

3. 乳剤タイプおよびエマルジョン型樹脂系

遮熱性舗装の基本特性に関する検討

Concerning Basic Characteristics of Emulsion Type
and Resin System Emulsion Type Solar Radiation Relective Pavement

技術支援課 峰岸順一、小林一雄、上野慎一郎

1. はじめに

東京都では、ヒートアイランド現象緩和対策の一つとして、遮熱性舗装を積極的に導入している。平成 14 年度には、中央区京橋（昭和通り）で国内で初めての現道における試験施工（官民共同実験）を行い¹⁾、平成 19 年度には中央区築地（新大橋通り）で公募型による 18 社 19 工区の共同実験を実施するなど、技術的検討を重ねてきた。

平成 19 年度からは、ヒートアイランド対策エリアを中心に、性能要件発注方式により発注され、平成 21 年度には、施工規模が大幅に増大することが見込まれている。

遮熱性舗装は、大きく、塗布工法と充填工法に分類され、このうち塗布工法には、2 液硬化型樹脂系（以下、MMA 樹脂系という。）乳剤タイプ（エマルジョン型樹脂系を含む）がある。現在のところ都内幹線道路では、MMA 樹脂系の施工実績が多く、東京都では、この MMA 樹脂を主体とした「遮熱性舗装設計施工要領（案）平成 21.1」²⁾を作成し、これにもとづき事業が実施されている現状にある。

しかし、最近では、軽交通路線での適用を目指した MMA 樹脂系よりも安価に施工が出来る乳剤タイプ（エマルジョン型樹脂系を含む）の遮熱性舗装（以下、乳剤タイプ遮熱性舗装という。）が新しく開発された。MMA 樹脂は、低騒音舗装の骨材飛散を防止するトップコート工法での実績がある材料であるが、環境保全を指向した遮熱性舗装を展開していく上で、都内の軽交通路線での適用を拡大していくため、塗膜の耐久性と価格

のバランスを考慮した新たな遮熱性舗装が期待される。そこで、官民で共同研究を実施することとした。民間からは、参加を希望した 5 社で「遮熱性舗装乳剤タイプ調査研究会」を組織して、平成 19³⁾、20 年度の 2 年間にわたって実施した。

2. 研究の目的と内容

研究の目的は、土木技術支援・人材育成センター構内（以下、構内試験ヤード）における試験施工および室内試験により乳剤タイプ遮熱性舗装の基本的な特性を把握し評価したうえで街路への適用性を検討するものである。

具体的な研究内容は以下のとおりである。

施工性の確認

路面温度低減機能の確認

路面温度低減機能の持続性等について検証

熱特性の把握

2 年間の研究期間のうち、平成 19 年度は、1 年間の調査結果から課題を抽出し、その課題解決を図るべく遮熱材を改善した。平成 20 年度には、改善型遮熱材により追加試験施工を実施して再評価を行った。

本論文は、2 年間にわたって実施した調査結果から、路面性能および夏季高温期における温度低減特性についてまとめたものである。なお、低騒音舗装については、経年変化にも言及しているが、施工後の経年変化は、構内試験ヤードが供用道路でないため、機能低下は耐候劣化が主である。

3. 試験施工の概要

構内試験ヤードの工区割りは、図 - 1 に示すとおりである。14 工区 (3.5×3.5×7×2 = 171.5 m²) のうち 13 工区が本研究で用いた試験施工ヤードである。乳剤タイプ遮熱性舗装として、密粒度舗装上 5 工区、低騒音舗装上 5 工区に遮熱材を塗布した。そのほか比較工区として未塗布の密粒度工区と低騒音工区、さらに低騒音舗装上に MMA 樹脂を塗布した工区を設けた。従って、A社～E社の5技術が各々2工区ずつ施工している。

使用遮熱材は、乳剤タイプおよびエマルジョン型樹脂系であるが、厳密には各社により材料面で違いがある。A社、E社はアクリルエマルジョン樹脂系、C社、D社は反応硬化型水系、B社は2液反応型乳剤系である。

調査項目は、施工性の調査が臭気測定、舗装としての路面性能調査、気象データの収集および温度計測等である。臭気測定は、臭気強度(Dual Sensor方式による臭気測定器)、路面性能の調査は、浸透水量(現場透水量試験器)、すべり抵抗性(BPN、DFテスター)、明度(色彩色差計)、耐久性(摩耗量)を測定した。気象データは、風向風速計、大気温度計、温度低減性能は、温度センサを埋設することによって調査した。温度センサの設置位置は、図 - 2 のとおりである。

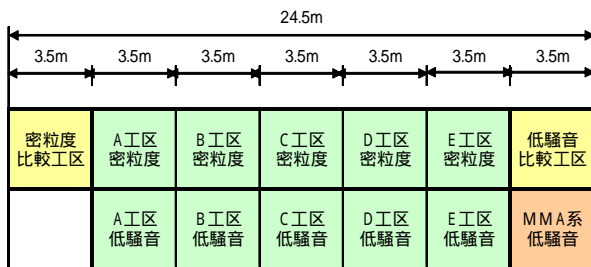


図 - 1 試験ヤード工区割り

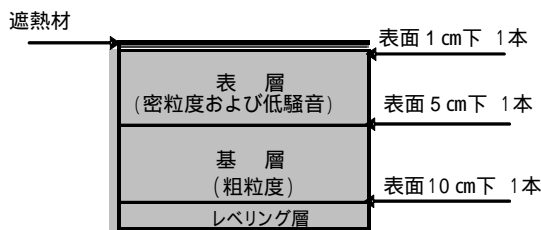


図 - 2 温度センサ埋設位置

4. 施工性の評価

使用遮熱材が各社によって異なるため、プライマーの要否、遮熱材の塗布層数や塗布量、骨材散布の時期、散布機器等および施工時間や養生時間などを確認した。

遮熱材の散布方法は各社各様であるため、施工時間は、密粒度工区が5～20分、低騒音工区が4～14分、養生時間は、密粒度工区が17～77分、低騒音工区が17～81分と、各社により幅があるが、十分即日施工が可能である。

