を測定した結果、氷着強度はそれぞれ 0.77MPa 、 0.33MPa (3回の平均)となり、建研式による場合の約2～3倍になった。従って、氷着強度の評価には、試験目的や対象を考慮したより合理的な試験方法を検討する必要がある。

4. 載荷試験

交通荷重による路面に付着した雪氷の剥離・飛散に係わる各供試体のたわみ特性を調べるために、一軸圧縮による変位量を測定する載荷試験(載荷試験と略称)を実施した。まず、後述する走行試験装置のスタッドレスタイヤの各路面状態での接地面積と接地圧などの試験に基づき、載荷試験で用いる載荷鋼板の径を求めた。

(1) 接地面積の測定

ホイールトラッキング用の各供試体($300 \times 300 \times 50\text{mm}$)に各路面状態を生成し、図-5に示すような載荷によるプリント方式で接地面積を求め、載荷試験を行うための載荷鋼板の直径を算出した。測定結果は表-2に示す通りで、乾燥路面、氷板路面、軟圧雪路面の順に接地面積

は大きくなるが、接地圧は図-6に示すようにその逆となった。しかし、総じて著しい差はないので平均値を取り、载荷鋼板の直径を18cmとした。また、多孔質弾性舗装（「PET」；ペットボトル顆粒骨材、「砂」を滑り止め材として混入）⁶⁾は、たわみ特性による雪氷剥離などの効果が大きい比較検証用の供試体として試験に用いた。

(2) 2mm変位時の荷重

各供試体の表面たわみ特性を調べるために、ホイールトラッキング用の供試体を用いて载荷試験を行い、ゴム硬度の温度依存性を考慮して20℃～-15℃の各温度での1mmと2mm変位時の荷重を測定した。図-7は2mm変位時の荷重で、低温時における「SMA-HW」および「改良型」の荷重は、「密粒度」の1/4～1/5となっており、明らかなたわみ効果が認められた。しかし、その荷重は15～20kNと大きいので、荷重と実際の道路に付着した雪氷の剥離・飛散を起こさせる変位量⁷⁾、輪荷重の大きさや路面雪氷の種類・付着状態などに関する比較検討が必要である。

5. 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¹⁾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の滑り抵抗測定試験車とほぼ同様の仕組みを持つものである。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、繰り返し走行による路面露出率の測定を行った。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⁹⁾。

写真-5は、大型車の接地圧を雪氷路面に作用させた場合の路面状況を知るために用いたソリッドタイヤで、その仕様を右に付記した¹⁾。試験温度は-5℃と-10℃、輪荷重5kN、走行速度は制動試験10km/h、繰り返し走行試験5km/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、「改良型」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、その両端に施工した「SMA-HW」と「従来型」は露出率のみを測定した。

(1) 氷板路面の滑り摩擦係数の測定

図-8と図-9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、ほぼ瞬時に結氷させて約厚さ1mmの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「排水性舗装」の滑り摩擦係数に大きな増加は見られず、「密粒度」については0.10以下で変化がない結果となった。その理由として、「改良型」については、凍結路面状態での予備試験や繰り返し走行試

験により、表面付近の融氷剤が大部分溶出してしまい、融氷剤による効果が十分発現されなかったことが原因と

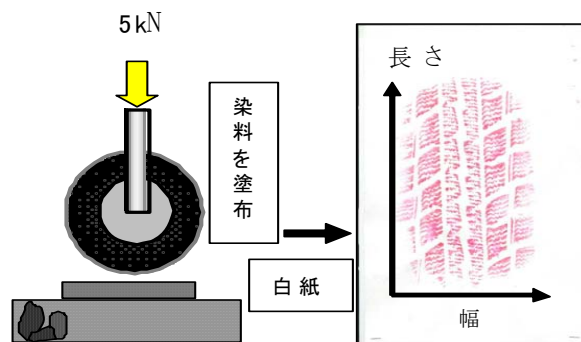


図-5 各路面状態での接地面積の測定模式図

表-2 各路面状態における各供試体の接地面積(cm²)

試験路面	乾燥路面	氷板路面	軟圧雪路面
SMA-HW	291	290	277
改良型	260	266	281
従来型	248	261	271
密粒度	243	269	276
排水性	248	279	290
多孔質・PET	260	264	281
多孔質・砂	245	271	286

