

## 2. 遮熱性舗装の反射特性の把握

### Reflective characteristics of Solar Heat-blocking Pavement

技術支援課 上野慎一郎、峰岸順一

#### 1. はじめに

東京都ではヒートアイランド対策に関する取組みの一つとして、遮熱性舗装を施工している。遮熱性舗装とは、太陽光に含まれる各波長の光エネルギーのうち一部の波長領域の光を高反射させるように設計された塗料（以下、「遮熱材」という。）を路面に塗布し、通常の舗装より路面温度を約10℃低減させる舗装である。地上に到達する太陽光は、主に紫外線（波長 380nm 以下）、可視光線（波長 380～780nm）、赤外線（波長 780nm 以上）で構成され、特に赤外線は物質を温める性質があるとされている。遮熱性舗装は、主に近赤外域（780～2500nm）の光を反射させ路面温度の上昇を抑制する仕組みとなっている。

本文では、遮熱性舗装の日射反射の程度（日射反射率）、その反射する方向（再帰反射率）、日射反射と路面温度の関係について確認したので報告する。

#### 2. 試験方法

反射特性を把握するため、①日射反射率試験、②再帰反射率試験、③室内照射試験を行った。

##### (1) 日射反射率試験方法

日射反射率の測定は「JIS K 5602:2008 塗膜の日射反射率の求め方」に準じた。ここでの試験片は室内で作成した円柱供試体（φ10cm、高さ 10cm）を用いた。測定は各供試体 3 回実施し、その平均を測定値とした。日射反射率測定に使用した測定器を写真-1 に示す。分光光度計は（株）島津製作所製 UV-3150 を使用した。

##### (2) 再帰反射率測定方法

一定の入射条件における標準反射板と供試体（作成

コア（H22）及び採取コア（H21））との比較により反射率、再帰反射成分の積分等の解析を行った。また日射反射率が最大となる波長が 800～1000nm であり、その範囲ではほぼ一定の値となるため、今回はその中間である波長 900nm の反射率データについて解析を行った。

