

遮熱性舗装の眩しさに関する被験者実験

成田 健浩¹

¹関東地方整備局 関東技術事務所 品質調査課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

路面温度低減効果を持つ舗装の一つに、遮熱性舗装がある。遮熱性舗装は舗装表面に赤外線を反射する塗料を塗布することにより、舗装の蓄熱を抑制するものである。ヒートアイランド現象の対策として開発され、都市部を中心に導入されてきた。また、東京オリンピック・パラリンピックに向けた道路分野における検討を行う「アスリート・観客にやさしい道の検討会」では、路面温度低減効果を持つ舗装技術が暑熱対策メニューの一つとして設定された。2016年夏に実施された現地試走会では、遮熱性舗装は温度感等で高い評価が得られたが、眩しく感じる舗装との評価があり、課題が残った。「眩しさ」という感覚的な事象を定量的に評価し、現状の施工方法で問題が無いか確認することを目的とした。

キーワード 遮熱性舗装, 被験者実験, 眩しさ, 明度^{*1}, キメ深さ^{*2}, 鏡面光沢度^{*3}

1. はじめに

近年の都市部におけるヒートアイランド現象を受け、2004年3月に「ヒートアイランド対策大綱」が策定された。大綱の中で、路面温度を低下させる等の可能性のある舗装について、技術的な調査研究を進めることが定められ、遮熱性舗装や保水性舗装が開発された。遮熱性舗装は、図-1に示すとおり、舗装表面に赤外線を反射する塗料を塗布し、舗装の蓄熱を防ぐものである。2016年夏に実施された現地試走会(写真-1)では、図-2に示すとおり温度感等で遮熱性舗装の評価が高かったが、他の舗装と比べて眩しく感じるとの評価があり、課題が残った。

眩しさを感じる原因は、遮熱材塗料の光沢やすべり止め骨材(中空セラミック、硅砂等)の反射によるものと推測される。そこで、「眩しさ」について物性試験と被験者試験(アンケート調査)を行い、眩しく感じる塗布量のしきい値を求め、現状の施工方法で問題が無いか確認した。なお、屋外で眩しいと感じる指標は確立されていないため、調査計画の検討から着手する必要がある。

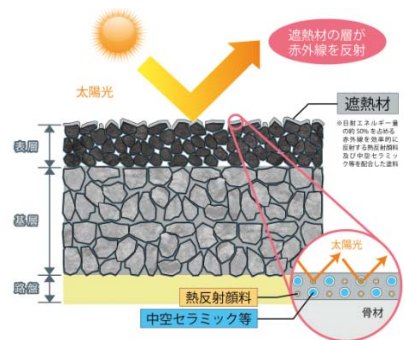


図-1 遮熱性舗装の概要



写真-1 現地試走会の状況(2016年夏)

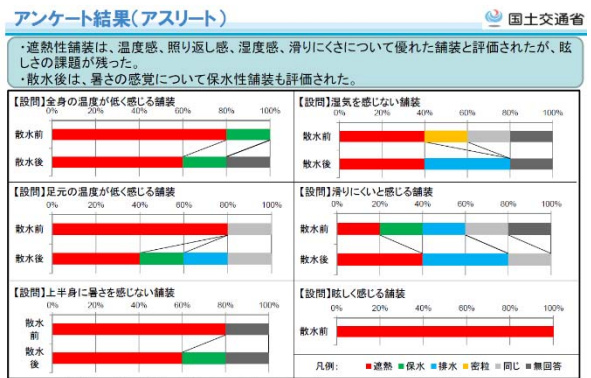


図-2 現地試走会のアンケート結果

2. 舗装の路面温度上昇のメカニズム

路面温度は日射量^{*4}に影響を受けることが解っている。図-3は雲がなく日射が安定した日の路面温度を、図-4は雲があり日射が不安定な日の状況を示している。雲がかかり、日射が不安定になると路面温度も不安定となって

いることが解る。また、どちらも12時までは人工的に日影を作っており、日影が無くなった後から路面温度上昇が始まっていることが解る。なお、夏場の晴れた日における各舗装等の温度は、密粒度舗装で60℃程度、遮熱性舗装で50℃程度、芝地で35℃程度である。