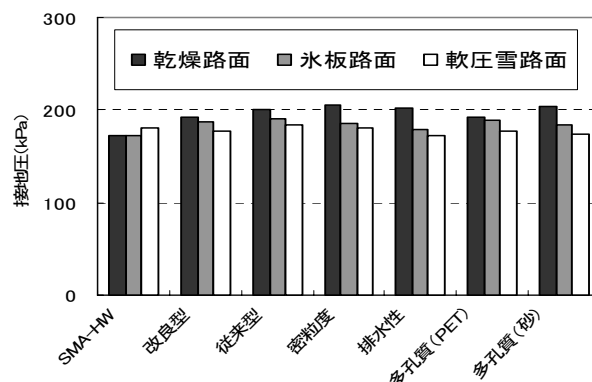


図-6 各路面状態における各供試体の接地圧

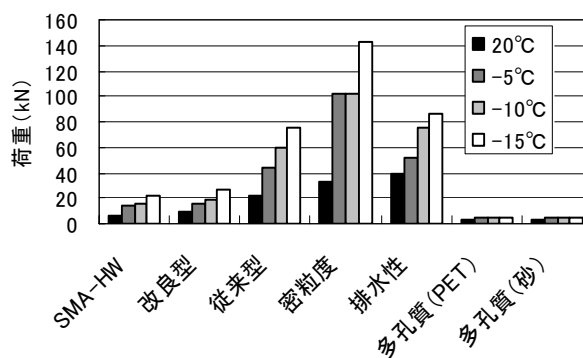


図-7 各温度における2mm変位時の圧縮荷重

思われる。実路では各種の輪荷重が作用するので、表層下部からの融氷剤の溶出が期待できるが、融氷剤の溶出の仕組みや持続性などの改良を要すると考えられる。

「排水性舗装」は、室内試験のため排水機能が維持され、舗装表面の凸部に付着した氷板が消耗して路面の露出率が高くなったと思われる。実路では各種の輪荷重が作用するので、表層下部からの融氷剤の溶出が期待できるが、融氷剤の溶出の仕組みや持続性に関する改良が必要であると考えられる。

排水機能が良好であれば、「排水性舗装」はブラックアイスバーン対策に有効であるといえるが、実際の道路では、排水機能が損なわれたり、道路雪氷が空隙に充填されて粗面のテクスチャが失われた状態となった場合には滑り摩擦係数はかなり低下すると考えられる。

しかし、図-9に示すように、路面温度が -10°C 程度と低く氷板が強固に付着した場合には、どの舗装にも大きな違いは見られない。従って、融氷剤の溶出により雪氷と路面との剥離を助長する効果を目指した「SMA-HW」と「改良型」はその機能が十分に発現されるような更なる改良が必要と考えられる。露出率については、透明に近い氷板路面のために画像処理による測定ができなかった。

(2) 積雪路面・圧雪路面の滑り摩擦係数と露出率の測定

積雪路面、圧雪路面作製に使用した雪は、全て屋外の乾き雪を採取し -15°C の低温室で養生した後、走行レーンにコテで敷き均した。

積雪路面と軟・硬圧雪路面は、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量の水(0°C)の質量を予め計量しておき、積雪路面と軟圧雪路面は含水比が10%、硬圧雪路面は20%になるように3～4層に敷き均すたびに水を噴霧した。その後、軟圧雪路面と硬圧雪路面は輪荷重5kNで10回走行させて締固めた。

積雪路面と軟圧雪の厚さは1.5～2.0cm、密度はそれぞれ約 0.2 g/cm^3 、約 0.5 g/cm^3 で、硬圧雪は厚さ約1cm、密度約 0.7 g/cm^3 である。試験は -5°C で実施し、露出率の測定には、以前から試行的に現場施工されているスタッドレスタイヤゴムを貼り付けたILB舗装も比較に加えた⁸⁾。

a) 積雪路面

図-10に示すように、「密粒度」に比較してゴム骨材使用の3種の舗装は走行回数300回以降の露出率が高くなっており、「改良型」の滑り摩擦係数は300回走行以降大きくくなっている。500回以降では路面はほぼ露出している。

