

原著論文

## 遮熱性舗装が寒冷地路面に与える影響

### Effect of Heat-Shielding Pavement on the Cold Weather Road Surfaces

鈴木 英悟

Eigo SUZUKI

函館短期大学

Hakodate Junior College

#### 要旨

本研究は、冬の寒冷地域において遮熱性舗装を施行した場合の路面湿度および路面状況の変化を測定し、その空間が生活環境に与える影響について検証することを目的とした。結果として、遮熱性舗装は排水性舗装と比較して、路面温度の上昇が抑制されることから、融雪に時間がかかり、さらに降雪時は積雪量が増加することが考えられた。また、遮熱性舗装は排水能力が低いことから、水分が路面上に残存し続けることで夜間や寒冷暴露時に凍結する危険性が予想され交通障害等が多発する可能性があることが考えられた。これらのことから積雪を伴う冬季特有の気象を伴う地域において、遮熱性舗装の施行は、積雪路面や凍結路面を由来とする人身事故ならびに交通事故を多発させる危険性があり、我々の生活の安全性を脅かす可能性があることが示唆された。

キーワード：寒冷地、遮熱性舗装、路面温度、路面環境

#### 1. 緒言

第32回オリンピック競技大会（通称：2020東京オリンピック）において、競技者および観客の熱中症予防対策の一環として、マラソンコースを含む都道109kmに遮熱性舗装工事が施された。

遮熱性舗装は、近赤外領域の反射を高め、通常より日射エネルギーの反射を向上させることによって、舗装への蓄熱を防ぎ路面温度の上昇を抑制する効果を持つ舗装とされている。暑熱環境、とくに日射のある環境に対して路面温度を低減させる<sup>1)</sup>ことが報告されている。しかしその一方で、路面から赤外線等の反射によりその上の空間では気温が上昇することが報告されている<sup>2)</sup>。つまり、暑熱環境下における遮熱性舗装は、路面の温度の低減には有効であるが、ヒトが立つ空間では逆に暑さが憎悪し、暑さ対策には逆効果であることが明らかである。遮熱性舗装の地域圏別施工件数で

は関東地方が1185件（64%）と最も多く、次いで中部地方（226件、12%）、九州地方（224件、12%）、近畿地方（122件、7%）となっている。東北地域においても31件（2%）、うち北海道では2件の施工実績が報告されており、すでに寒冷地域においても、遮熱性舗装が整備されつつある<sup>3)</sup>。

日本において、北海道、東北および日本海側の地域は、地球温暖化の影響を受け夏季は猛暑となり、逆に冬季は極寒となりかなりの積雪が認められる地域が多々ある。このような地域において遮熱性舗装を整備した場合、冬季の環境下において遮熱性舗装路面から受ける影響について検討したものはない。

これまで道路に整備されてきたアスファルト舗装は、日射による赤外線をほぼ100%吸収し蓄熱するため、低気温下であっても路面温度が保たれることから降雪や降雨時の凍結防止の効果がある

と思われる。しかし冬季に寒冷となる地域において、遮熱性舗装を施し路面温度の低下が認められた場合、融雪の遅れや降雨時の路面の凍結を助長する危険性が高まり交通障害等が多発する可能性が考えられる。

## 2. 目的

本研究は、冬の寒冷地域において遮熱性舗装を施行した場合の路面温度および路面状況の変化を測定し、その空間が生活環境に与える影響について検証することを目的とした。

## 3. 方法

### (1) 測定場所

北海道函館市において、通常のアスファルト舗装（以下、排水性舗装（*drainage pavement*）と称す）と遮熱性舗装（*Heat shield pavement*）を実験的に整備した場所とした。

### (2) 測定期間

2020年1月から3月までの寒冷期間とした。

### (3) 測定条件

排水性舗装と遮熱性舗装において下記の3条件下で比較実験を実施した。1回の測定時間は、120分間とした。なお、積雪後の融雪状態については、昼間で路面の雪が溶けることが予想される場合、その時間まで測定を継続した。