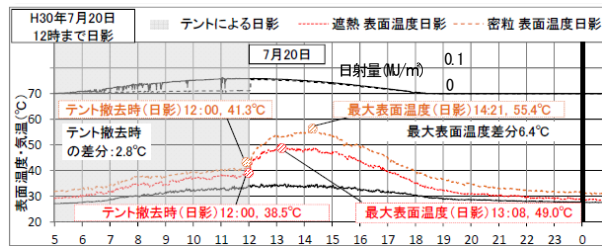


図-3 路面温度上昇状況 (晴天時)

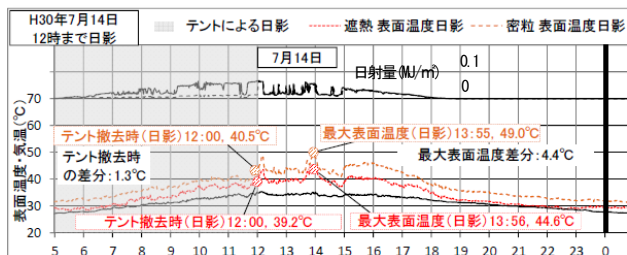


図-4 路面温度上昇状況 (曇天時)

3. 既往の調査

現状の施工では明度を42以下とするよう規定している。これは、明度が高すぎると白線の視認性が低下し、交通安全上の問題が生じるためである。遮熱材塗布量が増えると明度も上昇する。また、遮熱材塗布量が増えるとキメ深さ（舗装表面の凹凸具合）が低下し、透水性やすべり抵抗性が低下することが解っている。そのため、従来は明度とキメ深さを計測してきた。東京都では、眩しさを定量的に評価可能な指標について調査を行っている。関連指標としては、明度の他に鏡面光沢度、輝度^{※6}、日反射率^{※6}等があり、どの物性値が眩しさと関連性が高いか調査したものである。遮熱材の材質、明度を変えた供試体を作成し、眩しく感じる供試体の物性値を調べた結果、鏡面光沢度が眩しさと関連性が高いことが確認されている¹⁾。よって、本調査で測定する物性値は明度・キメ深さの他に鏡面光沢度も測定することとした。



写真-2 鏡面光沢度測定状況

4. 調査方法の検討

(1) 設定条件

遮熱材の光沢が眩しさの一因と考え、表-1に示すとおり、遮熱材の塗布量が標準のものを基準に0.5倍～2.0倍まで0.2倍程度ずつ変化させた供試体と遮熱材を塗布しない排水性舗装との眩しさ等を比較することとした。現場舗装における経年的な汚損状況を模すため、標準塗布量の供試体を砂で汚したのも2種類用意した。（供試体No④、⑤）直轄国道の遮熱性舗装は排水性舗装に遮熱材を塗布したもののため、比較舗装は排水性舗装とした。

太陽照射角度は、表-2に示すとおり真夏の7時と11時を想定した。7時は、競技時間帯を想定し、11時は2016年夏の現地試走会を実施した時間帯を想定した。

競技者はサングラスを着用することが多いため、被験者は裸眼・サングラス着用の両方で供試体を目視することとした。以上をまとめると、供試体10パターン、角度2パターン、サングラスの有無2パターンとなり、組み合わせは計40パターンとなる。

また、有識者へのヒアリングの結果、今回のような官能試験を行う場合、データの信憑性を確保するためには、最低30人以上の被験者が必要となると助言を受けた。上記の40パターンで実施することを考えると、被験者数を30人とした場合、調査中に太陽照射角度が変わってしまうため、同じ日に屋外で調査を行うことは難しいと判断した。

表-1 供試体概要

供試体 No.	遮熱材塗布倍率	汚れ加工	枚数	1層目塗布量 (kg/m ²)	2層目塗布量 (kg/m ²)	合計塗布量 (kg/m ²)
①	0.5	-	1	0.20	0.20	0.40
②	0.8	-	1	0.32	0.32	0.64
③	1.0	-	1	0.40	0.40	0.80
④	1.0	砂少 (20g)	1	0.40	0.40	0.80
⑤	1.0	砂多 (40g)	1	0.40	0.40	0.80
⑥	1.2	-	1	0.48	0.48	0.96
⑦	1.4	-	1	0.56	0.56	1.12
⑧	1.6	-	1	0.64	0.64	1.28
⑨	1.8	-	1	0.72	0.72	1.44
⑩	2.0	-	1	0.80	0.80	1.60
比較舗装	排水性舗装	-	1	-	-	-