##### 1) 測定機器

再帰反射率測定に使用した測定器を写真-2 に示す。



写真-1 日射反射率測定機器

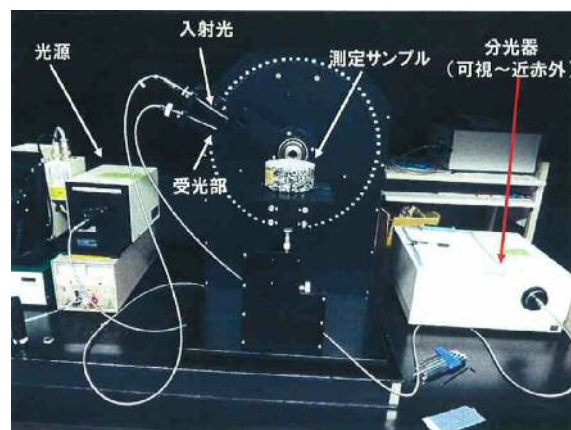


写真-2 再帰反射率測定機器

### ①分光器仕様

型式：マルチチャンネル分光器

測定波長範囲：360nm～1100nm

分光器：ブレードドホログラフィック型

### ②検出器

検出素子：電子冷却型 CCD イメージセンサー

オプティカルファイバ：石英製光ファイバー、口金  
径φ12mm

スキャン時間：5ms～20s 任意設定

### ③外部光源

ハロゲンランプ：150W

### ④変角測定治具（図-1）

最小設定角度 ±10 度

移動角度 0°（垂線）±80° 10° ステップ

投光側レンズ：石英製

受光側レンズ：石英製

### ⑤標準反射板

ラブスフェア製標準反射板 50%反射

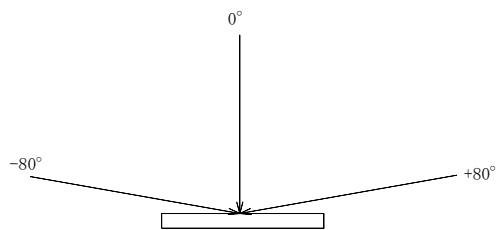


図-1 変角測定治具移動角度

## 2) 測定手順

### ①標準反射板の測定

投光角度 150°（0° 基準）で投光側レンズから標準反射板に投光し、受光側レンズを 30°（0° 基準）に設置し標準反射板からの反射光を受光した。（図-2）

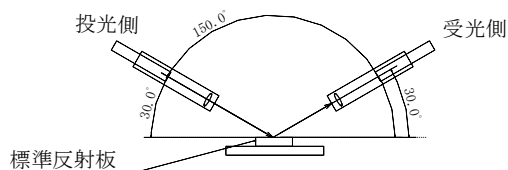


図-2 標準反射板の測定図

### ②供試体測定

供試体上面が①で測定した標準反射板と同じ高さになるよう治具に供試体をセットした。

投光角度 150°（0° 基準）で投光側レンズから供試体に投光し、10°～180°（0° 基準）の範囲で、受光側レンズを 10° 間隔で移動して反射率を測定した（写真-3、4）。150° は投光側レンズと重なり受光側レンズを設置できないため、130°、140°、160°、170° の測定値から近似多項式により算出した。

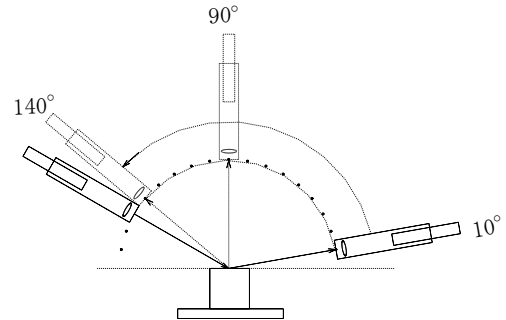


図-3 供試体の測定図（受光角度 10°～140°）

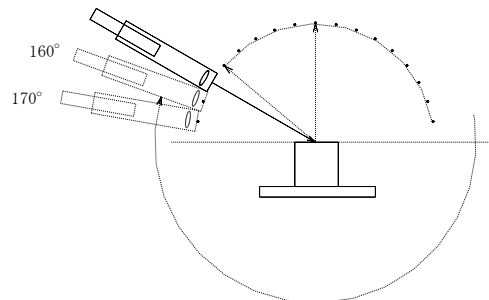


図-4 供試体の測定図（受光角度 160°～170°）

### ③繰り返し測定

遮熱性舗装は表面のテクスチャの粗いポーラスアスファルト混合物に遮熱材を塗布しているため、測定値のバラつきを考慮し、供試体の向きを 90° 回転させて 4 方向での測定を行い、データ解析では 4 つのデータの平均値を用いた。

## 3) データ解析方法

900nm の反射率データを用いて以下の解析を行った。

### ①反射率の算出

反射率は、下式により各々の角度で演算を行った。

$$\text{反射率 (\%)} = S/R \times 100$$

ここで、

R：受光角度 30° で標準反射板を測定した値

S：各受光角度で各供試体を測定した値

例) 10° 反射率 = S10° / R × 100

20° 反射率 = S20° / R × 100

140° 反射率 = S140° / R × 100

## ②再帰反射率の算定

本文では、再帰反射を入射光が垂直より入射側に戻るものと定義し、90°～170°の範囲に反射するものを再帰反射光とした。再帰反射率は下式を評価値とした。

$$\text{再帰反射率} = \frac{(90^\circ \sim 170^\circ \text{ 反射率の積分値})}{(10^\circ \sim 170^\circ \text{ 反射率の積分値})} \times 100$$

