

7. 乳剤タイプ遮熱性舗装の路面温度低減性能

Effect of Road Temperature Decrease of Heat Reflection Pavement of Emulsion Type

技術支援課 峰岸順一、上野慎一郎、小林一雄

1. まえがき

「東京都ヒートアイランド対策取組方針」に基づき、東京都は都市部の温度上昇緩和に有効な方策を求められている。道路施設のヒートアイランド対策として、保水性舗装については、平成 17 年度から本格施工を実施してきている。そして、保水性舗装とは別の原理で路面温度を低減させる遮熱性舗装の塗布工法の 2 液硬化型樹脂系については、平成 14 年度「散水を必要としない舗装路面温度上昇を抑制する新技術」および平成 18・19 年度「交通量の多い車道において低騒音機能を損なわない遮熱性舗装」の共同実験で検討を進めているところである。今回は、遮熱性舗装の新たな技術発掘として塗布工法（吹きつけ工法も含む）の 2 液硬化型樹脂系以外の軽交通を主な適用対象として、低価格でかつ施工時のにおいの発生を軽減したのものとして期待される乳剤タイプ（エマルジョン型樹脂系も含む）（以下、乳剤タイプという）を対象とした。本報告は、実道に適用可能なレベルにある技術のものについて土木技術センターと遮熱性舗装乳剤タイプ調査研究会が「乳剤タイプ（エマルジョン型樹脂系も含む）遮熱性舗装の効果検証調査共同研究」として、当センター屋外実験施設において試験施工を行い施工性、路面温度低減機能の確認、路面温度低減性能について検証を行ったものである。

本共同研究は、当該研究テーマを官民共同研究に位置付けることにより、計測データの分析、解析作業の分担と合理化を図り、乳剤タイプ遮熱性舗装の路面温度低減技術を具体的に検証したものである。共同研究者は、遮熱性舗装乳剤タイプ調査研究会の 5 社である。

研究目的は、乳剤タイプ遮熱性舗装の施工性の把握、乳剤タイプ遮熱性舗装の路面温度低減性能の持続性も含めた把握、乳剤タイプ遮熱性舗装の路面温度低減と大気温度との関係把握、遮熱性舗装の熱特性把握である。

本文では、上記研究内容の 1 年目の報告としての施工性の把握と、路面温度低減性能及び室内照射試験による路面温度低減性能の検証結果について報告する。

2. 試験施工概要

本共同研究は、遮熱性舗装乳剤タイプ調査研究会に属する 5 社の技術を用い、それぞれ密粒度舗装、低騒音舗装に塗布し試験施工を行った。以下に各仕様、調査項目等を示す。

(1) 乳剤タイプ遮熱性舗装について

1) 各乳剤タイプ遮熱性舗装の仕様

表 - 1 に乳剤タイプ遮熱性舗装の各社の仕様を示す。

2) 目標明度

遮熱性舗装の仕上りの明度は、 40 ± 5 と設定した。

3) 試験施工の工区割り

工区割りは、図 - 1 に示すとおり。14 工区（1 工区 $3.5\text{m} \times 3.5\text{m}$ ）を設定し、比較工区として、密粒度舗装、低騒音舗装及び二液硬化型樹脂系遮熱性舗装の 3 工区、乳剤タイプ遮熱性舗装として、10 工区（5 技術 $\times 2$ （密粒、低騒音））、また当センター指定の遮熱 NO_x 型舗装を 1 工区設けている。

(2) 調査項目

調査項目は、下記のとおりである。

表-1 乳剤タイプ遮熱性舗装の各社仕様

工区	種類	下地の舗装	遮熱材塗布量 (kg/m ²)					主な施工法	交通開放までの養生時間	コンセプト
			プライマ	1層目	骨材	2層目	3層目			
A	アクリルエマルジョン	密粒度	-	0.6	-	0.4	-	ゴムレーキ等	1時間程度	軽交通道路 ～ 歩道
	樹脂系	低騒音	-	0.4	-	0.4	-	吹き付け機	1時間程度	
B	2液反応型乳剤系	密粒度	-	0.5	0.5	0.5	-	専用散布機	1時間程度	歩道 ～ 重交通道路
		低騒音	-	0.5	0.5	0.5	-	専用散布機	1時間程度	
C	反応硬化型水系	密粒度	-	0.5	0.5	0.5	-	ローラー刷毛	1時間程度	軽交通道路、駐車場、 歩道、遊歩道、 自転車専用道路等
		低騒音	-	0.5	-	0.5	-	吹き付け機	1時間程度	
D	反応硬化型水系	密粒度	0.3	1.3	-	1.2	0.1	吹き付け機	1時間～2時間	生活道路
		低騒音	0.3	0.5	-	0.5	0.2	ゴムレーキ等	1時間～2時間	
E	アクリルエマルジョン	密粒度	-	0.8	-	0.4	0.4	自在ぼうき	1時間～2時間	歩道、 軽交通道路 (交通量区分N3以下)
	樹脂系	低騒音	-	0.8	-	0.4	0.4	吹き付け機	1時間～2時間	
比較	MMA樹脂系	低騒音	-	0.4	0.5	0.4	-	専用散布機	30分～1時間	歩道～重交通道路

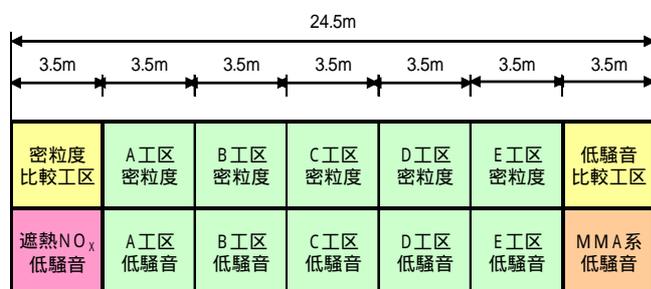


図 - 1 工区割り

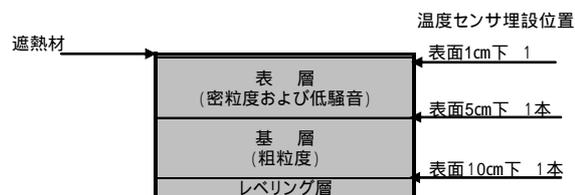


図 - 2 温度センサー埋設位置

1) 施工性

施工時間、養生時間を計測した。

2) 路面温度低減性能

温度センサーを各工区の舗装表面から 1,5,10cm 下の 3 点に埋設し (図 - 2)、路面温度を測定した。

3) すべり抵抗性

ポータブルスキッドレジスタンステスト (BPN) 及び DF テスターにより、施工前後に計測した。

4) 浸透水量

現場透水量試験器により施工前後に計測した。

5) 明度

色彩色差計により、施工直後及び施工 4 ヶ月後に計測した。

6) 摩耗抵抗性

実道での摩耗抵抗性を室内評価するために (社) 日本アスファルト乳剤協会のマイクロサーフェシング混合物の摩耗抵抗性を評価するウェットトラック試験とポリマー舗装材料協会の歩行者系ポリマー舗装材料

の摩耗抵抗性を評価するテーパー摩耗試験を行った。試験方法は、表 - 2 に示すとおりである。

3. 調査結果

路面温度低減性能以外の調査結果をここで報告する。

(1) 施工性

1) 施工時の状況

遮熱性舗装の施工は、平成 19 年 7 月 31 日、8 月 1 日の 2 日間で実施した。7/31 の天候は曇時々晴れ、平均気温 30、最高気温 31 度、8/1 は晴れ時々曇、平均気温 33、最高気温 34 であった。

2) 施工性

各社の遮熱性舗装の施工時間及び養生時間を表 - 3 に示す。遮熱材塗布に要する時間は概ね 4～26 分、養生時間は 15～81 分であった。

3) すべり抵抗性

遮熱材塗布前後に測定したすべり抵抗の試験結果を図 - 3～6 に示す。DF テスターの試験結果は、密粒 C 工区以外全ての工区で施工後の値が低下した。BPN につ