表-2 照射パターン

照射パターン	パターン1	パターン2
照射角度	30°	70°
照度	約40000Lx	約100000Lx
想定時間帯	真夏の7:00を想定	真夏の11:00を想定

表-3 使用したサングラスの諸元

レンズ	偏光レンズ
機能	UV400 (紫外線99%以上カット)
写真	

(2) 調査方法

前述のとおり、同一条件下での屋外調査が難しいため、屋内調査の方法を検討した。天候、時間によらず調査するために、太陽光を模したランプを使用することを考えた。東京農業大学竹内教授、浅井准教授のご協力により、メタルハライドランプ^{※7} (400W、透明形) を借用し、図-5に示すような試験装置とした。調査時には照明灯を直視せず、供試体のみを目視するよう、照明灯と被験者の間に遮光性のカーテンを設けることとした。

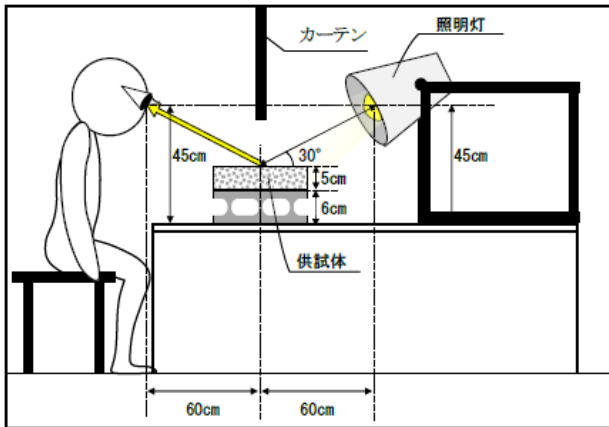


図-5 実験イメージ (照射パターン1)

(3) 供試体製作状況

供試体の一例を写真-3に示す。各供試体のサイズは縦30cm×横30cm×厚5cmである。①塗布量0.5倍は珪砂が表面上に現れたため白っぽい状態となった。塗布量が増えるに従い、遮熱材がダム状になる箇所が増えた。ダム状の箇所が光を強く反射している。

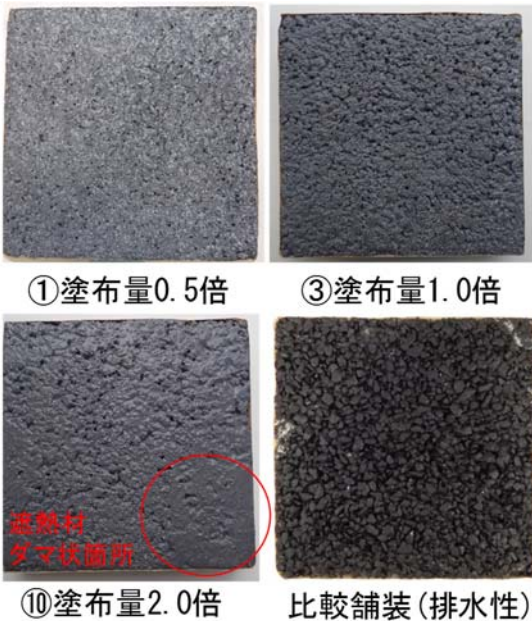


写真-3 供試体一例

(4) アンケート項目

被験者は、供試体を目視後に、下記項目について記入を行った。

- ・眩しいor眩しくない
- ・眩しい場合の理由
(明るさ、輝き、濃淡さ、白みさ、視認性等)
- ・サングラスによる軽減
(軽減される、軽減されない、軽減されたが眩しい 等)

なお、今回の被験者状況を表-4に示す。競技者の年代層を想定し、20代~40代を中心に男女差が生じないように配慮した。

表-4 被験者の構成 (日本人、健常者)

	女性	男性
10代	0	0
20代	11	7
30代	6	5
40代	5	4
50代	0	1
60代	0	2
計	22	19
合計		41

5. 調査結果

(1) 物性値

図-6に示すとおり、明度は塗布量⑨1.8倍から増加傾向となった。図-7に示すとおり、キメ深さは塗布量⑥1.2倍から減少傾向となった。鏡面光沢度は差が確認された幾何学条件60°の場合のみ報告する。図-8に示すとおり、中央値に注目すると、塗布量⑥1.2倍から増加傾向となった。