- 1) 各測定舗装路面が乾燥している条件：路面が積雪や降雨において濡れていない状態（以下：*dry* 路面と称する）。
- 2) 各測定舗装路面が濡れている条件：路面が融雪後あるいは降雨によって濡れている状態（以下：*wet* 路面と称する）。
- 3) 各測定舗装路面に積雪している条件：降雪により路面に積雪がある状態（以下：*snow* 路面と称する）。

### (4) 測定内容

- 1) 気温、相対湿度、黒球温度および *Wet-bulb globe temperature*（以下：*WBGT* と称す）の測定は *WBGT* 計（*TANITA* 社製：*TC-300WH*）を用い

て、1分間隔で測定し比較した。

### 2) 日射量および赤外線量測定

日射量計（*T&D* 社製：*Illuminance UV Recorder TR-74Ui*）を用いて、1分間隔で測定し比較した。

### 3) 路面温度測定

サーモグラフィ装置（*FLIR* 社製：*FLIR C2*）を用いて、各舗装路面温度（同一箇所）を10分間隔で撮影し、その路面温度の変化を比較した。

各路面のサーモグラフ温度は、ランダムに5点選択して、その平均値を求めた。

### 4) Snow 条件時の融雪時間測定

サーモグラフィ装置（*FLIR* 社製：*FLIR C2*）によって10分間隔で撮影した画像記録から、融雪開始時（雪解けにより路面が見え始めた時点）から融雪終了時（全ての雪が溶け、完全に路面が現れた時点）の時間を導き出し、各路面の融雪時間とした。

### (5) 測定環境整備

#### 1) 測定路面の設置条件

排水性舗装と遮熱性舗装の各舗装面の環境条件が一致する場所を選択し、設置することとした。また、各舗装路面が互いの影響を受け合うことを避けるため3 m離し設置することとした。

#### 2) 遮熱舗装工程（塗装）

施工にあたっては、2液反応型超速乾型塗料（株式会社 ミラクル社製）を用い、塗装仕様書の作業工程に則り施行した。塗装面積は、2 m<sup>2</sup> (Fig.1) とした。施工後1週間の時間をおき舗装路面を安定させたのち、測定を行った。

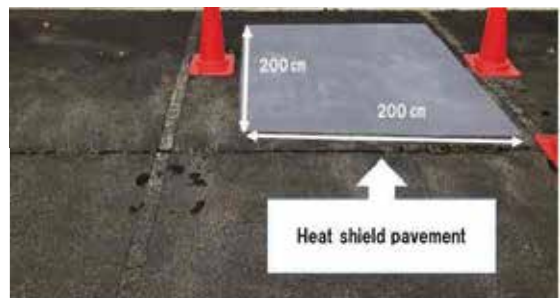


Fig.1 Heat shield pavement construction.

### (6) 測定手順

- 1) 整備した2条件の路面にそれぞれ三脚を設置

し、路面から 150 cmの高さに日射量計と WBGT 計を取り付けた (Fig.2)。

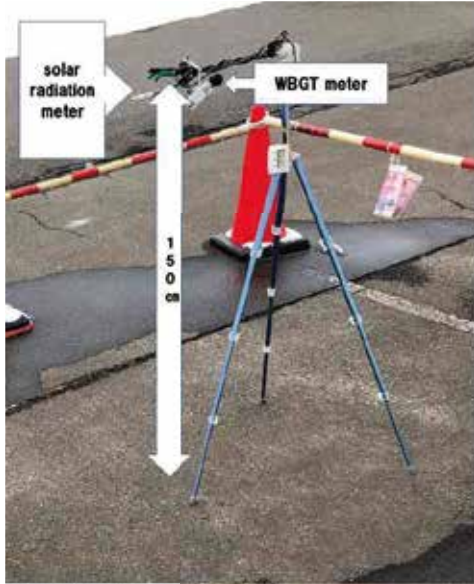


Fig.2 Measuring instrument installation method (solar radiation meter and WBGT meter).