b) 軟圧雪路面

軟圧雪路面では、図-11に示すように、ゴム骨材使用の3種は露出率、滑り摩擦係数ともに積雪路面と比較すると全体に20%程度低下しており、雪氷の路面付着強さ

の影響が出ているが、「密粒度」と比較すると大きな雪氷剥離効果の差が見られ、写真-6に舗装種別走行回数に対する露出率の変化を示した。



写真-4 走行試験装置(左)と圧雪路面作製状況



幅:	10cm
直径:	58cm
性質:	ネオプレンゴム
硬度:	JIS 硬度 80 ± 4
接地圧:	800 kPa

写真-5 ソリッドタイヤとその仕様

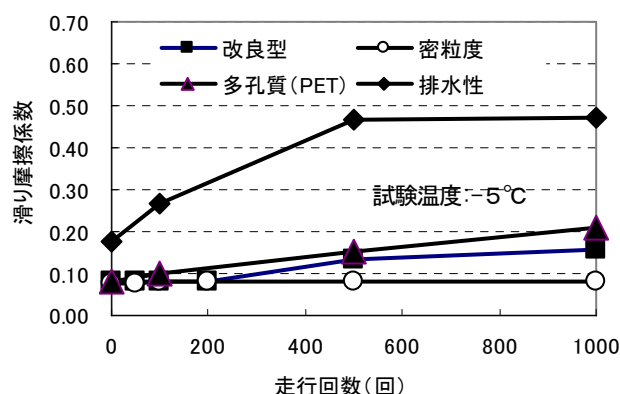


図-8 -5°C の水板路面での滑り摩擦係数

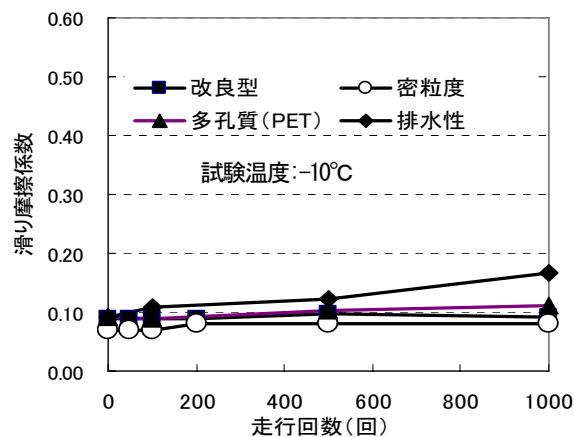


図-9 -10°C の水板路面での滑り摩擦係数

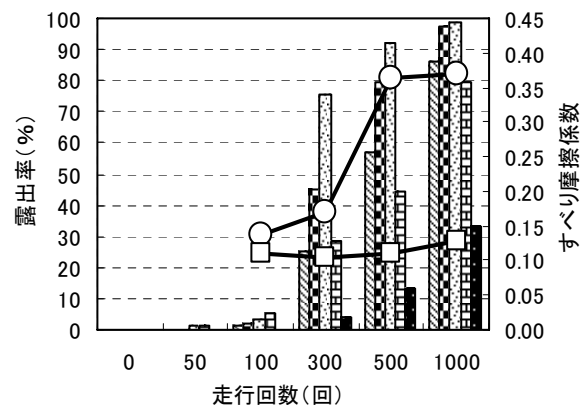
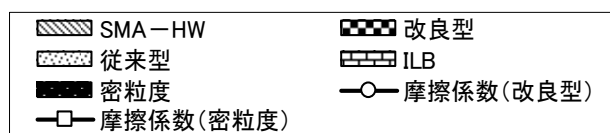


図-10 積雪路面の露出率と滑り摩擦係数

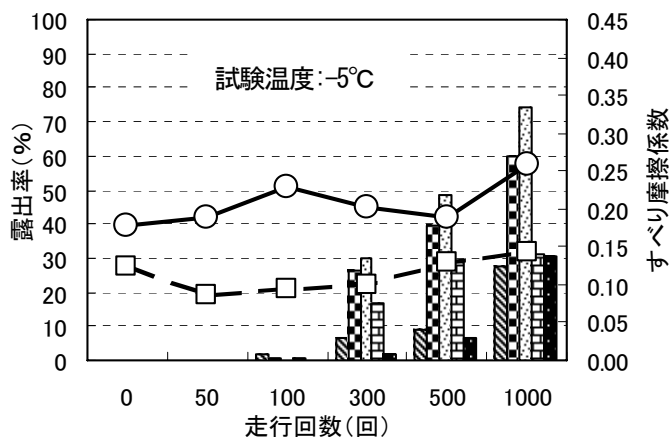
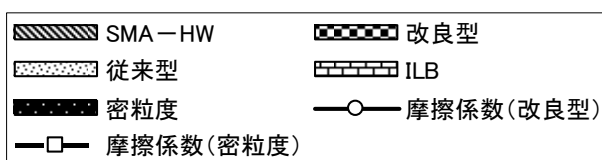