いても、密粒工区の2工区、低騒音工区の3工区で施工後の値が低下した。

この性能低下の改善については、遮熱材塗布の1層目と2層目に撒く骨材の粒径、散布量を改良すること等を検討する必要がある。

4) 浸透水量

遮熱材塗布前後に測定した現場透水量の試験結果を図-7に示す。施工前後の現場透水量の比は92~100%であり、施工前と同程度であった。

表-2 摩耗試験方法

試験方法	基準値(案)	試験方法	備考
ウエイトトラック摩耗試験 (g/m ²)	540以下	舗装調査・試験法便覧 D003T	25 × 1時間水浸
テーパ-摩耗試験 (mg)	1,000以下	舗装調査・試験法便覧 C011T	CS-17, 1000回

表-3 施工時間と養生時間

工区	下地の舗装	施工時間(分)				養生時間(分)			
		1層目	2層目	3層目	合計	1層目	2層目	3層目	合計
A工区	密粒度	13	13	-	26	12	15	-	27
	低騒音	6	8	-	14	6	23	-	29
B工区	密粒度	3	2	-	5	9	8	-	17
	低騒音	2	2	-	4	8	9	-	17
C工区	密粒度	9	15	-	24	32	23	-	55
	低騒音	3	4	-	7	20	17	-	37
D工区	密粒度	7	4	5	16	15	13	-	28
	低騒音	4	2	5	11	14	18	-	32
E工区	密粒度	2	8	4	14	25	28	24	77
	低騒音	6	6	10	22	47	7	27	81
MMA	低騒音	4	2	-	6	7	8	-	15

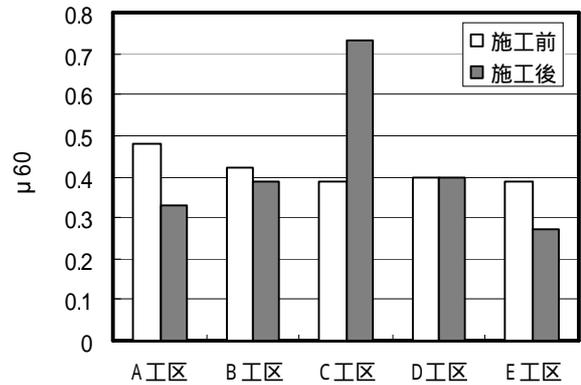


図-4 動的摩擦係数 μ60(低騒音工区)

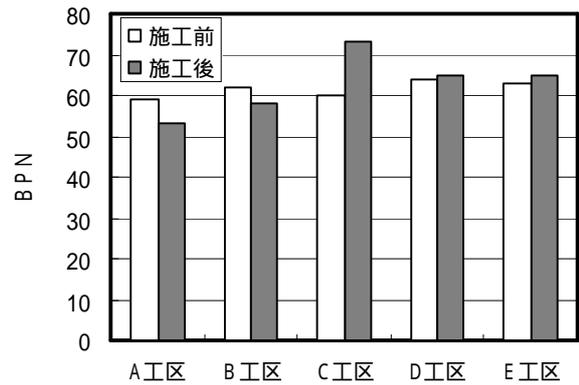


図-5 BPN(密粒度工区)

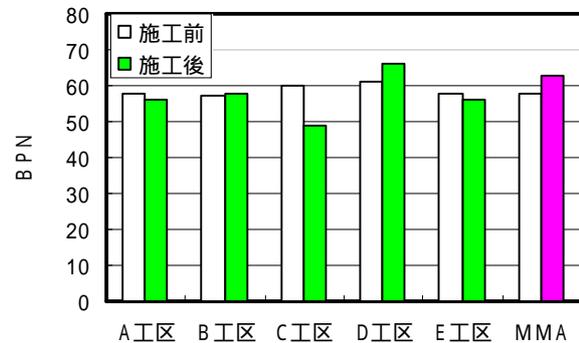


図-6 BPN(低騒音工区)

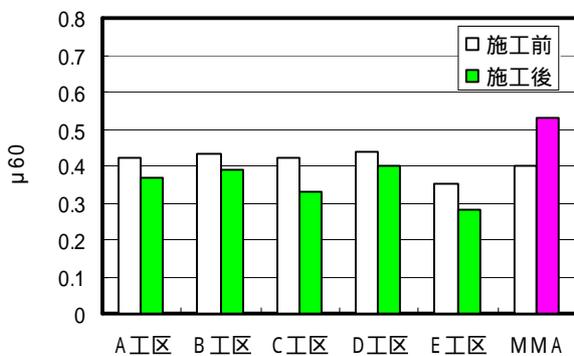


図-3 動的摩擦係数 μ60(密粒度工区)

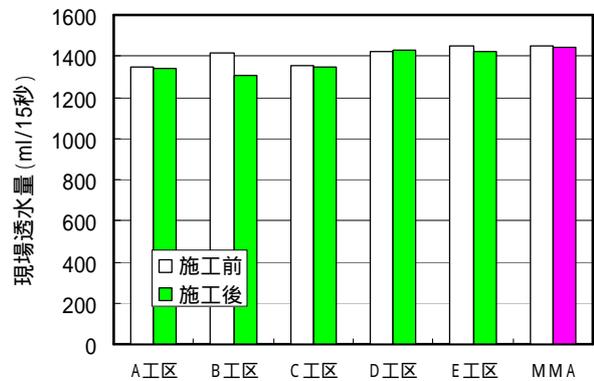


図-7 現場透水量(低騒音工区)

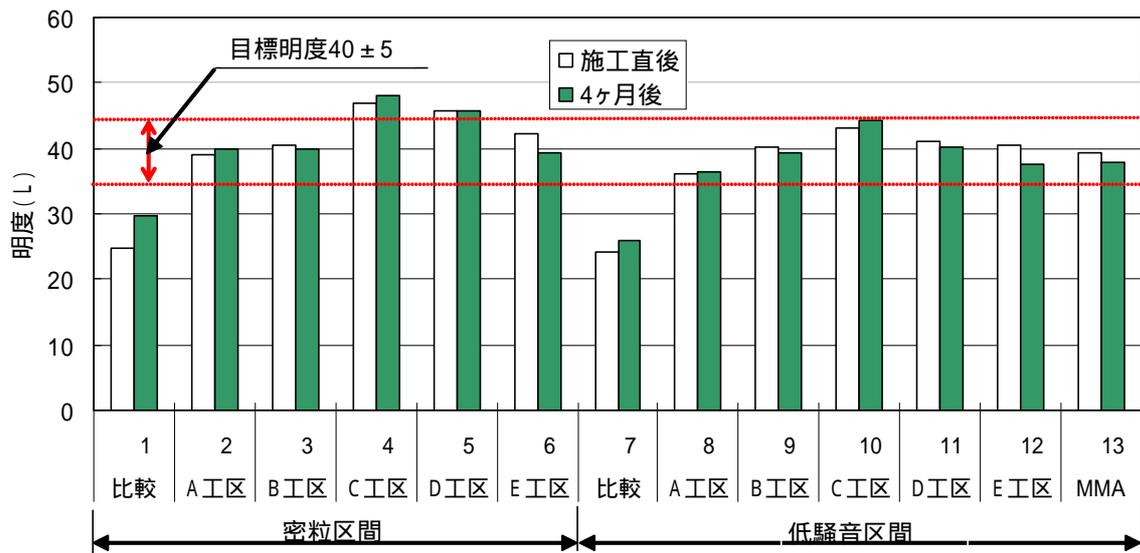


図 - 8 施工直後と4ヵ月後の明度

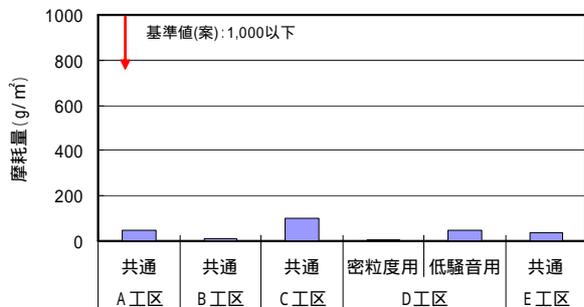


図 - 9 ウェットトラック摩耗試験結果

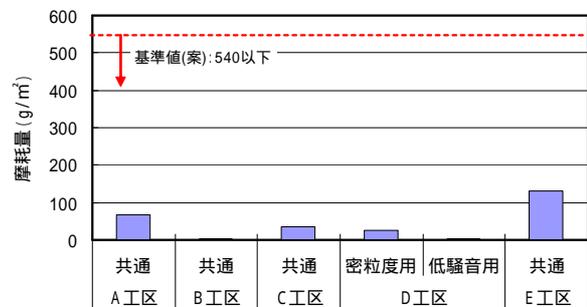


図 - 10 テーパー摩耗試験結果

5) 明度

明度の測定結果を図 - 8 に示す。目標明度は 40 ± 5 と設定したが、この範囲を上回る工区が2工区あった。4ヶ月经過後も全体的に明度の変化はみられない。なお、比較工区の明度については、供用4ヶ月で特に密粒度工区で大きくなっている。これは、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、骨材表面が露出したことが要因と推測された。

