

凍結抑制舗装の工学的性質に関する研究

Study on Engineering Properties of Anti-freezing Pavements

北海学園大学工学部	○学生員	片山 大輔	(Daisuke Katayama)
北海学園大学工学部		馬場 直人	(Naoto Baba)
北海学園大学工学部		後藤 克哉	(Kazuya Gotou)
北海学園大学工学部	正 員	武市 靖	(Kiyoshi Takeichi)

1.はじめに

現在、道路雪氷管理としてロードヒーティング、凍結防止剤、すべり止め材によって管理されているが、ランニングコスト、塩害など、新たな問題が目立ち始めている。そのため、路面管理の1つとして凍結抑制舗装の開発が進められており、ある程度の凍結抑制効果が認められている。凍結抑制舗装は物理系と化学系¹⁾の2種類に分類され、前者は路面テクスチャによる雪氷の消耗と、たわみによる破砕の効果を持たせているが、効果発現の程度などが問題となっている。また、後者は融氷剤の溶出による路面と雪氷の付着破壊の効果があるが、効果の持続が問題となっている。

本研究では物理系舗装、および物理系と化学系の両方の効果を持たせた舗装について検討を行なった。検討項目として、①凍結抑制舗装の路面テクスチャから、交通荷重による路面雪氷の剥離・消耗効果を検討する平均キメ深さの測定、②熱伝導率の測定においては、舗装表面の熱特性を調べる、③融氷剤による付着破壊などの面から、凍結抑制舗装に生成される氷板の剥がれ易さを検討する氷着強度試験、④舗装のたわみ効果から、雪氷破壊の効果を検討する載荷試験の4つの項目を検討し、舗装の評価を行なった。

今回検討を行なう供試体として、密粒度舗装 F13（密粒度と略称）を基準の供試体とし、物理系舗装である排水性舗装（排水性と略称）、碎石マスチック舗装（SMA と略称）の 2 種類を使用した。また、物理系と化学系の両方の効果を持たせた舗装である改良型碎石マスチック舗装（SMA-I と略称）、改良型ゴムロール舗装（GR-1 と略称）の 2 種類を使用した。

2. 供試体の骨材配合

各供試体の骨材配合表と写真を表-1、写真-1 に示す。排水性は高粘度改質アスファルトを使用し、空隙率 17%で排水機能を持っている。SMA は北海道型の高機能舗装のことをいうが、空隙率は 3%程度である。しかし、テクスチャが粗いため降雨強度が小さい場合にはハイドロプレーニング現象を抑える機能がある。GR-1 は、舗装表面にゴム骨材の転圧入と融氷剤の添加がされており、ゴム骨材による氷板の剥離効果と、融氷剤による雪水の付着破壊が期待できる。ゴム骨材に関しては、硬度 70 のゴム骨材表面に硬度 50 のゴムをコーティングしたものを舗装表面に転圧入している。SMA-I は SMA の混合物内に融氷剤を添加した舗装で、SMA と同等の機能

と、融氷剤による雪氷路面との付着破壊が期待できる。
また、SMA-I、ゴムロードに添加されている融氷剤については、3%がそのまま添加されており、残り 3%はアスファルトでプレコーティングし、持続性を考慮して溶出する仕組みとなっている。

表-1 各供試体の配合表(%) ※外剤

	密粒度	SMA	排水性	SMA-I	GR-1
5号碎石	—	—	—	—	18.3
6号碎石	38.8	64.2	75.6	66.6	18.3
7号碎石	6.1	8.5	—	4.7	—
粗砂	29.9	—	14.6	—	—
細砂	9.3	6.6	—	6.1	46.1
石粉	10.0	10.4	4.8	10.8	9.2
アスファルト	5.9	5.6	5.0	6.2	8.2
スクリーニング	—	4.7	—	5.6	—
植物性繊維	—	—	—	0.3	—
融氷剤	—	—	—	6.0※	6.0※
中温化剤	—	—	—	—	4.0※