2) 環境温度等の測定は、日射量計および WBGT 計を用い 1 分間隔で 120 分間測定し記録した。

路面温度ならびに路面状況については、サーモグラフィ装置を用い 10 分間隔で 120 分間撮影することとした。

3) Snow 路面において融雪が確認される場合は、路面上の積雪が完全になくなるまで路面の撮影を継続した。

#### 4. 結果

(1) 3 条件 (dry 路面・wet 路面・snow 路面) における遮熱性舗装と排水性舗装の気温、湿度および黒球温度の変化

##### ① 気温の変化

遮熱性舗装と排水性舗装の 3 条件の路面上空間における気温の比較ならびに 120 分間の平均気温の比較について dry 路面条件下を Fig.3 に、wet 路面状況下を Fig.4 に、snow 路面状況下を Fig.5 に示した。

1 分毎の気温変化の比較では遮熱性舗装は排水性舗装と比較して僅かではあるが低い傾向を示し、dry 路面においては測定 5 地点 (測定開始 10 分、15

分、60 分、90 分、110 分経過時)、snow 路面にお

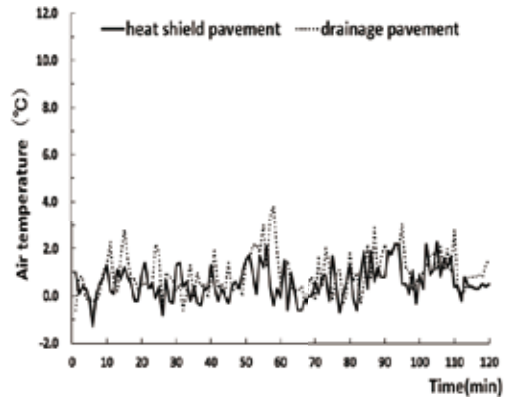


Fig. 3 Comparison of air temperature in dry road surface space between heat shield pavement and drainage pavement.

Date of measurement: February 10, 2020.

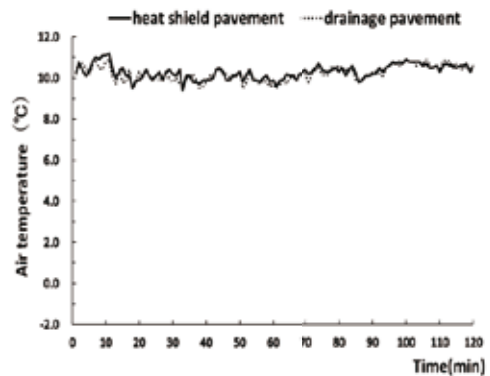


Fig. 4 Comparison of air temperature in wet road surface space between heat shield pavement and drainage pavement.

Date of measurement: February 13, 2020.

いては測定 6 地点 (測定開始 20 分、35 分、55 分、60 分、75 分、120 分経過時) で遮熱性舗装に比べ排水性舗装が高い傾向が見られた。一方 wet 路面について遮熱性舗装は排水性舗装と比較して僅かであるが、高い傾向を示した。

また、3 条件の遮熱性舗装と排水性舗装との 120 分の平均温度 (dry 路面：遮熱性舗装  $0.57 \pm 0.72^\circ\text{C}$ 、排水性舗装  $0.97 \pm 0.90^\circ\text{C}$ 、wet 路面：遮熱性舗装  $10.29 \pm 0.35^\circ\text{C}$ 、排水性舗装  $10.23^\circ\text{C} \pm 0.36^\circ\text{C}$ 、snow 路面：遮熱性舗装  $4.52 \pm 0.88^\circ\text{C}$ 、排水性舗装  $4.9 \pm 1.11^\circ\text{C}$ ) においても大きな温度差はみられず、有意差は確認されなかった。

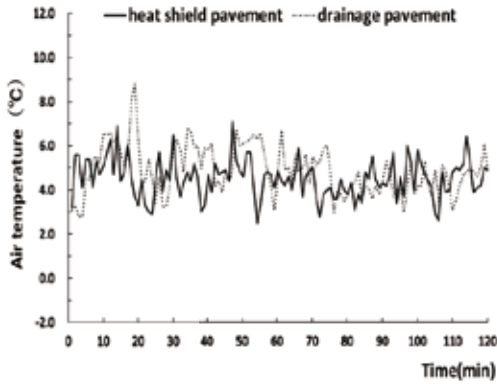


Fig.5 Comparison of air temperature in snow road surface space between heat shield pavement and drainage pavement.

