

5. 遮熱性舗装の品質と反射特性の関係

The Relation Between Reflective characteristics and Quality 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。遮熱性舗装は、放射による物質の温度上昇に関与する近赤外域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。）を路面に塗布し路面温度を低減する舗装である。また東京都では平成22年9月より、再帰反射性を持たせることを期待して、遮熱材に1%以上の中空セラミック微小球体（以下、「中空セラミック」という。）を混入することとしている。

本報では、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低減量の関係について中空セラミック微小球体の有無による違いを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）日射反射率測定方法（写真－1～3）

測定は、「JIS K 5602 塗膜の日射反射率の求め方」に準じた、隠ぺい率試験紙に遮熱材を塗布した試験片の他、ポラスアスファルト混合物に遮熱材を塗布した円柱供試体（φ10cm×高さ5cm）（以下、「円柱供試体」という。）の2種類の試験片を使用した。

（2）再帰反射率測定方法（写真－4～5）

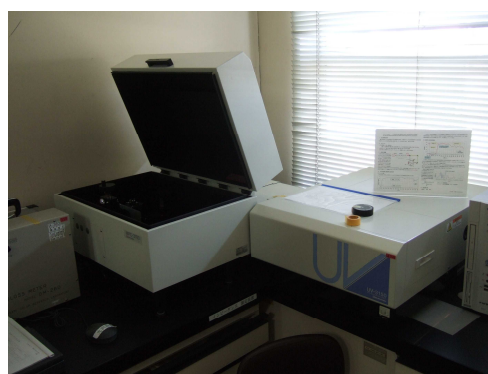
測定は、前年度と同様の方法¹⁾により行った。入射光の投光角度は120°及び150°の2水準とした。試験片は、円柱供試体を用いた。

（3）室内照射試験方法（写真－6）

試験法は、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試験による路面温度低減量の測定方法」による。試験片は、円柱供試体を用いた。

3. 試験に用いた遮熱材

前述のとおり東京都では遮熱材に中空セラミックを1%以上混合することとしている。この効果を確認するため、塗料メーカー5社（A～E）が製造している現行の遮熱材と中空セラミックを除去した遮熱材の各社2種類、計10種類の遮熱材を使用した。