遮熱材料の臭気測定については、室内試験により行った。測定機器および測定状況の外観を写真-1に示す。この測定装置により測定された臭気強度は、あらかじめ「悪臭防止法」により定められている臭気指数と関連づけておき評価した。B工区とMMA工区の測定例を図-3に示す。MMA樹脂系と比較すると施工直後の臭気強度は、1/2以下であり、また、塗布前の状態にまで戻る時間は、乳剤タイプが20分程度であるのに対し、MMA樹脂は、180分経過後も塗布前の状態にまで戻らない。



写真 - 1 臭気測定状況

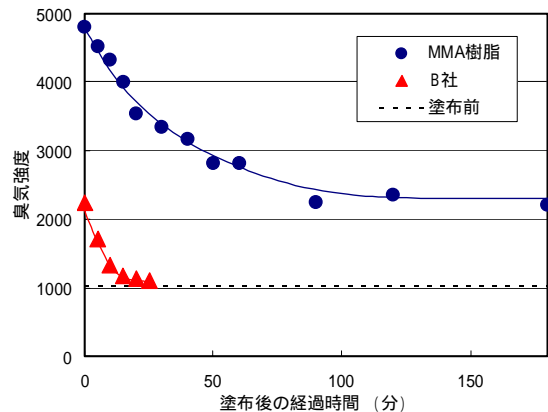


図 - 3 臭気測定結果の例 (B 工区)

5. 路面性能の評価

施工直後の路面性能は、すべり抵抗、浸透水量、明度、摩耗抵抗性を測定した。結果を以下に示す。

(1) すべり抵抗

すべり抵抗は、DF テスタ、振り子式ポータブルスキッドレジスタンステスタ (BPN) により遮熱材塗布前後に測定した。遮熱材塗布後の DF テスタの試験結果を図 - 4、5 に示す。DF テスタによる試験結果は、全ての工区が $\mu = 0.45$ 以上となっており、当初目標とした値を満足している。しかし、動的摩擦係数は、BPN に比べて工区により大きな幅がある。

振り子式スキッドレジスタンステスタの試験結果を図 - 6、7 に示す。全ての工区が BPN = 60 以上となっており、目標値を満足している。

低騒音工区は、平成 20 年度に施工した改善型遮熱材塗布後に測定した結果である。全ての工区で BPN = 60 を大きく超えており、各工区による変動も小さい。

なお、D 工区 (低騒音) については測定を行っていない。

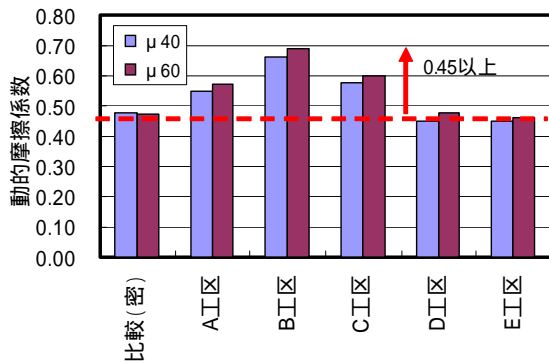


図 - 4 DF テスタ測定結果 (密粒度工区)

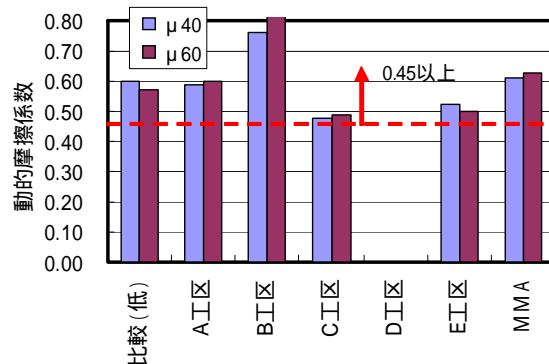


図 - 5 DF テスタ測定結果 (低騒音工区)

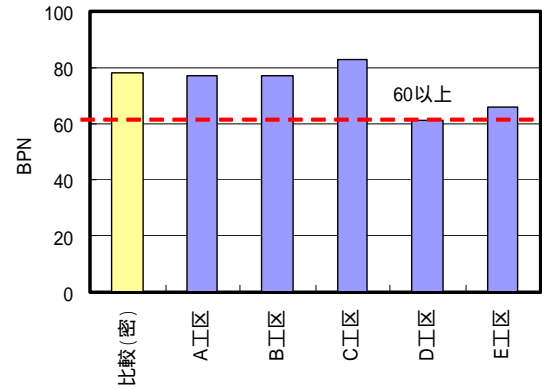


図 - 6 BPN 測定結果 (密粒度工区)

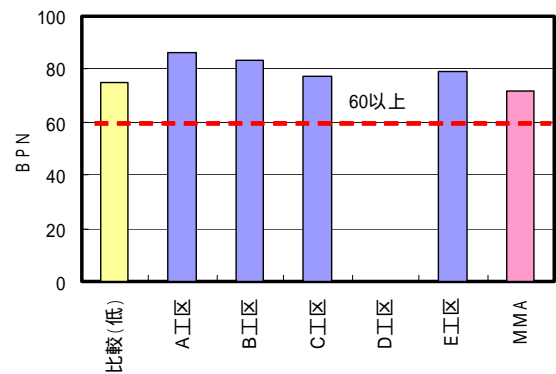


図 - 7 BPN 測定結果 (低騒音工区)

