共同研究報告書
整理番号第 339 号

路面温度の上昇を抑制する舗装用混合物の開発
共同研究報告書

平成 17 年 3 月

独立行政法人土木研究所
（株）NIPPO コーポレーション
長島特殊塗料（株）
日本道路（株）
前田道路（株）
世紀東急工業（株）

共 同 研 究 報 告 書
第 339 号 平成 17 年 3 月

路面温度の上昇を抑制する舗装用混合物の開発
参加者名簿

独立行政法人土木研究所	上席研究員	伊藤　正秀
	主任研究員	新田　弘之※1
	研究員	城戸　浩
（株）NIPPO コーポレーション　技術研究所	主任研究員	吉中　保
	研究員	岩間　将彦
〃　工務部生産技術グループ	特殊工法担当課長	村上　浩※1
	係長	村岡　克明※2
長島特殊塗料（株）	技術本部　最高顧問	木下　啓吾
	技術本部長	野田　憲康
	技術本部	李　承洙※1
	技術本部	石村　孝一
	機能塗料事業部長	深江　典之
	機能塗料事業部	佐藤　重宣
日本道路（株）技術研究所	技術研究所　室長	武田　雄
	主任研究員	浜田　幸二
	副主任	長谷川　淳也
前田道路（株）技術研究所	副所長	吉村　啓之
	環境研究室　室長	山本　富業
		杉浦　博幸
		吉岡　智子
世紀東急工業（株）技術研究所	副所長	松田　敏昭
	研究員	山崎　剛
	研究員	小柴　朋広

※1　参加期間：平成 15 年 4 月～平成 16 年 3 月

※2　参加期間：平成 16 年 4 月～平成 17 年 3 月

※　㈱NIPPOｺｰﾎﾟﾚｰｼｮﾝと長島特殊塗料㈱は共同参加

要旨

遮熱性舗装は、路面に遮熱コート材を塗布して日射反射率を高めることにより、路面温度の上昇抑制を図ることができるものである。この舗装は、水分を必要とせず、舗装の路面温度上昇を抑制することが可能なことから、都市における暑熱環境改善対策の一つとして期待されているところである。

一方で、この舗装の課題としては、表層の施工後に遮熱コート材を塗布する工程を必要とし、また、車両走行により遮熱コート材が摩耗等を受けた場合に路面温度低減機能が低下することが考えられた。

そこで、独立行政法人土木研究所と㈱NIPPO コーポレーション、長島特殊塗料㈱、日本道路㈱、前田道路㈱、世紀東急工業㈱は、平成１５年度～１６年度において共同研究を実施し、路面温度低減効果に優れるとともに摩耗等に対する温度性能の保持が期待でき、また、通常舗装と同様の施工方法が可能な遮熱性舗装の開発を行った。

結果、路面温度低減効果に優れ、温度性能の持続が期待でき、通常舗装と同様の施工が可能な混合物型遮熱性舗装を開発した。

本報告書は、共同研究により開発した 4 種類の混合物型遮熱性舗装の屋外試験結果、室内試験結果、試験施工、荷重車による促進載荷試験結果などについて報告するものである。

キーワード：混合物型遮熱性舗装、路面温度低減、暑熱環境、反射率、明度

－ 目　次 －

1．　はじめに・・・

（3） 試験項目と試験結果・・・

（3） 使用材料と配合・・・

（5） すべり摩擦抵抗（DFT）・・・

1. はじめに

1.1 背景

近年、都市における暑熱環境問題を背景として、路面温度の上昇を抑制する舗装技術の研究開発や試験施工が各方面で行われている。これまでの研究では、保水性舗装や遮熱性舗装が特に路面温度低減効果が高いと評価され、都市の暑熱環境改善が期待されているところであるが、新しい技術でもあることから幾つかの課題が残されている。

①保水性舗装の現状と課題

◆現状

・十分に保水した場合には、一般的な舗装に比べて 10～25℃程度の温度低減効果
・無散水の場合、夏季における保水効果は半日～２日程度である
・継続的に保水する吸水型保水性舗装などについては試験的に施工されている
・舗装の流動防止に期待されている

◆課題

・降雨後の路面温度低減効果の持続性が短い
・温度低減機能の経年的な機能劣化の程度が未確認
・吸水型保水性舗装についてはイニシャルコスト、ランニングコスト、実道での耐久性が未確認
・全体的にコストが割高（母体舗装とグラウト注入で 4,000～6,000 円/m^2 程度）

②遮熱性舗装(塗布型)の現状と課題

◆現状

・一般的な舗装に比べて 10～15℃程度の温度低減効果
・新設、既設を問わず、遮熱コート材を舗装表面に塗布するだけで温度低減が可能
・用途に合わせて舗装表面を様々な色に着色することが可能（→都市景観の向上）
・舗装の流動防止に期待されている

◆課題

・温度低減性能の向上
・車両走行による塗膜の汚損、剥離等による温度低減性能の低下
・温度低減機能の経年的な機能劣化の程度が未確認
・日射反射量の増加が周辺施設へ及ぼす影響については不明
・全体的にコストが割高（遮熱塗布で 4,000～6,000 円/m^2 程度）

１．２ 目的

本研究では、保水性舗装と遮熱性舗装の２つの技術のうち、遮熱性舗装の改良に向けて研究を行うこととした。

遮熱性舗装は、路面に遮熱コート材を塗布して日射反射率を高めることにより、路面温度の上昇抑制を図ることができるものである。この舗装は、水分を必要とせず、舗装の路面温度上昇を抑制することが可能なことから、都市における暑熱環境改善対策の一つとして期待されているところである。一方で、遮熱性舗装の課題としては、表層の施工後に遮熱コート材を塗布する工程が必要であり、また、車両走行により遮熱コート材が摩耗等を受けた場合に路面温度低減機能が低下することが予想された。

これらの課題を改善するため、路面温度低減効果に優れるとともに摩耗等に対する温度性能の保持が期待でき、また、通常舗装と同様の施工方法が可能な遮熱性舗装の開発を行った。具体的には、一般的な舗装に比べて 10℃以上の路面温度低減効果が得られ、かつ、交通供用に対する温度低減性能の長期持続性があり、施工工程が通常の舗装施工と同様なものである。

１．３ 構成

本研究の構成を図-1.3.1 に示す。

本研究では、まず各社において遮熱性舗装の材料開発と室内検討を行い、この結果をもとに土木研究所構内の屋外フィールドにおいて 4m×4m 供試体の試験施工を行い、路面温度低減効果を検討した。また、舗装走行実験場の試験走路においても試験施工を実施して、荷重車走行による促進載荷試験により、舗装としての実用性と耐久性の評価を行った。舗装走行実験場では路面温度低減機能の耐久性についても検討し、わだち部と非わだち部の舗装表面から 1 cm 下で温度測定を行った。

平成 15 年度に検討した結果は翌 16 年度の材料開発に反映して、より高性能な遮熱性舗装の開発を行うものとした。

本共同研究の範囲外で実施した、室内における温度低減効果の評価試験方法については、巻末に付録としてまとめた。

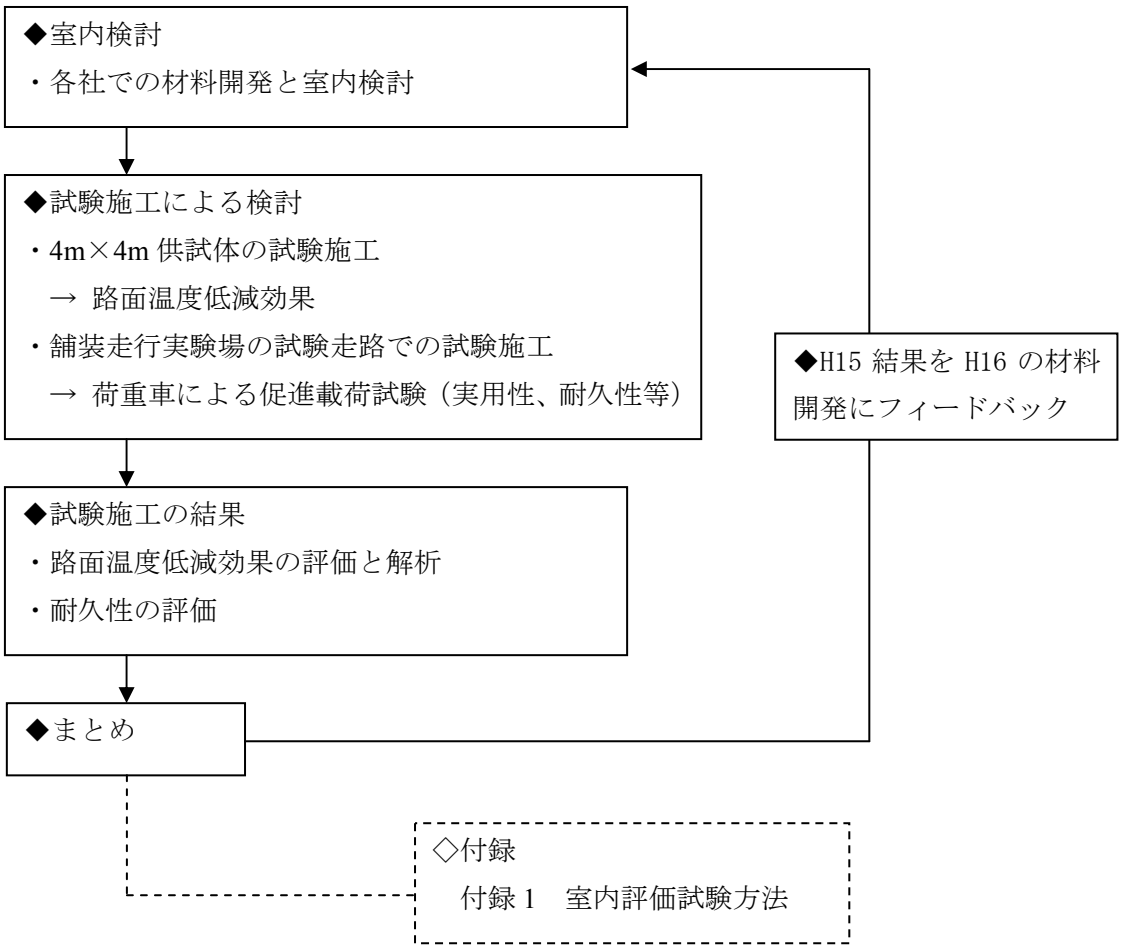


図-1.3.1 本研究の構成

2． 研究概要と共通項目の設定

2．1 研究概要

都市の暑熱環境改善対策の一つとして保水性舗装、遮熱性舗装などが有効であると考えられるが、既存の技術は性能の持続性などに課題があると共に、施工に手間がかかり建設コストが大きくなる。これらを改善するためには、通常の舗装と同じ方法での施工が可能で、かつ性能の持続性の高い舗装の開発が重要である。

本共同研究では、これらニーズに対応するため、混合物型遮熱性舗装の開発を行い、土木研究所舗装走行実験場内において比較的大きな供試体(4m×4m)と中ループ試験走路で試験施工を行い表-2.1.1 に示す調査を行った。

既存の遮熱性舗装との性能を比較するため、4m×4m 供試体については、従来の遮熱性舗装(塗布型)の施工もあわせて行った。

なお、路面温度低減性能の評価については 4m×4m 供試体によって行い、舗装としての耐久性評価については中ループ試験走路によって行うものとした。

表-2.1.1 調査内容総括表

調査内容	4m×4m 供試体	試験走路
路面温度	○	○
アルベド	○	○
明度	○	○
横断凹凸量	―	○
縦断凹凸量	―	○
ひび割れ率	―	○
現場透水量	―	○
すべり摩擦抵抗(DFT)	―	○
すべり摩擦抵抗(測定車)	―	○（H16 のみ）
騒音調査(ﾀｲﾔ近接音)	―	○（H16 のみ）
騒音調査(ﾊﾟﾜｰﾚﾍﾞﾙ)	―	○（H16 のみ）

2．2 試験施工に関する共通項目

遮熱性舗装は、舗装体の温度上昇をどれだけ抑制するかが重要な性能であり、通常の舗装(密粒度舗装)と比較されるケースが多い。しかし、開発した混合物型遮熱性舗装は透水性を有した開粒度タイプの混合物であることから、路面温度低減効果の評価には排水性舗装を比較対象とし、これとの表面温度差で評価することとした。

また、温度特性への影響をもつ要素であるアルベド、明度、色調についても、調査を行うこととした。

2．2．1 舗装温度の測定方法

現在、様々な研究機関によって舗装表面温度の評価が行われているが、その方法は多様であり、標準的な測定方法は決まっていない。そこで本研究では、下記の方法で舗装表面温度の評価を実施するものとした。

(1) 温度測定用骨材

舗装温度の測定のためのセンサは、図-2. 2. 1. 1 に示すように、粗骨材(13mmTOP)を 5mm 程度削孔し、熱電対受感部を粗骨材中に埋め込んで接着剤で固定した。屋外の供試体にはこの温度測定用骨材を所定の箇所に設置した。熱電対はTタイプで、心線の直径 0.65mm のものを使用した。

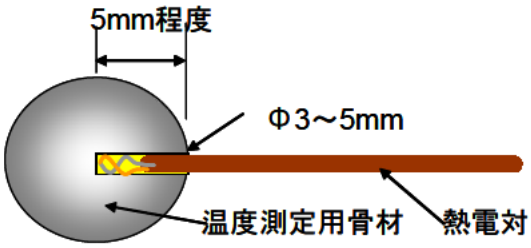


図-2.2.1.1 温度測定用骨材

(2) 路面温度低減効果の考え方

比較舗装との路面温度差(路面温度低減効果)の取り扱いについては、同一時刻での差や、日中のピーク値による差など、種々の考え方があり特に決められたはない。

本研究では、同一気象条件下での排水性舗装との相対比較が重要であると考え、同一時刻における路面温度の差の最大値を最大温度差(路面温度低減効果)とした。

なお、温度測定の間隔は 30 分とした。

（3） 温度測定用供試体の設置

1） 温度測定用供試体（4m×4m 供試体）

温度測定用の供試体の寸法については、車道 1 車線あたりの幅、境界線からの影響を想定して 4m×4m の大きさとした（図-2. 2. 1. 2 参照）。また、実際の車道での舗装構造を想定して路盤，基層，表層の施工を行うとともに、周辺地盤からの熱的影響を少なくするため供試体周囲に発泡スチロールを施工した。また、雨水が舗装表面に滞水し温度への影響を排除するため、横断勾配を 1%程度設け、四方に幅 5cm 程度の排水溝を設けた。

温度測定用骨材については、舗装表面の面的な温度をとらえるため、直径 1m の円周上に温度測定用骨材を設置した。なお、設置箇所及び個数については、平成 15 年度、16 年度において図-2. 2. 1. 3 のとおり変更を行った。