Date of measurement: February 20, 2020.

### ②相対湿度の変化

遮熱性舗装と排水性舗装の3条件それぞれの路面上空間における相対湿度の平均の比較を Table. 1 に示した。3条件における遮熱性舗装と排水性舗装の相対湿度の平均値を見てみると、dry 路面では遮熱性舗装 33.9±1.38% に対し排水性舗装 33.2±1.40%、wet 路面では、遮熱性舗装は 63.71±1.66%、排水性舗装では 64.19±1.67%、wet 路面では遮熱性舗装が 42.1±2.22%、排水性舗装は 43.2±1.96%であった。3条件下における遮熱性舗装と排水性舗装との間に顕著な差異は確認されず、有意差は認められなかった。

### ③黒球温度の変化

遮熱性舗装と排水性舗装の3条件それぞれの路面上空間における黒球温度の比較を Table.1 に示した。3条件における遮熱性舗装と排水性舗装の黒球温度の比較では、dry 路面では遮熱性舗装が高い傾向を示し、逆に snow 路面では排水性舗装が高値を示した。一方 wet 路面においては、両者との間に平均黒球温度差はみられず、3条件の遮熱性舗装と排水性舗装との120分の平均黒球温度 (dry 路面：遮熱性舗装 7.26±0.87°C、排水性舗装 6.85±0.65°C、wet 路面：遮熱性舗装 11.51±0.60°C、排水性舗装 11.47±0.62°C、snow 路面：遮熱性舗装 7.39±2.22°C、排水性舗装 10.04±3.14°C) においても大きな平均黒球温度差はみられず、有意差は確

認されなかった。

### (2) 3条件 (dry 路面・wet 路面・snow 路面) における遮熱性舗装と排水性舗装の日射量・紫外線量の変化

3条件における遮熱性舗装と排水性舗装との平均日射量の比較を Table.1 に示した。dry 路面の遮熱性舗装は 89740±2437 W/m<sup>2</sup>、排水性舗装では 92862 ±4017 W/m<sup>2</sup>、wet 路面の遮熱性舗装は 16380 ±1528 W/m<sup>2</sup>、排水性舗装では 17366 ±1768 W/m<sup>2</sup>、snow 路面の遮熱性舗装は 77192 ±12934 W/m<sup>2</sup>、排水性舗装では 85096 W/m<sup>2</sup>±15251 W/m<sup>2</sup> であり、3条件における遮熱性舗装と排水性舗装との間に有意差は確認されなかった。

次に、Table.1 に3条件における遮熱性舗装と排水性舗装との平均紫外線量の比較を示した。全てにおいて排水性舗装の値が高い傾向を示し、3条件の中では snow 路面において (遮熱性：1.164 ±0.16 mW/cm<sup>2</sup>、排水性：1.348 ±0.20 mW/cm<sup>2</sup>) 最も値に差がみられたものの、3条件の遮熱性舗装と排水性舗装との間には有意差は確認されなかった。

### (3) 3条件 (dry 路面・wet 路面・snow 路面) における遮熱性舗装と排水性舗装の路面温度の変化

#### ①dry 路面

dry 路面における遮熱性舗装と排水性舗装との平均路面温度の比較ならびに120分間の平均値の比較を Fig.6 に示した。測定開始から終了時まで常に遮熱性舗装は、排水性舗装と比較して低値を示した。