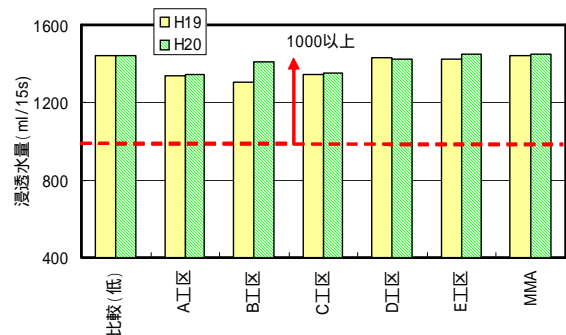


図 - 8 浸透水量測定結果 (低騒音工区)

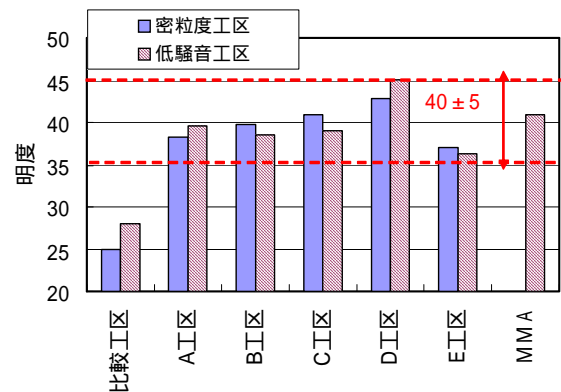


図 - 9 施工直後の明度

(2) 浸透量

浸透水量は、現場透水量試験器により行った。図-8は、施工直後(H19)、1年後(H20)の測定結果である。

施工直後と1年経過後の比較では、いずれも全ての工区で1300mL/15sec)以上を確保しており、かつ全体的に変化がなく空隙詰まりが生じていない。

(3) 明度

明度は、色彩色差計を用いて、4ヶ月毎に測定した(密粒度は1年後の測定値なし)。施工直後の測定結果を図-9に示す。密粒度工区は、当初目標値の範囲を超えるものがあつたが、改善型遮熱材を塗布することにより、全ての工区で目標とした 40 ± 5 の範囲内となっている。

図-10は、施工直後(H19)と1年後(H20)の明度の関係である。全体的に明度は、経年とともに大きく(白っぽく)なる傾向にあるが、工区によっては小さく(黒っぽく)なるものもある。MMAは、ほとんど変化がない。

また、比較工区(密粒度、低騒音)の明度は、図-11に示すように経年とともに大きくなる傾向を示している。その理由として、構内での供用劣化は考えられないため、アスファルト舗装表面にあるアスファルトの被膜が紫外線劣化により剥がれ、骨材表面が露出してきていることが要因と推測される。

(4) 摩耗抵抗性

遮熱性舗装の機能の持続性を図る上で、遮熱材自体の摩耗抵抗性および母体アスファルト混合物との付着性は重要である。摩耗抵抗性の把握には、ウエットトラック摩耗試験、テーバ摩耗試験を行った。結果を図-12、13に示す。いずれの試験でも全工区とも規格値を満足している。規格値は、文献^{4)、5)}によつた。

6. 路面温度低減性能の評価

路面温度低減量の分析は、気温の上昇が著しかった平成19年8月9日~8月28日および平成20年7月28日~8月27日までのデータを用いて行った。主な分析内容は、夏季観測期間中の最高路面温度による分析、