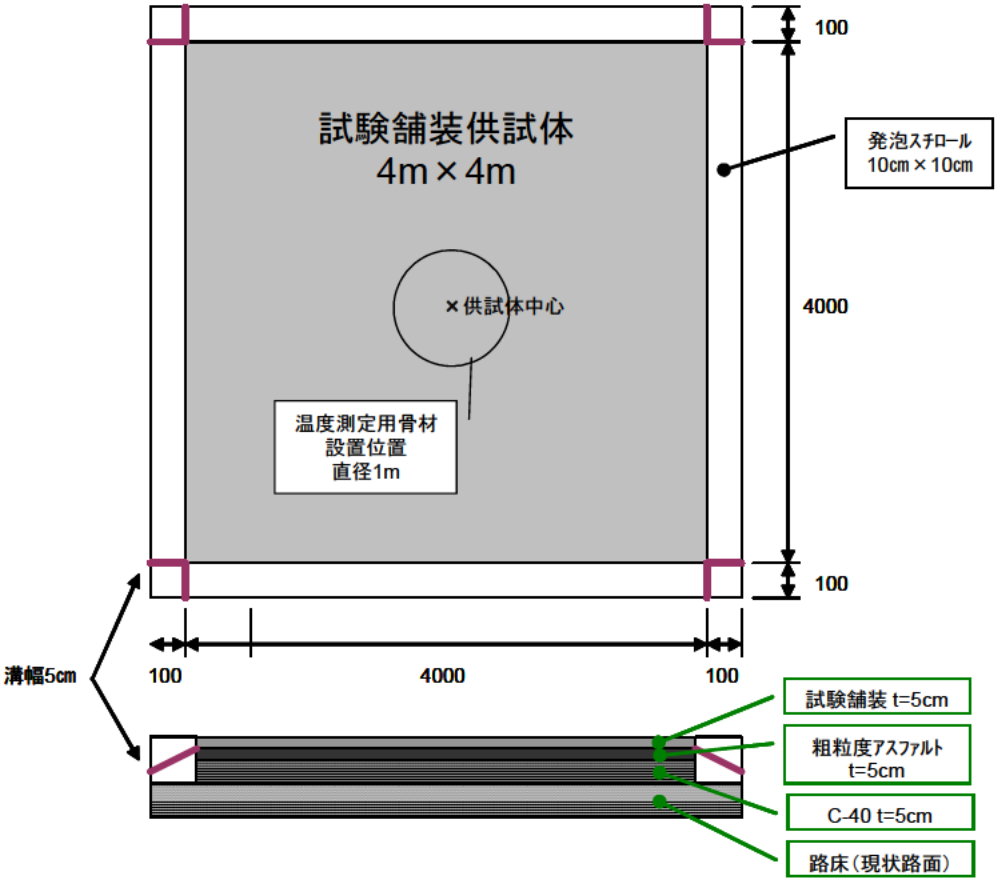


図-2.2.1.2 4m×4m 供試体舗装構造図

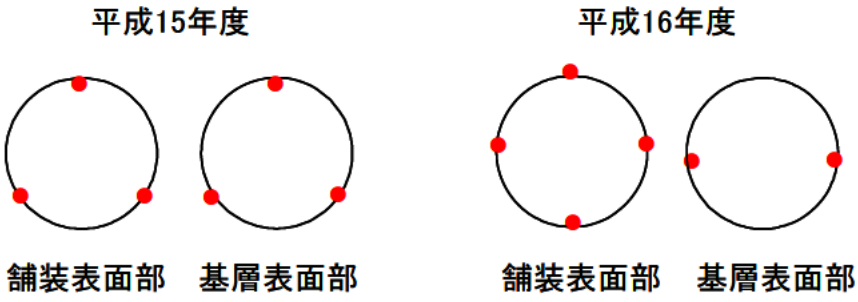


図-2.2.1.3 温度測定用骨材の設置位置

2） 試験走路における舗装温度調査

温度の評価については基本的に 4m×4m 供試体で行うこととしているが、荷重車のタイヤ走行による摩耗などによる温度特性を調査するため、試験走路についても温度温度測定用骨材を設置した。温度測定用骨材は図-2.2.1.4 に示すように、各工区とも道路中心線上とわだち部(外側)に各 3 箇所ずつ設置した。タイヤ走行による温度測定用骨材の飛散を防ぐため、図-2.2.1.5 に示すように、舗装表面から下約 1cm に設置した。

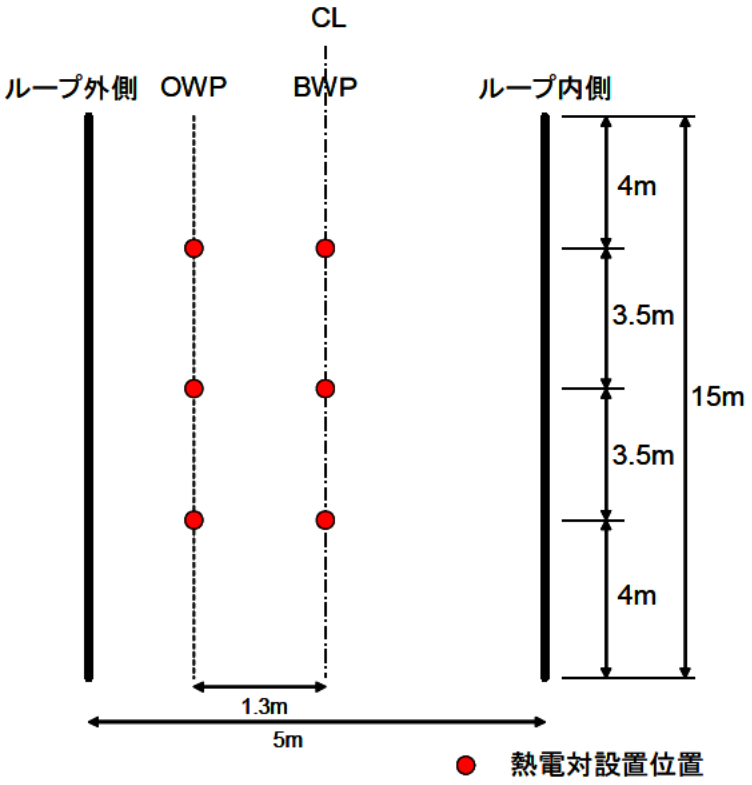


図-2.2.1.4 温度測定用骨材設置箇所(試験走路)

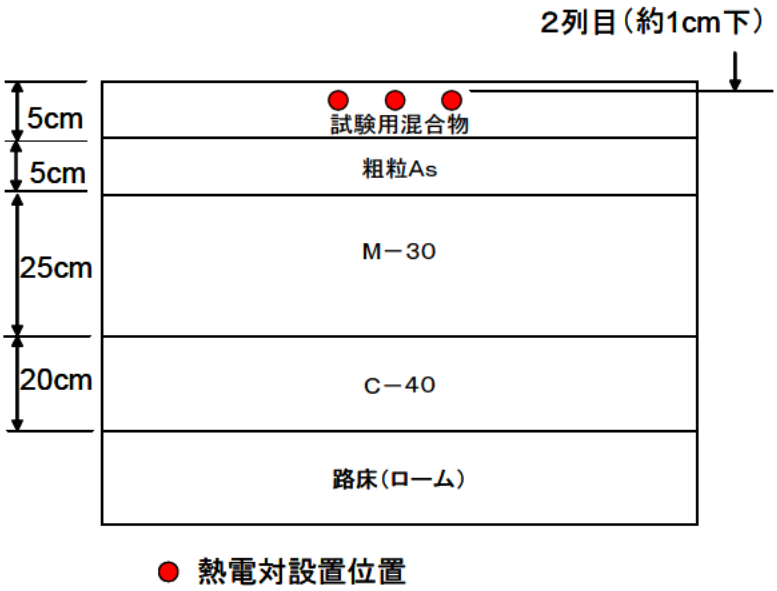


図-2.2.1.5 温度測定用骨材設置箇所(試験走路舗装断面)

2．2．2　荷重車による促進載荷試験

促進載荷試験で走行させた荷重車を以下に示す。

荷重車(軸重 117.6kN)を時速 40km/h で走行させて促進載荷試験を行った。平成 15 年度は旧荷重車と新荷重車の合計３台により 25 万輪走行を行った。旧荷重車を図-2．2．2．1 に、新荷重車を図-2．2．2．2 に示す。



図-2.2.2.1　旧荷重車(平成 15 年度走行)　後軸重 117.6kN×1 軸



図-2.2.2.2　新荷重車(平成 16 年度走行)　前軸重 58.8kN　後軸重 117.6kN×2 軸

舗装走行実験場には、幅員 7m、半径 100m、円周 628m の中ループと、全周 870m の大ループの２種類がある。促進載荷試験はこのうち、中・大ループの共通箇所を使用している。

横断勾配は 2%である。本共同研究では、図-2．2．2．3 に示す工区に混合物型遮熱性舗装を施工した。

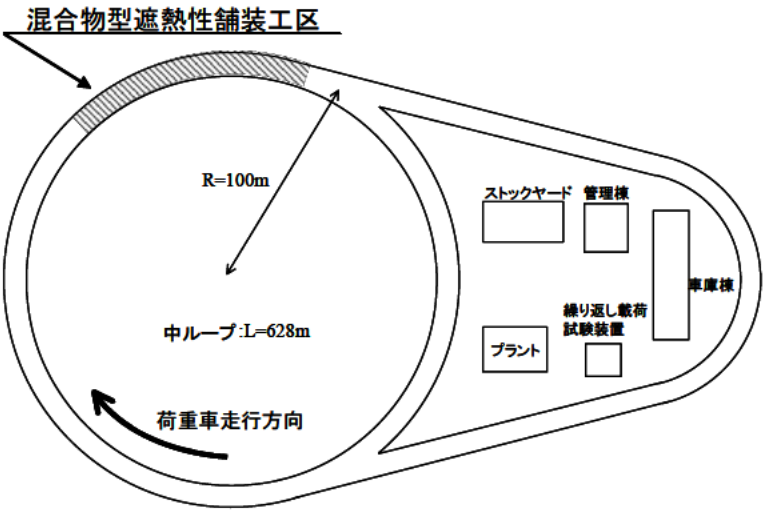


図-2.2.2.3　舗装走行実験場概略図

2．2．3 気象観測調査

舗装の温度を測定するとともに気象観測調査を行った。

気象観測データは、地上 1.5m の高さにおける気温、湿度、風向・風速、雨量を、温湿度センサ、風向風速センサ、日射センサ、雨量センサにより測定した。これらの測定は、データロガーを用いて記録した。気象観測装置を図-2.2.3.1 に示す。



図-2.2.3.1 気象観測装置

2．2．4 アルベドの測定方法

舗装表面のアルベド(日射反射率)の測定方法については、特に定められたものは無い。そこで、アルベドの測定方法について別途検討を行った結果、以下の方法とすることとした。(検討内容については参考資料を参照)

アルベド計の測定高さ位置については図-2.2.4.1、アルベド測定状況については、図-2.2.4.2 に示す。

- 測定機器：アルベド計、データーロガー
- 測定高さ：20cm
- 測定時間帯：10 時～15 時
- 測定位置：4m×4m 供試体は舗装中心部、試験走路はタイヤ走行部（外側・内側)、タイヤ非走行部（中心部）
- 測定方法：瞬間値を３回記録し平均値により求める。

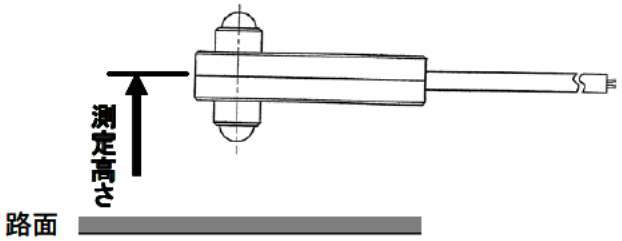


図-2.2.4.1 アルベド計の測定高さ位置



図-2.2.4.2 アルベド測定状況（4m×4m 供試体）

２．２．５ 明度・色調の目標値及び測定方法

舗装の明度については規定値がない。このため、明度の目標値及び測定方法について検討を行った。（測定方法の検討内容については参考資料を参照）

その結果、目標とする明度については、供試体①が N-50 以下、供試体②が自由明度とした。また明度の測定方法については、色彩色差計（図-2.2.5.1 参照）により舗装表面上の任意の３点を測定し、L*a*b*表色系の L*値３回の平均値とした。

色調については、平成 15 年度は濃灰色～灰色の無彩色、平成 16 年度は温度低減性能の向上と都市景観を考慮して無彩色・有彩色とした。

明度と色調の目標値を表-2.2.5.1 に示す。



図-2.2.5.1 色彩色差計

表-2.2.5.1 目標明度と色調

	平成 15 年度	平成 16 年度
目標明度	供試体①：N-50 以下	供試体①：N-50 以下
	供試体②：自由	供試体②：自由
	供試体③（塗布型）：N-50 以下	供試体③（塗布型）：N-50 以下
色調	濃灰色～灰色	有彩色・無彩色

２．２．６ 路面すべり摩擦測定車

路面すべり摩擦測定車については、国土技術政策総合研究所が所有する車両(図-2.2.6.1)により調査を行った。

＜車両諸元＞

形　　式　：日野　KL-RU4FSEA
寸　　法　：11.99m（全長）×2.49m（全幅）×3.34m（車高）
ホイルベース　：6.2m
総　重　量　：16.295N
最小回転半径　：9.4m
最 高 速 度　：145km/h 程度
散 水 方 式　：自力散水（1,600ℓ 水タンク搭載）
すべり測定機　：垂直昇降式縦横両用型



＜車両諸元＞
形　　式　：日野　KL-RU4FSEA
寸　　法　：11.99m（全長）×2.49m（全幅）×3.34m（車高）
ホイルベース　：6.2m
総　重　量　：16.295N
最小回転半径　：9.4m
最 高 速 度　：145km/h 程度
散 水 方 式　：自力散水（1,600ℓ 水タンク搭載）

図-2.2.6.1 路面すべり摩擦測定車及び車両諸元

２．２．７ タイヤ近接音、パワーレベルの測定方法

（1） タイヤ近接音調査測定方法

測定車(日産プリメーラワゴン)を一定速度(標準 50km/h)で走行させ、走行時に発生するタイヤ音をタイヤ近接部に設置した単一指方向マイクロホンで捉え、データレコーダに記録した。タイヤ近接音調査測定方法を図-2.2.7.1 に示す。

測定条件等

①測定位置：車線 OWP（外わだち部）
②標準走行速度：50km/h
③路面状況：乾燥状況（舗装体内に滞水がないこと、降雨後は 24 時間以上乾燥）
④サンプリング間隔：0.1 秒
⑤サンプリング個数：約 70 秒/100m
⑥周波数補正回路：A特性
⑦音圧レベル：L_{Aeq}

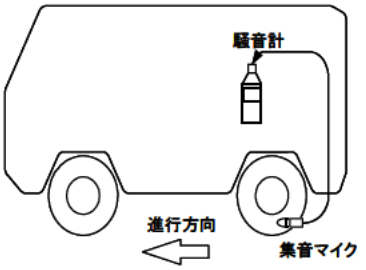


図-2.2.7.1 タイヤ近接音調査測定方法

（2） パワーレベル試験方法

測定車(日産プリメーラワゴン)を一定速度(標準 50km/h)で走行させパワーレベルの測定を行った。

マイクロホン設置位置は、測定点側の最近車線中心線から側方 7.5m、高さ 1.2m の位置とした。一般単独車の測定は、JIS D 1024 に準ずるものとした。測定方法を図-2.2.7.2 に示す。

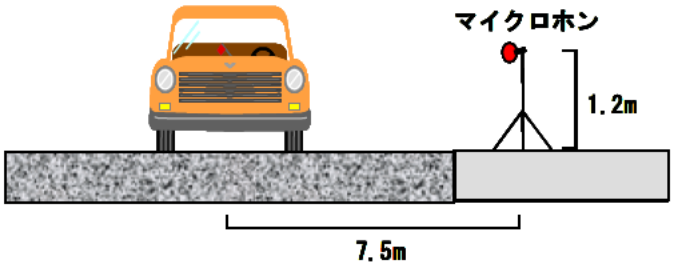


図-2.2.7.2 パワーレベル試験方法

3. 平成15年度検討

3．1　室内検討

3．1．1　混合物型遮熱性舗装（A）

（1）概要

太陽光の日射が物体に照射されると、その表面において光の一部は反射するものの一部が吸収され、日射エネルギーが熱として吸収されるために表面の温度が上昇する。道路舗装においても同様であるが、アスファルトが特に日射を吸収しやすい材料であるために、夏季の日中には高温となりやすい。日射吸収による舗装表面の温度上昇を防止するためには、日射が当たる舗装の表面部分について日射を吸収しにくい材料で覆うことが根本的な対策となり得る。

平成 15 年度に検討する混合物型遮熱性舗装(A)は、次の理由により図-3.1.1.1 に示す舗装構成とした。なお、基層以下の舗装構成については通常の舗装でよく、本共同研究においては混合物型遮熱性舗装(A)から舗装(D)まで共通となっている。

①日射を反射して熱吸収を防止する機能を持たせるのは舗装表面部分のみでよいことと、特殊材料を使用することによる材料コスト増を抑制する観点から、表層は２層構成として上層部分のみに熱吸収防止のための特殊舗装材料を使用する。

②共同研究の当初目標である施工効率の改善を目指すため、表層の上下層に使用する舗装材料には類似した加熱混合物タイプの材料を用いて、２層同時敷均しなどにも対応できるようにする。