6) 摩耗抵抗性

摩耗試験の結果を図 - 9, 10 に示す。摩耗試験の結果、いずれも基準値を満足しており、大きな差は、見られなかった。しかし、両試験が本工法の実道での摩耗性を評価できているかどうかは、現状では不明であるため、今後、試験法も含めて再検討する必要がある。

4. 路面温度低減量調査

夏期高温時の温度計測は、8/9～28 に実施した。計測結果は、各層温度の時刻変化を把握した上で、路面温度(路面下1cm)が最高温度に達した時の温度差、比較工区の路面温度が60 の時の温度差の二つの観点から分析した。

以下、比較舗装の路面温度が最高値を記録した8/16の各層温度の時刻変動を図 - 11～21 に示す。

(1) 最高路面温度における路面温度低減量

各日の最高路面温度を採用した温度低減量の分析結果を以下に示す。8/9～28における各工区の最高路面温度を図 - 22, 23、比較工区に対する最大温度低減量を図 - 24, 25 に示す。

これらから、乳剤タイプ遮熱性舗装の最大路面温度低減量は、以下のとおりであり、十分な効果を確認した。

表面から 1cm 下

密粒度工区 11.5 ~ 14.0

低騒音工区 9.7 ~ 12.3

表面から 5cm 下

密粒度工区 8.5 ~ 11.0

低騒音工区 9.3 ~ 11.8

表面から 10cm 下

密粒度工区 7.4 ~ 9.2

低騒音工区 8.4 ~ 9.7

(2) 比較工区 60 における路面温度低減量

8/9 ~ 10/10 までの比較工区と遮熱性舗装工区の日最高路面温度（路面 1cm 下）の全データから回帰直線を求め、比較工区の温度が 60 の時の路面温度低減量を分析した。その結果を図 - 26, 27 に示す。

分析結果は、密粒度工区 10.1、低騒音工区 9.6 であり、十分な路面温度低減効果を確認した。

(3) 明度と路面温度低減効果の関係

図 - 28, 29 は明度と舗装温度の関係である。密粒型、低騒音型とも明度が 40 付近で同様な値であり、明度による舗装温度の違いはみられなかった。

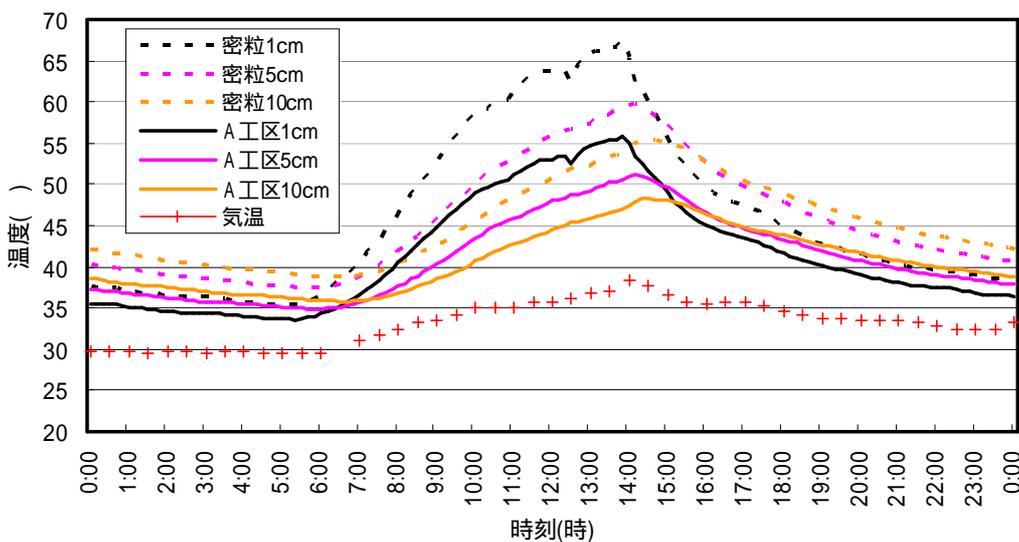


図 - 11 各層温度の時刻変化 (A工区・密粒)

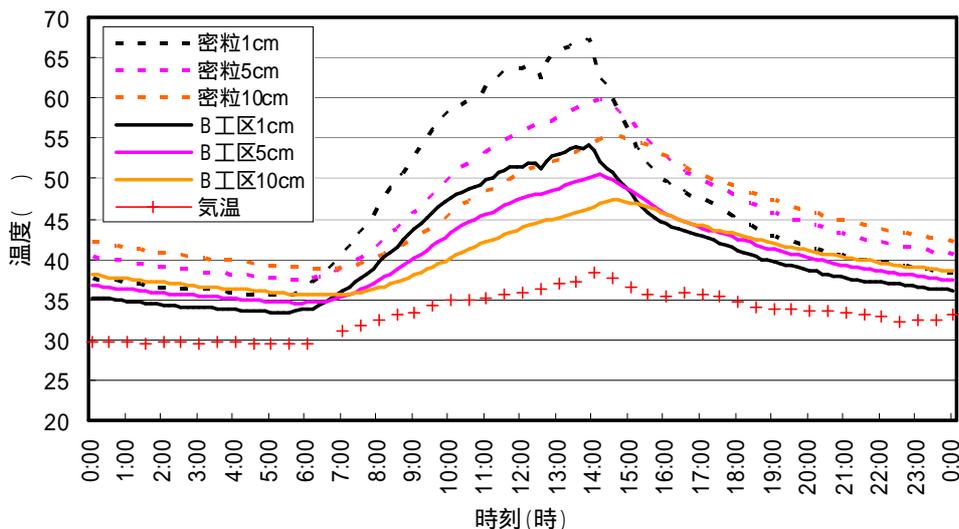


図 - 12 各層温度の時刻変化 (B工区・密粒)

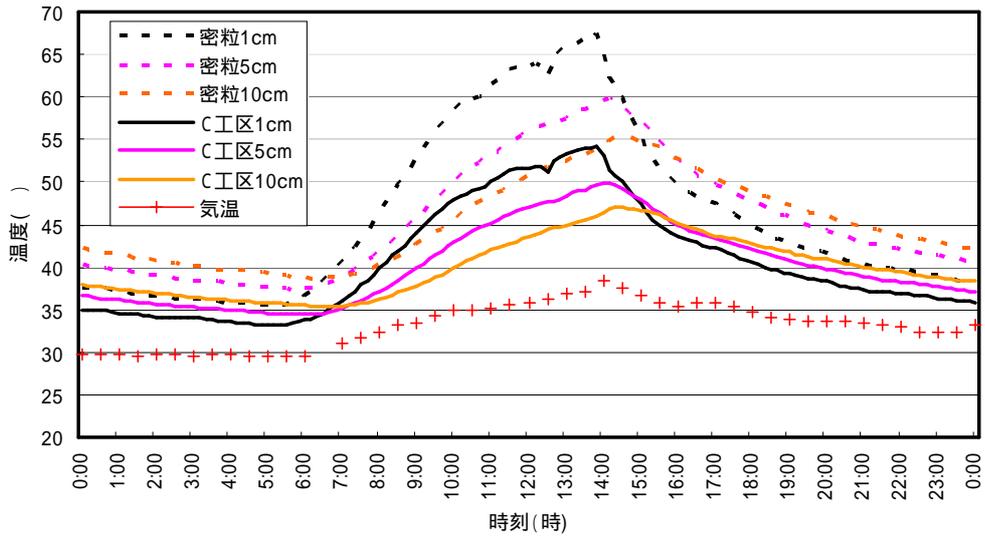


図 - 13 各層温度の時刻変化(C工区・密粒)