比較工区の路面温度が60の場合の温度差、構内実測値と室内照射試験の関係、明度と路面温度低減効果の関係等である。

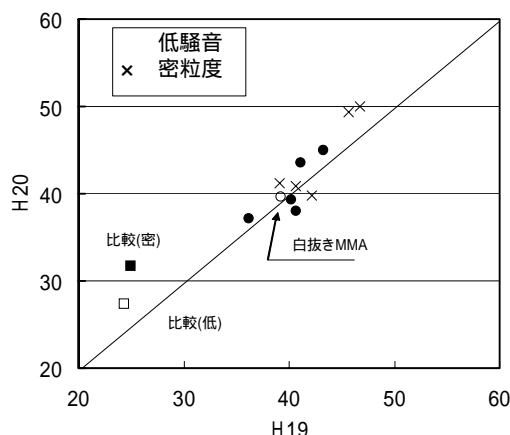


図-10 明度のH19、H20測定値の関係

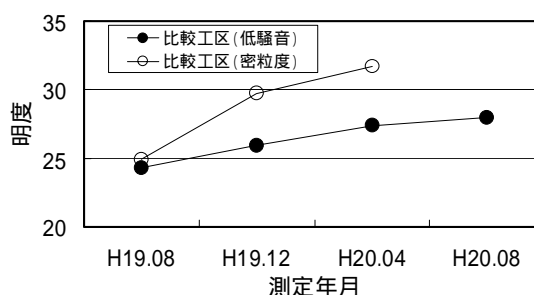


図-11 比較工区の明度の経年変化

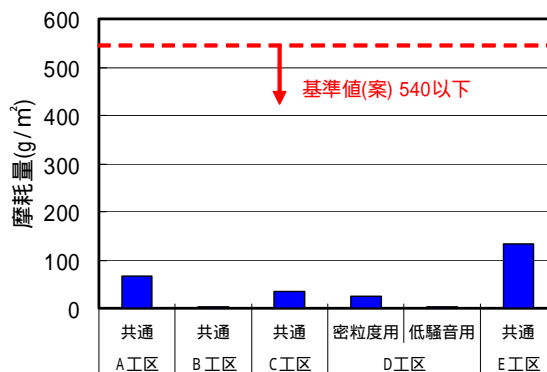


図-12 ウエットトラック摩耗試験結果

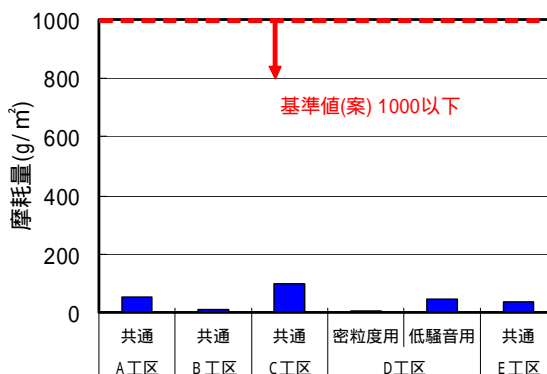


図-13 テーバ摩耗試験結果

(1) 夏季観測期間中の最高路面温度による分析

夏期高温時の舗装温度の分析は、分析対象期間中で、各日において比較工区（密粒度、低騒音）の表面1cm下での最高温度（以下、最高路面温度という。）を示した時刻のデータにより行った。最高路面温度を示したのは、平成19年度は、8月16日、平成20年は、8月8日である。各日の深さ方向温度の時刻変化は、遮熱性舗装の場合、各工区とも類似した傾向を示したため、B工区の測定結果を図-14、15に示す。また、比較としてMMA工区の測定結果を図-16に示す。この日の各層における比較工区の最大温度との差（以下、路面温度低減量という。）を工区毎に示したものが図-17、18である。この結果、以下のことがいえる。

各層温度の時刻変化については、各深さにおいてピークが現れる時刻は、比較工区も遮熱工区も変わらない。比較工区と遮熱性舗装とでは、路面温度のピークが生ずる時刻にずれがある。比較工区、遮熱性工区とも、深さ方向でピーク温度の生ずる時刻にずれがある。密粒度工区と低騒音工区の温度の時刻変化は、ほとんど同じ傾向を示している。密粒度工区の方が低騒音工区よりも深さ方向の低減率が大きい傾向にある等である。

比較工区に対する温度差をみると、比較工区（密粒度）で最高路面温度を記録したH20.8.8の各工区における路面温度低減量は、図-17に示すように1cm下が9.1~11.1、5cm下が6.7~7.8、10cm下が5.3~5.7であった。比較工区（低騒音）で最高路面温度を記録したH19.8.16の各工区における路面温度低減量は、図-18に示すように1cm下が9.7~12.3、5cm下が9.3~12.3、10cm下が8.4~9.7であった。MMA工区の各深さの路面温度低減量は、1cm下が13.5、5cm下が12.4、10cm下が10.9と、乳剤タイプやエマルジョン型樹脂系より高めの値を示した。

日最高路面温度に達する時間は、図-19~20に示すとおりである。東京都における初期の性能要件発注では、日最高路面温度に達する時間帯を11時~15時の間にあると想定してこの時間帯で温度計測し、最高温度を求めることとしている。ここでは、自動計測した温度記録から、乳剤タイプの場合にこの想定が合うかどうかを検証した。

図-19は、平成19年度の比較工区（密粒度）が最高路面温度を示したときの温度と時刻、図-20は、平成20年度の比較工区（低騒音）が最高路面温度を示したときの温度と時間である。いずれも施工直後に計測した結果である。平成19年度調査では、ほとんど11~15時の時間帯で日最高温度を示したが、平成20年度調査では、11時前に最高温度を示す日が調査対象期間中に3日あった。したがって、日最高温度は、必ずしも11時~15時の時間帯に現れるとは限らないことが分かった。

(2) 比較工区が60の場合の温度低減量

分析対象期間中の温度データを利用して、比較工区の表面1cm下温度が60のときの温度の差（以下、路面温度低減量（比較60）という。）を求めた。各工区の路面温度低減量（比較60）は、遮熱性舗装の温度と比較工区の温度との関係から回帰式を求め、比較工区の路面温度が60のときの温度差を求めた。A工区の例を図-21（密粒度工区）および図-22（低騒音工区）に示す。この温度差を各工区について求め一覧にしたものが表-1、2である。なお、表-2の低騒音工区は、1年経過後の路面温度低減量（比較60）も記した。この表でわかるように、比較工区が密粒度の場合の施工直後の路面温度低減量（比較60）は、8.6~10.4であった。比較工区が低騒音の場合の路面温度低減量（比較60）は、8.2~10.2、MMA工区は、11.0であった。また、1年経過後の低騒音工区の路面温度低減量（比較60）は、0.7~2.1低下しているが、MMA工区の1.7とほぼ同じ結果となった。なお、E工区（低騒音）は、センサ等の不具合から異常値を示したため、データを削除した。

一方、各工区から遮熱材塗布直後に採取したコアにより室内照射試験を実施した。試験法は、東京都方式²⁾によった。試験結果を表-3に示す。路面温度低減量（比較60）は、全体的に密粒度工区の方が大きな値を示した。

(3) 構内実測値と室内照射試験の関係

構内試験ヤードにおいて実測した、路面温度低減量（比較60）と、室内照射試験における3時間照射後の路面温度低減量との関係性を求めた。これらの関係性を図-24、25に示す。これらの図から次のことがいえる。

密粒度工区は、構内実測の方が約2 程度低いゾーンに集中している。

低騒音工区は、構内実測の方が1 程度低いゾーンに集中しており、これらの傾向は、MMA 樹脂系ともほぼ符号する。

(4) 明度と路面温度低減量の関係

明度の路面温度への影響を調べるために、上記デー

タを用いて明度と路面温度低減量の関係を求めた。その結果を図 - 26、27 に示す。

明度が大きくなるほど路面温度低減量が大きくなる傾向がみられるが、とくに、密粒度については、それほど強い相関はみられない。このことから路面温度低減量の大小は、明度だけではなく、遮熱材の性能の要素が大きいと考えられる。