図-11 軟圧雪路面の露出率と滑り摩擦係数

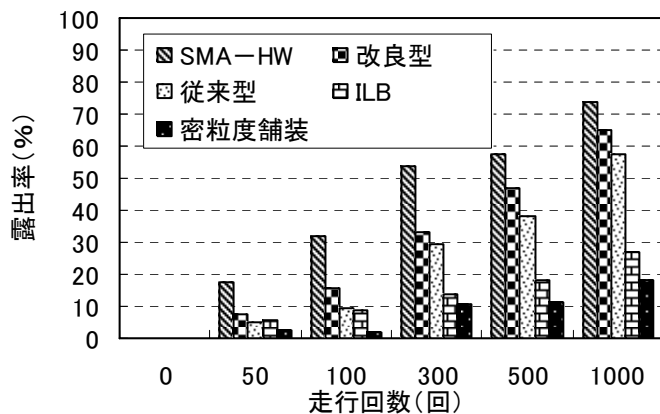


図-12 ソリッドタイヤ走行での硬圧雪路面の露出率

2 値化前・後 2 値化前・後 2 値化前・後

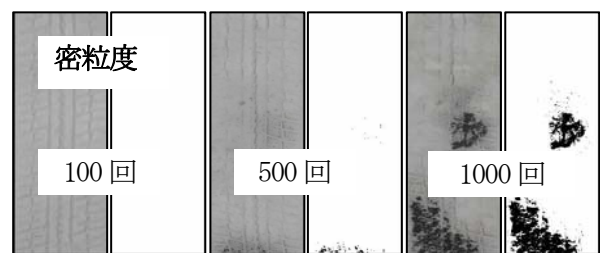
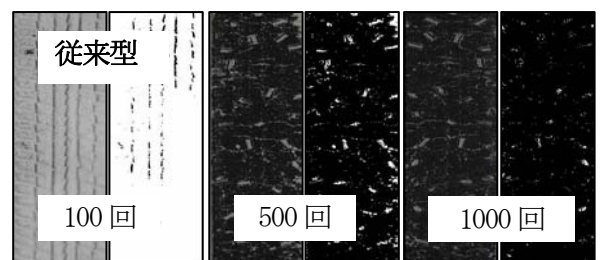
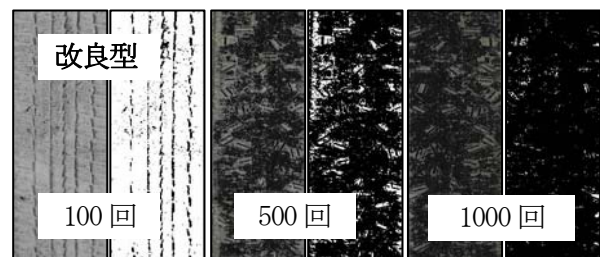
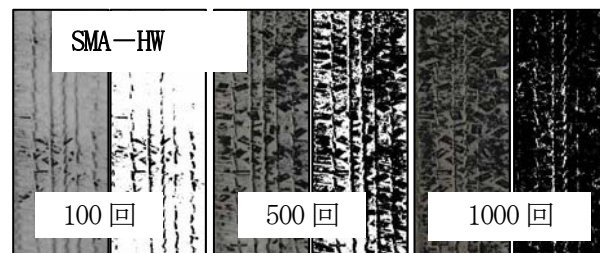


写真-6 軟圧雪路面の走行回数に対する各路面の露出状況の変化

2 値化前・後 2 値化前・後 2 値化前・後

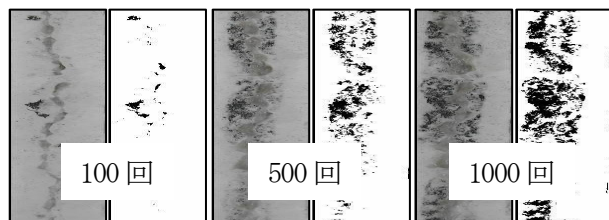
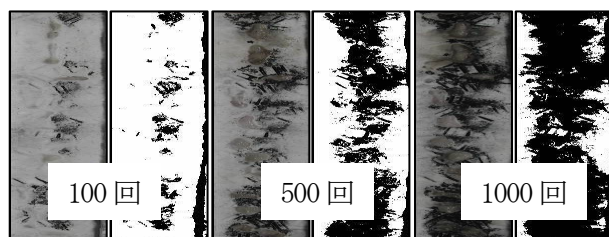