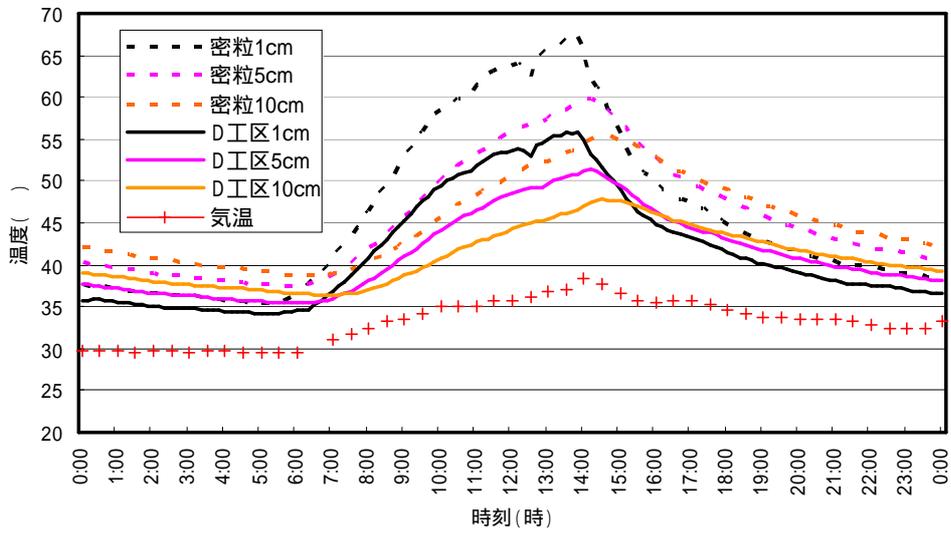


図 - 14 各層温度の時刻変化(D工区・密粒)

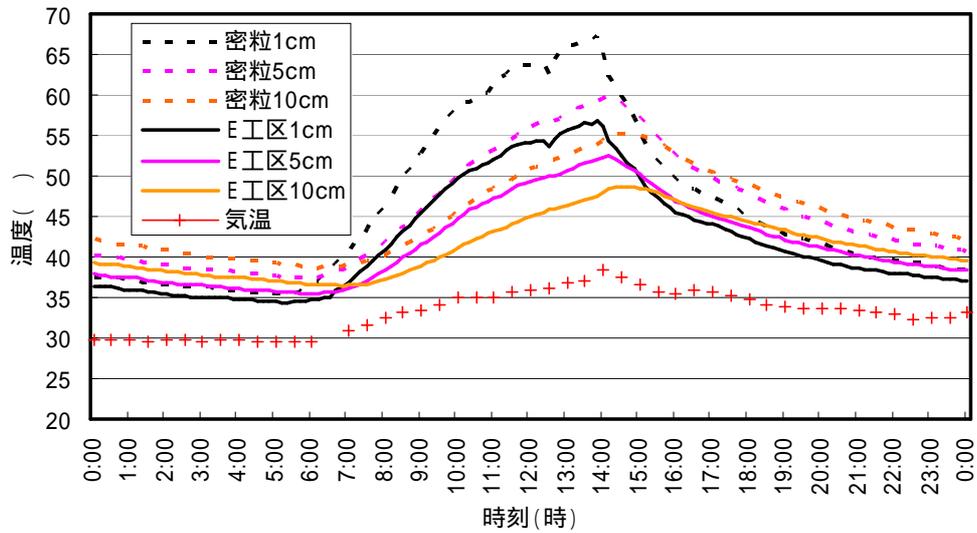


図 - 15 各層温度の時刻変化(E工区・密粒)

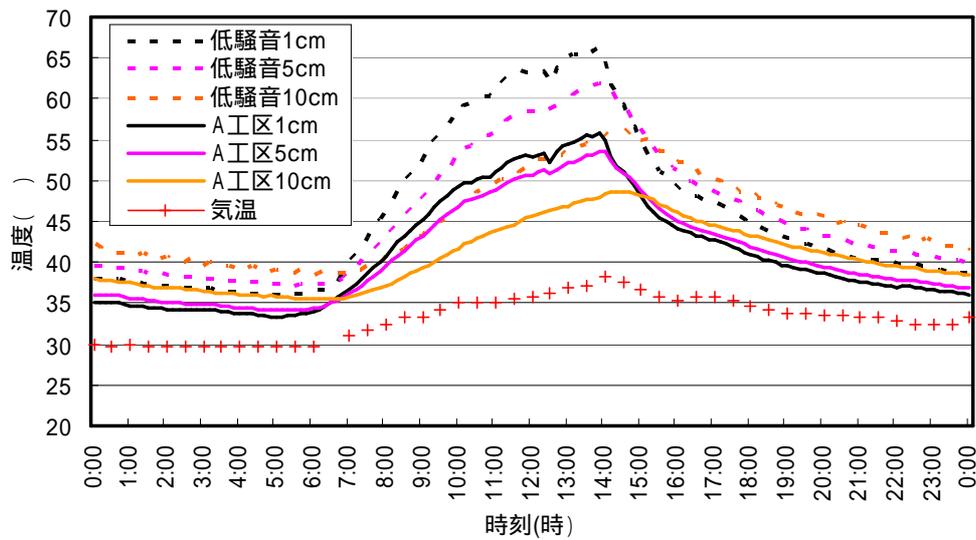


図 - 16 各層温度の時刻変化(A工区・低騒音)

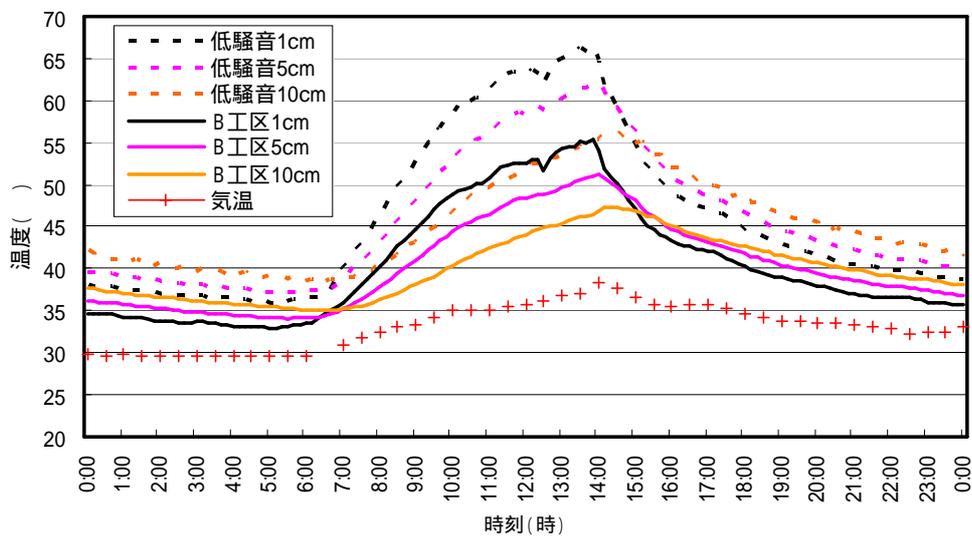


図 - 17 各層温度の時刻変化(B工区・低騒音)

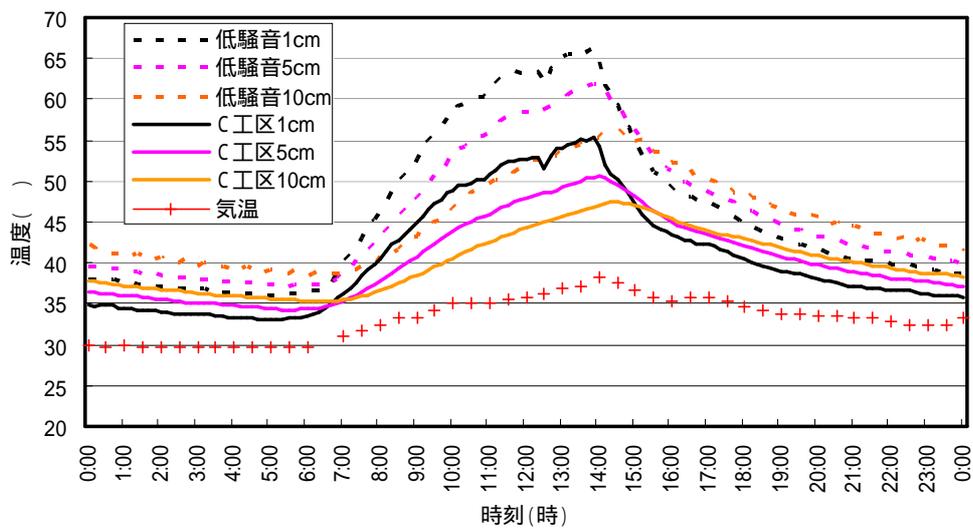


図 - 18 各層温度の時刻変化(C工区・低騒音)