③路面温度の上昇抑制機能を得ると共に、都市部での適用を考慮して低騒音機能も持たせるため、表層の上下層には高空隙を有する排水性舗装をベースとする。

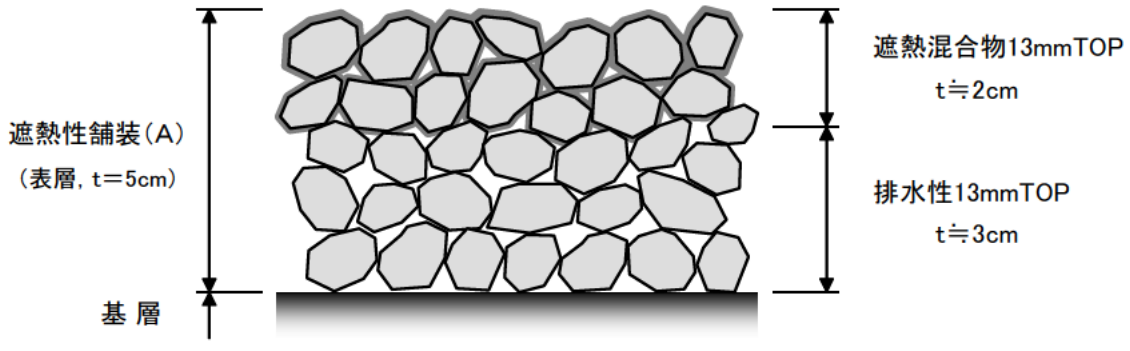


図-3.1.1.1　平成 15 年度の混合物型遮熱性舗装(A)の舗装構成

(2) 使用材料と配合

平成 15 年度検討における混合物型遮熱性舗装(A)に使用した表層混合物と、比較用舗装の表層に使用した排水性舗装用混合物と密粒度混合物、ならびに各社共通である基層用混合物に使用した材料と産地は表-3.1.1.1 に示すとおりである。また、これら４種類の混合物の配合は表-3.1.1.2 に示すとおりである。

混合物型遮熱性舗装(A)については、排水性舗装を基本に遮熱化するということで脱色高粘度バインダと白色人工骨材をベースに用いている。なお、表面色を所定明度（N-50）と自由明度（N-40 に設定）に仕上げるにあたり、熱反射性顔料に用いる数種類の材料を配合した。

表-3.1.1.1 遮熱混合物(A)の使用材料と産地（平成 15 年度）

材料の種類	産地名	材　質	適用混合物			
			遮熱性 13mmTOP	排水性 13mmTOP	改質密粒 13mmTOP	改質粗粒 20mmTOP
５号砕石	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩				●
６号砕石	茨城県西茨城郡岩瀬町	硬質砂岩		●		
６号砕石	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩			●	●
７号砕石	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩			●	●
砕砂	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩			●	●
粗目砂	茨城県下館市	洗い砂	●	●	●	●
細目砂	千葉県佐原市	洗い砂			●	●
石粉	栃木県葛生町	石灰岩	●	●	●	●
白色人工骨材	愛知県名古屋市	硬質人工骨材	●			
熱反射性顔料	埼玉県八潮市	－	●			
アスファルト	栃木県下都賀郡国分寺町	脱色高粘度	●			
アスファルト	栃木県下都賀郡国分寺町	高粘度改質		●		
アスファルト	栃木県下都賀郡国分寺町	改質Ⅱ型			●	●
摘　　要			遮熱工区表層	遮熱工区母体 比較工区表層	比較工区表層	基層共通

表-3.1.1.2 遮熱混合物(A)の配合（平成 15 年度）

			表　層			基　層
			遮熱性 13mmTOP	排水性 13mmTOP	改質密粒 13mmTOP	改質粗粒 20mmTOP
アスファルトの種類			脱色高粘度	高粘度改質	改質Ⅱ型	
骨材配合 (%)	５号砕石		－	－	－	20.0
	６号砕石		－	84.5	38.5	36.0
	白色人工骨材（６号）		75.0	－	－	－
	７号砕石		－	－	17.5	17.0
	砕　砂		－	－	15.0	7.5
	粗目砂		17.0	9.5	14.0	7.0
	細目砂		－	－	9.0	8.0
	石　粉		5.6	6.0	6.0	4.5
	遮熱材	熱反射性顔料	2.3	－	－	－
		中空セラミック微粒子	0.1	－	－	－
最適アスファルト量　（%）			5.9	4.8	5.5	4.6

混合物型遮熱混合物(A)は、排水性舗装用に代表される開粒度タイプを基本とし、最大粒径を 13mmTOP とした。使用するアスファルトについては、バインダ皮膜部での日射吸収を防止し、特殊遮熱材料を有効に機能させることを目的として脱色高粘度バインダを使用した。遮熱材には、これまでに開発した塗布型遮熱性舗装用の樹脂コート材の技術を応用して中空セラミック微粒子と熱反射性特殊顔料を用い、さらに粗骨材に白色人工骨材を組み合わせることで、長期的な供用に対して温度低減機能が維持することを期待した。

表-3.1.1.2 の配合により得られた混合物型遮熱性舗装(A)は、写真-3.1.1.1（指定明度 N-50）と写真-3.1.1.2（自由明度 N-40）に示すとおりである。

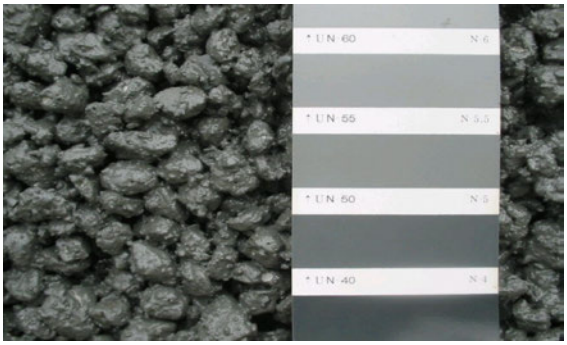


写真-3.1.1.1 遮熱混合物(A)（指定明度 N-50）

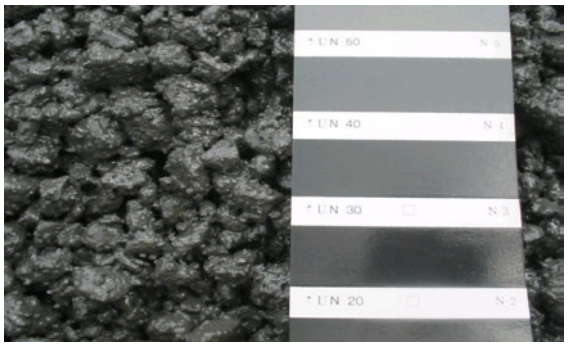


写真-3.1.1.2 遮熱混合物(A)（自由明度 N-40）

(3) 試験項目と試験結果

ここでは、使用した遮熱混合物等の性状と、温度低減性能について検討した結果について示す。表-3.1.1.3 に試験の項目と結果を示し、図-3.1.1.2 に温度低減性能について室内ランプ照射試験を実施した結果を示す。

なお、室内ランプ照射試験の実施方法については、基本的に遮熱性舗装技術研究会が提案している「遮熱性舗装室内照射試験方法(暫定版)」と同様のものであるが、ここで実施した時期には研究会法がまだ提示されていなかったため試験時の環境温度設定が異なっている（当実験：20℃、研究会試験方法：40℃)。

表-3.1.1.3 遮熱混合物(A)の試験結果（平成 15 年度）

			表　層			基　層
			遮熱性 13mmTOP	排水性 13mmTOP	改質密粒 13mmTOP	改質粗粒 20mmTOP
舗装厚さ		(mm)	20	30（遮熱母体） 50（比較表層）	50	50
アスファルトの種類			脱色高粘度	高粘度改質	改質Ⅱ型	
マーシャル試験	理論密度	(g/cm^3)	1.990	2.478	2.457	2.490
	密　　度	(g/cm^3)	1.565	1.972	2.365	2.392
	空 隙 率	(%)	20.9	20.4	3.7	3.9
	安 定 度	(kN)	6.25	5.85	12.61	14.21
	フロー値	(1/100cm)	30	30	30	30
品質	透水係数	(cm/sec)	19.8×10^{-2}	20.8×10^{-2}	—	—
	カンタブロ損失量	標準（%）	1.8	—	—	—
	動的安定度	(回/mm)	4,170	5,730	—	—
摘　　要			遮熱工区表層	遮熱工区母体 比較工区表層	比較工区表層	基層共通

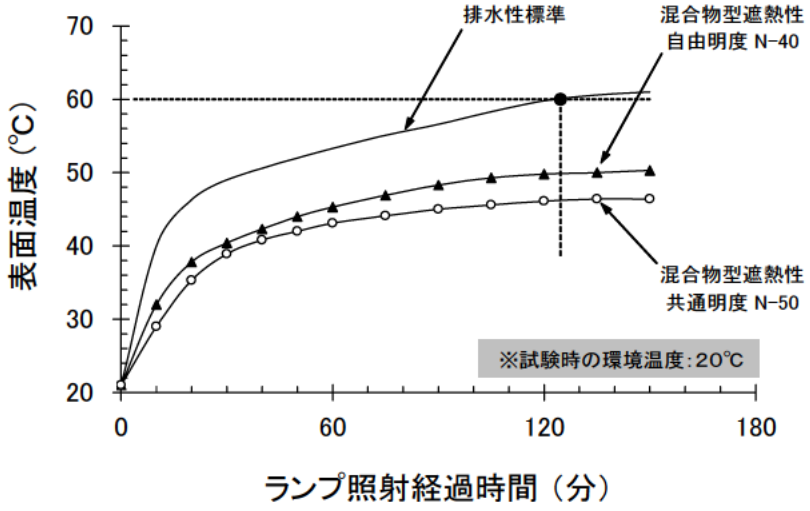


図-3.1.1.2 遮熱混合物(A)の温度低減効果（参考値;平成 15 年度）

図-3.1.1.2 は環境温度 20℃の条件で実施した結果である。前頁で記したとおり、ここで実施した室内ランプ照射試験は基本的に遮熱性舗装技術研究会が提案している試験方法と同様であるが、実施した時期が研究会法の公表前であったため試験時の環境温度設定が低く、比較用の排水性舗装に対する温度低減効果が過大に現れていると考えられる。

室内ランプ照射試験の結果については、平成 15 年度検討の遮熱混合物(A)は温度低減効果が得られるが、図-3.1.1.2 については環境温度 20℃での参考値として提示する。

(4) 試験施工で提案する舗装断面

平成 15 年度に舗装走行実験場と供試体ヤードで実施する混合物型遮熱性舗装(A)の試験舗装断面は、図-3.1.1.1 に示すものとした。

３．１．２ 混合物型遮熱性舗装(B)

(1) 概要

都市部でのヒートアイランド現象の対策の一つとして，「保水性舗装」や「遮熱性舗装」といった路面温度低減舗装が試みられている．これらの工法は，排水性舗装等を舗設した後に保水材を注入したり，遮熱材を塗布したりするため，いずれも機能層の完成までに２つの工程を要する．そのため工期延長や工費増加を余儀なくされるとともに，交通規制による渋滞発生等の原因となるものと考えられる．

以上のことを踏まえて，これまでの路面温度低減舗装と同程度の効果を有し，かつ一般的なアスファルト舗装と同じ方法で施工することができる舗装を開発することを目的として混合型遮熱性舗装(B)の検討を行った．

具体的な開発目標は以下のとおりである．

① 一回の施工で舗設できる
② 路面温度低減効果が１０℃以上
③ 視認性の確保できる色の選定
④ 重交通での耐久性
⑤ 経済性

上記の開発目標に対して，混合型遮熱性舗装(B)における対策は以下のとおりである．

① 一回の施工で舗設できる

路面温度低減機能をアスファルト混合物に持たせることにより，一般の混合物と同等に１回の舗設で施工できるようにする．

ただし，これらの舗装は，都市部における環境改善を目的として適用されることが多いため，騒音低減機能，流出抑制機能等が期待できる排水性混合物とする．

② 路面温度低減効果が１０℃以上

加熱混合物にも利用できる特殊遮熱顔料を排水性混合物に混入し，反射機能を高める．

③ 視認性の確保できる色の選定

これまで遮熱性舗装での採用事例が多い，明度50（無彩色：N50）を目標とする．

④ 重交通での耐久性

使用するバインダを高粘度改質アスファルトと同等以上の性能を有するものを選定する．

⑤ 経済性

機械施工が可能な範囲で，薄層とする．

以上のことから，今回の舗装断面は図-3.1.2.1 に示すように決定した．一般的な舗装と同じく表層の総厚は5cmとし，その内の②で示した下層3cmを排水性舗装（最大粒径 13 ㎜），①で示した上層 2cm を混合型遮熱性舗装（最大粒径5㎜）とした．なお，舗装構成は二層であるが，二層式フィニッシャによる同時施工を想定している．

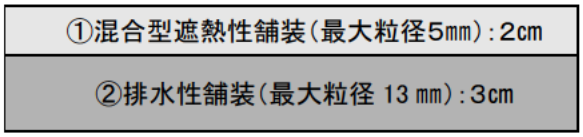


図-3.1.2.1 舗装構成

(2)使用材料と配合

1)骨材

使用骨材の検討を行った. 薄層化をはかるため最大粒径 5mm とし, 使用する7号骨材を通常の砂岩と白色骨材とのブレンドとした. これは, 交通解放後にバインダの摩耗により舗装表面に現れる骨材の色が施工直後のバインダによる表面色(明度)と同程度(N50)とするためである.

検討した骨材を, 表-3.1.2.1 に示す. 砂岩は通常の舗装に用いられているもので, 白色骨材は石灰岩と白色人工骨材の 2 種である.

表-3.1.2.1 検討骨材

項　目	砂岩	石灰岩	白色人工骨材
見掛け比重	2.724	2.718	2.210
吸水率(%)	1.76	0.50	2.24
すりへり減量(%)	—	18.9	17.8
単位容積重量(t/m^3)	—	1.51	1.1
反射率(%)	12.5	20.4	60.7

①明色骨材の選定

単独の7号骨材, 脱色バインダおよび顔料等で作製した排水性混合物をグラインダにより研磨し, その前後で供試体の色(ここでは, 反射率)を評価し, 変化程度の少ないものを使用骨材とした.

結果を図-3.1.2.2 に示す. 研磨無しの状態では, 添加した顔料の着色効果により, 砂岩でも反射率を38%まで上げることが可能で, 石灰岩, 白色人工骨材は40%以上と高い値を示している. 研磨を行うことで, 骨材に被覆している着色されたバインダが剥がれ, 骨材のそのもの色が現れてくるため, 砂岩, 石灰岩は反射率の低下が見られる. これに対し白色人工骨材は, 研磨の影響が無く, 高い反射率を維持している.

以上の結果より, 白色人工骨材が, 最も交通解放によるバインダの摩耗の影響が少ないと判断されるため, 本開発において使用する骨材として選定した.

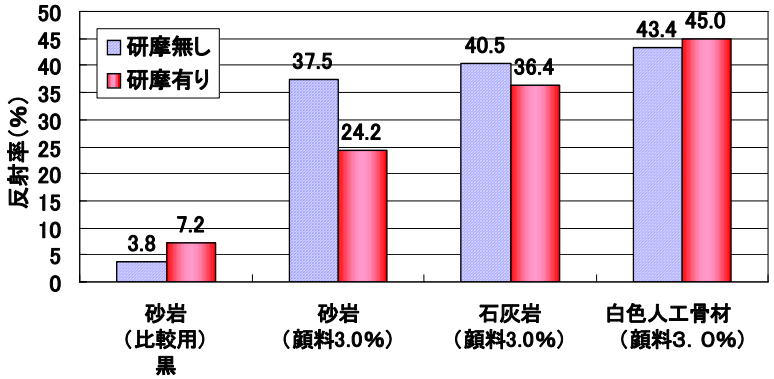


図-3.1.2.2 研磨前後の供試体の反射率測定結果

②骨材色(混合比率)の調整

骨材色は白色人工骨材と砂岩をブレンドすることにより目標明度に調整した.

結果を図-3.1.2.3に示す. 白色人工骨材の添加割合は15%程度で, 目標明度である50を満足するが, 脱色バインダ色の影響, 供用による舗装表面の汚れ等を考慮し, プラントでの空練り時の明度測定結果を参考に砂岩:白色骨材=65:35(容積比)とした.