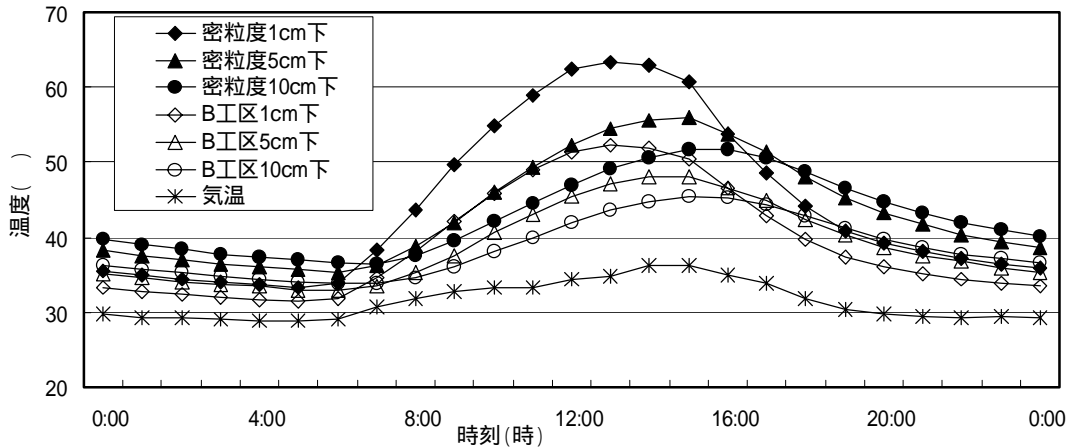


図 - 14 最高温度日の各層温度の時刻変化 (B工区と密粒度)

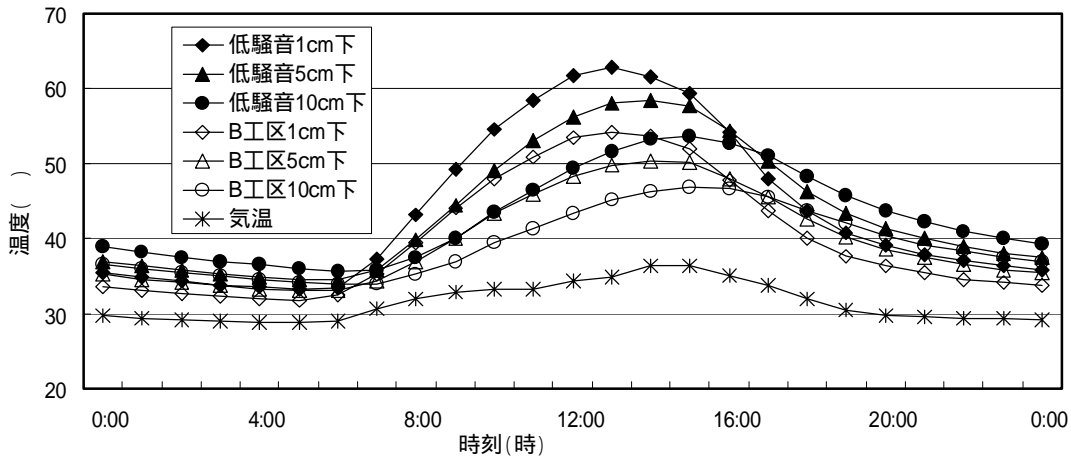


図 - 15 最高温度日の各層温度の時刻変化 (B工区と低騒音)

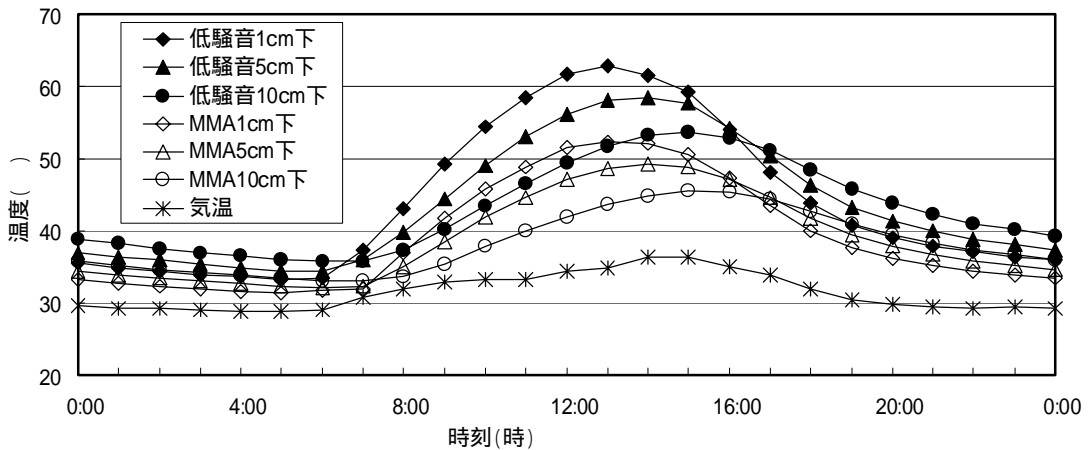


図 - 16 最高温度日の各層温度の時刻変化 (MMA工区と低騒音)