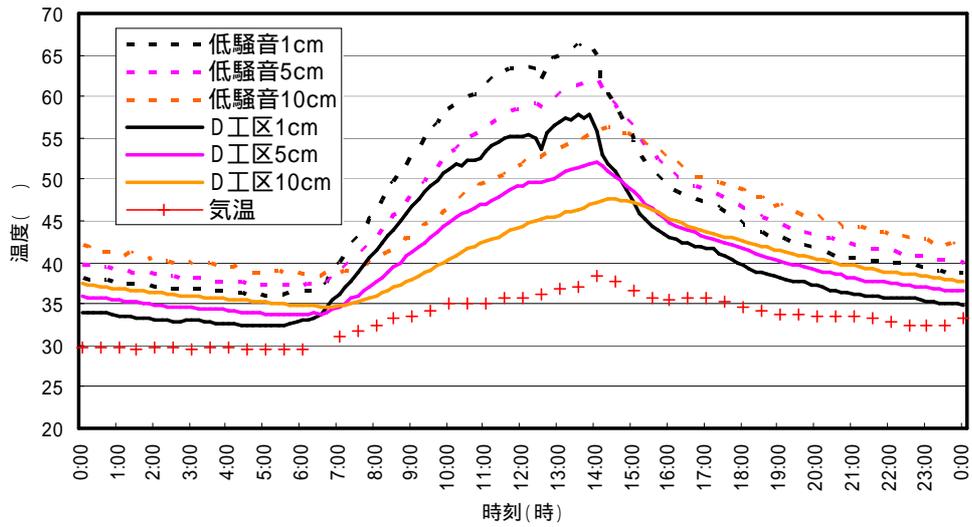


図 - 19 各層温度の時刻変化(D工区・低騒音)

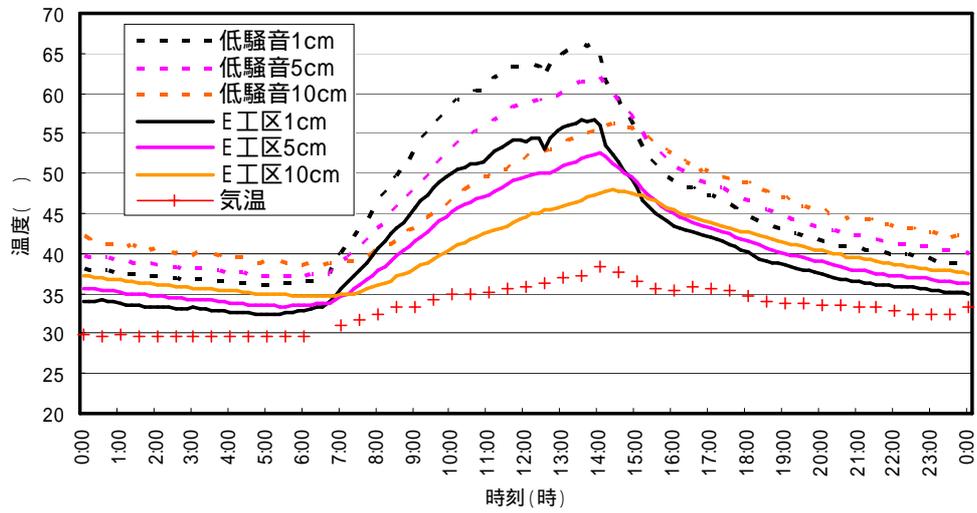


図 - 20 各層温度の時刻変化(E工区・低騒音)

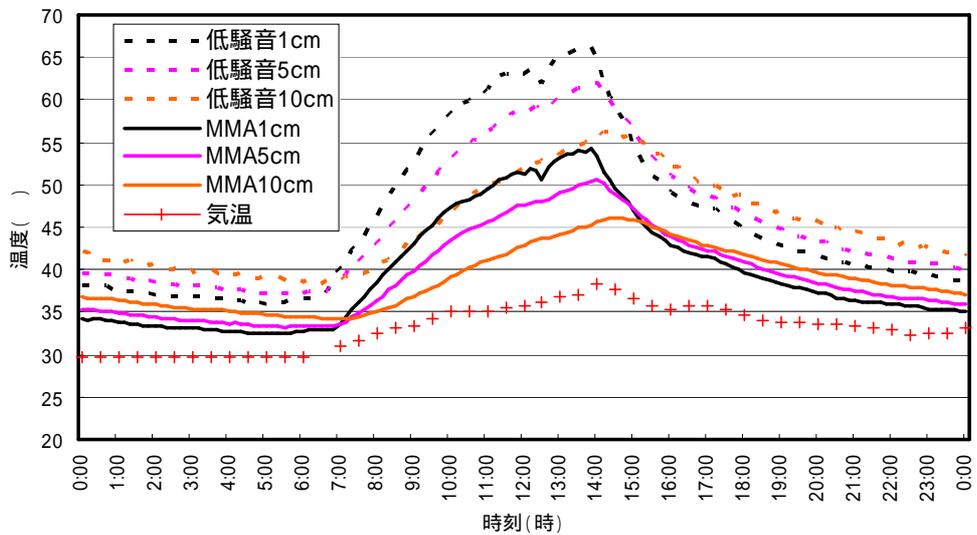


図 - 21 各層温度の時刻変化(MMA・低騒音)

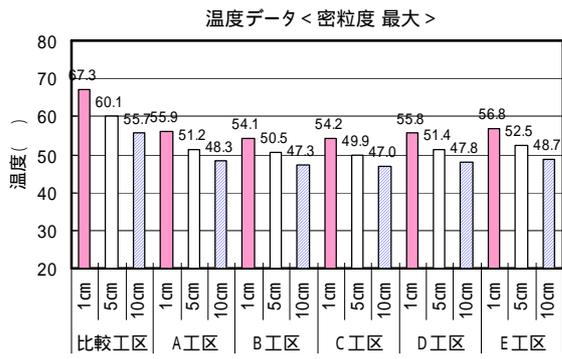


図 - 22 最高路面温度(密粒)

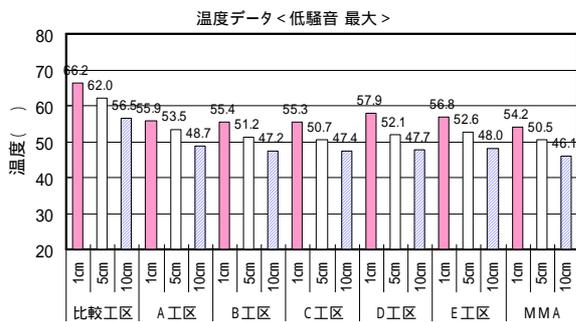


図 - 23 最高路面温度(低騒音)

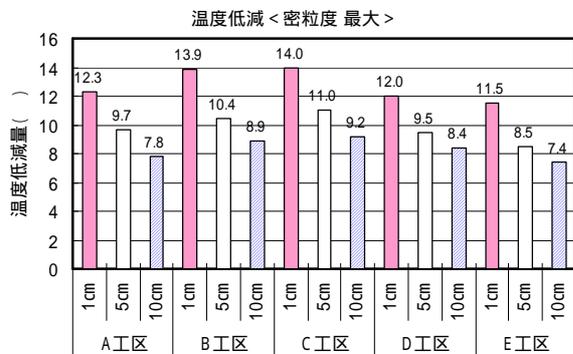


図 - 24 最大路面温度低減量(密粒)



図 - 25 最大路面温度低減量(低騒音)