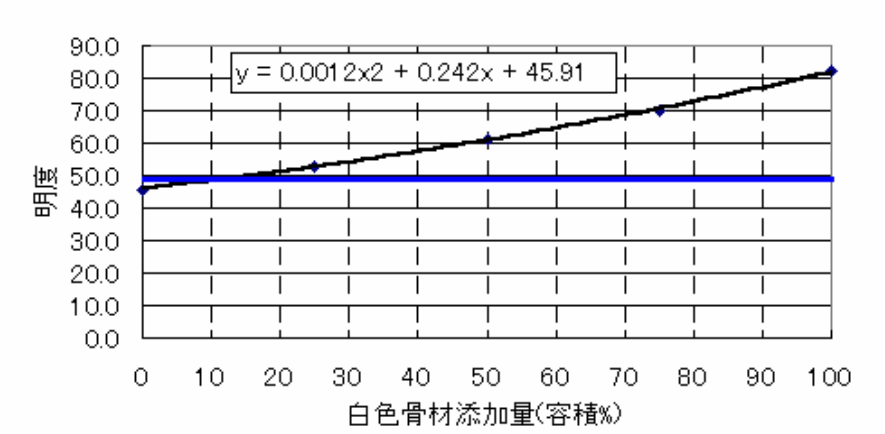


図-3.1.2.3 白色骨材の添加量検討

2)遮熱顔料の検討

①顔料の選定

混合式遮熱性舗装の温度低減効果は，おもに使用する遮熱顔料により発揮される．したがって，遮熱顔料の選定が最も重要であり，本研究ではN50を満足するために可視光線領域の反射率に加え，遠赤外線領域の反射率の高い遮熱顔料を組み合わせた特殊遮熱顔料を調合して使用することとした．

検討に用いた遮熱顔料を表-3.1.2.2に，その分光反射率を図-3.1.2.4～3.1.2.5に示す．

表-3.1.2.2 検討した遮熱顔料

色	顔料名	番号
白	酸化チタン	①
黒	複合酸化物系顔料	②

なお，目標色以外として，N60(無彩色で目標色よりも明るい)についてもあわせて検討した．

分光反射率の結果から，酸化チタンは，可視部，赤外部ともに反射率が高いことがわかる．また，黒色顔料（表-3.1.2.2の番号②）は遠赤外線領域の反射率が高く，一般の黒色顔料に比べて吸熱性が低いことが特徴である．

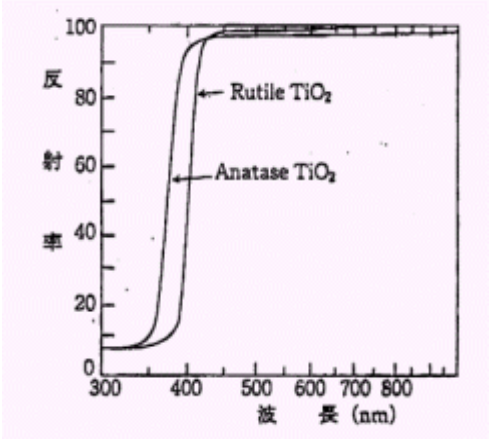


図-3.1.2.4 酸化チタンの分光反射率

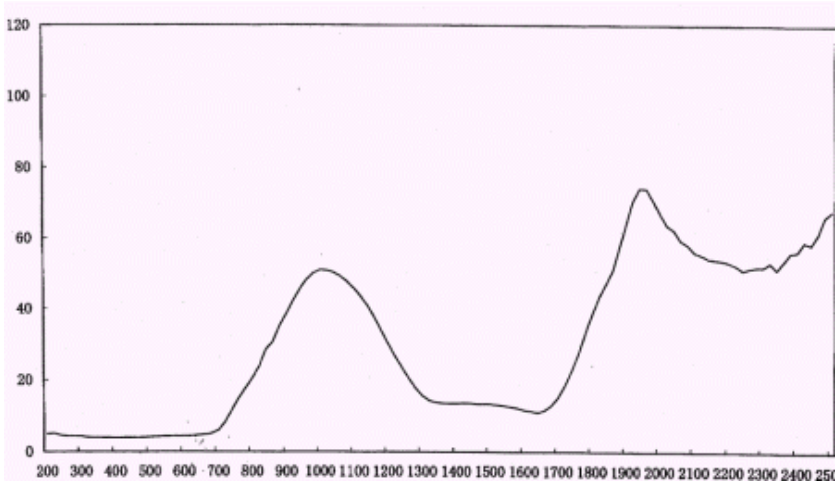


図-3.1.2.5　黒色顔料(②)の分光反射率

②配合比率の検討

N50の顔料配合比率は，表-3.1.2.3に示す配合割合で，着色舗装などで標準的に用いられている顔料添加量である３％として作製した混合物の明度を測定することにより検討した．混合物の明度測定結果を図-3.1.2.6に示す．

表-3.1.2.3　顔料の配合割合

顔料名	容積配合(%)				番号
酸化チタン(白)	100	75	50	25	①
複合酸化物系顔料(黒)	0	25	50	75	②

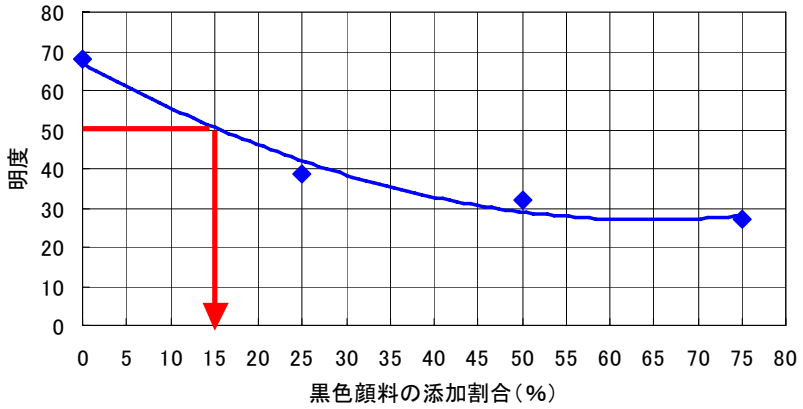


図-3.1.2.6　混合物の明度測定結果

この結果より、目標明度５０を満足する配合比率を、「黒色顔料１５％、酸化チタン８５％，顔料添加量３％」と決定した。

N60に関しては，事前の検討およびコスト縮減の観点から，酸化チタン（白）単独で，その添加量により調整することとし，「顔料添加量１．５％」と決定した．

3）バインダ

最大粒径が5mm の明色排水性混合物であるため，耐久性を向上させた特殊高粘度脱色バインダを用いた．

4） 混合型遮熱性混合物(B)の配合決定

以上の結果から，配合は表-3.1.2.4のとおりとした．なお，比重の異なる材料が２種類以上含まれているため比重補正を行った後の重量配合で表示している．

表-3.1.2.4 混合型遮熱舗装材料

材料の種類	名称	配合率(%)	
		N50	N60
7号砕石	砂岩	44.5	44.8
白色骨材	シノパール（7号）	36.8	37.1
バインダー	特殊高粘度脱色ｱｽﾌｧﾙﾄ	5.2	5.2
白色顔料	酸化チタン	4.0	2.2
黒色顔料	特殊遮熱顔料	0.4	0.0
粗砂		7.1	7.1
石粉		2.0	3.6
合計		100.0	100.0

5）配合決定までの予備試験

①混合型遮熱混合物の反射率

遮熱性舗装の各波長毎の反射率測定結果を図-3.1.2.7 に示す．塗布型遮熱性舗装が遠赤～赤外線領域での反射率が高いことが分かる．一方，混合型遮熱性舗装(B)は塗布型に比べると800～2，200nm の波長領域で低くなっているものの，通常の排水性舗装に比べると十分に高いことが分かる．

また，裏面の測定結果は混合物の切断面であるため，交通解放後にバインダが摩耗した状態を模擬しており，混合型遮熱性舗装(B)では，反射率に大きな変化がないことが分かる．

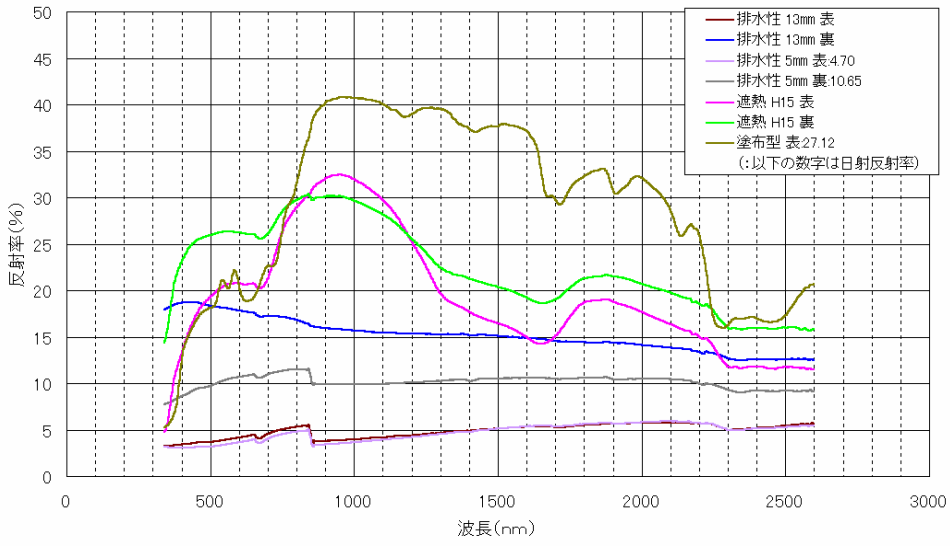


図-3.1.2.7 各波長毎の反射率測定結果

②単独骨材と酸化チタンによる路面温度低減効果

単独骨材と顔料に酸化チタンを用いた場合の混合型遮熱性舗装の路面温度低減効果を評価した．また，交通解放後のバインダが摩耗した状態を評価するため，供試体を研磨してその前後における路面温度低減効果を評価した．試験に用いた骨材は砂岩，石灰岩，白色人工骨材の３種類である．

(a)実験方法

実験条件および方法を表-3.1.2.5，写真-3.1.2.1 に示す．

表-3.1.2.5　予備実験方法

項目	内容
供試体の大きさ	30cm×15cm、厚さ2cm
熱源体	白熱灯
照射方法	回転テーブルに、遮熱性舗装と比較対象の排水性舗装をついにして並べ均一に照射できるよう回転させながら照射
測定時間	比較用供試体の表面温度が 60℃前後になるまでの時間
温度計	放射型温度計
試験温度	20℃
評価項目	路面温度　　:放射温度計 反射率　　:色彩色差計(Yxy表色系)
評価方法	比較対照が60℃に達した時の温度差
表面研磨方法	石材グラインダによる研磨



写真-3.1.2.1　照射実験状況

(B)実験結果

研磨前の路面温度低減効果を図-3.1.2.8 に示す.

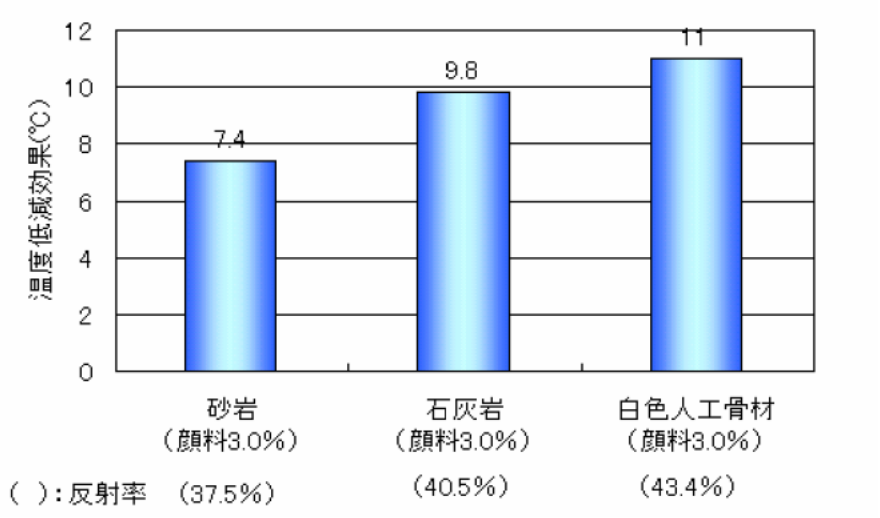


図-3.1.2.8 路面温度低減効果(研磨前)

白色骨材と顔料を3%添加することで, 路面温度低減効果は10℃程度期待できることがわかる.

研磨後の反射率と路面温度低減効果の変化を, 図-3.1.2.9 に示す.

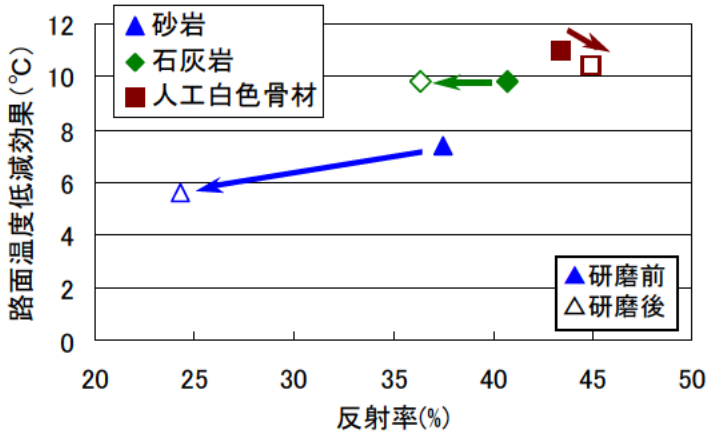


図-3.1.2.9 研磨後の反射率と路面温度低減効果の変化

白色人工骨材を用いた混合物は, 研磨前後での反射率および路面温度低減効果の変化が小さいことがわかる.

(c)まとめ

路面温度測定結果を, 反射率および明度との関係で整理した結果を図-3.1.2.10, 図-3.1.2.11 に示す.

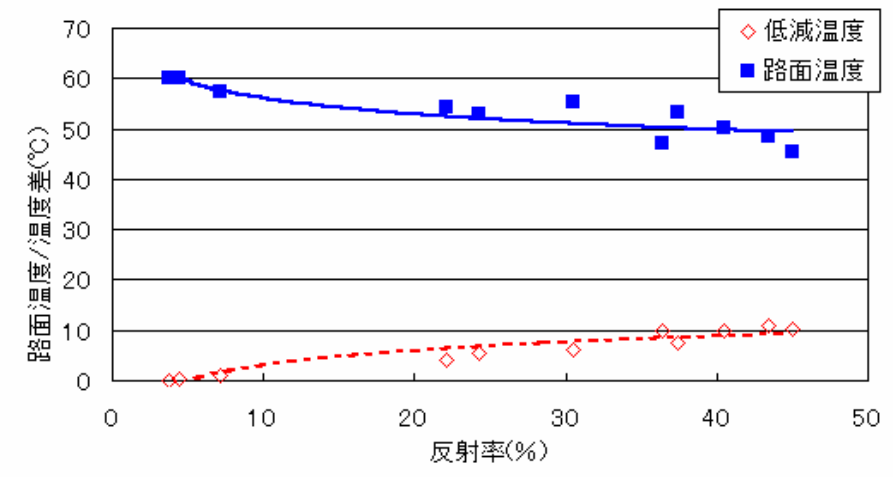


図-3.1.2.10　反射率と路面温度低減効果の関係

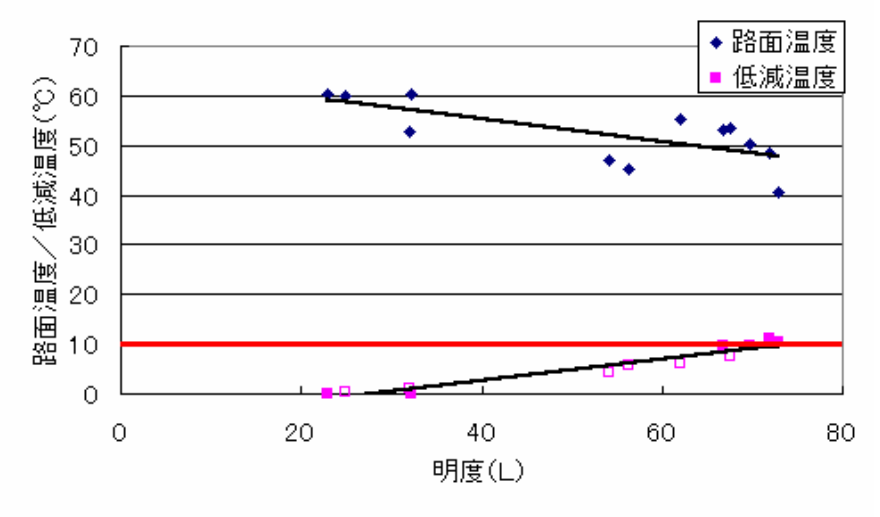


図-3.1.2.11　明度と路面温度低減効果の関係

上記の結果より，目標とする路面温度低減効果（１０℃以上）を得るためには，反射率で３５％以上，明度で７０％以上が必要条件であることがわかった．反射率や明度は可視領域での評価指標であるため，目標明度および低減温度を満足するためには，可視領域だけでなく近～遠赤外線の領域での反射率の高い遮熱材料が必要となることが確認された．

(3)試験項目と試験結果

1)試験項目

試験項目は表-3.1.2.6 に示すとおりである. ここでは, 混合型遮熱性舗装(B)N50,N60 の路面温度低減効果を確認することを主目的に照射実験を行い, あわせて明度および反射率との関係を把握した.