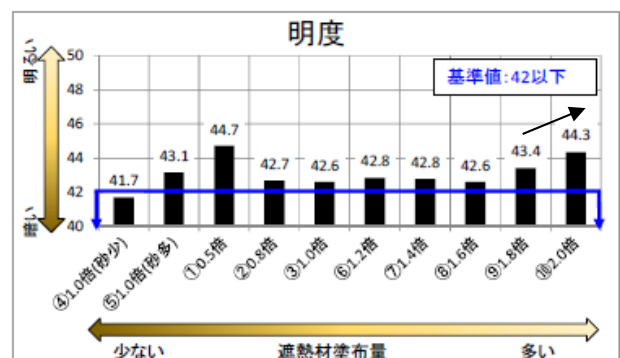


図-6 明度測定結果

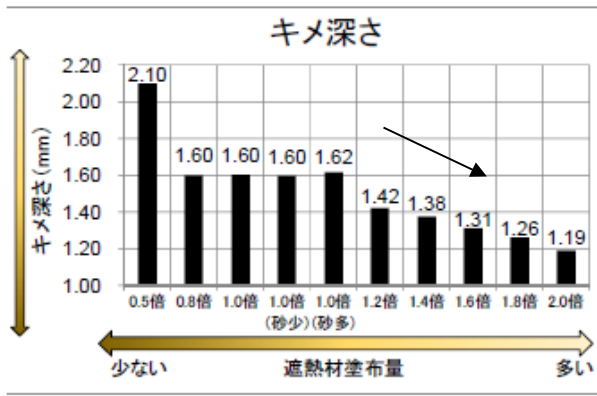


図-7 キメ深さ測定結果

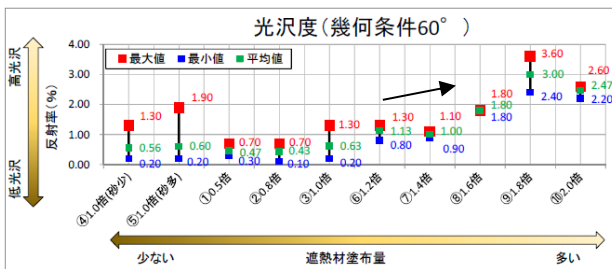


図-8 鏡面光沢度測定結果

(2)アンケート結果

照射角度30° と70° を比較すると、照射角度30° の方が眩しく感じる割合が高かったため、照射角度30° のみについて結果を報告する。裸眼時のアンケート結果を図-9に示す。③1.0倍と⑥1.2倍を境目に「すごく眩しい」の割合が増加した。③1.0倍では、すごく眩しいと回答した割合は20%程度に対し、⑥1.2倍では40%と増加している。

また、サングラスを着用した場合のアンケート結果を図-10に示す。⑧1.6倍までの塗布量あれば、80%程度の被験者が眩しさが「軽減された」と回答している。

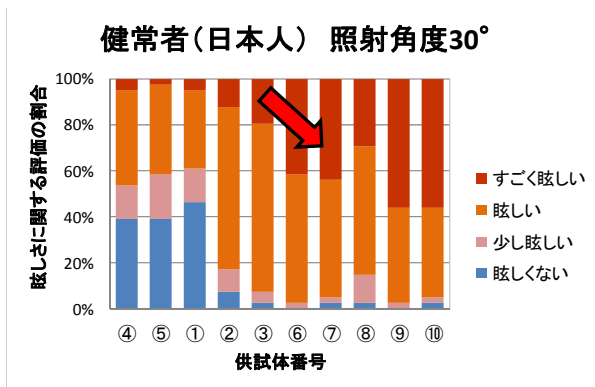


図-9 アンケート結果 (裸眼)

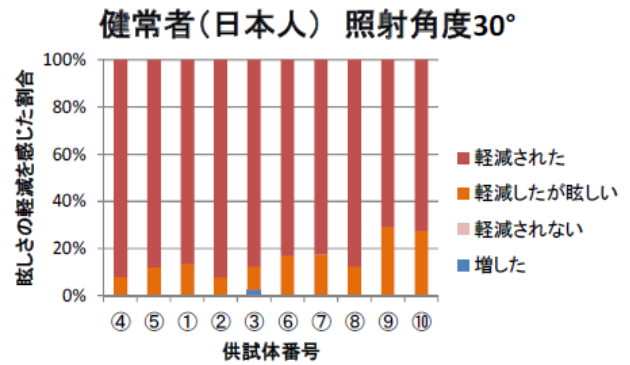


図-10 アンケート結果 (サングラス着用)