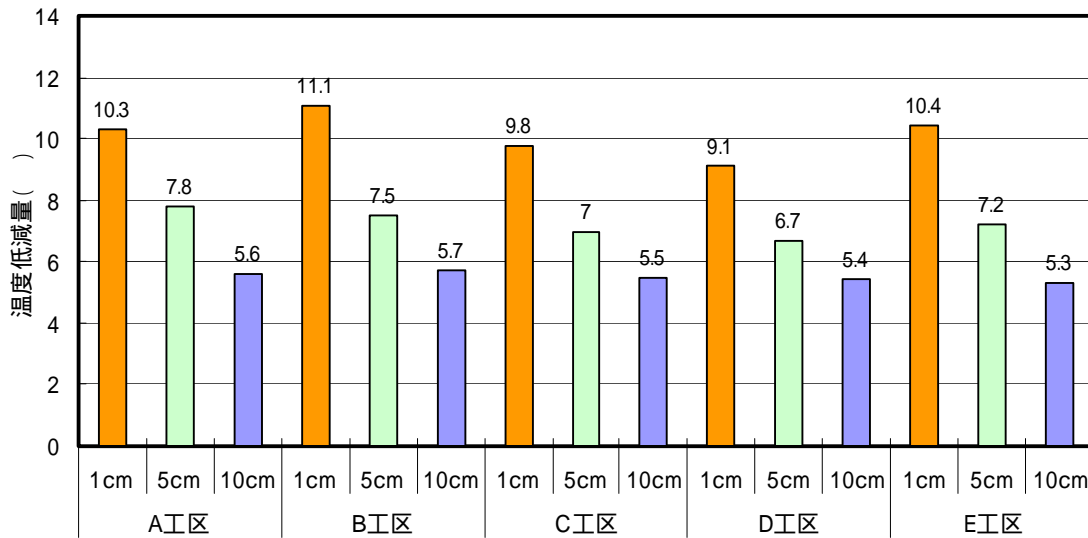


図 - 17 深さ方向の工区別最大温度低減量（密粒度）

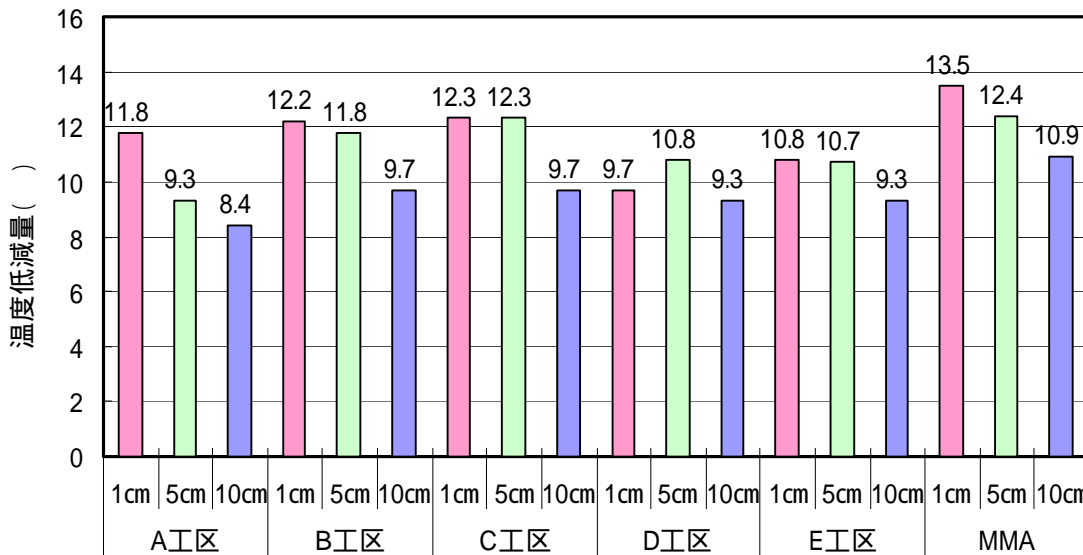


図 - 18 深さ方向の工区別最大温度低減量（低騒音）

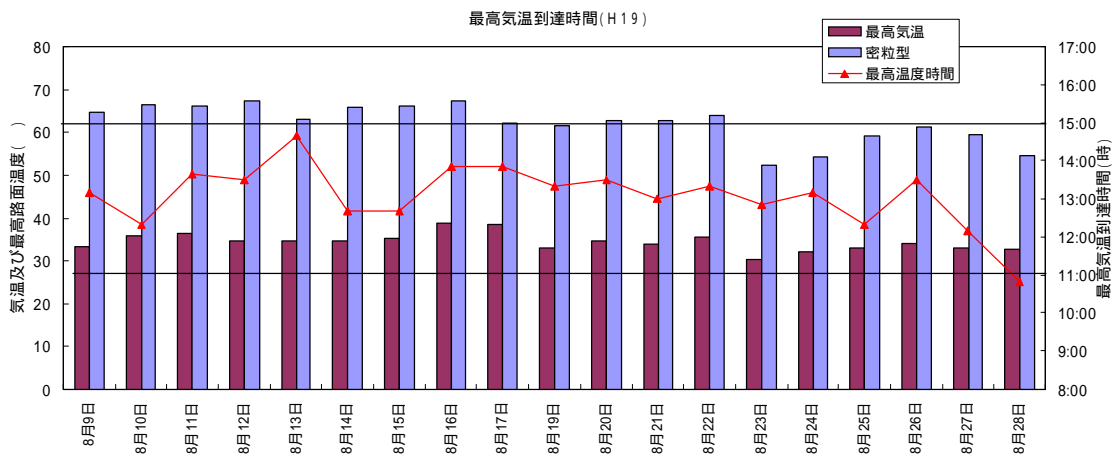


図 - 19 日最高温度に達する時刻（密粒度）

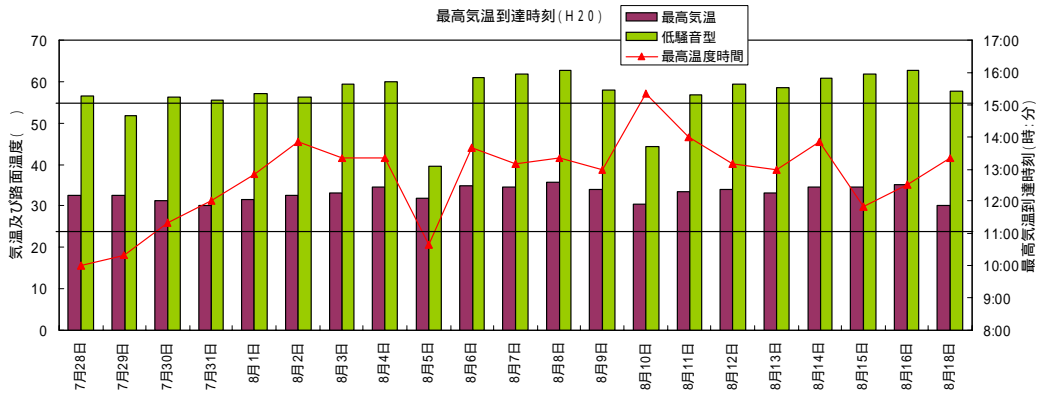


図 - 20 日最高温度に達する時刻 (低騒音)