表-3.1.2.6 試験項目

項目	試験方法
低減温度	室内照射法
明度・反射率	色彩色差計(Yxy表色系)

2)室内照射実験結果

土木研究所により提案された実験方法を元に, 混合型遮熱性舗装(B)の評価を行った.

(a)実験条件

実験条件および方法を表-3.1.2.7 に示す.

表-3.1.2.7 実験条件

項目	内容
供試体の大きさ	30cm×15cm、厚さ5cm
舗装構成	表層(混合型遮熱性混合物)
熱源体	白熱灯
照射方法	回転テーブルに、遮熱性舗装と比較対象の排水性舗装をついにして並べ均一に照射できるよう回転させながら照射
測定時間	比較用供試体の表面温度が 60℃前後になるまでの時間
温度計	放射型温度計、接触型温度計
試験温度	20℃
評価項目	表面温度 :放射温度計, 接触温度計 反射率 :色彩色差計(Yxy表色系)
評価方法	比較対照が60℃に達した時の温度差
表面研磨方法	石材グラインダによる研磨

(B)実験結果

①路面の反射率測定結果

明度と反射率の測定結果を, 表-3.1.2.8 に示す.

表-3.1.2.8 明度と反射率の測定結果

目標明度	研磨	明度	反射率(%)
N50	前	50.1	18.4
	後	50.6	18.9
N60	前	61.5	30.2
	後	60.8	29.7

②N50 の路面温度測定結果

N50 の路面温度測定結果を，図-3.1.2.12（放射温度計），図-3.1.2.13（接触型温度計）に示す．また，交通開放後のバインダ摩耗の影響を評価するため，供試体表面をグラインダにより研磨し，その前後での低減効果の変化をあわせて評価した．

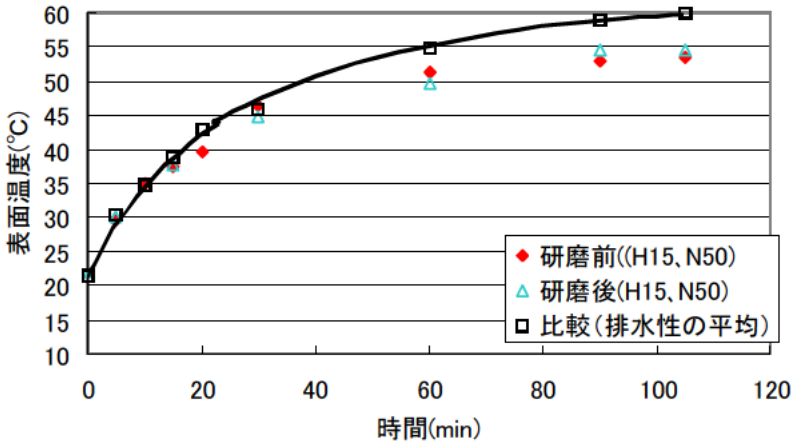


図-3.1.2.12 放射温度計による測定結果

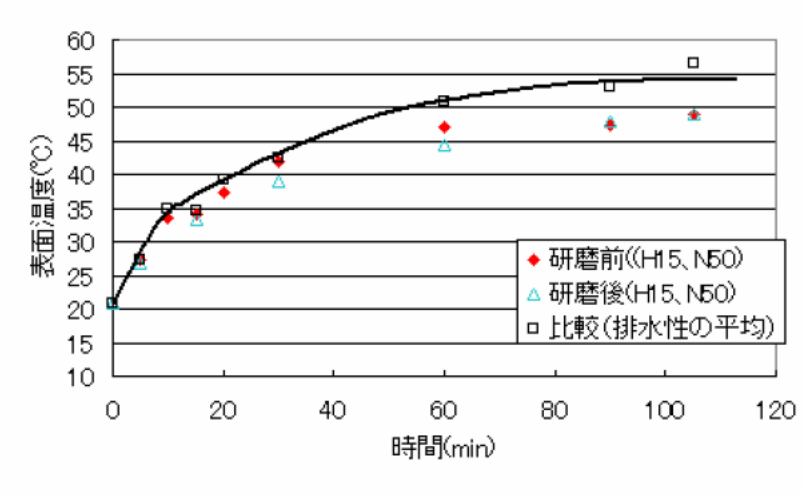


図-3.1.2.13 接触型温度計による測定結果

測定結果より，放射型温度計で約６～７℃，接触型温度計で７～８℃の低減効果が見られた．また研磨後の路面温度も研磨前とほぼ同程度であり，バインダ摩耗の影響は少ないものとと判断できる．

③N60 の路面温度測定結果

N60 の路面温度測定結果を，図-3.1.2.14（放射温度計），図-3.1.2.15（接触型温度計）に示す．また N50 と同様に，グラインダによる研磨の前後での低減効果の変化を評価した．

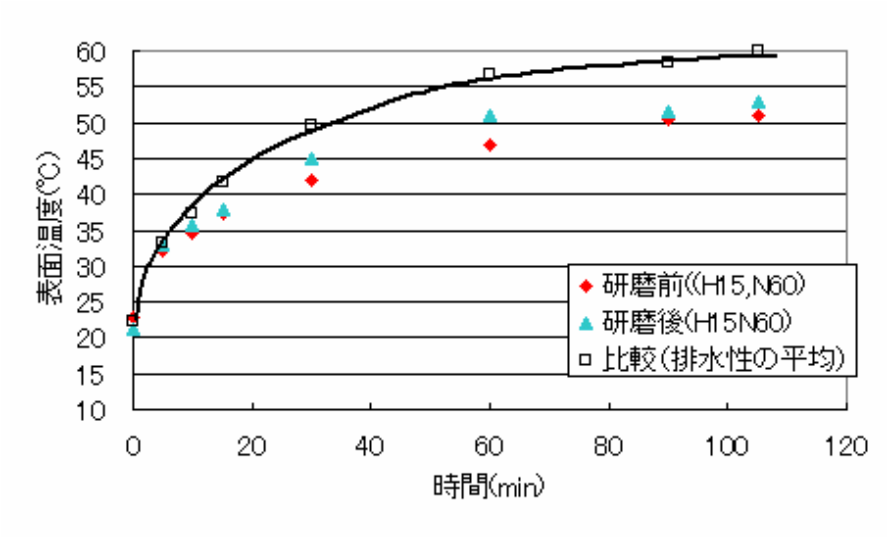


図-3.1.2.14 放射温度計による測定結果

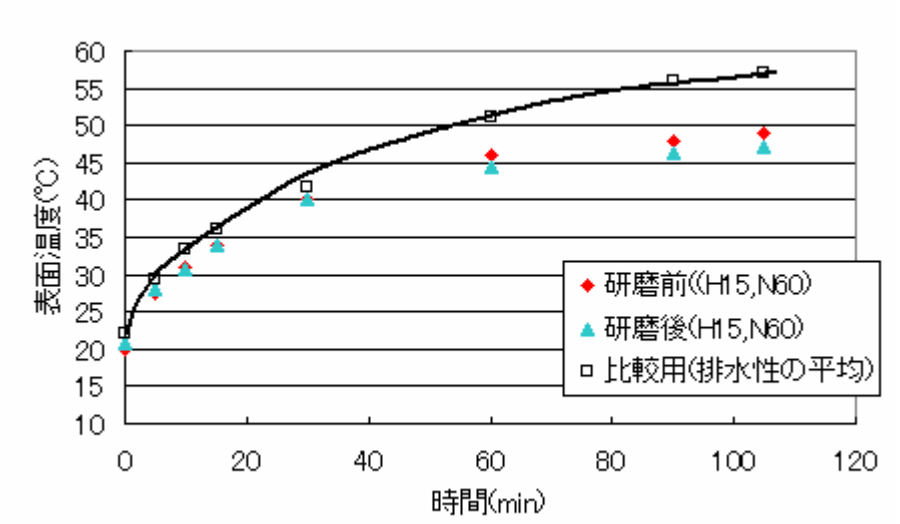


図-3.1.2.15 接触型温度計による測定結果

上記測定結果より,，放射型温度計で約７～９℃，接触型温度計で８～１０℃の低減効果が見られ，N50 より２℃程度効果が高いことがわかる．なお，バインダ摩耗の影響は N50 と同様である．

（4）試験施工で提案する舗装断面

上記の室内試験により，目標性能を満足する混合型遮熱性舗装の条件を以下のように設定した．

・混合物　　排水性混合物（最大粒径5㎜）
・バインダ　　特殊明色高粘度バインダ
・粗骨材　　砂岩＋白色人工骨材（容積比率　65:35）
・遮熱材　N50　　酸化チタン＋特殊遮熱顔料（黒）（添加量3%　85:15）
　　N60　　酸化チタン（添加量1．5%）

また，試験施工で提案する舗装断面を図-3.1.2.16 のように設定した．

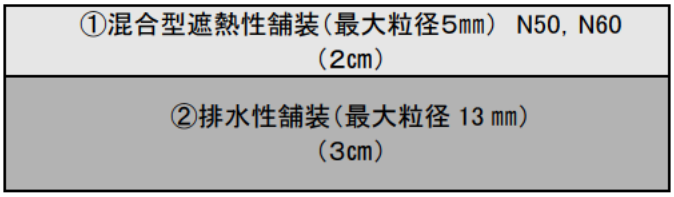


図-3.1.2.16　試験施工に提案する舗装断面

３．１．３ 混合物型遮熱性舗装(C)

(1) 概要

混合物型遮熱性舗装(C)typeA，B の室内検討は、①通常のアスファルト舗装と同様の施工方法，②従来技術(塗布型遮熱性舗装や保水性舗装)と比較して低コスト，③排水性舗装と比較して 10℃以上の温度上昇抑制効果を有する混合物の開発を目的として実施した。

本年度は、、黒色でありながら赤外線を反射させる性質を有する「赤外線反射顔料」を混入することで、路面温度の上昇を抑制できるアスファルト混合物を開発することを基本コンセプトとして室内検討を行った。また、市販されている熱遮蔽機能ペンキ等に用いられることが多い「中空セラミック」をアスファルト混合物に適用した場合の有効性を確認した。

(2) 使用材料と配合

① 赤外線反射に関する検討

赤外線反射作用による温度上昇抑制効果に関する検討に使用した材料を、表-3.1.3.1 に示す。ここで、赤外線反射顔料は無機系の顔料であり、通常の黒色顔料と比較して赤外線（780nm 以上の波長）の反射率が高い特長を有する材料である。

赤外線反射顔料に関する検討に用いた配合は、脱色アスファルトによる排水性舗装用混合物に、それぞれ顔料を表-3.1.3.2 に示す量を添加した。なお、ここでは材料特性を確認することを目的としているため、排水性混合物の配合割合は暫定的なもので試験を行った。

表-3.1.3.1 「赤外線反射に関する検討」に用いた材料

材料名	用途または特長
二酸化チタン	白色による赤外線反射、明度調整用
赤外線反射顔料	黒色でありながら赤外線反射機能を有する材料
黒色顔料(酸化鉄)	通常の無機系黒色顔料
アルミ粉	アルミニウム粉

表-3.1.3.2 「赤外線反射に関する検討」の顔料の配合割合

配合名	赤外線反射顔料	酸化鉄（黒）	酸化チタン	アルミ粉
A-1	0.5	―	2.0	―
A-2	1.0	―	4.0	―
A-3	1.5	―	6.0	―
B-1	―	0.25	2.25	―
B-2	―	0.5	4.5	―
B-3	―	0.75	6.75	―
C-1	―	0.5	0.5	1.0

（単位:%）

② 断熱に関する検討

熱伝導の抑制作用による温度上昇抑制効果に関する検討に使用した材料を表-3.1.3.3に示す。ここで、中空セラミックは、熱遮蔽機能ペンキに用いられていることが多く、主として熱の伝わりを抑える働きがあり、赤外線の反射機能も有しているとされるものである。

中空セラミックの効果の検討に用いた配合は、一般の高粘度改質アスファルト（黒色）による排水性舗装用混合物に、それぞれ表-3.1.3.4 に示す量を添加した。なお、ここでは材料特性を確認することを目的としているため、排水性混合物の配合割合は暫定的なもので試験を行った。

表-3.1.3.3 「断熱に関する検討」に用いた材料

材料名	特　長
中空セラミック1	中が空気のもの
中空セラミック2	セラミックの中が真空、粒径：大
中空セラミック3	セラミックの中が真空、粒径：小

表-3.1.3.4 「断熱に関する検討」の配合割合

配合名	中空ｾﾗﾐｯｸ1	中空ｾﾗﾐｯｸ2	中空ｾﾗﾐｯｸ3
D-1	5.0 %		―
D-2	―	5.0 %	―
D-3	―	―	5.0 %
排水性	―	―	―

※添加量は体積比であらわしてある

(3) 試験項目と試験結果

各検討では、ホイールトラッキング用供試体を用いて表-3.1.3.5 に示す試験条件のもと評価を実施した。なお、室内照射試験は、当時の遮熱性舗装技術研究会が提案する方法を参考にして一部条件を変更した独自の方法である。

表-3.1.3.5　室内検討の試験項目

試験項目	試験条件
室内照射試験	使用電球：東芝製 BRF110V150W 試験温度：30℃ 試験時間：4時間 供試体　：WT 用2層（試験用供試体＋密粒供試体） 側面および底面を発砲ウレタンフォームで断熱 測定方法：K タイプ熱電対
明度測定	色彩・色差計による L*a*b*表色系モード

① 赤外線反射に関する検討

(i) 赤外線反射顔料(黒色)

赤外線反射顔料と通常の黒色顔料(酸化鉄)をそれぞれ添加した排水性混合物の室内照射試験結果を図-3.1.3.1 に示す。なお、通常の排水性を除く各供試体の明度はいずれも L*≒50 である。

図のように、赤外線反射顔料を添加した混合物の温度は、通常の黒色顔料を添加したものと比較して低い結果を示した。これは顔料の赤外線反射効果によるものと推察される。また、顔料の添加量が多いほど両者の差は大きくなる傾向を示した。

以上の結果から、赤外線反射顔料の効果が確認され、路面温度上昇を抑制する舗装材料として有効であると考えられる。

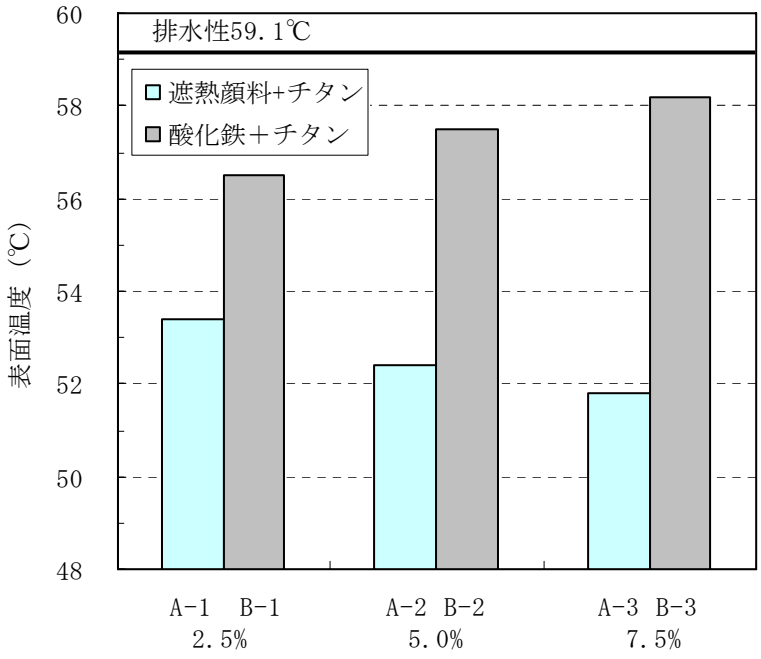


図-3.1.3.1 室内照射試験結果(赤外線反射顔料)