## (3) 室内照射試験測定方法

室内照射試験は、遮熱性舗装（車道）設計・施工要領（案）（東京都建設局道路管理部（平成 22 年 9 月））の「遮熱性舗装の室内照射による路面低減温度の測定方法」に準じた。

## 3. 試験に用いた供試体

平成 22 年度に室内で作成した供試体（低騒音舗装 3 個、密粒度舗装 3 個、遮熱性舗装 10 種類 × 1 個、計 16 個）（以下、「作成コア（H22）」という。）、平成 21 年度の施工直後に採取した供試体（遮熱性舗装 9 箇所 × 1 個、計 9 個）（以下、「採取コア（H21）」という。）を用いて各試験を行った。試験対応表を表-1 に示す。

## 4. 試験結果

### (1) 日射反射率試験結果

日射反射率試験により求めた日射反射率（①全波長域（波長 300～2500nm）、②近紫外及び可視光域（波長 300～780nm）、③近赤外域（波長 780～2500nm））を表-2 に示す。図-4～15 に各供試体の全波長域の日射反射率、図-16 に近赤外域の日射反射率を示す。低騒音舗装及び密粒度舗装（以下、「通常舗装」という。）の日射反射率（図-4、5）から、全ての波長域において 5%以下程度の低い日射反射率であることが分かる。一方、遮熱性舗装（図-6～15）では、どの材料も波長

700nm 前後まで 10%程度の日射反射率であり、700nm を超えると日射反射率が高くなっており、近赤外域を主に反射していることが分かる。

全波長域の日射反射率は、遮熱性舗装 30.0～38.0%、平均 34.4%、低騒音舗装 2.7%、密粒度舗装 3.7%であった。近赤外域の日射反射率は、遮熱性舗装 49.4～66.1%、平均 58.4%、低騒音舗装 3.1%、密粒度舗装 4.3%であった。遮熱性舗装の種類により 17%程度の差はあるが、通常舗装と比較し反射率が大きいことを確認した。

また、中空セラミック微小球体を含む 2 材料の日射反射率は、全波長域 34.3～34.7%、平均 34.5%、近赤外域 58.2～64.4%、平均 61.3%、含有しない 8 材料では全波長域 30.0～38.0%、平均 34.3%、近赤外域 49.4～66.1%、平均 57.6%であった。全波長域の日射反射率は、中空セラミック微小球体含有の有無による違いはほとんど見られない。しかし、物質を温める性質のある近赤外域の日射反射率は、含有する材料の方が大きくなっている。

表-1 供試体と各種試験の対応表

		日射反射率	再帰反射率	室内照射試験
作成コア (H22)	A	○	○	○
	B	○	○	○
	C	○	○	○
	D	○	○	○
	E	○	○	○
	F	○	○	○
	G	○	○	○
	H	○	○	○
	I	○	○	○
	J	○	○	○
採取コア (H21)	K	×	○	▲
	L	×	○	▲
	M	×	○	▲
	N	×	○	▲
	O	×	○	▲
	P	×	○	▲
	Q	×	○	▲
	R	×	○	○
	S	×	○	▲