写真－1 日射反射率測定機器



写真－2 試験片設置（試験紙）

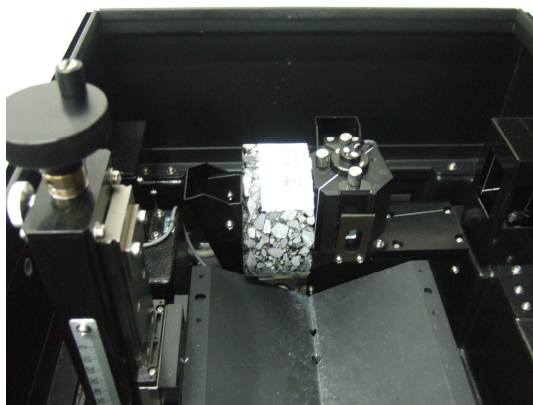


写真-3 試験片設置（円柱供試体）

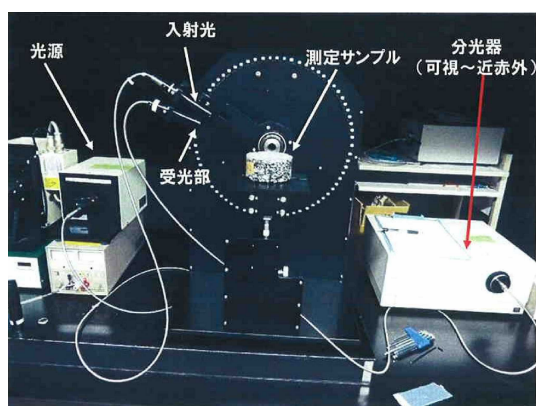


写真-4 再帰反射率測定器

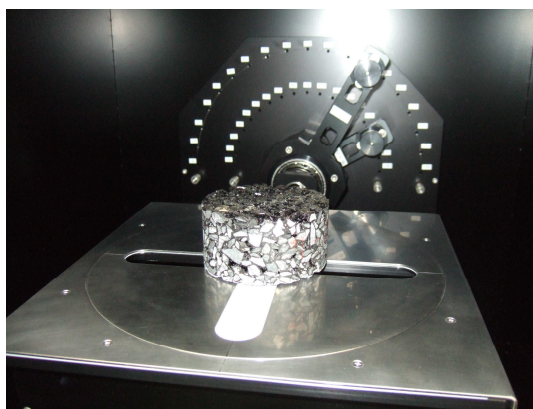


写真-5 試験片設置

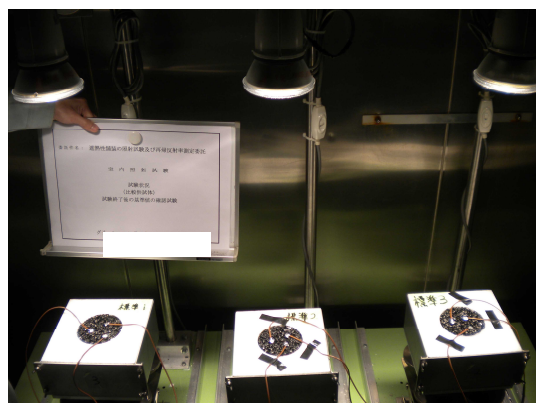


写真-6 室内照射試験状況

4. 試験結果

(1) 日射反射率測定結果

日射反射率は、入射光に含まれる各波長の反射率（分光反射率）を求め、分光反射率から、全波長域（波長 300～2500nm）、近紫外及び可視光域（300～780nm）、近赤外域（780～2500nm）の三つの波長範囲について算出した。

1) 隠ぺい率試験紙による日射反射率

白部及び黒部をもつ隠ぺい率試験紙（以下、「試験紙」という。）による日射反射率測定結果を表-1、分光反射率を図-2～6、参考に円柱供試体による低騒音舗装の分光反射率を図-1 に示す。

まず試験紙の白色部分と黒色部分の近赤外域での日射反射率を比較すると、その差は-0.8～3.8%（平均 1.2%）と小さい。このことから遮熱材は被塗物表面による影響が少なく、塗布する路面状況（既設路面、新設路面の違い等）の影響を受けずに日射反射性能を発揮する材料であると言える。

以下、日射反射率は遮熱材の塗布面であるアスファルト舗装の色に近い黒部の結果を使用する。

次に波長域別の日射反射率（平均）は、全波長域 45.4%、近紫外及び可視光域 22.6%、近赤外域 75.7%となった。ストレートアスファルトの日射反射率（近赤外域）は、0.2～3.8%程度²⁾であることから、遮熱材は高い日射反射性能を有していることがわかる。特に近赤外域では全ての材料が 70%以上の高反射していることを確認した。

しかし、中空セラミックの有無による日射反射率（近赤外域）は、材料Aで 6.0%の差が生じたが、その他材料では同等の値であり、試験紙による日射反射率では中空セラミックの有無による明確な差は見られなかった。

2) 円柱供試体による日射反射率

円柱供試体による日射反射率測定結果を表-2、分光反射率を図-2～6 に示す。

中空セラミックを含有する材料の日射反射率（平均）は、全波長域 39.5%、可視光域 19.5%、近赤外域 66.1%となった。遮熱性舗装の母体であるポーラスアスファルト混合物（低騒音舗装）の日射反射率（近赤外域）は 2.6%であり、材料としてだけでな