(ii) アルミ粉

アルミ粉を添加した排水性混合物の室内照射試験結果を図-3.1.3.2 に示す。

図のように、アルミ粉を加した混合物の温度は、通常の黒色顔料と白色顔料の組合せによる同明度の排水性混合物と比較して低い結果を示した。これはアルミ粉の赤外線反射効果によるものと推察される。

以上の結果から、アルミ粉の効果が確認され、路面温度の上昇を抑制する舗装材料として有効であると考えられる。

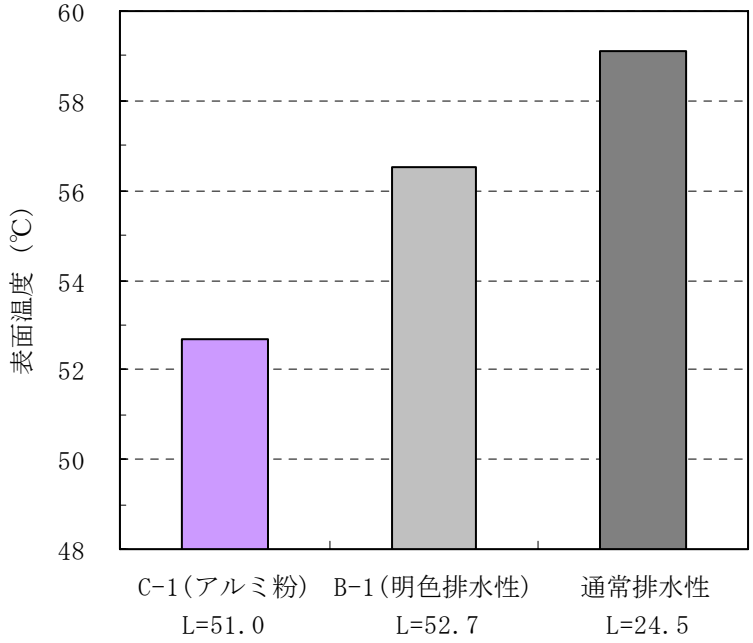


図-3.1.3.2 室内照射試験結果（アルミ粉）

② 断熱作用に関する検討

３種類の中空セラミックをそれぞれ添加した排水性混合物の室内照射試験結果を図-3.1.3.3 に示す。なお、すべての混合物の明度は $L^* \fallingdotseq 25$ となっている。

図のように、通常の排水性と比較して中空セラミックを添加した各配合の温度は同一であり、中空セラミックによる温度上昇抑制効果は確認することができなかった。

以上の結果から、一般に断熱作用が期待されている中空セラミックを、アスファルト混合物に添加しても、温度上昇抑制効果は得られないと判断でき、以後の検討材料から除外した。

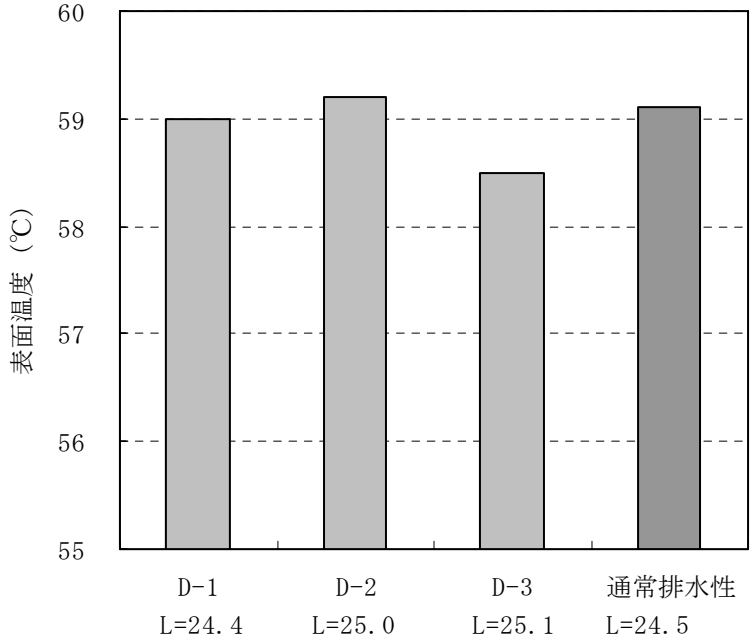


図-3.1.3.3 室内照射試験結果（中空セラミック）

(4) 試験施工で提案する舗装断面

室内検討の結果を以下にまとめる。

① 脱色アスファルトを用いた排水性混合物に、赤外線反射顔料を添加することによって、通常の顔料を用いた同明度の混合物と比較して、温度上昇抑制効果が期待できるものといえる。
② 脱色アスファルトを用いた排水性混合物に、アルミ粉を添加することによって、通常の顔料を用いた同明度の混合物と比較して、温度上昇抑制効果が期待できるものといえる。
③ 市販の熱遮蔽塗料に使われている中空セラミックを、アスファルト混合物に添加しても、その効果を確認できず、温度上昇抑制効果は期待できないものといえる。

以上のことから、路面温度の上昇を抑制する舗装に使用する材料として、以下の材料で構成される脱色アスファルト混合物を提案する。

- 赤外線反射顔料（黒色顔料）
- 二酸化チタン（白色顔料）
- アルミ粉

【舗装断面Ⅰ】

混合物型遮熱性舗装(C)typeAとしては、まず図-3.1.3.4 に示すような舗装断面Ⅰを提案することにした。表層に最大粒径 8mm の遮熱性混合物(C)typeA、中間層に最大粒径 13mm の排水性舗装用混合物、基層に粗粒度アスファルト混合物を施工するものとし、施工性とコストを考慮して、表層を 2cm，中間層を 3cm の厚さに設定した。

表層の遮熱性混合物(C)typeAは、脱色アスファルトをバインダーとする排水性に赤外線反射顔料と二酸化チタンと添加して、明度を N-50(日本塗料工業会 塗料用標準色見本帳)に設定したものとする。

【舗装断面Ⅱ】

混合物型遮熱性舗装(C)typeBとしては、図-3.1.3.5 に示すような舗装断面Ⅱを提案することにした。表層に最大粒径 5mm の遮熱性混合物(C)typeB、中間層に最大粒径 13mm の排水性舗装用混合物、基層に粗粒度アスファルト混合物を施工するものとし、施工性とコストを考慮して、表層を 1.5cm，中間層を 3.5cm の厚さに設定した。

表層の遮熱性混合物(C)typeBは、最大粒径を 5mm とすることによって、薄層施工を可能とするほか、表面のキメを揃えることによる反射率向上を期待したものである。使用材料としては、脱色アスファルトをバインダーとする排水性に赤外線反射顔料と二酸化チタン、さらにアルミ粉を添加する。明度は、通常のアスファルト舗装の色調に近づけるために、N-35 に設定したものとする。

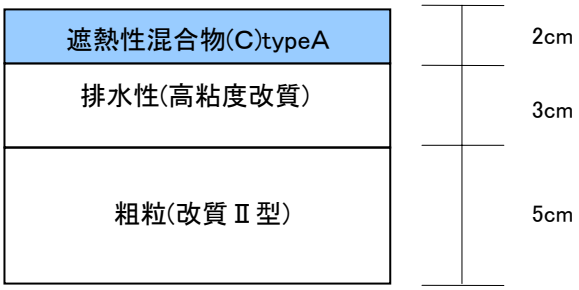


図-3.1.3.4 舗装断面Ⅰ（遮熱性混合物 C）

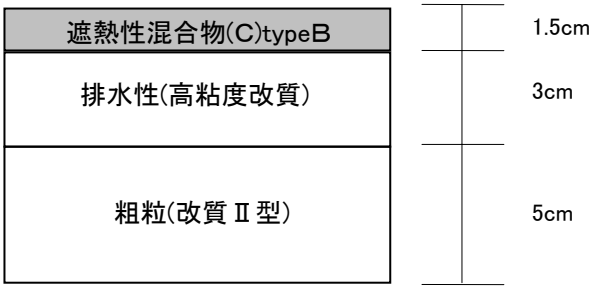


図-3.1.3.5 舗装断面Ⅱ（遮熱性混合物 C）

3．1．4 混合物型遮熱性舗装(D)

（1）概要

遮熱性舗装は、地上に到達する太陽光（日射）の成分である可視光線、および近赤外線のエネルギーを、一般的な密粒度アスファルト舗装や排水性舗装よりも多く反射することで、路面温度の上昇を抑制する効果を持つ。これにより、舗装体に蓄積される太陽エネルギーは、一般的な密粒度アスファルト舗装や排水性舗装に対して軽減されるため、夏期におけるヒートアイランド現象の抑制により、生活環境の緩和に期待できるといわれている。

遮熱性舗装のひとつの形態として、舗装表面に遮熱効果を持たせた塗料あるいは樹脂等を塗布する手法があり、国道や地方道などで試験施工が行われているが、耐久性や施工性等に課題がある。特に舗設作業と別に樹脂等を塗布する作業を行うため、施工日数の増大とそれに伴うコストの増大に対する対応が課題とされている。

本研究ではこれらの課題に対応すべく、下記に示す項目を主たる開発目標とし、一般的な最大粒径 13mm の骨材と、遮熱性顔料を組み合わせた混合物を基本とし、アスファルト混合物自体に遮熱性を持たせ、通常の舗設作業のみで路面温度低減効果を発揮する混合物型遮熱性舗装(D)について開発を行った。

開発目標

① 通常のアスファルト混合物の舗設作業で施工可能であること。
② 高価な材料や産地が限定される材料の使用を避けること。
③ 塗布型遮熱性舗装より、安価な費用で施工可能であること。
④ 通常のプラントでも製造可能な混合物とする。

（2）使用材料と配合

室内における基礎実験の結果を踏まえ、検討対象の混合物として、脱色高粘度改質アスファルトを用いたＡタイプおよび、通常の高粘度改質アスファルトを用いたＢタイプを選定した。（写真-3.1.4.1 および写真-3.1.4.2 参照）



写真-3.1.4.1　Ａタイプ



写真-3.1.4.2　Ｂタイプ

Ａタイプ混合物は、脱色高粘度改質アスファルト、灰色顔料および明色骨材を使用することにより、舗装体を明色化した。また、微小中空粒子を添加することにより、日射の反射率および断熱性を高めた。なお、明度については日本塗料工業会色見本長でＮ50 を目標としている。

Ｂタイプ混合物は、通常の排水性混合物に、白色顔料および微小中空粒子を添加したものである。脱色アスファルトや明色骨材といった比較的高価な材料を使用したＡタイプ混合物の効果と比較することを目的とする。

各混合物の使用材料および配合を表-3.1.4.1、表-3.1.4.2 に示す。

表-3.1.4.1　使用材料（Ａタイプ）

材　料　名	種　　類	用　　途	配合（%）
6 号砕石	硬質砂岩 13mmtop	粗骨材	33.6
6 号白色骨材	シノパール 6 号		47.5
細目砂	-	細骨材	9.0
石粉	-	フィラー	0.9
アスファルト	脱色高粘度改質 AS	バインダ	5.0
灰色顔料	酸化チタン等	明色化	3.0
微小中空粒子	ﾌﾗｲｱｯｼｭ･ｼﾘｶ系	反射率向上、断熱性	1.0

表-3.1.4.2　使用材料（Ｂタイプ）

材　料　名	種　　類	用　　途	配合（%）
6号砕石	13mmtop	粗骨材	81.8
細目砂	-	細骨材	8.5
石粉	-	フィラー	0.9
高粘度改質 AS	-	バインダ	4.8
白色顔料	酸化チタン	明色化	3.0
微小中空粒子	ﾌﾗｲｱｯｼｭ･ｼﾘｶ系	反射率向上、断熱性	1.0

混合物型遮熱性舗装(D)において､温度上昇抑制効果を目標とした使用材料は以下のとおりである。

1）微小中空粒子

微小な中空構造をもつ粒子は、太陽光の反射率を高める効果があるとされている。また、中が真空であるため、非常に断熱性の高い物質である。

2）顔料

舗装を明色化することによって､太陽光成分中の可視光線の反射率を高める効果がある。本混合物においては、一般的な舗装用顔料を用いた。

3）白色骨材

重交通道路などでは供用後の交通荷重により､舗装表面を被膜しているバインダが摩耗により剥離し、骨材の表面が露出した状態になると予想される。そのため、人工白色骨材であるシノパールを粗骨材に用いることによって、骨材露出後も可視光線の反射率を維持させるために使用した。

（3） 試験項目と試験結果

1） 配合試験

混合物型遮熱性舗装(D)（以下、混合物(D)）の基本性状を表-3.1.4.3に示す。

表-3.1.4.3　混合物(D)の基本性状

試験項目	混合温度（℃）	締固め温度（℃）	動的安定度（回/mm）	透水係数（cm/sec）
Aタイプ	170	150	7750	31.2×10^{-2}
Bタイプ	170	150	6850	27.8×10^{-2}
基準値	170±5	-	3000 以上	10^{-2} 以上

各タイプの混合物ともに、通常の排水性混合物の基準を満たす配合となった。

2） 温度上昇抑制試験

混合物(D)の路面温度上昇抑制効果を検証するため、春期に屋外において、ホイールトラッキング試験用の供試体を用いた暴露試験を行った。実験は図-3.1.4.1 に示すように供試体を基層の上に置き、断熱材で周囲を覆った。

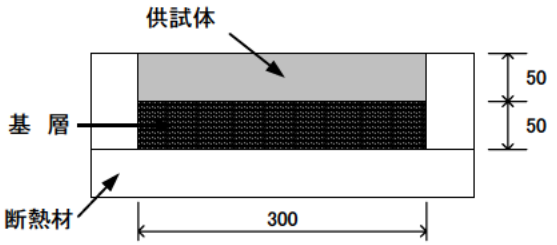


図-3.1.4.1　屋外温度測定用供試体

供試体は比較用として一般的な排水性舗装、混合物Aタイプおよびタイプの３種類である。

試験結果を表-3.1.4.4、図-3.1.4.2 に示す。なお、接触型温度計を用いて供試体の表面温度を測定した。

表-3.1.4.4　屋外温度測定結果

時刻	排水性	Ａタイプ	Ｂタイプ
9:00	32.0	30.0(-2.0)	27.0(-5.0)
10:00	32.5	31.0(-1.5)	30.0(-2.5)
11:00	41.0	35.0(-6.0)	33.0(-8.0)
12:00	45.0	38.0(-7.0)	39.0(-6.0)
13:00	45.0	38.0(-7.0)	39.0(-6.0)
14:00	43.0	36.0(-7.0)	37.0(-6.0)
15:00	42.0	35.0(-7.0)	34.0(-8.0)
16:00	38.0	34.0(-4.0)	33.0(-5.0)