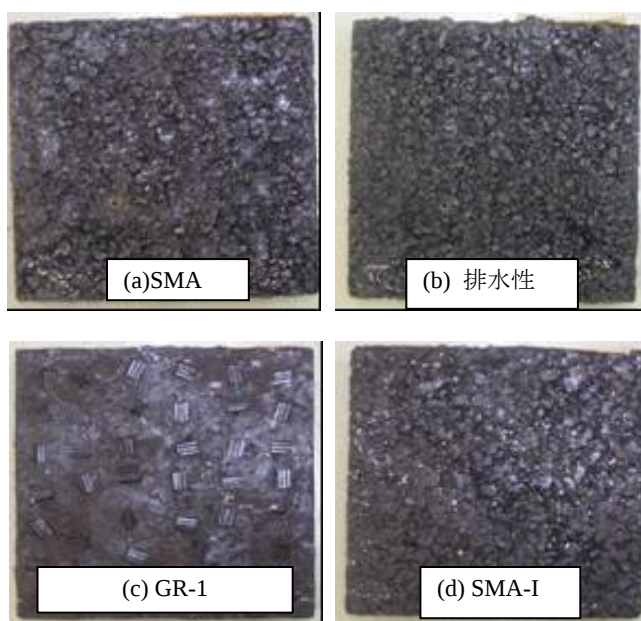


写真-1 各供試体の写真

3.路面テクスチャ測定

路面テクスチャによる凍結抑制効果²⁾の1つとしてテクスチャ凹部に雪氷が充填され、テクスチャ凸部は雪氷が交通荷重で剥離・消耗して路面が露出することが考えられる。そこで路面テクスチャの凹部分の量を定量的に表現する指標として平均キメ深さを測定し舗装表面の性状を調べた。

(1)試験条件

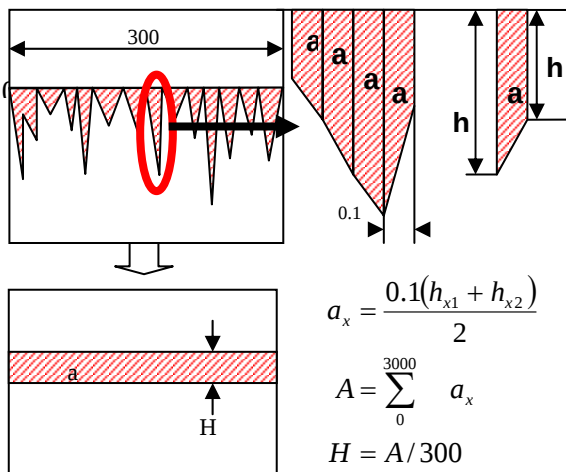
試験条件は表-2に示すように、測定にはCCDレーザー変位センサーを使用し、基準面と舗装面を測定した後、平均キメ深さの算出を行なった。基準面を測定する際はレーザー光が透過しない布を用いた。供試体の寸法は300×300×50mmとし、測定長さ300mmを0.1mmごとに変位を測定した。測定は舗装の縦断方向に3箇所行い、各箇所のキメ深さを算出した後、その平均値を平均キメ深さとする。

表-2 路面テクスチャ測定の試験条件

試験舗装	密粒度・GR-1 排水性・SMA・SMA-I	
室内温度	20℃	
舗装に敷いた布	種類	デニム
	色	黒
	厚さ	0.491mm
測定長さ	300mm	
サンプリング周期	100Hz	
センサー移動速度	10mm/s	

(2)平均キメ深さの算出

平均キメ深さの算出方法は図-1に示した。各測定距離0.1mmを高さ、その区間で測定された2つの深さを上底(h_{x1})・下底(h_{x2})とし0.1mm区間の面積 a_x を求める。この方法で算出された300mmの面積、3000個を足し、測定長さ300mmで除したものを平均キメ深さ(H)とした。



h =キメ深さ(mm)

a =0.1mm区間の面積(mm²)