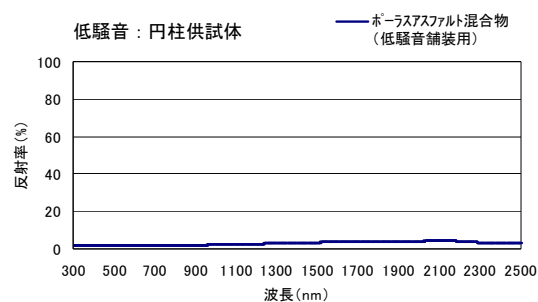
表－1 日射反射率測定結果（隠ぺい率試験紙）

種 別			日射反射率(%)					
材料	中空セラミック		隠ぺい率 試験紙	全波長域 300～2500nm	可視光域 300～780nm	近赤外域		
	有無	含有量(%)				780～2500nm	白部－黒部	有－無
A	有	1	白	47.6	24.4	78.5	0.7	6.0
			黒	47.4	24.4	77.8		
	無	0	白	46.4	25.4	74.1	2.3	
			黒	45.0	24.8	71.8		
B	有	10	白	46.2	22.8	77.3	3.8	0.2
			黒	44.6	22.7	73.5		
	無	0	白	44.5	21.0	75.6	2.3	
			黒	43.7	21.3	73.3		
C	有	1.5	白	46.2	22.7	77.4	1.2	-1.4
			黒	45.4	22.2	76.2		
	無	0	白	46.1	22.4	77.6	0.0	
			黒	46.2	22.4	77.6		
D	有	3	白	46.7	21.2	80.6	0.3	-0.3
			黒	46.7	21.3	80.3		
	無	0	白	46.4	21.2	79.8	-0.8	
			黒	47.0	21.7	80.6		
E	有	1	白	44.3	22.3	73.5	0.5	0.3
			黒	44.4	22.9	73.0		
	無	0	白	44.7	22.4	74.3	1.6	
			黒	43.8	22.1	72.7		
平均			白	45.9	22.6	76.9	1.2	1.0
			黒	45.4	22.6	75.7		
標準偏差			白	1.1	1.4	2.4	1.3	2.9
			黒	1.3	1.2	3.3		

く、遮熱材をアスファルト混合物に塗布した遮熱性舗装としても高い日射反射性能を有していることを確認した。

中空セラミック：有の材料の日射反射率（近赤外域）は64.0～68.4%、無の材料は53.7～60.3%となった。試験紙に塗布した場合は、大きな差は見られないが、円柱供試体に塗布した場合、中空セラミックを遮熱材に混合することにより日射反射率が1割程度向上することが分かった。試験紙の日射反射率に中空セラミックの有無による違いが出なかった理由としては、試験紙に塗布する場合、円柱供試体よりも塗膜が厚くなってしまふことから、塗膜表面近くにある中空セラミックが塗膜内に埋没したためその効果が小さくなったと考えられる。また図－7に

示すように円柱供試体の日射反射率は、試験紙より1～3割程度小さくなる傾向にある。これは、供試体がポラスアスファルト混合物であるために、その空隙に入射光が吸収されるためと考えられる。



図－1 分光反射率（低騒音舗装：円柱供試体）

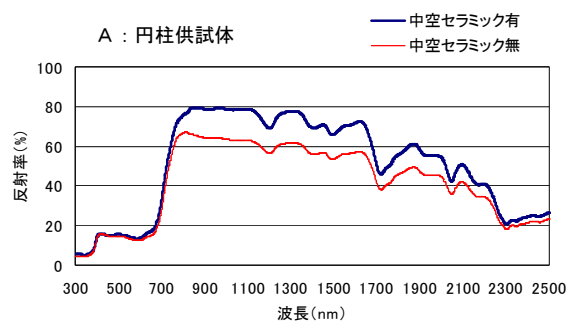
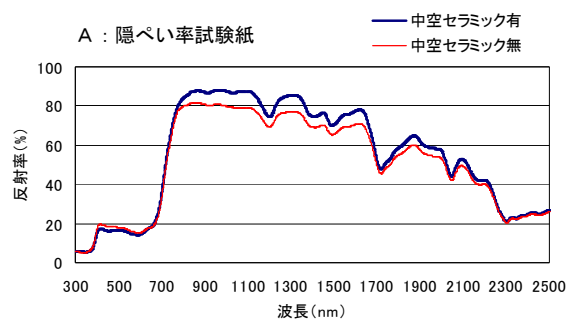