写真-7 ソリッドタイヤ走行による硬圧雪路面の改良型(上)と密粒度(下)の路面状況変化

c) 硬圧雪路面

硬圧雪路面では雪氷の路面付着が強固になり、1000回走行でも全ての舗装で雪氷の剥離がほとんど発生せず、露出率はほぼ0%に近い状態である。そこで、写真-5に示したソリッドタイヤを用いて、大型車の接地圧の条件下で走行試験を実施した。写真-7と前述した撮影画像と画像解析結果と図-12の露出率の結果から、大型車の接地圧が作用した場合には、密粒度舗装に比較してゴム骨材使用の3種の舗装は雪氷の剥離効果が発現している。

6. まとめと今後の開発のための検討課題

- (1) 氷着強度試験や載荷試験において、改良を施した凍結抑制舗装（「SMA-HW」、「改良型」、「従来型」）は、「密粒度」舗装に比較して、雪氷の剥離効果を助長する効果が確認できた。
- (2) 室内走行試験による滑り摩擦係数や路面露出率の測定結果でも、改良を施した凍結抑制舗装は、密粒度舗装や他の凍結抑制舗装と比較してその抑制効果が確認されたが、氷板や硬圧雪路面ではその効果発現は見られなかった。しかし、大型車の接地圧が作用した場合には、密粒度舗装に比較して改良を施した凍結抑制舗装は雪氷の剥離効果が発現している。
- (3) 改良を施した凍結抑制舗装は、融氷剤の溶出効果の持続性などが改良されれば、高性能の凍結抑制舗装として機能すると考えられる。
- (4) 本研究において改良を施した凍結抑制舗装は、さらにその性能を高める必要が明らかとなったので、以下のことを今後の検討課題として考えている。
 - ・マイクロカプセル型融氷剤の開発による溶出効果の持続性の改良

- ・転圧入するゴム骨材のさらなる改良で、例えば、撥水性がありしかも温度依存性の小さいゴムでコーティングしたゴム骨材の開発
- ・ゴムロールド型凍結抑制舗装とは異なるメカニズムを有する舗装の開発として、例えば、機能性SMAをベースとした凍結抑制舗装の開発、などである。

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効果に与える影響, 舗装工学論文集, 第8巻, pp. 43-53, 2003.
- 2) 市原利昭, 早坂保則, 森川友紀:排水性舗装のキメ深さを持つ積雪寒冷地用SMAの試験施工, 第22回日本道路会議論文集, 1997.
- 3) 笠原彰彦, 内田精一, 松尾久志, 市原利昭: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.
- 4) 凍結抑制舗装技術研究会:凍結抑制舗装の評価手法に関する検討, 舗装, 37-8, pp. 26-28, 2002.
- 5) 舗装委員会(環境・再生利用小委員会WG):環境改善を目指した舗装技術の現状(8), 道路, Vol. 765, pp. 68-69, 2004.
- 6) 伊藤孝浩, 武市 靖, 黒川卓郎, 小野田光之:多孔質弾性舗装の工学的特性と凍結抑制効果に関する研究, 土木学会第59回年次学術講演会概要集, 2005.
- 7) N. P. Lasca, et al.:A Data Acquisition System for Testing the Mechanical Properties of Ice, Geotechnical Testing Journal, Vol. 3, No. 1, 1980.
- 8) 竹島 尚, 野田竜也:凍結抑制ブロックの経過報告, 寒地技術論文・報告集, Vol. 16, pp. 559-560, 2000.

A STUDY ON THE IMPROVEMENTS OF ANTI-FREEZING PAVEMENTSWITH PHYSICALLY FLEXIBLE PROPERTIES

Kiyoshi TAKEICHI, Kenji MATSUDA, Masaru MIZOBUCHI

This study aims for improvements of anti-freezing pavements with physically flexible properties based on the concept of gum-rolled asphalt pavements. By addition of de-icing chemicals into the gum-rolled asphalt mixture, bond-destruction between snow/ice and pavement is prospected to be promoted with not only the physically flexible action of pavements under repeated traffic loads but also chemical de-icing effects. As for newly developed anti-freezing pavements, laboratory experiments of physical and chemical properties were carried out. As results of these experiments, though effects of anti-freezing pavements were recognized to some extent, the research subjects of furthermore improvements were clarified.