A =基準面とキメ深さに囲まれた面積(mm²)

H =平均キメ深さ(mm)

図-1 平均キメ深さ算出方法

(3)試験結果

各舗装の平均キメ深さは図-2に示した。排水性舗装、SMA、SMA-Iは、表面のキメが粗く表面に凹凸の多い舗装である。同じくGR-1もSMA-M・SMA-Nと同等の値であるため繰り返し走行による雪氷の剥離・消耗効果が期待できる。

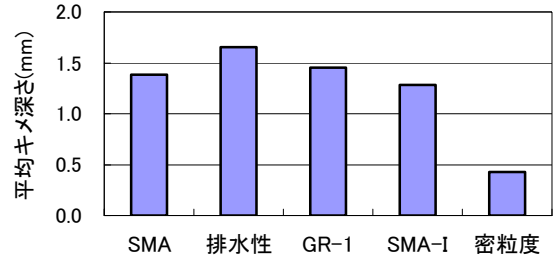


図-2 各舗装の平均キメ深さ

4.熱伝導率試験

熱伝導率試験は、供試体温度の変化による舗装表面の熱特性を調べるために行なった試験である。また、凍結抑制舗装と比較するため、密粒度とコンクリートを測定し比較した。

(1)試験条件

舗装表面の熱伝導率を測定するため、非定常熱線法³⁾の原理に基づくShotherm QTM-D II迅速熱伝導率計を用いた。試験概要は、表-3に示す通りである。また、ゴムロールド・SMA-Iについては、融氷剤の溶出により測定が困難なため、測定には用いなかった。

表-3 試験概要

熱伝導率測定条件	
試験供試体	排水性舗装、SMA コンクリート、密粒度
供試体個数	20個 (各種4個)
供試体温度	-10℃、-5℃、0℃、20℃
測定方法	プローブ式

(2)試験結果

試験結果は図-3、表-4に示すように。密粒度、排水性、SMAは温度変化により熱伝導率の変化(温度依存性)が多少みられたが、コンクリートは温度依存性が見られなかった。また、密粒度に比べ排水性・SMAは、舗装表面が粗く、空気層があるため、熱伝導率の低い値が出た。

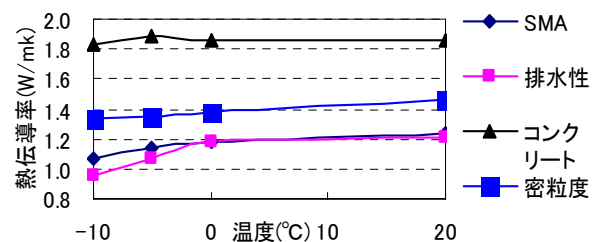


図-3 熱伝導率測定結果

表-4 熱伝導率測定結果

温度(℃)	SMA	排水性	コンクリート	密粒度
-10	1.073	0.951	1.825	1.331
-5	1.133	1.072	1.881	1.346
0	1.176	1.185	1.862	1.372
20	1.238	1.208	1.854	1.465

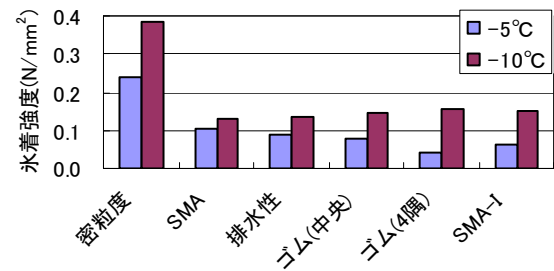


図-5 氷着強度試験結果

5.氷着強度試験

氷着強度試験は、建研式を用い、舗装の各路面温度における氷板の付着強度、平均キメ深さによる付着面積と氷着強度の関係、及び、融氷剤による付着破壊の関係を調べるために行なった試験である。