図-2 分光反射率（遮熱材：A）

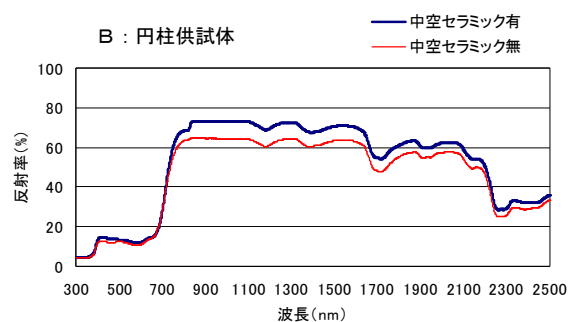
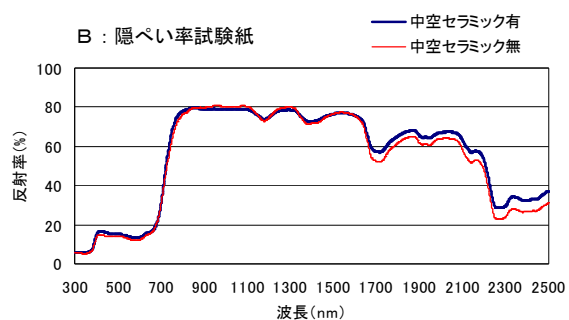


図-3 分光反射率（遮熱材：B）

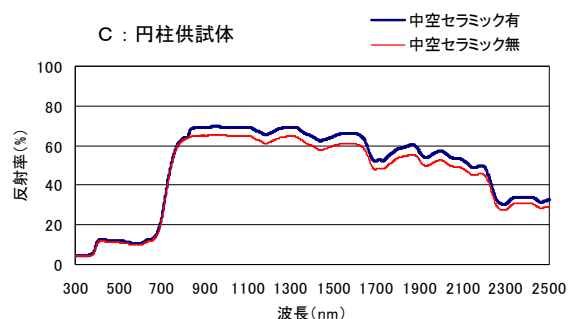
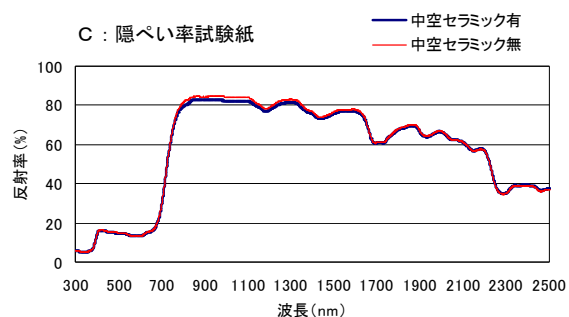


図-4 分光反射率（遮熱材：C）

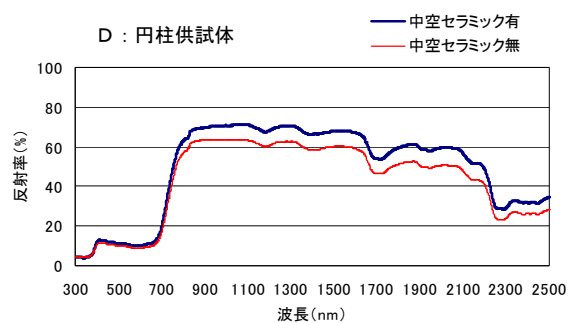
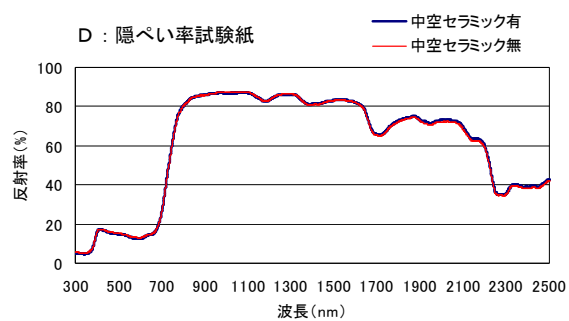


図-5 分光反射率（遮熱材：D）

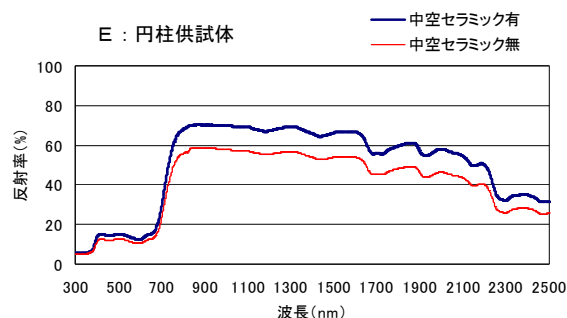
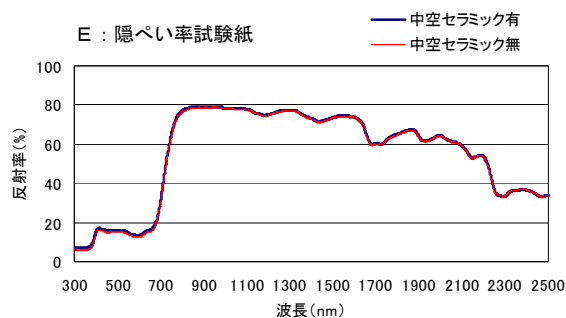