表中の▲は施工管理データを使用

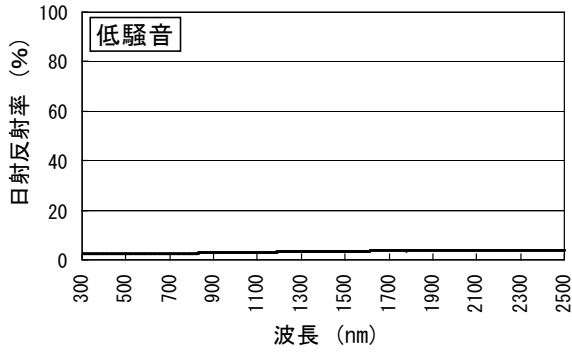


図-4 全波長域の日射反射率（低騒音）

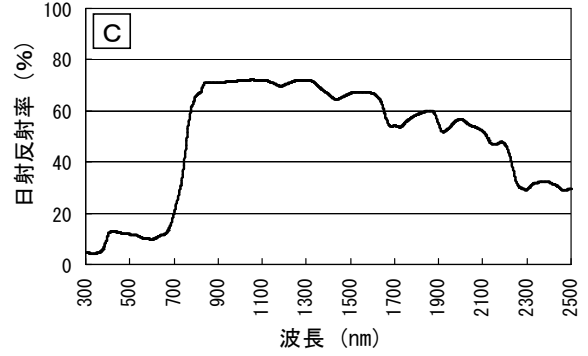


図-8 全波長域の反射率（C）

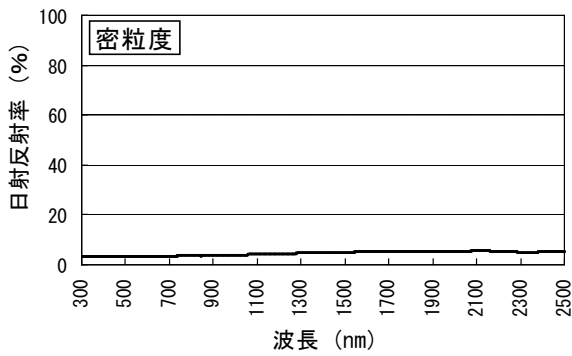


図-5 全波長域の反射率（密粒度）

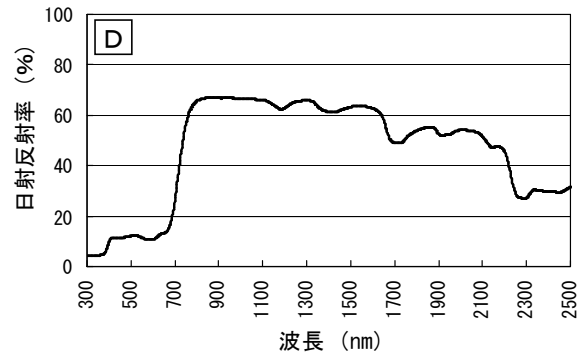


図-9 全波長域の反射率（D）

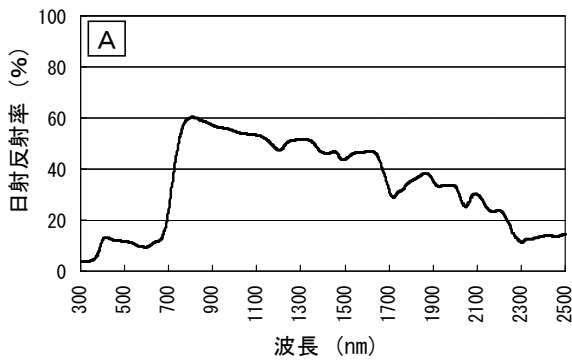


図-6 全波長域の反射率（A）

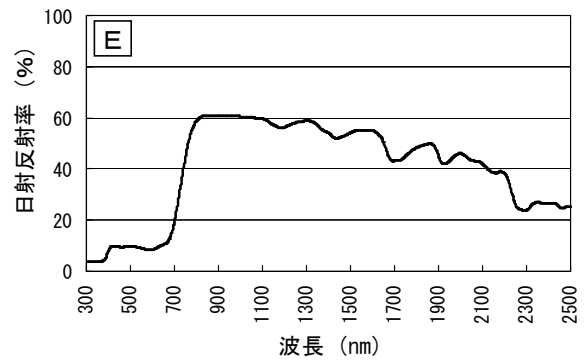


図-10 全波長域の反射率（E）

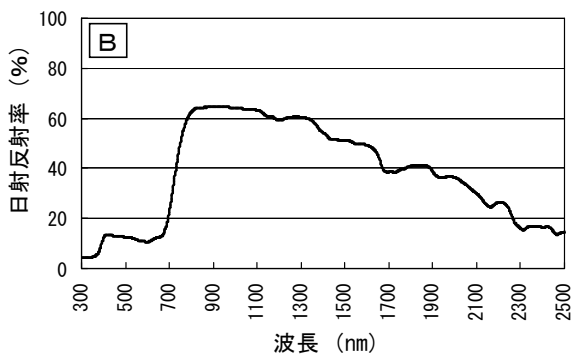


図-7 全波長域の反射率（B）

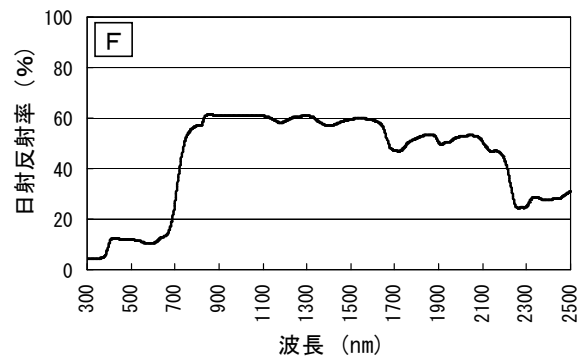


図-11 全波長域の反射率（F）