(3)しきい値の検討

前述の物性値とアンケート結果 (裸眼) をまとめると図-11のとおりとなる。⑥1.2倍から鏡面光沢度が増加傾向となるとともに、裸眼での眩しく感じる割合が増加する。よって、遮熱性舗装の眩しさのしきい値は塗布量1.2倍と考えられる。

なお、欧米人及び弱視者についても調査を行っているが、対象者数が30人未満のため、参考値とする。

	明度	キメ深さ	鏡面光沢度	眩しさに関する被験者実験 照射角度30° (裸眼)		
				日本人	欧米人	弱視者
数値が増減する 供試体の塗布量	1.8倍	1.2倍	<u>1.2倍</u>	<u>1.2倍</u>	1.4倍	1.0倍

図-11 調査結果まとめ

(4)現場舗装との比較

製作した供試体を施工4年目の現地舗装と比較した状況を写真-4に示す。塗布量⑤1.0倍砂多めが近似していた。また写真-5に示すような遮熱材がダメ状の箇所が見受けられたが、新品と比較すると光沢が低下していた。これは、経年的な汚損等による影響と推測される。



写真-4 現地舗装と供試体との比較状況



写真-5 現地舗装の遮熱材ダメ箇所

6. まとめ

眩しさを感じる遮熱材の塗布量は、鏡面光沢度の物性値及びアンケート結果（裸眼）から、標準塗布量の1.2倍以上であると考えられる。また、アンケート結果（サングラス着用）から、塗布量1.6倍以下であれば、サングラスの着用により眩しさを軽減できると考えられる。よって、標準塗布量での施工であれば、サングラスを着用することにより、ほとんどの方が遮熱性舗装の眩しさを感じにくくなると考えられ、眩しさについては概ね問題ないものと考えられる。

また、遮熱材の経年的な汚損等により、眩しさが低下するため、標準塗布量であれば、供用数年後には裸眼でも半数近い方が眩しさを感じにくくなると考えられる。

なお、供試体と比較を行った現地舗装箇所における路面温度低減効果は、施工後4年目においても、概ね横ばいの状況が継続されており、路面汚損による著しい路面温度低減効果の減少はないものと考えられる。

7. 今後の課題等

今後、東京オリンピック・パラリンピックの競技コースにおいて、遮熱性舗装の導入が進むと推測されることから、遮熱性舗装のメンテナンスサイクルの検討を行う必要があると考える。遮熱材の劣化状況と路面温度低減効果の関係を把握することと、遮熱材の劣化状況を簡便

に把握する手法を検討する必要があると考える。

また、遮熱性舗装は路面温度を低減させることから、耐流動性の向上が期待できる。環境舗装のみではなく、長寿命化舗装として活用できるか、調査する必要があると考える。

今回の調査では、人間の感覚（視覚）を定量的に評価することを試みた。道路構造物においては、性能・強度・耐久性だけでなく景観・快適性といった要素も求められることがある。快適性等の評価を行う際に、今回の調査手法が参考になれば幸いである。

謝辞：

本実験に関しまして、ご指導並びにご協力いただきました東京農業大学竹内教授、浅井准教授、埼玉大学藤野准教授、筑波大学視覚特別支援学校内田教諭、生徒の方々には、厚く御礼を申し上げ感謝の意を表します。

参考文献

1) 舗装 2018年6月号：遮熱性舗装のまぶしさに対する評価指標の検討（東京都土木技術支援・人材育成センター）

注釈

- *1 明度とは、色の明暗を表す数値。色彩色差計にて計測する。
- *2 キメ深さとは、路面の凹凸の変位量。CTメーターにて計測する。
- *3 鏡面光沢度とは、規定した光源及び受光器の角度にて鏡面方向に対象物から反射する光束と、屈折率1.567のガラスから鏡面方向に反射する光束の比。幾何条件20°、60°、85°があり、反射率計にて計測する。
- *4 日射量とは、太陽からの放射エネルギーの量。単位面積当たり照射するエネルギーで表される。日射計にて計測する。
- *5 輝度とは、光源の明るさを表す数値。
- *6 日反射率とは、入射する光束と反射する光束の比。
- *7 メタルハライドランプとは、水銀とハロゲン化金属による発光を利用したランプ。ハロゲンランプよりも明るいいため、スタジアムや投光器として利用されている。