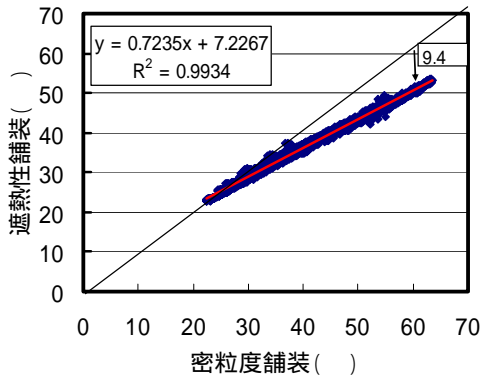


図 - 21 路面温度低減量(比較 60)(A工区(密粒度))

表 - 1 温度差算出の回帰式(密粒型)

工区名	密粒度工区 (施工直後)		
	遮熱性舗装と密粒度舗装の関係式	R ²	低減量 (°C)
A工区	Y=0.7232x+7.2411	0.9936	9.4
B工区	Y=0.6978x+7.7798	0.9894	10.4
C工区	Y=0.7363x+6.6994	0.9904	9.2
D工区	Y=0.7525x+6.3017	0.9909	8.6
E工区	Y=0.7033x+8.2019	0.9878	9.6

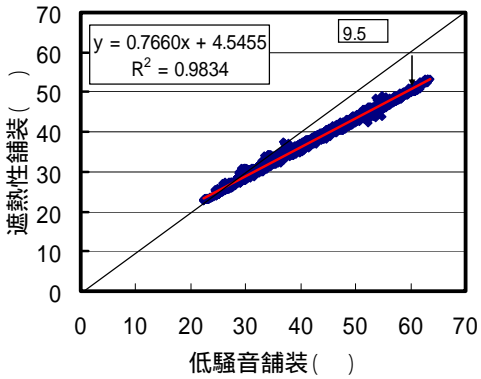


図 - 22 路面温度低減量(比較 60)(A工区(低騒音))

表 - 2 温度差算出の回帰式(低騒音型)

工区名	低騒音工区 (施工直後)		1年後	
	遮熱性舗装と低騒音舗装の関係式	R ²	低減量 (°C)	低減量 (°C)
A工区	Y=0.7660x+4.5455	0.9834	9.5	7.6
B工区	Y=0.7625x+4.2404	0.9841	10.0	7.9
C工区	Y=0.7527x+4.6808	0.9822	10.2	8.9
D工区	Y=0.8361x+1.6218	0.9890	8.2	7.5
MMA工区	Y=0.7392x+4.6820	0.9839	11.0	9.3

表 - 3 室内照射試験結果

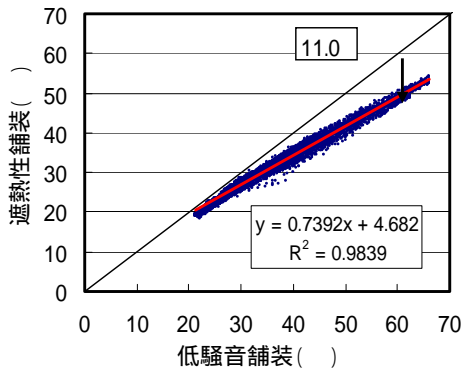


図 - 23 路面温度低減量(比較 60)(MMA)

工区	比較工区 の温度 (°C)	密粒度工区		低騒音工区	
		路面温度 (°C)	低減量 (°C)	路面温度 (°C)	低減量 (°C)
A工区	密粒度工区 (60.0)	48.4	11.7	51.9	8.4
B工区		47.3	12.7	49.9	10.5
C工区		49.0	11.1	51.5	8.9
D工区	低騒音工区 (60.3)	48.7	11.4	52.1	8.3
E工区		48.1	12.0	55.1	5.2
MMA工区				48.5	11.8