(1)試験条件

鋼製治具に接着した不織布に水を含ませ、各温度で養生した後、建研式引張試験機を用い、試験を実施した。また、GR-1の測定⁴⁾は、図-4のようにゴム骨材が中央に1個の場合と、4個の場合の2通りで試験を行った。試験条件は表-5に示した。

表-5 試験条件

供試体名	GR-1	密粒度・排水性 SMA・SMA-I
試験温度	-5℃・-10℃	
付着水	0℃の水を13cc	
養生時間	4時間	
引張速度	10mm/min	
接着パターン	中央にゴム1個 ゴム4個	供試体4隅と中央

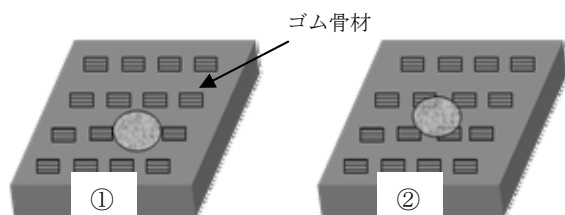


図-4 治具の氷着位置: ゴム骨材の①中央と②4隅

(2)試験結果

氷着強度は、図-5に示すようにSMA、排水性舗装の氷着強度が低く出た。この結果は路面テクスチャの結果から路面との付着面積と平均キメ深さが関係していると考えられる。また、SMA-I、GR-1と共に-5℃では融氷剤の効果が出たといえるが、-10℃ではあまり効果を出すことができなかったため、-10℃の場合、融氷剤はほとんど溶出ししないものと考えられる。

6.載荷試験

載荷試験⁵⁾は、載荷試験装置を用い、乗用車タイヤの接地面積によるたわみの関係を路面温度別に調べる事と、GR-1のゴム骨材によるたわみ効果を調べるために行なった試験である。

(1)試験条件

載荷試験を行う際、普通自動車用タイヤの走行時と同じ接地面積の形状を決定するために、表-6に示した試験条件で接地面積を求める。タイヤにインクを塗り、写真-2の室内走行試験機を使い図-6の用に白紙の上に垂直に載荷し、長さと幅から算出を行なう。次に表-7の試験条件で供試体を養生し、載荷試験装置で1mm、2mm変位時の荷重を測定する。



写真-2 室内走行試験機

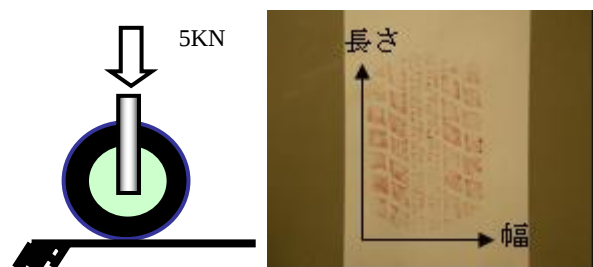


図-6 接地面積の測定模式図

表-6 接地面積測定条件

試験舗装	GR-1、SMA-I
路面状況	乾燥路面
使用 タイヤ	乗用車 スタッドレスタイヤ
試験温度	-5℃
載荷重	5kN

表-7 載荷試験条件

試験供試体	GR-1、SMA、SMA-I 排水性、密粒度
供試体寸法	300×300×50mm
試験温度	20℃、-5℃、-10℃
載荷版の直径	180mm
測定変位量	1mm, 2mm

(2)試験結果

接地面積の測定結果は表-8 に、1mm、2mm変位時の圧縮荷重は図-7、図-8 に示した。接地面積の測定結果、面積はSMA-Iの接地面積 263.3cm²を平均的なものとし、載荷板として直径 180mmのものをを用いた。載荷試験の結果は、GR-1 の場合、ゴム骨材の効果もあり、少ない荷重でも変位が見られた。また、温度による影響も少なかったため、たわみ効果が十分期待できると考えられる。