また、遮熱性舗装と排水性舗装の平均路面温度の比較では、遮熱性舗装が有意に低値を示した (p <0.001)。さらに120分間 (測定開始時から終了時) の各路面平均値温度の変化を見てみると、排水性の路面温度は、6.92°C (開始時+9.52°C、終了時+16.44°C) 上昇し、遮熱性舗装の路面温度の上昇は 5.68°C (開始時-3.06°C、終了時+2.62°C) であった。このことから snow 路面における遮熱性舗装の路面温度の上昇は抑制されることが明らかとなった。

Table.1 Comparison of 120 minutes average(SD) air temperature, relative humidity, globe temperature, WBGT and solar sky UV intensity of heat shield pavement and drainage pavement.

	Dry road surface space		Wet road surface space		Snow road surface space	
	heat shield pavement	drainage pavement	heat shield pavement	drainage pavement	heat shield pavement	drainage pavement
Air temperature(°C)	0.57(±0.72)	0.97(±0.90)	10.29(±0.35)	10.23(±0.36)	4.52(±0.88)	4.90(±1.11)
Relative humidity(%)	33.95(±1.38)	33.23(±1.40)	63.71(±1.66)	64.19(±1.67)	42.10(±2.22)	42.29(±1.96)
Globe temperature	7.26(±0.87)	6.85(±0.65)	11.51(±0.60)	11.4788(±0.62)	7.39(±2.22)	10.04(±3.14)
WBGT(°C)	0.47(±0.47)	0.60(±0.49)	8.66(±0.48)	8.90(±0.47)	2.97(±1.44)	3.43(±1.53)
Solar sky UV intensity(mw/m <sup>2</sup> )	89740.91(±2437.12)	92862.41(±401776)	16380.16(±1528.12)	17366.16(±1768.78)	77192.25(±12934.68)	85096.83(±15851.16)

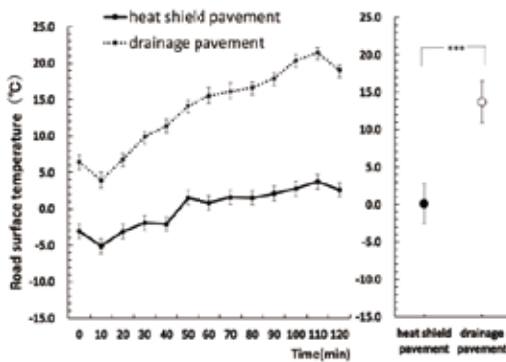


Fig.6 Dry Comparison of 10 minutes average road surface temperature changes between heat shield pavement and drainage pavement (left side view) and comparison of 120 minutes average road surface temperature of heat shield pavement and drainage pavement (right side view).

\*\*\* p<0.001

Values are means ± SD of Five independent experiments.

Date of measurement: February 10, 2020.

②wet 路面

wet 路面における遮熱性舗装と排水性舗装との平均路面温度の比較ならびに 120 分間の平均値の比較を Fig.7 に示した。測定開始から終了時まで、遮熱性舗装は排水性舗装と比較して低値を示し、遮熱性舗装と排水性舗装の平均路面温度の比較では、遮熱性舗装が低値を示し有意差が確認された (p<0.05)。

また、カメラ実写記録から各路面の湿潤路面から乾燥路面に変化する時間を導き出した。その結果、排水性舗装は実験開始 40 分後から路面の部分的乾燥が始まり、50 分後(測定開始 100 分)には、全測定路面の乾燥が確認された。しかし遮熱性舗

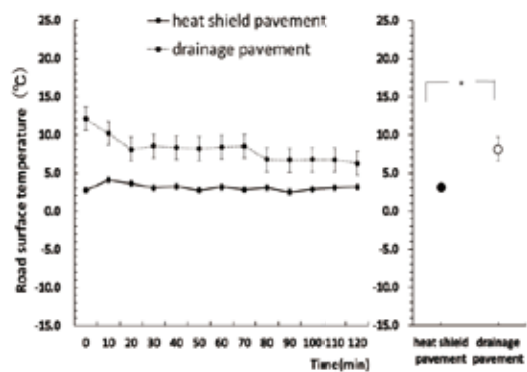


Fig.7 Wet Comparison of 10 minutes average road surface temperature changes between heat shield pavement and drainage pavement (left side view) and comparison of 120 minutes average road surface temperature of heat shield pavement and drainage pavement (right side view). \*p<0.05 Values are means ± SD of Five independent experiments.