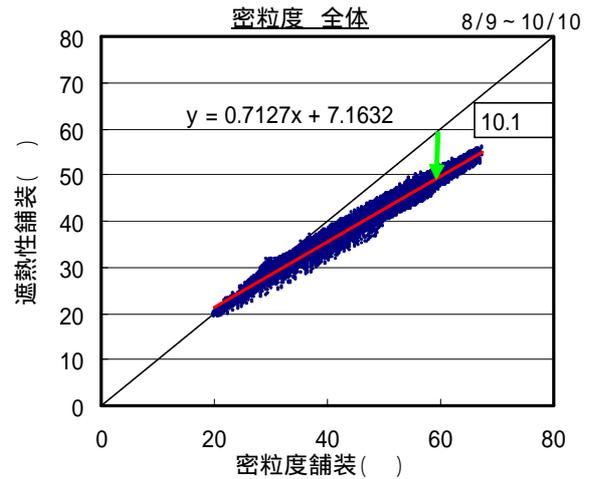


図 - 26 比較工区との路面温度の比較(密粒)

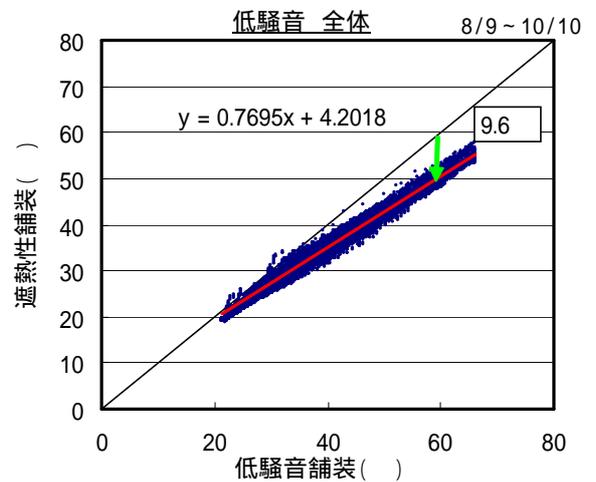


図 - 27 比較工区との路面温度の比較(低騒音)

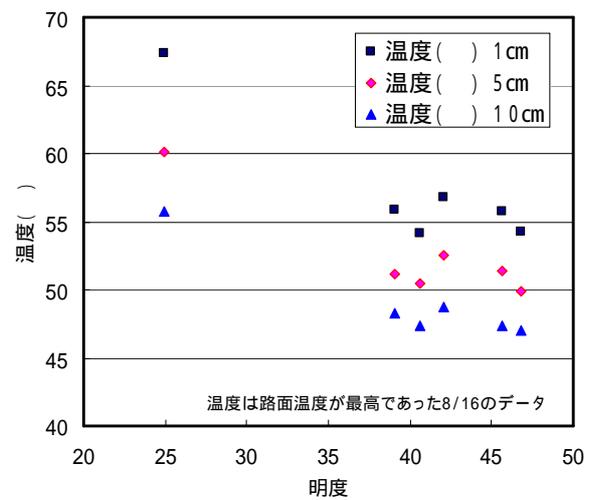


図 - 28 明度と舗装温度(密粒)

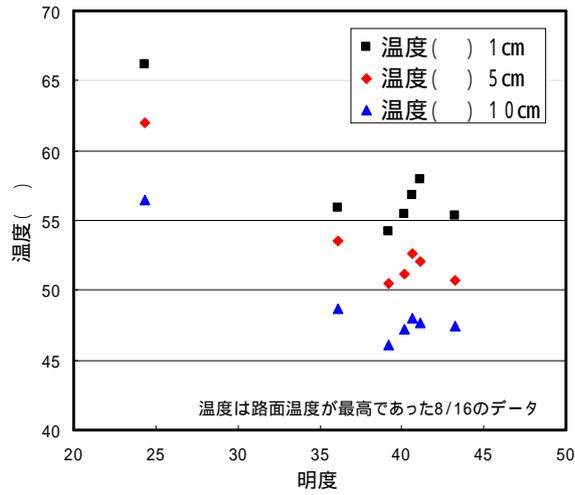


図 - 29 明度と舗装温度(低騒音)