※（）内は排水性舗装との温度差

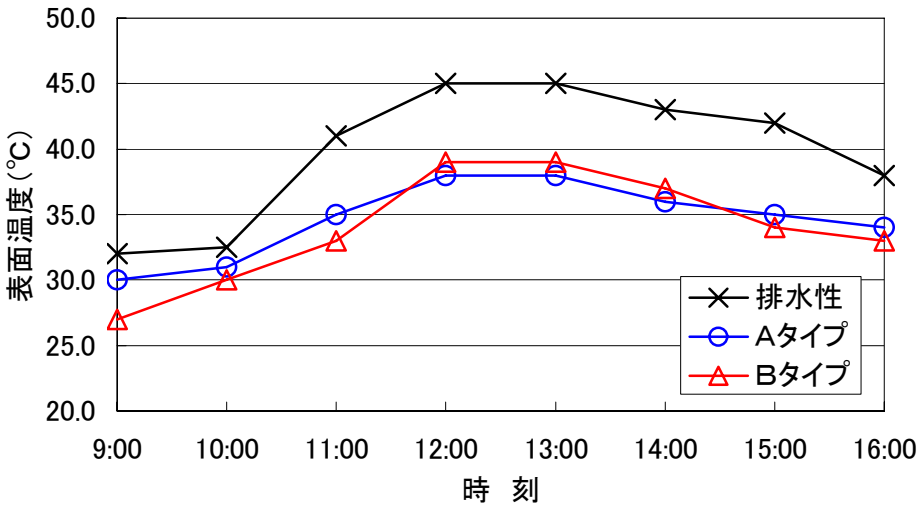


図-3.1.4.2　屋外温度測定結果

屋外温度測定結果より、Ａタイプは排水性舗装温度が最も上昇した 12～13 時において 7.0℃、Ｂタイプは 6.0℃の温度上昇抑制効果が確認された。

3) すべり抵抗性

混合物(D)のすべり抵抗性を測定するため、50×50×5cm の供試体を作製し、DF テスターによる動摩擦係数の測定を行った。試験結果を表-5 に示す。

表-3.1.4.5　混合物(D)のすべり抵抗性試験結果

舗装種類	動摩擦係数（μ60）	試験方法
排水性舗装	0.45	試験法便覧別冊 4-1-1T
混合物(D)	0.48	

試験結果より、混合物(D)のすべり抵抗性は、排水性舗装とほぼ同等であった。

4) 現場透水量

混合物(D)の透水性評価について、現場透水量試験による、現場透水量の測定を行った。試験結果を表-3.1.4.6 に示す。

表-3.1.4.6　現場透水量試験結果

舗装種類	現場透水量（ml/15sec）	試験方法
排水性舗装	1215	舗装試験法便覧 5-4-1
混合物(D)	1310	

試験結果より、混合物(D)の透水性は排水性舗装と同等であった。

（4）試験施工で提案する舗装断面

試験施工箇所は 4×4m の供試体が 2 面、およびループ走行路における延長が 15m の試験施工区間である。

各舗装構造を図-3.1.4.3、図-3.1.4.4 に示す。なお、ループ走行路では、既設の舗装を 10cm 切削し、5cm のレベリングをした後、Ａタイプのみを舗設することとした。4×4m の供試体は、Ａ，Ｂタイプともに同様の構造で 1 箇所ずつ施工することとした。

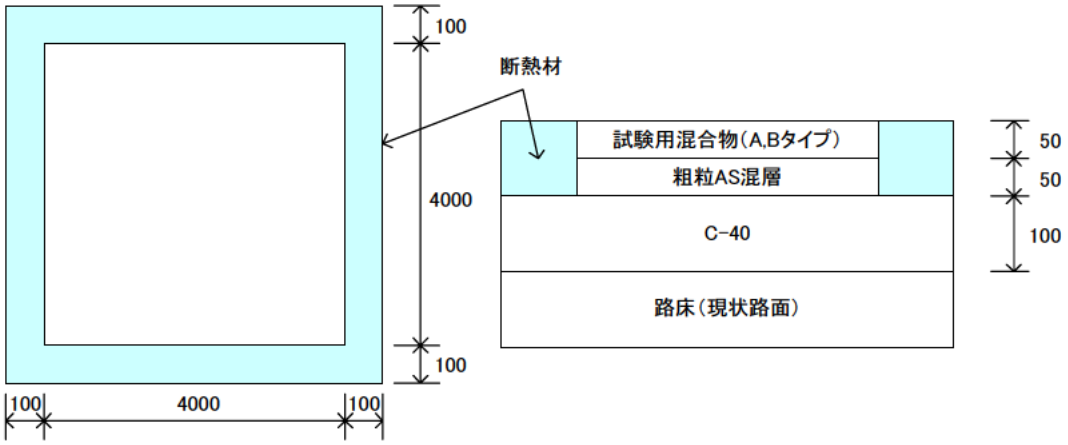


図-3.1.4.3　舗装構造図（供試体）

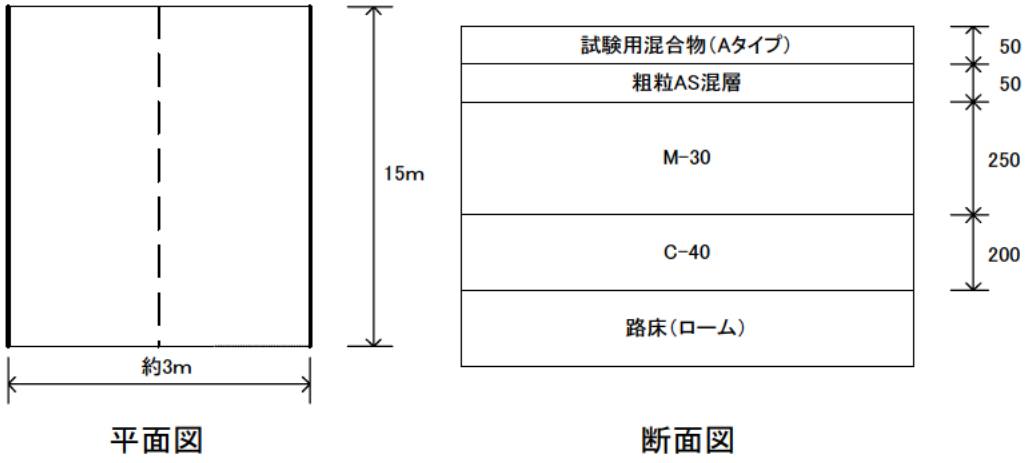


図-3.1.4.4　舗装構造図（ループ走行路）

3．2．2 混合物型遮熱性舗装(A)

(1) 施工断面

平成 15 年度に試験施工を実施した混合物型遮熱性舗装(A)の施工断面は図-3．2．2．1 に示すとおりである。また、遮熱表層の舗装構成は図-3．2．2．2 に示すとおりで、混合物の配合は表-3．1．1．2 と同様である。

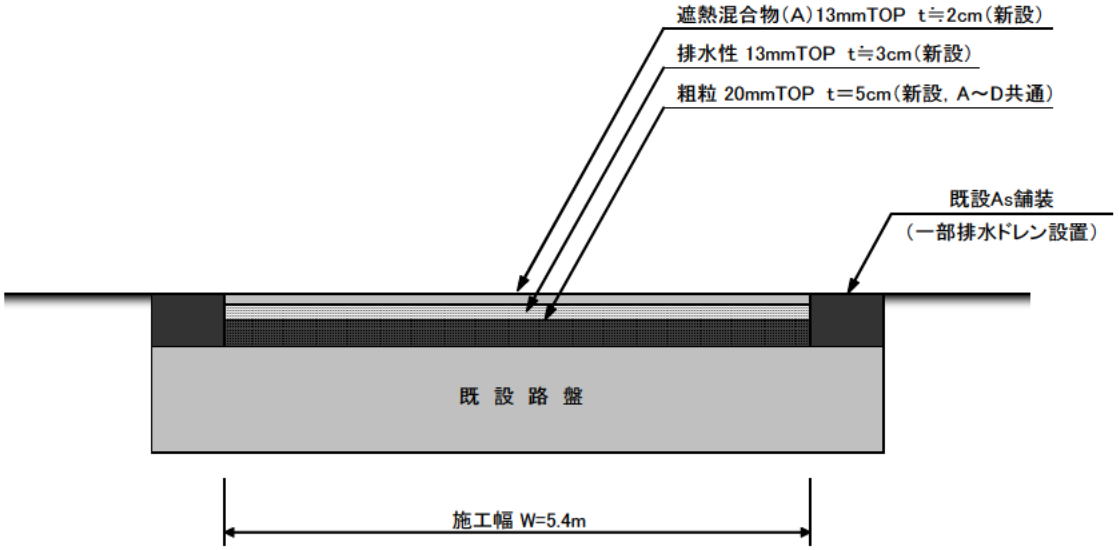


図-3.2.2.1 試験施工断面（平成 15 年度）

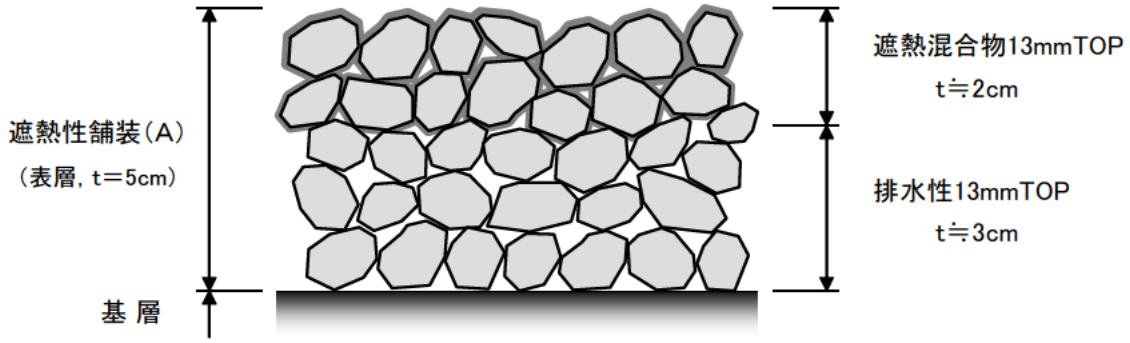


図-3.2.2.2 混合物型遮熱性舗装(A)の舗装構成（平成 15 年度）

(2) 試験施工の全体フロー

平成15年度に実施した遮熱性混合物の製造から舗設までの全体フローは図-3.2.2.3に示すとおりである。製造と舗設の詳細については以降に示す。

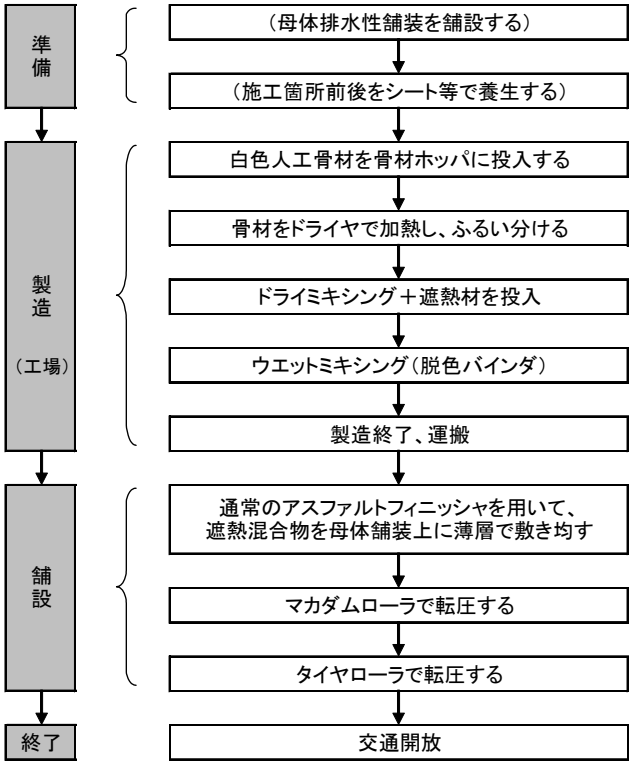


図-3.2.2.3 混合物型遮熱性舗装(A)の試験施工フロー（平成 15 年度）

(3) 遮熱混合物の製造

遮熱混合物の製造は 2ton/バッチの通常のアスファルト合材工場で実施した。製造方法は通常のアスファルト混合物と基本的に同様であり、熱反射性顔料等の遮熱材(粉体)をプラントの投入口からドライ混合時に添加する工程のみ追加した。

遮熱混合物を製造する際の混合温度と混合時間を表-3.2.2.1 に示し、遮熱材の投入状況を写真-3.2.2.1 に示す。

遮熱混合物の製造工場：(株)NIPPO コーポレーション筑波合材工場
茨城県つくば市大字真瀬字三度山 910-2

表-3.2.2.1 遮熱混合物の製造条件（混合温度と混合時間）

目標混合時間	dry（秒）	5
	wet（秒）	35
目標混合温度	（℃）	170±15



写真-3.2.2.1 の白色のビニール袋の中には混合物１バッチ当たりの熱反射性顔料と中空セラミック微粒子が入っていて、植物性繊維の添加など通常と同様にビニール袋ごと投入する方法とした。

写真-3.2.2.1 遮熱材の投入状況

(4) 遮熱性舗装(A)の施工

混合物型遮熱性舗装(A)の施工においては、図-3.2.2.2 に示すように表層を２層構成とするために２層同時敷均し型の特殊アスファルトフィニッシャ（DL ペーバ）の使用を想定しており、表層の上部と下部とを同時に敷き均し･締め固めることで、表層内に境目のない一体構造として、表層上部に薄層の遮熱機能層を持ちながら耐久性の高い舗装体の構築を行うものとしている。ただし、平成 15 年度検討の試験施工においては、施工延長が 15m と短く DL ペーバを使用することのメリットが見出せなかったことから、通常のアスファルトフィニッシャを用いて表層２層を仕上げる方法とした。締固めには通常のローラを使用した機械編成で行い、マカダムローラとタイヤローラを使用した。

表層を除く基層以下の基盤施工に係わる部分については、他グループと共通の粗粒度アスファルト混合物（改質Ⅱ型、最大粒径 20mm）を用いて施工している。

施工状況を写真-3.2.2.2～写真-3.2.2.3 に示す。



写真-3.2.2.2 遮熱混合物(A)の敷均し状況



写真-3.2.2.3 遮熱混合物(A)の転圧状況



写真-3.2.2.4 混合物型遮熱性舗装(A)の施工完了

３．２．３ 混合型遮熱性舗装(B)

混合型遮熱性舗装(B)の，屋外における路面温度低減効果と車輌走行による舗装の耐久性を調べるため，供試体工事と舗装走行実験場で試験施工を行った．

(1)施工概要

1） 施工場所:独立行政法人 土木研究所内 供試体ヤードおよび舗装走行実験場

2） 日　　時:平成15年6月11日(水)，12日(木)

（11日:AP での試験練り，12日:試験施工）

3)施工数量:　①供試体工事　　4m×4m，3カ所，A=48.0 ㎡，t=5cm

（塗布型，混合型 N50,N60）

②舗装走行実験場 L=15m，W=5.4m，A=81.0 ㎡，t=5cm

（N50 のみ）

(2)舗装構成および断面

舗装走行実験場の舗装構成および断面を図-3.2.3.1 に示す．供試体工事も同じ舗装構成・断面である．



図-3.2.3.1 施工断面

(3)実施工程

実施工程を，表-3.2.3.1 に示す．

表-3.2.3.1 工事工程表

工種	単位	数量	6/11	6/12	備考
準備工					
試験練り	式	1	▒▒		
表層工					
排水性舗装	m^2	129.0		▒▒	t=30 ㎜舗装走行実験場，供試体工事
混合型遮熱性舗装(N50)	m^2	97.0		▒▒	舗装走行実験場，供試体工事
混合型遮熱性舗装(N60)	m^2	16.0		▒▒	供試体工事

(4)施工状況

1)排水性舗装

通常の施工と同様に施工を行った.

2)混合型遮熱性舗装

排水性舗装施工後に混合型遮熱性舗装の施工を行った. 使用機械および施工体制は, 通常の排水性舗装と同様で行った.

混合型遮熱混合物はカラー合材のため, AP のミキサおよびｱｽﾌｧﾙﾄﾌﾆｯｼｬの清掃を行った. AP ミキサの清掃は, 焼き砂を用いて行ったが, 混合型遮熱混合物出荷に際し, 色調整のため2回程度捨てバッチが必要であった. また, アスファルトフィニッシャも同様に, 焼き砂による敷均しと, 洗い油等による清掃を行ったが, 舗設時舗装表面に一部汚れによる筋が生じた.

また, 施工に関しては, 使用したバインダが, 高粘度脱色バインダで粘性が高いため, レーキ等での扱いが難しく, 手直ししにくい材料であった. 同様に人力施工の転圧でハンドガイドローラーを用いたが, 靴へ混合物が付着した.

目標明度 N60 の混合型遮熱舗装の施工は, 合材出荷から施工まで時間がかかったため, 合材温度が低くなり, 仕上り状態の悪い箇所が見られた. 施工性の確保には, 十分な温度管理が必要である.

表-3.2.3.2 混合型遮熱舗装 施工状況

時刻	工程	備考
8:30	清掃・型枠設置・機械準備	降雨があったため, 路面をバーナーにより乾燥
10:00	乳剤散布	乳剤も同様に, バーナーにより乾燥
10:30	排水性混合物出荷	
11:00	舗装走行実験場 敷均し開始	機械施工(AF, MR)
11:45	供試体工事 敷均し開始	人力施工(ﾊﾝﾄﾞｶﾞｲﾄﾞﾛｰﾗ)
12:30	排水性舗装施工終了	
(11:00～	AP 清掃	焼砂による
13:00)	AF 清掃	〃
14:00	混合型遮熱混合物出荷	
14:30	供試体工事 敷均し開始	人力施工(ﾊﾝﾄﾞｶﾞｲﾄﾞﾛｰﾗ)
14:45	舗装走行実験場 敷均し開始	機械施工(AF, MR)
17:30	混合型遮熱混合物施工終了	
16:30	施工現場片付け完了	

3)施工状況写真

供試体工事の施工状況を写真-3.2.3.1～3.2.3.4 に, 舗装走行実験所の施工状況を写真-3.2.3.5～3.2.3.9 に示す.