Date of measurement: February 13, 2020.

装においては、実験開始から終了時まで、測定路面上が乾燥(路面上に水溜が残ったままの状態)することはなかった。さらに 120 分間(測定開始時から終了時)の各路面平均値温度の変化を見てみると、排水性舗装の路面温度は、-5.84°C(開始時+12.1°C、終了時+6.26°C)大きく下降したが、遮熱性舗装においては 0.46°C(開始時+2.72°C、終了時+3.18°C)とごく僅かな上昇にとどまった。排水性舗装の路面温度の低下は、路面乾燥(水分蒸発)時に気化熱として路面温を奪った結果と考えられた。

③snow 路面

snow 路面における遮熱性舗装と排水性舗装との平均路面温度の比較ならびに 120 分間の平均値

の比較を Fig.8 に示した。

こちらでも dry 路面ならびに wet 路面と同様に測定開始から終了時まで、遮熱性舗装は排水性舗装と比較して、終始、低値を示した。120 分間（測定開始時から終了時）の各路面平均値温度上昇の変化を見てみると、排水性舗装の路面温度は、18.78°C（開始時-8.96°C、終了時+9.82°C）上昇し、遮熱性舗装の路面温度の上昇は 6.94°C（開始時-10.34°C、終了時-3.4°C）にとどまった。平均路面温度の比較では、遮熱性舗装が排水性舗装と比較して有意に低値を示した（ $p < 0.001$ ）。このことから snow 路面における遮熱性舗装は路面温度の上昇を抑制することが明らかとなった。

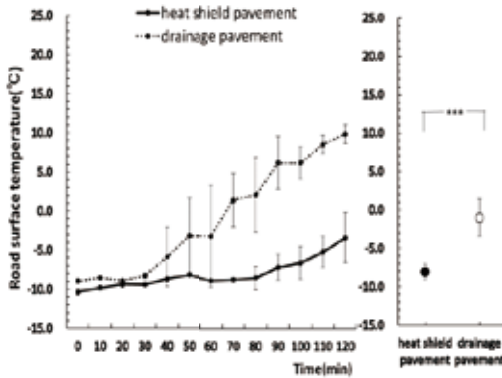


Fig.8 Snow Comparison of 10 minutes average road surface temperature changes between heat shield pavement and drainage pavement (left side view) and comparison of 120 minutes average road surface temperature of heat shield pavement and drainage pavement (right side view). \*\*\*  $p < 0.001$   
Values are means  $\pm$  SD of Five independent experiments.  
Date of measurement: February 20, 2020.

サーモグラフィ画像をもとにして遮熱性舗装および排水性舗装の融雪時間の差異を示したものが Fig.9 である。測定路面の融雪にかかった時間は、排水性舗装では 80 分であったが、遮熱性舗装においては約 30 分長い 110 分であった。融雪時間について遮熱性舗装は排水性舗装と比較して有意に長時間かかることが明らかとなった（ $p < 0.01$ ）。

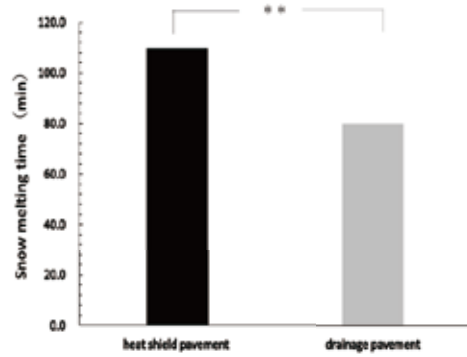


Fig.9 Comparison of snow melting time between heat shield pavement and drainage pavement. \*\* $p < 0.01$   
Date of measurement: February 20, 2020.