図-6 分光反射率（遮熱材：E）

表-2 日射反射率測定結果（円柱供試体）

種 別		日射反射率(%)			明度
材料	中空セラミック	全波長域	可視光域	近赤外域	
A	有	42.0	22.1	68.4	42.3
	無	37.4	21.3	58.8	43.9
B	有	40.6	20.3	67.7	41.0
	無	36.2	18.6	59.4	39.3
C	有	37.6	17.8	64.0	38.1
	無	35.6	17.0	60.3	37.9
D	有	37.4	16.4	65.1	38.1
	無	33.2	14.5	58.1	38.3
E	有	40.0	21.0	65.3	42.0
	無	32.9	17.2	53.7	41.4
平均	有	39.5	19.5	66.1	40.3
	無	35.1	17.7	58.1	40.2
標準偏差	有	2.0	2.4	1.9	2.1
	無	1.9	2.5	2.6	2.5
低騒音舗装		2.3	2.0	2.6	23.0

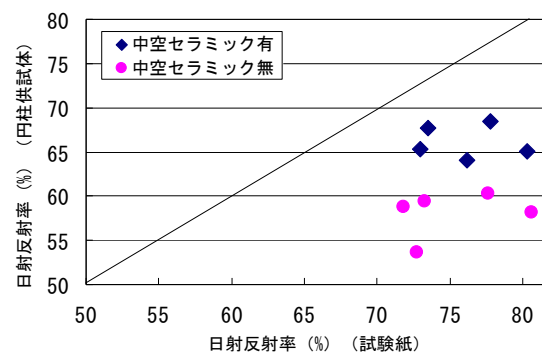


図-7 日射反射率（試験紙-円柱供試体）

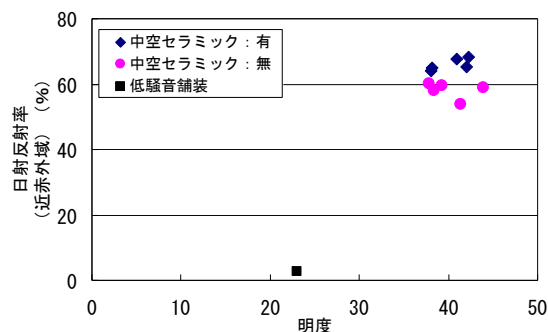


図-8 明度と日射反射率

(2) 明度と日射反射率

円柱供試体に塗布した遮熱材の明度を表-2 に示す。また明度と近赤外域の日射反射率の関係を図-8に示す。

低騒音舗装の明度は 23.0、遮熱材の明度は 37.9～43.9 であった。東京都で設定している明度は 42 以下であり、今回の使用材料の明度は 40 前後の狭い範囲にあり、明度が日射反射率に及ぼす影響は確認できなかった。

(3) 再帰反射率測定結果

受光範囲の違いによる再帰反射性能の変化を確認するため、「再帰反射」を以下に示す 2 種類定義し、再帰反射率を算出した。

定義Ⅰ：反射光が垂直より入射側（受光範囲 90～170°）に帰ること。

定義Ⅱ：反射光が入射光の投光角度±20° の定義Ⅰより狭い範囲（受光範囲 130～170° または 100～140°）に帰ること。

再帰反射率の算出は、昨年度と同様¹⁾に、近赤外域のうち 900nm の反射率の測定値を用いて行ってい

る。以下、定義Ⅰの再帰反射率を「再帰反射率Ⅰ」、定義Ⅱの再帰反射率を「再帰反射率Ⅱ」とする。なお、入射光の120°は路面温度が最も高くなる8月の14時頃の太陽高度を想定したものであり、150°は投光角度が90°に近づくほど正反射に近い成分と再帰反射成分の分離が困難となるため、その影響を排除するため設定したものである。