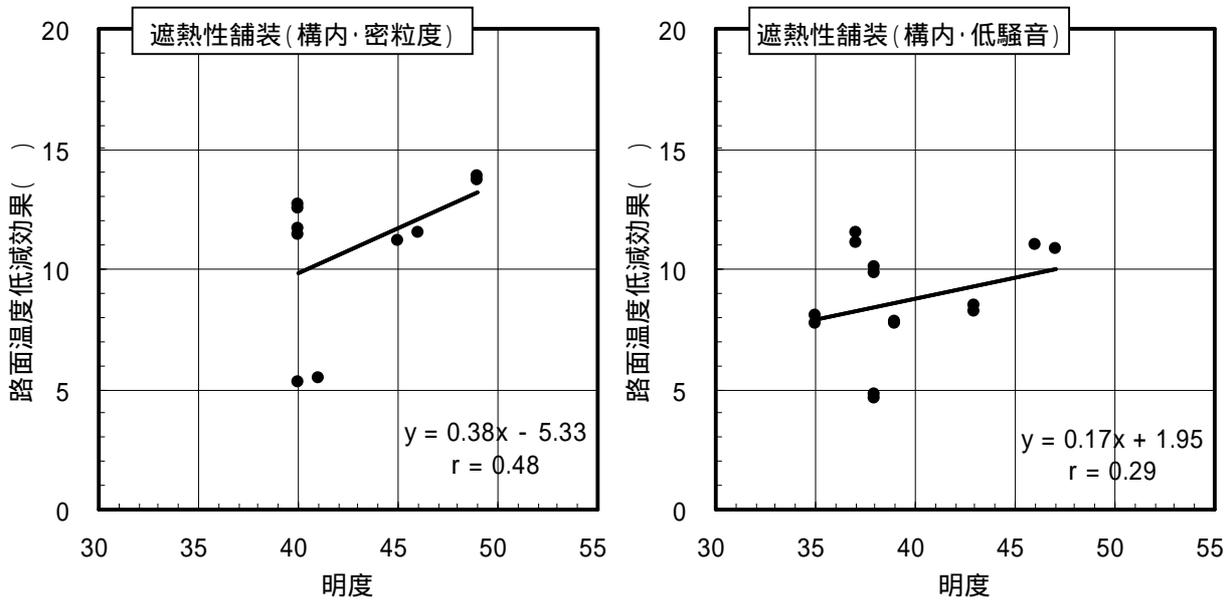


図 - 30 供試体の明度と路面温度低減効果の関係

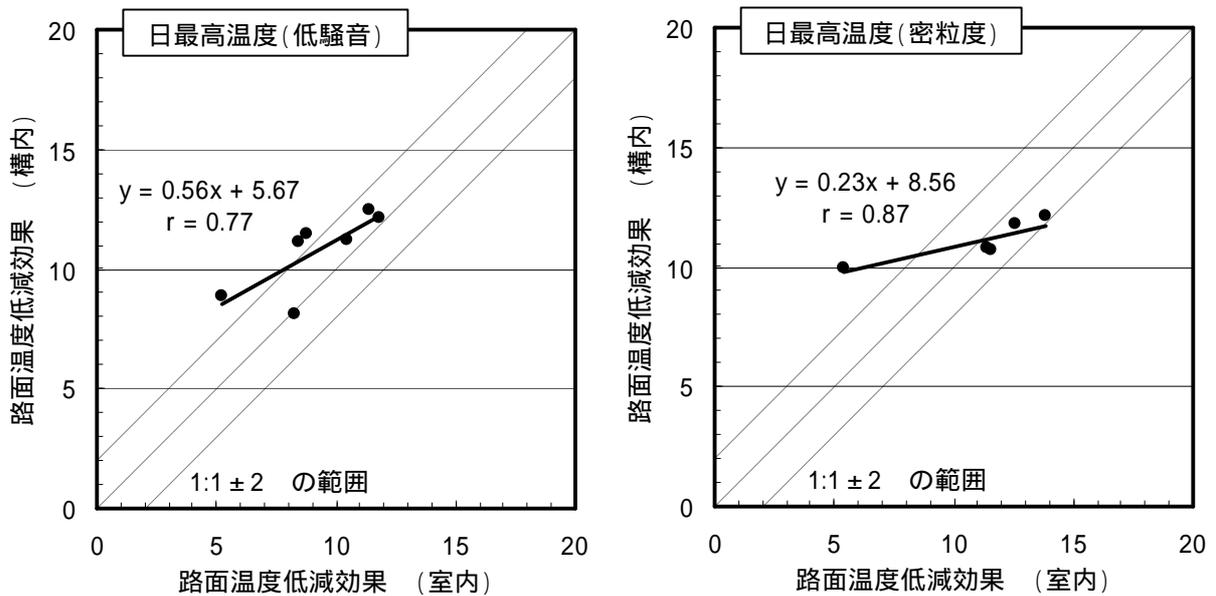


図 - 31 室内照射試験と構内の路面温度低減効果の関係

(4) 室内照射試験による路面温度低減効果の評価

東京都における室内照射試験では、保水性舗装および遮熱性舗装とも照射ランプの種類は、ビームランプを用いて評価してきた。「しかし、国土交通省関東地方整備局が行っている検討結果によると、遮熱性舗装の評価についてはビームランプよりもキセノンランプのほうが現地（国土交通省関東地方整備局関東技術事務所フィールド実験場）の路面温度低減量とほぼ同等な評価が可能であるということであった。」¹⁹そこで、遮熱性舗装の路面温度低減量の評価する照射ランプの種類をキセノンランプについても検討し、ビームランプと比較検討した。また、保水性舗装の路面温度低減量についても遮熱性舗装と同様な比較検討を行った。これら、検討を行った上で本試験施工の室内照射試験による路面温度低減効果の評価を行った結果を示す。

なお、ビームランプ、キセノンランプのどちらの照射ランプを用いてもほぼ現道に近い路面温度低減効果の評価できることが確認できたため、本報告ではビームランプでの結果を示す。照射ランプの種類による比較検討結果の詳細は5.に示す。

1) 乳剤タイプ試験施工箇所の照射試験結果

明度と路面温度低減効果

試験施工箇所から採取した供試体の明度と路面低減温度の関係を図-30に示す。これより、供試体表面の明度と路面温度低減効果は、母体の種類（密粒、低騒音）に関係なく、ほとんど相関がみられなかった。

室内照射試験と構内の路面温度低減効果

室内照射試験と構内（土木技術センター構内試験施工の実測値）の路面温度低減効果の関係を図-31に示す。

す。

これより、室内照射試験と構内の路面温度低減効果の関係について、母体の種類（低騒音、密粒度）に関係なく若干ばらつきが見られるが、全体の2/3は1:1の±2の範囲内であった。また、室内照射試験と構内の相関係数は0.77（低騒音）～0.87（密粒度）とかなり強い相関関係が認められた。

したがって、土木技術センター構内の遮熱性舗装については、母体の種類に関係なく、概ね室内照射試験による路面温度低減効果から構内の路面温度低減効果を推定できるものと考えられた。

5. ランプの種類による比較検討結果

(1) 概要

照射ランプの違いによる環境舗装（遮熱性舗装、保水性舗装（75%））の路面温度低減量を比較検討するために、室内照射試験を実施した。

使用した照射ランプの種類は、ビームランプおよびキセノンランプとした。

(2) 供試体の種類

室内照射試験に用いた供試体の種類を表-4に示す。なお、遮熱性舗装の明度はすべて40±3以内である。

(3) 試験方法

室内照射試験方法を、表-5に示す。

(4) 試験結果

1) ビームランプとキセノンランプの関係

ビームランプとキセノンランプによる遮熱性舗装および保水性舗装の路面温度低減量の相関図を図-32、33に示す。

表-4 供試体の種類

舗装の種類	種類 (種類)	個数 (個)	厚さ (cm)	合計 (個)	供試体の採取箇所(現道)
低騒音舗装	2	各1	5, 10	2	築地
保水性舗装 (充填率75%)	4	各3	10	12	西新宿、若松町、永田町、日比谷
遮熱性舗装	10	各2	5	20	築地

低騒音舗装（比較供試体）の10cmは、5cmの供試体に別の5cmの供試体を接着させて10cmにした。

注）保水性舗装の室内照射試験の比較供試体は、保水性舗装近隣からの切取り供試体ではなく、築地の低騒音舗装切取り供試体を用いた。

遮熱性舗装、保水性舗装ともビームランプとキセノンランプでの相関は、非常に高くどちらで評価しても路面温度低減量は評価できることが把握できた。

キセノンランプがビームランプに比較して自然太陽光の波長に近いという特徴はあるが、路面温度低減量を評価する照射ランプとしては、上記試験結果や今までの性能規定工事での規格値（ビームランプでの規格値）としての実績と遮熱性舗装研究会および保水性舗装研究会の試験方法で用いられていることなどから、ビームランプの汎用性が高いと判断した。

2) 室内照射試験と現道の路面温度低減効果の関係

遮熱性舗装

照射ランプの違いによる遮熱性舗装の路面温度低減量（室内照射試験）と現道における遮熱性舗装の路面温度低減量の関係を図 - 34 に示す。

なお、比較舗装は遮熱性舗装の近傍に施工されている低騒音舗装および密粒度舗装のデータを用いた。また、現道での路面温度低減量は、平成 19 年 8 月 4 日～22 日（雨天の 18 日を除く）間の比較舗装と遮熱性舗装の日々の最高路面温度（熱電対での測定結果による）一次回帰式より、比較舗装が 60 の場合の遮熱性舗装の路面温度を求め、60 から差し引いた値である（図 - 35 右図参照）。

これらより、どちらの比較舗装を基準にした場合でも現道の路面温度低減量と異なり、ランプ照射による場合が大きめに路面温度低減量が評価されていることが分かる。全体的にビームランプの評価よりもキセノンランプの評価のほうが、現道における遮熱性舗装の路面温度低減量に近い値（ ± 2 の範囲外になる材料の種類も見られるが）を示す傾向であった。

なお、現道における比較舗装の路面温度が低騒音舗装と密粒度舗装によって異なっているが、試験条件を同一にした室内照射試験では低騒音舗装と密粒度舗装の路面温度はほぼ同等であることから、これ

は舗装の種類の違いによるものではなく、施工箇所環境条件等に起因するものと考えられた。

保水性舗装（充填率 75%）

照射ランプの違いによる保水性舗装（充填率 75%）の路面温度低減量（室内照射試験）と現道における保水性舗装（充填率 75%）の路面温度低減量の関係を図 - 36 に示す。

なお、比較舗装は保水性舗装（充填率 75%）の近傍に施工されている低騒音舗装または密粒度舗装のデータを用いた。

上図より、どちらの照射ランプによる評価の場合が、現道における保水性舗装（充填率 75%）の路面温度低減量より大きめに評価されていることが分かった。したがって、室内照射試験に用いる照射ランプの種類は、どちらの照射ランプを用いても現道における保水性舗装（充填率 75%）の路面温度低減量より大きめに評価されていることが分かった。

(5) 照射ランプ比較試験のまとめ

以上の検討結果をまとめると、以下のとおりである。

遮熱性舗装、保水性舗装ともビームランプとキセノンランプでの相関は、非常に高くどちらで評価しても路面温度低減量は評価できる。

キセノンランプがビームランプに比較して自然太陽光の波長に近いという特徴はあるが、路面温度低減量を評価する照射ランプとしては、上記試験結果や今までの性能規定工事での規格値（ビームランプでの規格値）としての実績と遮熱性舗装研究会および保水性舗装研究会の試験方法で用いられていることなどから、ビームランプの汎用性が高いと判断される。

保水性舗装、遮熱性舗装の室内照射試験の結果は、現道の路面温度低減量と異なり、ランプ照射による場合が大きめに路面温度低減量を評価していることが分かった。このことについては、施工箇所環境条件（日影、風、ビルの影響）等に起因するものと考えられることから、今後さらに検討を進めて、照射試験条件を見直していく必要がある。

表 - 5 室内照射試験方法

項目	遮熱性舗装	保水性舗装
評価方法	3 時間照射で比較舗装の表面温度が 60 となった試験条件で遮熱性舗装または保水性舗装の表面温度を求め、その温度差を路面温度低減量として評価する。	
照射ランプの種類	散光型ビームランプ BRF110V120W、キセノンランプ XC-500EF	
供試体の大きさ	10 × 5cm	10 × 10cm
供試体の設置方法		
試験・養生温度	30 ± 1	
試験・養生湿度	50 ± 5RH%	
照射高さ(照射量)	比較舗装の表面温度が 3 時間で 60 になる高さ(または照射量)	
風速(試験時)	0.3m/s 以内で一定	
供試体養生時間	5 時間以上	
表面温度測定方法	熱電対(供試体表面・半径 2cm の円周上に 3 点貼付け)	
測定項目	表面温度、恒温恒湿室の温・湿度	
測定間隔	10 分	
水浸時間	-	1 時間
水温	-	30 ± 1