表-8 接地面積測定結果

路面状況	面積(cm ²)	円の直径(cm)
GR-1	312.0	19.9
SMA-I	263.3	18.3
密粒度	242.6	17.6

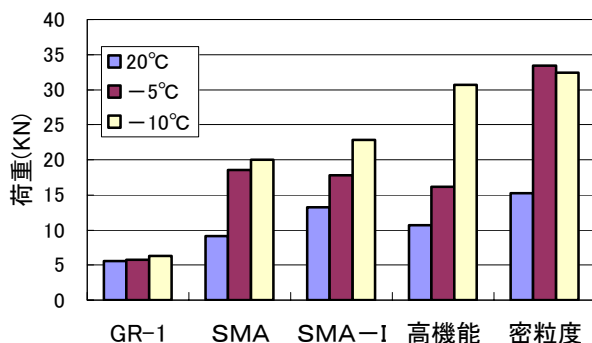


図-7 1mm 変位時の圧縮荷重

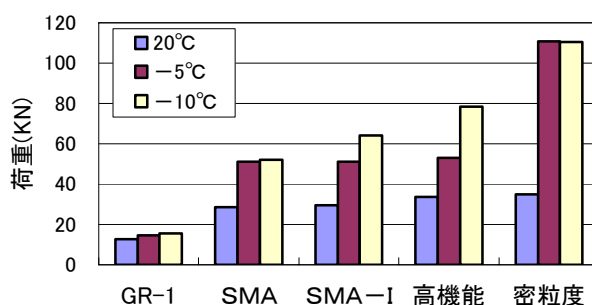


図-8 2mm 変位時の圧縮荷重

7、まとめ

本研究での成果は以下のようにまとめられる。

- 今回使用した凍結抑制舗装の平均キメ深さが大きいので、粗面による路面雪氷の剥離・消耗効果が期待できると考えられる。

- 熱伝導率試験の結果、アスファルト舗装には多少温度依存性があることがわかる。高機能・SMA は舗装表面のキメが粗く、空気層があるため、熱伝導率が低くなった。
- 氷着強度試験の結果、路面温度-5℃では GR-1、SMA-I と共に融氷剤の効果が表れた。路面温度-10℃での融氷剤の効果は見られなかった。また、付着面積が低いと氷着強度も低い値がでる。
- 載荷試験の結果、GR-1 は、たわみ効果による氷板の剥離が十分に期待できると考えられる。

8、おわりに

今後の研究課題として以下のことが挙げられる。

- 今回実験で使用した舗装を、凍結路面走行試験室の走行試験機で、氷板路面と圧雪路面の繰り返し走行試験を行って、雪氷の消耗効果を調べる。
- 路面テクスチャの測定で GR-1 は SMA、SMA-I と同等の平均キメ深さが出たが、GR-1 の場合、ゴム骨材の設置箇所によって平均キメ深さが変わってくるため測定方法の検討が必要である。
- 各舗装の熱伝導率は路面凍結状態に影響を与えると考えられるが、今回行なった試験は舗装表面の熱伝導率であることと、排水性と SMA の熱伝導率に差がみられなかったことから、舗装表面のテクスチャと、空隙率を考慮した測定が必要であると考えられる。

参考文献

- 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
- 伊藤孝治 長谷川幸一 武市靖：第 59 回年次学術講演概要集 社団法人土木学会 舗装路面の違いが道路雪氷の剥離・消耗過程に与える影響 pp.1037~pp.1038、2004
- 朝倉邦造：熱計測技術 朝倉出版 pp.109~pp.111、1986
- 武市靖 松田謙治 溝渕優：土木学会舗装工学論文集 第 11 巻 物理系凍結抑制舗装の改良に関する検討 pp.75~pp.76、2006
- 加藤寛道 林信也 坂本健次：土木学会第 61 回次学術研究会 凍結抑制舗装の性能評価に関する一検討 pp.327~pp.328、2006