1) 再帰反射率Ⅰの測定結果

再帰反射率Ⅰの測定結果を表-3、図-9、10に示す。低騒音舗装の再帰反射率は、入射角度120°の場合40.4%、150°では16.8%と入射角度を変えることにより約6割の低減があった。一方、遮熱性舗装（中空セラミック：有）の再帰反射率Ⅰは入射角120°で58.5～62.8%、入射角150°で61.3～64.2%と同程度の値（図-9）を示した。中空セラミック無でも同様の結果となった（図-10）。このことから、遮熱性舗装は太陽光の入射角度によらず高い再帰反射性能を発揮することを確認した。

再帰反射率Ⅰについて、中空セラミックの有無により比較したが、今回の評価法での差は見られなかった（図-11）。

2) 再帰反射率Ⅱの測定結果

再帰反射率Ⅱの測定結果を表-4、図-12、13に示す。低騒音舗装の再帰反射率Ⅱは、入射角度120°の場合26.5%、150°では7.3%と入射角度を変えることにより約7割の低減があった。一方、遮熱性舗装（中空セラミック：有）の再帰反射率Ⅱは入射角120°で36.3～40.2%、入射角150°で37.6～41.5%と再帰反射率Ⅰと同様に入射角の違いによる差はみられなかった（図-12）。中空セラミック無でも同様であった（図-13）。再帰反射率Ⅰ、Ⅱともに同様の傾向を示したことから、遮熱性舗装は太陽光の入射角度や受光範囲によらず、一定の再帰反射性能を有することを確認した。しかし、再帰反射率Ⅱの測定でも中空セラミックの有無による差を確認することはできなかった（図-14）。

今回実施した再帰反射率測定方法では、近赤外域の波長780～2500nmのうち、900nmのみを抽出し再帰反射率を算出している。しかし、図-2～6で示したように、同一材料でも波長により日射反射率に違

いがあり、近赤外域すべての波長成分に対して再帰反射率を求めることなどにより正確な比較ができると考えられる。

表-3 再帰反射率Ⅰ測定結果

供試体種	中空セラミック	単位：％	
		入射角：120°	入射角：150°
A	有	62.7	64.2
	無	63.0	63.7
B	有	59.1	61.3
	無	60.6	64.0
C	有	58.5	61.5
	無	61.8	62.5
D	有	62.8	63.9
	無	57.8	61.3
E	有	59.0	62.1
	無	58.1	61.9
低騒音舗装	—	40.4	16.8

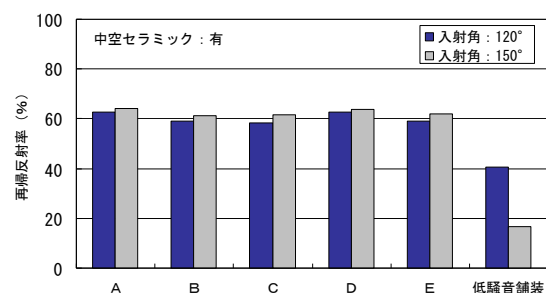


図-9 入射角度と再帰反射率Ⅰ
(中空セラミック：有)

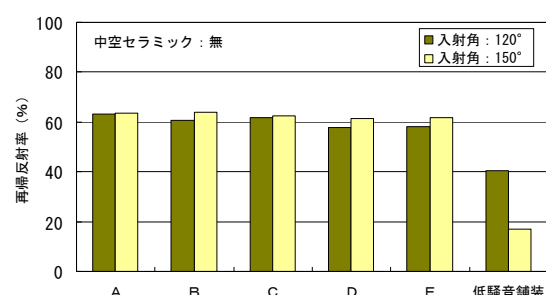


図-10 入射角度と再帰反射率Ⅰ
(中空セラミック：無)