比較舗装(10cm)も保水性舗装と同様に、試験前に 1 時間水浸する。

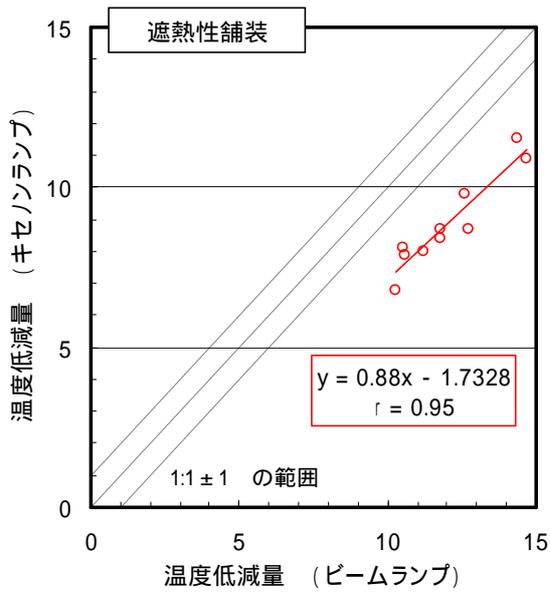


図 - 32 キセノンランプとビームランプの相関図
(遮熱性舗装)

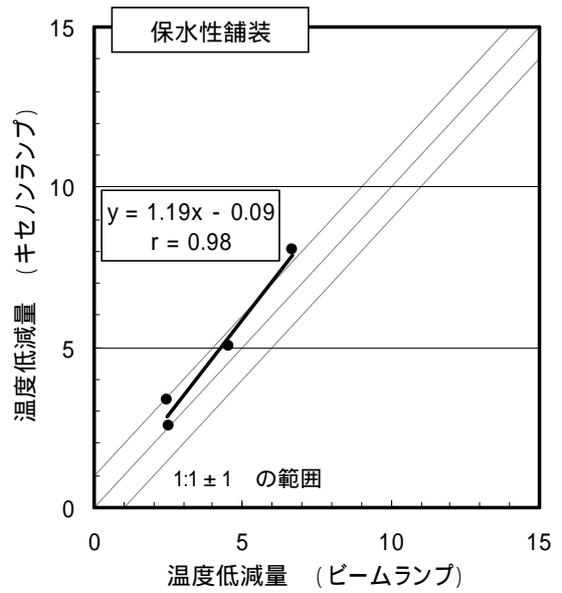


図 - 33 ビームランプとキセノンランプの相関図
(保水性舗装)

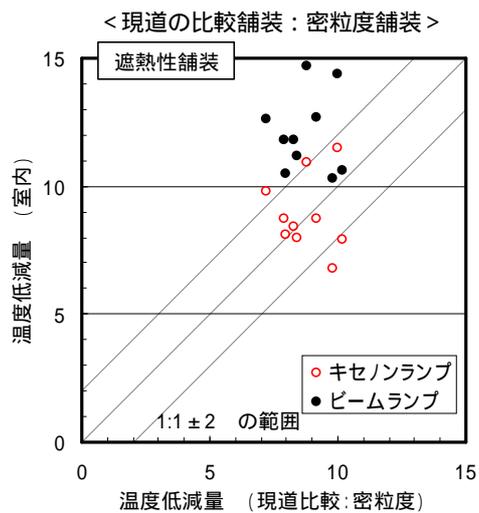
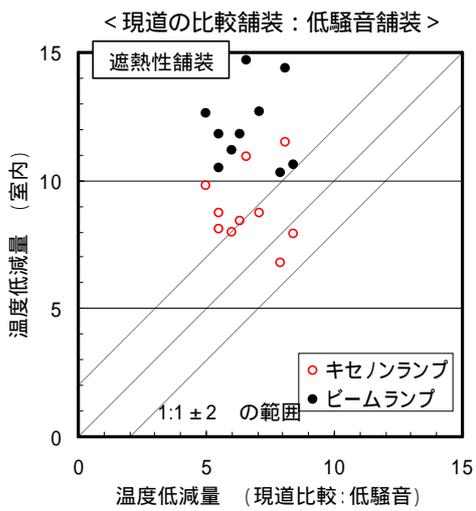


図 - 34 室内(照射ランプの違い)と現道の関係(遮熱性舗装)

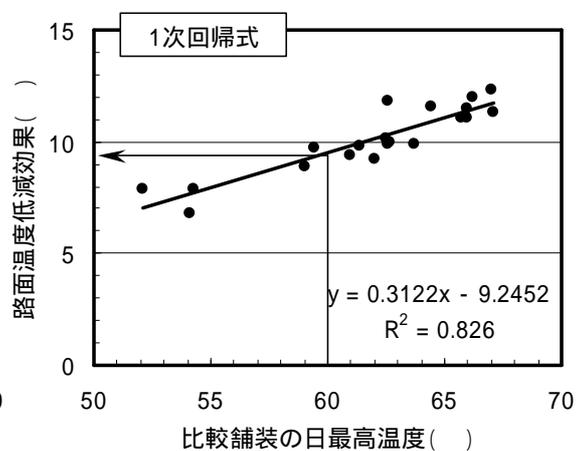
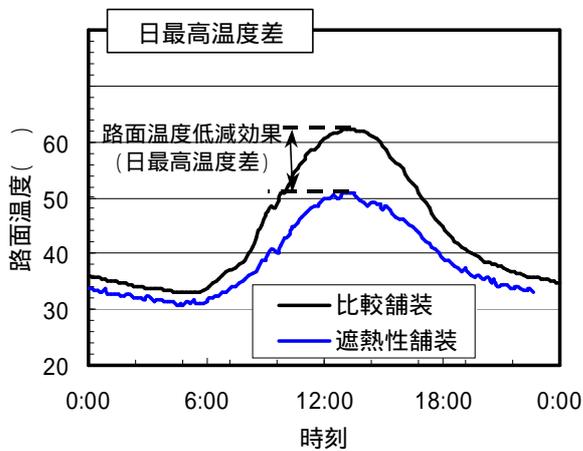


図 - 35 遮熱性舗装の路面温度低減効果の求め方(現道および構内)

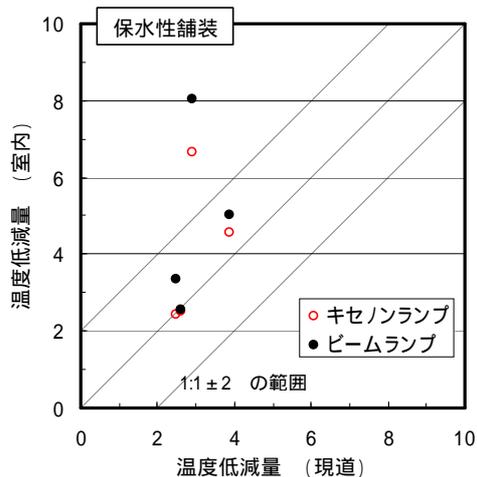


図 - 36 室内照射試験と現道の関係(保水性舗装)

6. まとめ

すべり抵抗、浸透水量、明度、摩耗抵抗性の施工

直後の初期値はすべり抵抗性に課題があるものの、実道での適用は可能であると考えられる。

路面温度低減効果についても、保水性舗装、樹脂系遮熱性舗装と遜色ない結果であった。

また、乳剤タイプの遮熱性舗装も保水性舗装などと同様に室内照射試験から路面温度低減効果を推定できると考えられた。

7. あとがき

今年度は、設定した課題のうち 乳剤タイプ(エマルジョン型樹脂系も含む)遮熱性舗装の路面温度低減性能の持続性も含めた把握 乳剤タイプ(エマルジョン型樹脂系も含む)遮熱性舗装の路面温度低減と大気温度との関係把握 遮熱性舗装の熱特性把握を継続して行っていく予定である。

参考文献

- 1) 設楽隆久、川平吉則、田村敏宏(2007): 路面温度低減量の室内評価法に関する一検討、第27回道路会議、12138-12139