表-2 日射反射率測定結果

	日射反射率 (%)			中空セラミック微小球体含有量 (%)
	全波長域 300~2500nm	近紫外及び可視光域 300~780nm	近赤外域 780~2500nm	
低騒音	2.7	2.4	3.1	—
密粒度	3.7	3.3	4.3	—
A	31.2	17.5	49.4	0
B	34.3	17.7	56.3	0
C	37.6	16.1	66.1	0
D	37.2	18.6	61.8	0
E	32.2	14.8	55.4	0
F	34.7	18.0	64.4	10
G	34.3	16.3	58.2	3
H	30.0	15.2	49.6	0
I	38.0	18.0	64.4	0
J	34.1	16.1	57.9	0

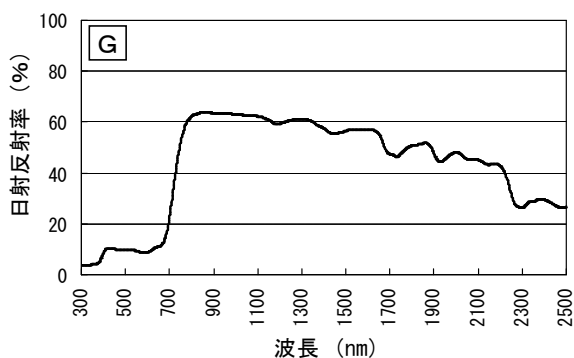


図-12 全波長域の反射率 (G)

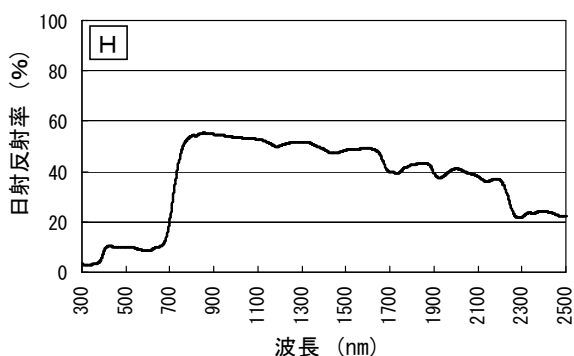


図-13 全波長域の反射率 (H)

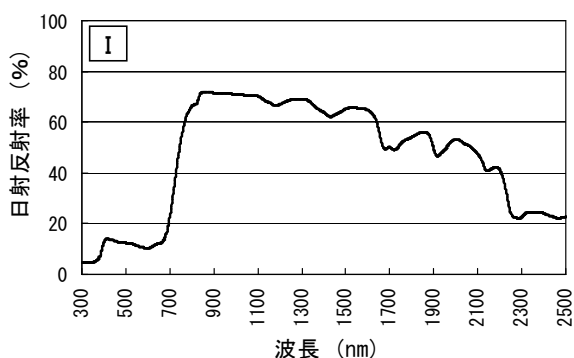


図-14 全波長域の反射率 (I)