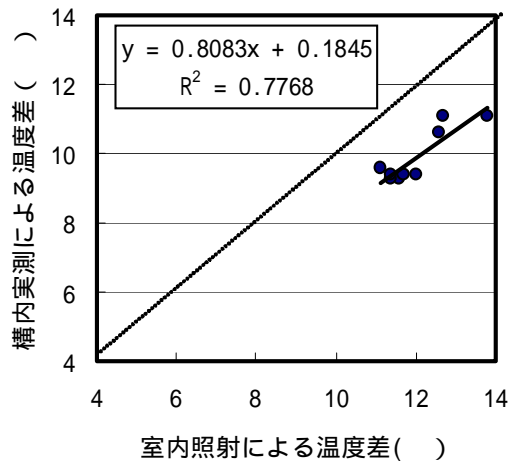


図 - 24 構内実測値と室内照射試験の関係（密粒度）

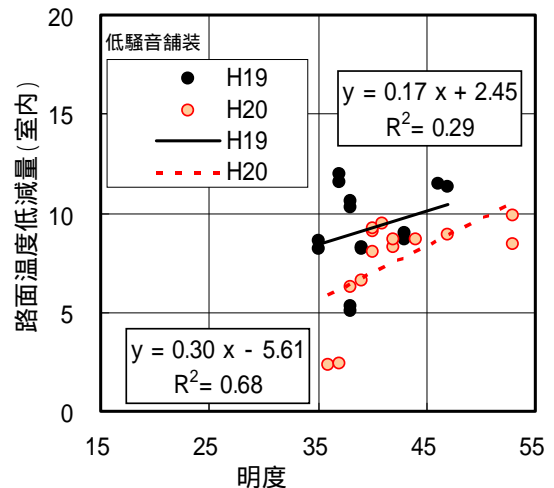


図 - 27 明度と路面温度の関係（低騒音）

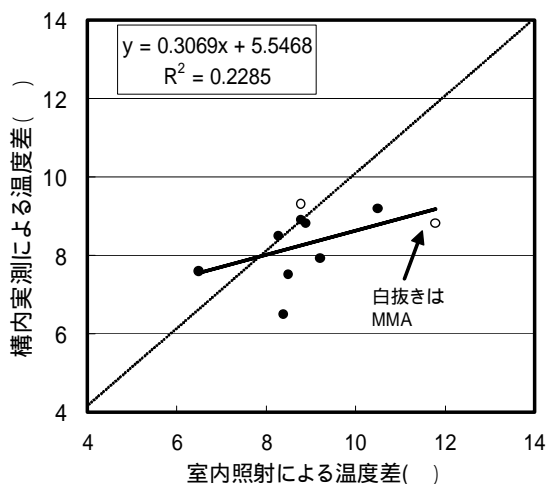


図 - 25 構内実測値と室内照射試験の関係（低騒音）

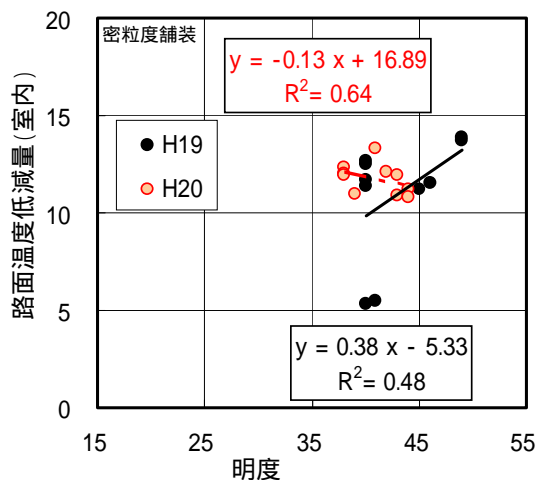


図 - 26 明度と路面温度の関係（密粒度）

7. まとめ

構内試験施工、室内試験等から次のことが確認できた。

(1) 施工性について

乳剤タイプの臭気測定の場合では、MMA 樹脂系と比べ施工直後の臭気強度も低く、また塗布前の状況に戻る時間も短く、優れていることが確認できた。

(2) 路面性能について

施工直後のすべり抵抗については、DF テスタ、BPNとも当初の目標値を満足した。

浸透水量は、未供用のヤードであるものの、1年経過後も機能低下がなく、1300mL/15sec以上を確保した。

塗布直後の明度は、目標とする範囲に収まっているが、全体的に経年とともに大きくなる傾向にあった。

摩耗抵抗性は、ウエットトラック摩耗試験、テーバ摩耗試験とも基準値を満足したが、今後は、実荷重によるなど評価方法の検討が必要である。

(3) 路面温度低減性能について

最高温度による分析では、深さ方向の路面温度低減率は、密粒度の方が低騒音よりも大きい傾向にあった。

比較工区が60の場合の温度低減量は、密粒度工区で8.6~10.4、低騒音工区で8.2~10.2、MMA工区は、11.0であり、MMA工区の方が若干大きかった。

構内実測と室内照射試験の関係は、密粒度工区が約2、低騒音工区は、約1 構内実測の方が低い傾向に

あった。都の室内照射試験は、MMA 樹脂系をもとにつくられたものであるが、乳剤タイプおよびエマルジョン型樹脂系にも適用できることが確認できた。

明度は、大きくなるほど路面温度低減量が大きくなる傾向にあるが、相関は低く、温度低減効果は、遮熱材そのものの性能の要素が大きいと考える。

8. あとがき

今回検討の対象とした遮熱性舗装の適用区分は、各社によって考え方が異なる。生活道路等軽交通道路を対象とするものから重交通道路への適用を目指すもの

まで様々である。したがって、今後は現道で耐久性の検証を行い、MMA 樹脂系も含めた適用区分の明確化が必要であると考えます。

本報告は、東京都土木技術支援・人材育成センターと、乳剤タイプ遮熱性舗装の開発に取り組んでいる民間との共同研究の成果である。

遮熱性舗装乳剤タイプ調査研究会として検討に関わった下記5社の関係各位に感謝を申し上げます。

遮熱性舗装乳剤タイプ調査研究会：東亜道路工業(株)、ニチレキ(株)、日進化成(株)、(株)NIPPO、日本道路(株) (50音順)

参 考 文 献

- 1) 小林一雄、峰岸順一、竹田敏憲：遮熱性舗装の路面温度低減効果と供用性能 民間との共同実験による検討、平16都土木技研年報、2004
- 2) 東京都建設局：遮熱性舗装(車道部)設計・施工要領(案)(平成21年1月)
- 3) 峰岸順一、上野慎一郎、小林一雄：乳剤タイプ遮熱性舗装の路面温度低減性能、平20都土木技研年報、2008
- 4) ポリマー舗装材料協会：歩行者系ポリマー舗装材料(協会推奨規格および施工要領の技術資料について、舗装、vol.29、No.1、pp.33~37、1994.1
- 5) (社)日本アスファルト乳剤協会：マイクロサーフェッシング混合物の摩耗量基準値。