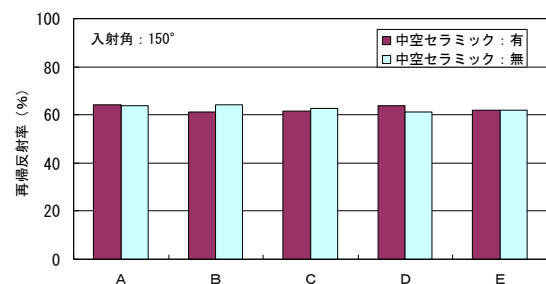


図-11 中空セラミックの有無と再帰反射率Ⅰ

表-4 再帰反射率Ⅱ測定結果

単位：％			
供試体種	中空セラミック	入射角：120°	入射角：150°
A	有	39.5	41.0
	無	40.2	40.4
B	有	36.8	37.6
	無	38.1	40.4
C	有	36.8	38.1
	無	38.9	39.1
D	有	39.7	41.5
	無	36.3	37.8
E	有	37.3	38.7
	無	36.5	38.6
低騒音舗装	—	26.5	7.3

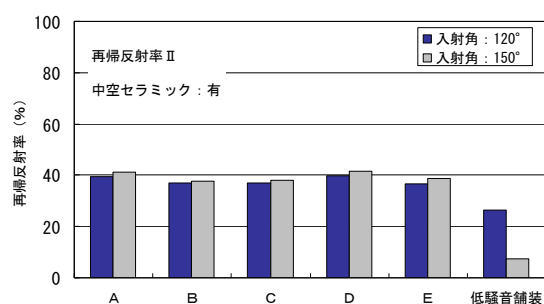


図-12 入射角度と再帰反射率Ⅱ

(中空セラミック：有)

(4) 室内照射試験結果

室内照射試験結果を表-5 に示す。ここでは、3 時間照射された比較供試体（低騒音舗装）の表面温度 60.0℃と遮熱供試体の表面温度の差を路面温度低減量とした。中空セラミック：有の路面温度低減量は 11.3～12.7℃、無は 10.8～11.6℃であった。中空セラミック微小球体の有無による比較では、全 5 材料中 4 材料で有の材料の路面温度低減量が 0.1～1.2℃大きくなった。

(5) 日射反射率と路面温度低減量

過年度に 10 種類の遮熱材（材料 F～0）について測定した結果を含めた円柱供試体による日射反射率と路面温度低減量を表-6、図-15 に示す。

近赤外域の日射反射率が高い材料は路面温度低減量が大きくなる傾向がある。また、中空セラミック：有の材料は無の材料と比べ、日射反射率が高く、路面温度低減量が大きい傾向があることを確認した。なお、東京都の仕様発注工事における路面温度低減量の規格値 10℃を満たさない材料は全て中空セラミック：無の材料であり、日射反射率は 60%以下であった。

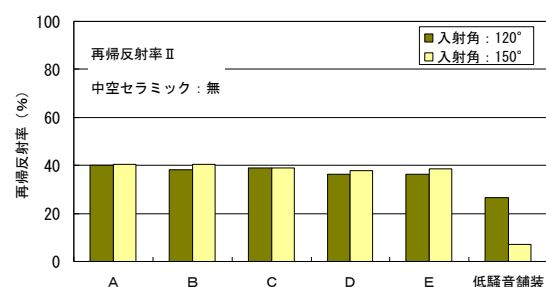


図-13 入射角度と再帰反射率Ⅱ

(中空セラミック：無)

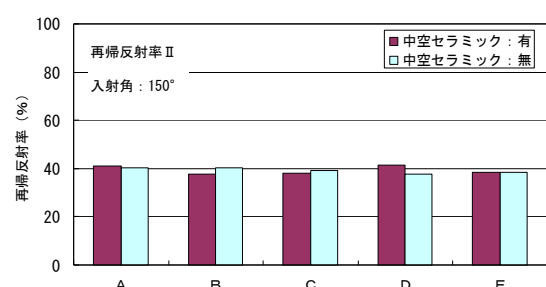


図-14 中空セラミックの有無と再帰反射率Ⅱ

表-5 室内照射試験結果

	中空セラミック含有率	表面温度(℃)	路面温度低減効果(℃)	明度(L*)
比較供試体(低騒音舗装)	—	60.0	—	23.0
A	1%	48.5	11.5	42.3
	0%	49.2	10.8	43.9
B	10%	47.3	12.7	40.9
	0%	48.5	11.5	39.3
C	2%	48.4	11.6	38.1
	0%	48.5	11.5	37.8
D	3%	48.7	11.3	38.1
	0%	48.4	11.6	38.3
E	1%	48.6	11.4	42.0
	0%	48.9	11.1	41.4