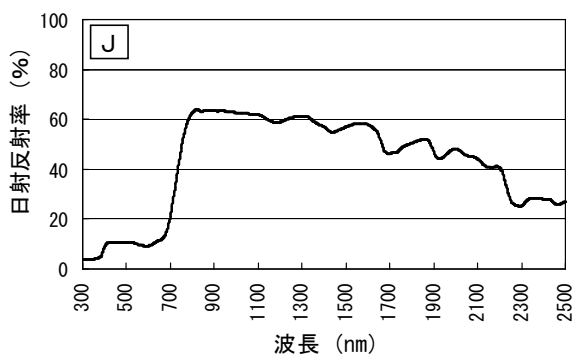


図-15 全波長域の反射率 (J)

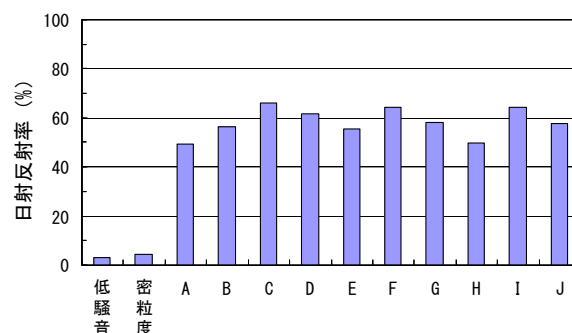


図-16 近赤外域(波長 780~2500nm)の日射反射率

参考に紫外域(波長 300~380nm)及びUV-B域(波長 300~320nm)の日射反射率を図-17に示す。日射反射率試験での周波数の下限値が 300nm であるため紫外域の周波数は 300~380nm、UV-B域は 300~320nmとして解析した。遮熱性舗装、低騒音舗装、密粒度舗装とも反射されない紫外線は概ね 95%以上であり、大きな差異は見られなかった。また人体に有害とされるUV-Bについて、低騒音舗装と密粒度舗装の日射反射率は紫外域全体と比較し 0.1%増、遮熱性舗装は 0.3~1.4%減となった。UV-Bについても、遮熱性舗装と低騒音舗装に差異はほとんど見られなかった。

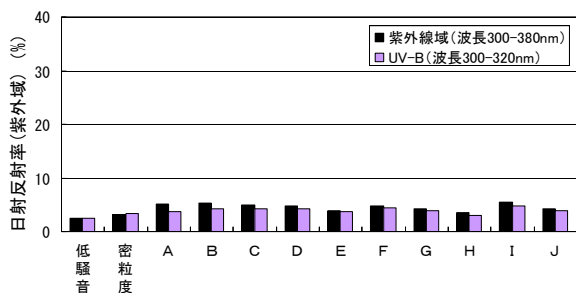


図-17 紫外域（波長 300～380nm）の日射反射率

(2) 再帰反射率測定結果

再帰反射率測定結果と中空セラミック微小球体含有量を表-3、4、図-18 に示す。

表-3 再帰反射率測定結果

		再帰反射率 (%)	中空セラミック微小球体含有量 (%)
作成コア (H22)	低騒音	11.36	—
	密粒度	23.86	—
	A	58.69	0
	B	54.02	0
	C	61.00	0
	D	61.04	0
	E	65.00	0
	F	64.42	10
	G	60.74	3
	H	67.88	0
	I	64.78	0
採取コア (H21)	J	63.05	0
	K	64.26	0
	L	58.93	3
	M	60.06	0
	N	61.57	0
	O	52.07	0
	P	64.38	0
	Q	62.14	10
	R	57.72	0
	S	61.52	10