## 5. 考察

櫻村ら<sup>2)</sup>は、路面温度の上昇を抑制するものの舗装路面上の環境においては逆に空間の気温上昇、赤外線の反射量が増大することで人体に悪影響を与える危険性があると報告している。本研究において気温、湿度、黒球温度、日射量および赤外線量について測定し遮熱性舗装が空間に与える影響について遮熱性と排水性で比較したが、両者の間に大きな差異は認められなかった。これらの原因としては、櫻村らが真夏の関東地方における環境下（気温 33 度以上）で行った研究であったのに対し、本研究は北海道（函館市）冬季であり、寒冷期特有の季節的な影響（気温、日射量および赤外線量が低い）を受けた結果であると考えられた。昨今の地球温暖化の影響を受けて北海道内においても夏季の最高気温が 30°C を超える日が増えてきている<sup>4)</sup>ことから、今後北海道の夏季において同様の研究を行い、遮熱性舗装を施した空間が身体に与える影響についても検討する必要があると考える。

2020 東京オリンピックのマラソンは、暑熱環境下における競技の実施は熱中症等の危険性を高めることから、その実施を北海道札幌市に移すことが決定された。先に論じたように、地球温暖化の影響を受け北海道においても真夏日を記録する日が多くなってきている。それに伴い路面の温度も

必然的に上昇することは間違いない。その解決策として安易に遮熱性舗装の整備を急いだ場合、夏季では一定の恩恵は得られるであろうが、冬季期間、頻繁に積雪や凍結がみられる寒冷地方において、生活上の安全性は確保に対して疑念が残る。上述のように遮熱性と排水性との間には気温等の環境温度ならびに日射量等に差がみられなかったことから環境条件的にはほぼ同等であったにもかかわらず、3条件下における両者間の比較では大きな路面温度に差が認められた。これらのことから寒冷環境下においても、遮熱性は太陽光に含まれる赤外線を反射させることから排水性と比べ路面温度の上昇を抑制したわけであるが、遮熱性の路面の特筆する特徴として、排水性と比較してWet路面において路面の乾燥、Snow路面においては融雪に時間を要することが示された。路面が乾燥状態では、路面温度と気温との相関は比較的良好だが、熱的平衡状態に近い凍結・融解過程にある湿潤露出や濡れ雪氷の状態では、路面温度の範囲は狭く、気温との相関は低いことが報告されている<sup>5)</sup>。ここで、降雪時の遮熱性と排水性の積雪状況の比較をFig.10に示した。日中、約1時間の降雪が確認された日(気温：約4.8°C)の路面状況を記録したものである。排水性では、積雪することはなかったが、遮熱性では2cm程度の積雪が確認された。排水性では瞬時に融雪してしまうような状況下であっても、遮熱性においては積雪がみられた。このことから遮熱性は日射による路面温度の上昇を抑制するとともに、蓄熱作用も低いことが考えられる。

北海道の一般国道における車両の冬型事故(スリップ事故、轍事故、視界不良事故、その他)の分析結果では、凍結によるスリップ事故が全体の8割を超えており、対人車両事故も41.9%(夏季は4.5%)と高くなり、さらに、スリップ事故は日平均気温が-8°C~0°Cに多発しているが報告されている<sup>6,7)</sup>。このように積雪を伴う冬季特有の気象を伴う地域において、遮熱性舗装の施行は、積雪路面や凍結路面をより多く作りだし、人身事故を含む交通事故が多発させ、我々の生活の安全性を脅かす可能性があると考えられた。

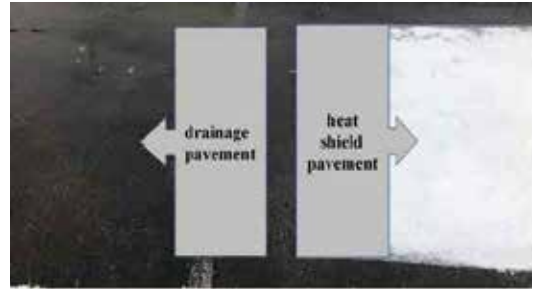


Fig.10 Comparison of snow cover between heat shield pavement and drainage pavement during snowfall.