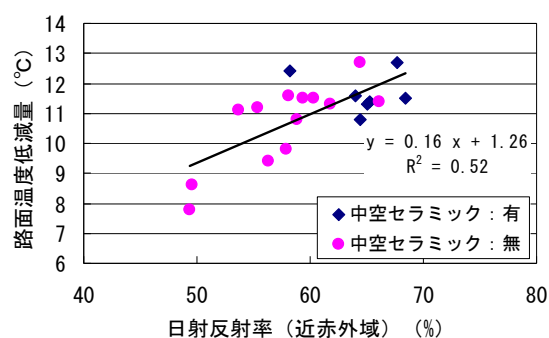


図-15 路面温度低減量と日射反射率

表-6 路面温度低減量と日射反射率

測定年度	種別		日射反射率 (近赤外域) (%)	路面温度低減量 (℃)
	材料	中空セラミック含有量 (%)		
24	A	1	68.4	11.5
		0	58.8	10.8
	B	10	67.7	12.7
		0	59.4	11.5
	C	1.5	64.0	11.6
		0	60.3	11.5
	D	3	65.1	11.3
		0	58.1	11.6
	E	1	65.3	11.4
		0	53.7	11.1
23	F	0	49.4	7.8
	G	0	56.3	9.4
	H	0	66.1	11.4
	I	0	61.8	11.3
	J	0	55.4	11.2
	K	10	64.4	10.8
	L	3	58.2	12.4
	M	0	49.6	8.6
	N	0	64.4	12.7
	O	0	57.9	9.8

5. まとめ

(1) 日射反射率

- ① 隠ぺい率試験紙の白色部分と黒色部分の日射反射率に違いが見られないことから、遮熱材は塗布する路面状況（新設路面、既設路面の違い等）の影響を受けずに日射反射性能を発揮する材料であると言える。
- ② 隠ぺい率試験紙による近赤外域の日射反射率は、ストレートアスファルトが4%以下であるのに対し、遮熱材は70%以上であった。このことから、遮熱材は高い日射反射性能を有していることを確認した。
- ③ 円柱供試体による日射反射率(近赤外域)では、中空セラミック微小球体:有の材料は64.0~68.4%、無しの材料は53.1~60.3%、低騒音舗装は2.6%で

あり、舗装としても高い日射反射性能を有していることを確認した。

- ④ 中空セラミック微小球体を混入することにより、日射反射率は1割程度向上することを確認した。

(2) 再帰反射率

- ① 入射光の角度を120°から150°に変化させると、低騒音舗装の再帰反射率は約6割低減するが、遮熱性舗装はほとんど変化しなかった。このことから遮熱性舗装は、太陽光の入射角度によらず高い再帰反射性能を発揮することを確認した。

- ② 中空セラミック微小球体の有無による再帰反射性能の違いは確認できなかった。

(3) 日射反射率と路面温度低減量

- ① 近赤外域の日射反射率の高い材料は路面温度低減量が大きくなる傾向があり、遮熱材に中空セラミック微小球体を混合することで路面温度をより低下させる効果があることを確認した。
- ② 今回の試験で東京都が設定している路面温度低減量10℃を下回った材料はすべて中空セラミック微小球体：無の材料であった。

6. あとがき

今回の測定で中空セラミック微小球体の有無による日射反射性能の向上を確認した。しかし、再帰反射性能の違いを確認することはできなかった。今回の試験では再帰反射率の算定を波長900nmのみを対象に行ったものであり、今後は、「塗膜の日射反射率の求め方」(JIS K 5602)で規定している近赤外域の波長範囲(780~2500nm)全体を対象とした再帰反射率を確認したいと考えている。

謝辞

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、関係各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 上野慎一郎、峰岸順一 (2012) : 遮熱性舗装の反射特性の把握、平成24都土木技術支援・人材育成センター年報, 27-34
- 2) 木内豪、吉中保、深江典之 (2004) : ヒートアイランド低減効果を目指した高性能の遮熱性舗装の開発、舗装 39-10、7-11