表-4 再帰反射率測定結果（統計値）

		全体	作成コア (H22)	採取コア (H21)	中空セラミック微小球体	
					あり	なし
再帰反射率 (%)	最大	67.88	67.88	64.38	64.42	67.88
	最小	52.07	54.02	52.07	58.93	52.07
	平均	61.22	62.06	60.29	61.55	61.33

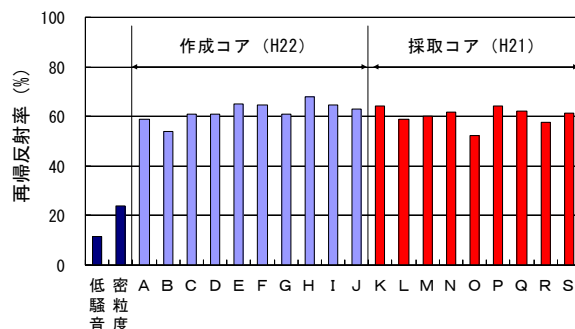


図-18 再帰反射率（供試体別）

遮熱性舗装の再帰反射率は 52.07～67.88%、平均 61.27%、低騒音舗装は 11.36%、密粒度舗装は 23.86% であり、遮熱性舗装は高い再帰反射性を有することを確認した。作成コアと採取コアの測定値に差異はなかった。

また、東京都では再帰反射材として中空セラミック微小球体を遮熱材に 1%以上含有することとしているが、その有無による再帰反射率の平均値は、含有する場合 61.65%、なしの場合 61.11%であり、今回の測定結果からは中空セラミック微小球体の有無による再帰反射率の違いは認められなかった。

(3) 室内照射試験測定結果

室内照射試験結果（路面温度低減量）を表-5、図-19、最大値、最小値、平均値を表-6 に示す。なお、低騒音舗装、密粒度舗装の表面温度は、3 個の供試体の平均値を採用しているが、遮熱性舗装の表面温度は 1 個の供試体の測定値を採用した。施工管理データを利用した遮熱性舗装は、3 個の供試体の平均値を測定値とした。

A～J 及び R の測定値は、低騒音舗装の表面温度を基準値として当該コアの表面温度との差を算出した。K～Q 及び S の測定値は、当該工事の施工管理データを使用した。

遮熱性舗装の路面温度低減量は、7.8～12.7℃であった。密粒度舗装と低騒音舗装の差は0.1℃とほぼ同じ表面温度であった。中空セラミック微小球体を含む6材料の路面温度低減量は、10.0～12.4℃、平均11.1℃、含有しない材料は、7.8～12.7℃、平均10.2℃と平均値で0.9℃の差があった。含有しない材料で11℃を超えたものは5材料あるが、10℃を下回る材料も6材料あった。

表-5 室内照射試験測定結果

		表面温度 (°C)	路面温度低減量 (°C)	中空セラミック 微小球体含有量 (%)
作成コア (H22)	低騒音	59.6	—	
	密粒度	59.5	0.1	
	A	51.8	7.8	0
	B	50.2	9.4	0
	C	48.2	11.4	0
	D	48.3	11.3	0
	E	48.4	11.2	0
	F	48.8	10.8	10
	G	47.2	12.4	3
	H	51.0	8.6	0
	I	46.9	12.7	0
採取コア (H21)	J	49.8	9.8	0
	K	—	11.5	0
	L	—	11.9	3
	M	—	9.9	0
	N	—	10.1	2
	O	—	10.4	0
	P	—	10.1	0
	Q	—	11.3	10
	R	51.6	8.0	0
	S	—	10.0	10