Date of measurement: February 25, 2020.

## 6.まとめ

本研究では、冬の極寒地域において路面温度の上昇を抑制する効果を持つ遮熱性舗装を施行した場合、3条件(dry路面、wet路面、snow路面)の路面温度および路面状況の変化、また、その空間が環境に与える影響について検証した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 3条件における空間上の気温の比較では、遮熱性路面は排水性舗装と比較して低い数値を示した。測定120分間の各路面の平均値の比較において、同様に遮熱性舗装は排水性舗装と比較して低い数値を示したが有意差は見られなかった。
- 2) 3条件における測定120分間の空間上の相対湿度の平均値の比較では、遮熱性舗装は排水性舗装と比較して低い数値を示したが有意差は見られなかった。
- 3) 3条件における空間上の黒球温度の比較では、遮熱性舗装は排水性舗装と比較して低い数値を示した。測定120分間の各路面の平均値の比較において、同様に遮熱性舗装は排水性舗装と比較して低い数値を示したが有意差は見られなかった。
- 4) 3条件における測定120分間の空間上の日射量および紫外線量の比較では、遮熱性舗装は排水性舗装と比較して低い数値を示したが有意差は見られなかった。

- 5) 3条件における路面温度の比較では、遮熱性舗装は排水性舗装と比較して、低い数値を示した。さらに測定2時間の各路面の平均値の比較では、dry路面およびsnow路面において遮熱性舗装は排水性舗装と比較して有意に低い数値を示した。
- 6) wet路面における遮熱性舗装舗装と排水性舗装との乾燥時間の比較では、排水性舗装は、測定開始100分後に全測定路面の乾燥が確認できたが、遮熱性舗装においては、実験終了120分以降も測定路面上の乾燥を確認することはできなかった。
- 7) snow路面における融雪時間の比較については、遮熱性路面は排水性路面と比較して有意に融雪時間が長いことが明らかとなった。

これらのことから積雪を伴う冬季特有の気象を伴う地域において、遮熱性舗装の施行は、積雪路面や凍結路面を由来とする人身事故ならびに交通事故を多発させる危険性があり、我々の生活の安全性を脅かす可能性があることが示唆された。

## 引用文献

- 1) 木内豪, 吉中保, 深江典之. 遮熱性舗装による都市熱環境環境改善効果に関する考察. 日本道路会議論文, 2004.
- 2) 樫村修生, 齋藤雄司, 星秋夫. 日射のある暑熱環境において遮熱性舗装路面上の空間は熱中症リスクを高める. 日本スポーツ健康科学誌 (日本スポーツ健康科学学会) 2019, 6(1), 113-118.
- 3) 遮熱舗装地域別施工件数(2002~2019). 路面温度上昇抑制舗装研究会, 2020.  
[http://www.coolhosouken.com/data\\_s/data06.pdf](http://www.coolhosouken.com/data_s/data06.pdf)
- 4) 札幌管区气象台. 北海道の気候(現況と将来予測), 札幌管区气象台「北海道の気候変化(第2版)」 「北海道地方地球温暖化予測情報」.  
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/tot/tekiou-dou-kikou.htm>
- 5) 武市靖. 路面凍結の予測に関する. 土木学会論文集, 1993, 20, 175-184.
- 6) 齋田光, 平沢匡介, 高橋尚人. 北海道における冬季の交通事故傾向および交通事故リスクの要因. 国立開発法人 土木研究所, 2016.
- 7) 高橋哲哉, 徳永ロベルト, 高橋尚人. 冬期気象条件における交通事故発生形態について. 北海道の雪氷, 2010, 29, 69-72.