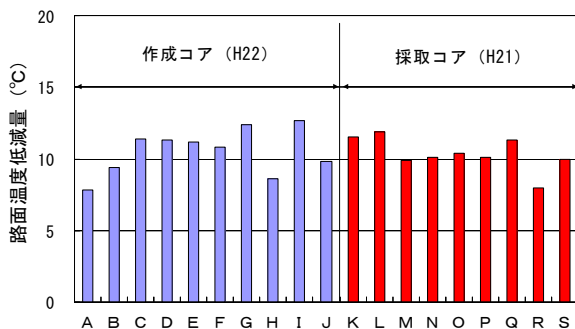


図-19 路面温度低減量

表-6 路面温度低減量 (統計値)

		全体	作成コア (H22)	採取コア (H21)	中空セラミック 微小球体	
					あり	なし
路面温度 低減量 (°C)	最大	12.7	12.7	11.9	12.4	12.7
	最小	7.8	7.8	8.0	10.0	7.8
	平均	10.5	10.5	10.4	11.1	10.2

(4) 日射反射率と路面温度低減量の関係

日射反射率と路面温度低減量の関係を図-20に示す。路面温度低減量と全波長域の日射反射率の決定係数は0.55、近紫外及び可視光域は0.01、近赤外域は0.60と、全波長域の日射反射より近赤外域の日射反射が、路面温度低減量に及ぼす影響が大きいことが分かる。

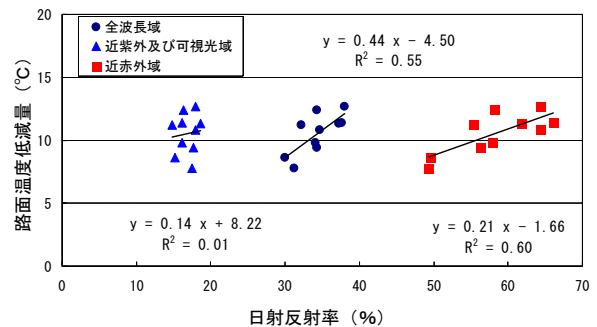


図-20 日射反射率と路面温度低減量

5. まとめ

(1) 日射反射率

① 全波長域 (300～2500nm) の日射反射率は、低騒音舗装の2.7%に対し、遮熱性舗装は30.0～38.0%であった。近赤外域 (780～2500nm) では、低騒音舗装の3.1%に対し、遮熱性舗装は49.4～66.1%と17%程度の差のばらつきはあるが、高い反射率を有していた。このことから遮熱性舗装は主に近赤外域を反射していることを確認した。

② 紫外域 (300～380nm) の日射反射率は、遮熱性舗装と低騒音舗装、密粒度舗装で差異は見られなかった。

(2) 再帰反射率

遮熱性舗装の再帰反射率は52.07～67.88%、平均61.22%、低騒音舗装は11.36%、密粒度舗装は23.86%であり、遮熱性舗装は高い再帰反射性を有することを確認した。

### (3) 路面温度低減量

遮熱性舗装の路面温度低減量は、7.8～12.7℃であった。全19材料のうち10℃を下回った材料が6材料あり、いずれも中空セラミック微小球体を含有しない材料であった。

### (4) 日射反射率と路面温度低減量

全波長域の日射反射より近赤外域の日射反射が、路面温度低減量に及ぼす影響が大きいことを確認した。

## 6. あとがき

遮熱性舗装は主に近赤外領域を反射し路面温度の上昇を抑制していること、再帰反射性を有することなど

を確認できた。しかし再帰反射性については、再帰反射率の定義、再帰反射率測定における投光角度など暫定的に設定したものがあり、それらの改良が必要と考えている。また中空セラミック微小球体については、その有無により路面温度低減量に影響する可能性は確認できた。しかし反射特性に及ぼす影響は明確なデータを得られていないため、引き続き調査を行う予定である。

最後に、本調査を進めるに当たりご協力いただいた道路管理部保全課の方々をはじめ、関係各位に紙面を借りて感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 五傳木、坂本、津島、筒井 (2011) : 遮熱性舗装の再帰反射特性に関する一検討、土木学会第66回年次学術講演会, 2011.9