写真-3.2.3.1　排水性舗装の敷均し状況（供試体工事）



写真-3.2.3.2　排水性舗装の転圧状況（供試体工事）



写真-3.2.3.3　混合型遮熱性舗装の転圧状況（供試体工事）



写真-3.2.3.4　混合型遮熱性舗装の施工完了（供試体工事）



写真-3.2.3.5　排水性舗装の敷均し状況（舗装走行実験所）



写真-3.2.3.6　排水性舗装の転圧状況（舗装走行実験所）



写真-3.2.3.7　混合型遮熱性舗装の敷均し状況（舗装走行実験所）



写真-3.2.3.8　混合型遮熱性舗装の転圧状況（舗装走行実験所）



写真-3.2.3.9　混合型遮熱性舗装の施工完了（舗装走行実験所）

３．２．４ 混合物型遮熱性舗装(C)

(1)舗装断面

本試験施工では、温度測定工区には、２種類の混合物型遮熱性舗装（typeＡ,typeＢ）、耐久性評価工区には１種類の混合物型遮熱性舗装(typeＡ)の施工を実施した。

各施工断面は図-3.2.4.1 のとおりである。同図に示すように、粗粒度アスファルト混合物を基層として、中間層には通常の高粘度改質アスファルトを使用した排水性混合物(13)、表層には遮熱混合物を設ける舗装構成となっている。

当初、表層と中間層の施工には、マルチアスファルトペーバー（ＭＡＰ）を用いる予定にしていたが、諸事情によりＭＡＰを使用しなかったため、走行実験場の耐久性評価工区については遮熱混合物 typeＡを 50㎜厚さで施工を行った。

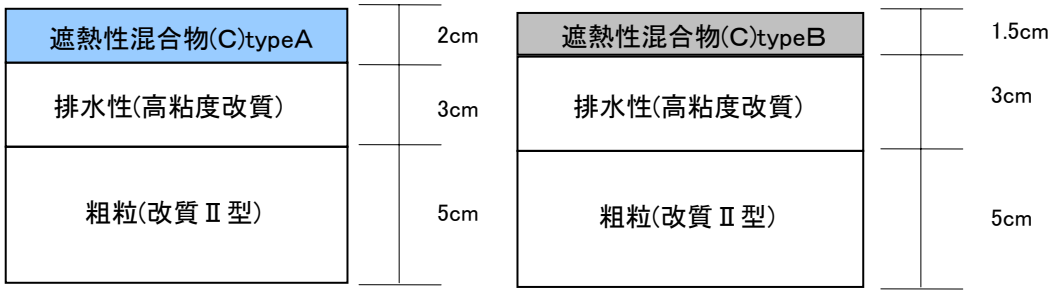


図-3.2.4.1 試験施工断面

(2)使用材料

試験施工で使用した主な材料は以下のとおりである。

表-3.2.4.1 混合物型遮熱性舗装(C)typeA の使用材料

材　料	種　類	製造会社
砕石 8-5mm	硬質砂岩	飯渕砕石㈱
粗砂	陸堀砂	青木建材工業㈱
石粉	石灰岩	田政礦業㈱
特殊黒顔料	赤外線反射黒顔料	アトミクス㈱
白色顔料	二酸化チタン	森下弁柄工業㈱
アスファルト	高粘度脱色 As (ｼｭｰﾙｶﾗｰｸｽ)	日進化成㈱

表-3.2.4.2 混合物型遮熱性舗装(C)typeB の使用材料

材　料	種　類	製造会社
7 号砕石	硬質砂岩	飯渕砕石㈱
粗砂	陸堀砂	青木建材工業㈱
石粉	石灰岩	田政礦業㈱
特殊黒顔料	赤外線反射黒顔料	アトミクス㈱
白色顔料	二酸化チタン	森下弁柄工業㈱
アルミニウム粉	アルミ粉 №500	堀金箔粉㈱
アスファルト	高粘度脱色 As (ｼｭｰﾙｶﾗｰｸｽ)	日進化成㈱

表-3.2.4.3 中間層排水性混合物の使用材料

材　料	種　類	製造会社
6号砕石	硬質砂岩	飯渕砕石㈱
粗砂	陸堀砂	青木建材工業㈱
石粉	石灰岩	田政礦業㈱
アスファルト	高粘度改質 As	ニチレキ㈱

(3)配合割合と基本性状

試験施工で使用した各混合物の配合割合は以下のとおりである。

表-3.2.4.4 配合割合および合成粒度

配合名	材料の種類	配合割合(%)	ふるい目の開き(mm)							
			13.2	8.0	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
typeA	砕石8mm	80.0	100.0	98.1	11.2	1.1				
	粗　砂	15.0	100.0	―	99.0	84.2	45.1	19.1	4.5	0.8
	石　粉	2.5						100.0	95.2	77.9
	黒顔料	1.5								
	白顔料	1.0								
	合　計	100.0	100.0	98.3	28.8	18.5	11.8	7.9	5.4	4.0
	ｱｽﾌｧﾙﾄ量	4.9								
typeB	砕石7号	90.0	100.0	―	90.0	7.7	0.7			
	粗　砂	5.0	100.0	―	99.0	84.2	45.1	19.1	4.5	0.8
	石　粉	2.5						100.0	95.2	77.9
	黒顔料	1.0								
	白顔料	0.5								
	アルミ粉	1.0								
	合　計	100.0	100.0	―	91.1	16.3	8.0	6.1	5.1	4.0
	ｱｽﾌｧﾙﾄ量	5.6								
排水性(中間層)	砕石6号	85.0	95.2		7.8	2.0				
	粗　砂	10.0			99.0	84.2	45.1	19.1	4.5	0.8
	石　粉	5.0						100.0	95.2	77.9
	合　計	100.0	95.8	―	21.5	15.1	9.5	6.9	5.2	4.0
	ｱｽﾌｧﾙﾄ量	4.8								

※顔料とアルミ粉の粒度は石粉と同等として計算

表-3.2.4.5 各混合物の基本性状

種 類	As 量 (%)	密度 (g/cm3)	空隙率 (%)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)	DS (回/mm)	損失率 (%)
TypeA	4.9	1.969	21.2	5.52	35	3,100	4.1
typeB	5.6	1.840	24.4	5.15	31	1,150	4.3
排水性	4.8	1.969	20.2	4.92	32	5,800	2.8

(4)施工

①製造

各混合物の製造は、前田道路㈱栃木合材工場で行った。顔料はミキサ内に人力投入を行い、混合時間を 45 秒に設定した。

運搬は通常のダンプトラックにて行い、運搬時間は約 60 分であった。

②施工

(i) 施工手順

中間層と表層の施工は、以下に示す流れにより１日で完了した。温度測定用工区については人力施工によって中間層の転圧終了後に速やかに表層の施工を行った。また、耐久性評価工区については、先にも述べたようにＭＡＰを使用しないことから、本試験施工では表層のみの施工として、通常のアスファルトフィニッシャによって施工を行った。

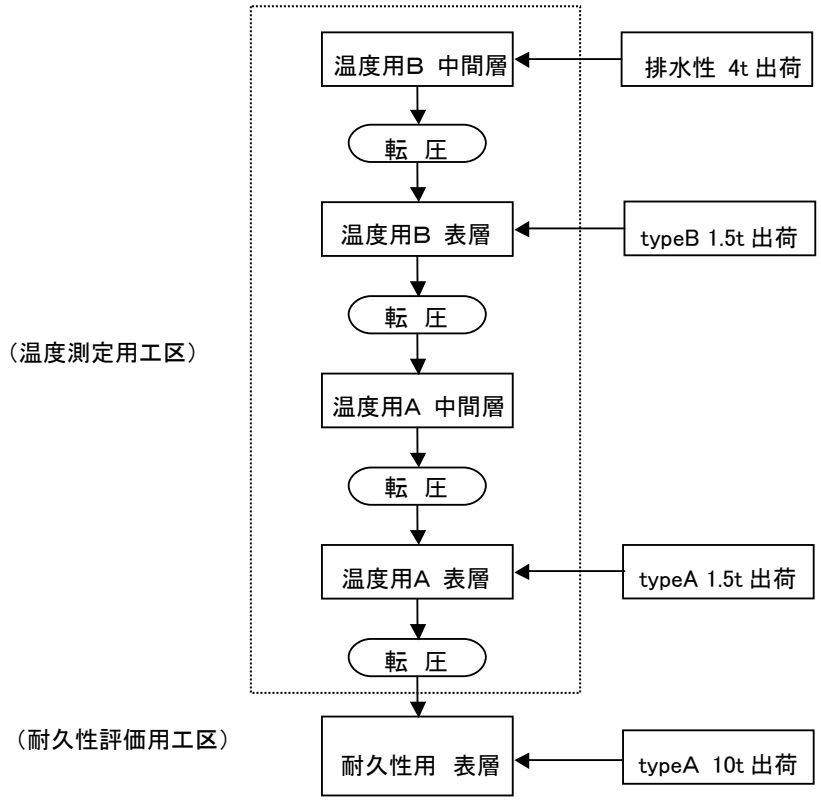


図-3.2.4.2 試験施工の流れ

(ii) 使用機械

本試験施工で使用した機械を以下に示す。

表-3.2.4.6 主な使用機械

施工場所	機 械 名	能力・型式
温度測定用	ハンドガイド式ローラ	－
	プレートコンパクタ	－
耐久性評価用（走行実験場）	アスファルトフィニッシャ	フェーゲル SUPER 2000
	タンデムローラ	HAMM HD70 7t 級振動ローラ

(iii) 施工状況

温度測定工区においては、すべて人力によって施工を行った。中間層となる通常の排水性舗装を施工後、温度低下を待たずに表層を施工した。これは、本舗装構造は２層同時敷きならしを可能とするＭＡＰによる施工を前提としていることから、人力施工で再現をしたものである。２種類の遮熱性混合物とも良好な作業性を示し、良好に施工が完了した。

耐久性評価工区においては、通常のアスファルト舗装と同様の施工方法で行い、良好に施工が完了した。ただし、本試験施工ではＭＡＰは使用せず、通常のアスファルトフィニッシャによる遮熱性混合物 typeＡの１層施工を行った。



写真-3.2.4.1　施工状況（温度測定工区）



写真-3.2.4.2　施工完了（温度測定工区）



写真-3.2.4.3　敷きならし状況（耐久性評価工区）



写真-3.2.4.4 転圧状況(耐久性評価工区)



写真-3.2.4.5 施工完了(耐久性評価工区)

３．２．５ 混合物型遮熱性舗装(D)

（1）実施日および施工場所

実施日　：2003 年 6 月 19 日（木）

施工場所：独立行政法人土木研究所構内

走行路内供試体ヤードおよびループ走行路

（2）施工規模

走行路内供試体ヤード：施工面積 16 ㎡（4m×4m）×2 箇所

ループ走行路：延長 15m、幅員約 3.25m、施工面積約 49 ㎡

（3）施工機械

本試験施工に使用した施工機械を表-3.2.5.1 に示す。

なお、タイヤローラは今回小規模施工の為、使用していない。

表-3.2.5.1　使用機械

施工場所	機械名	能力・型式
温度測定用供試体用	ハンドガイドローラ	1t
	プレートコンパクタ	-
ループ走行路舗装用	アスファルトフィニッシャ	フェーゲル SUPER 2000
	タンデムローラ	HAMM HD70 7t 級振動ローラ

（4）施工方法

1）温度測定用供試体

温度測定用の供試体は、Ａタイプ、Ｂタイプ混合物ともに人力施工により行った。最大粒径が 13mm の通常の排水性舗装と同様の作業であったが、人力施工のため、平坦性の確保に苦慮した。

① 混合

混合物(D)の製造は一般的な加熱アスファルト混合物と同様のプラントで行った。

② 運搬

混合物の運搬は 10t ダンプにより行った。

③ 敷均し

供試体が小さいこと、熱電対の設置作業があることなどから、混合物の敷均しは人力により行った。



写真-3.2.5.1　敷均し状況（Ａタイプ）



写真-3.2.5.2　敷均し状況（Ｂタイプ）

④ 転圧

混合物の転圧にはハンドガイドローラおよびプレートコンパクタにより行った。



写真-3.2.5.3 転圧状況（Ａタイプ）



写真-3.2.5.4　転圧状況（Ｂタイプ）



写真-3.2.5.5　舗設完了（4m×4m 供試体）

2) ループ走行路舗装

今回の施工では通常の高締固め型フィニッシャを用い、Aタイプ混合物を 5cm で 1 層施工により舗設した。

① 製造

混合物(D)の製造は通常の加熱アスファルト混合物を製造する定置式プラントで製造した。

② 運搬

混合物は 10t ダンプで運搬した。

③ 敷均し

混合物の敷均しには、加熱アスファルト混合物の舗設に用いるアスファルトフィニッシャを使用した。



写真-3.2.5.6　敷均し状況

④ 転圧

混合物を敷均した後、タンデムローラで転圧作業を行った。



写真-3.2.5.7　転圧状況



写真-3.2.5.8　舗設完了

（5）施工結果

本試験施工は、室内検討を行った 2 種類の配合について、路面温度の上昇抑制効果、および耐久性等に関する夏期のデータ収集を目的として行われたものである。

顔料および微小中空粒子等を配合することによる混合不良および施工不良が懸念されたが、混合物の混合性も良く、適切な施工を行うことができた。

３．３ 平成15年度試験施工による調査結果

３．３．１ 平成15年夏期の気象について

平成 15 年 7 月～8 月の気象観測装置による気象観測結果を以下に示す。

（1） 気温

図-3.3.1.1 は各日における最高気温を示したものである。平成 15 年 7 月～8 月は最高気温 30℃以上の日が少なく、冷夏の年となり路面温度調査にはあまり適さない年となった。

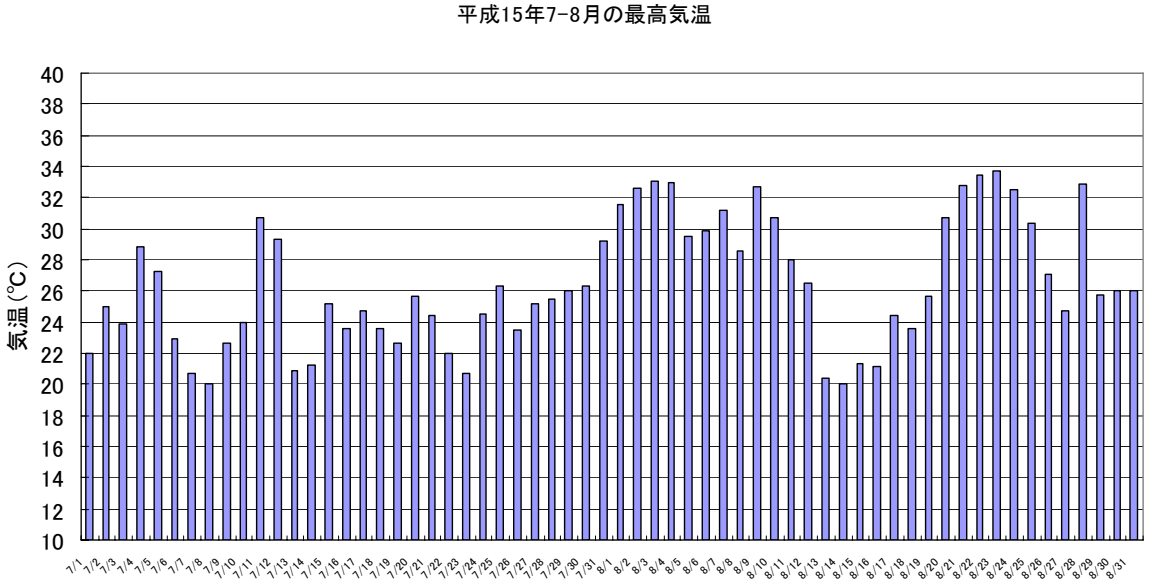


図-3.3.1.1 平成 15 年 7 月～8 月の最高気温

（2） 日射量

図-3.3.1.2 は各日における 10 時～13 時における平均日射量を示した図である。日射量についても少ない日が多い状況であった。

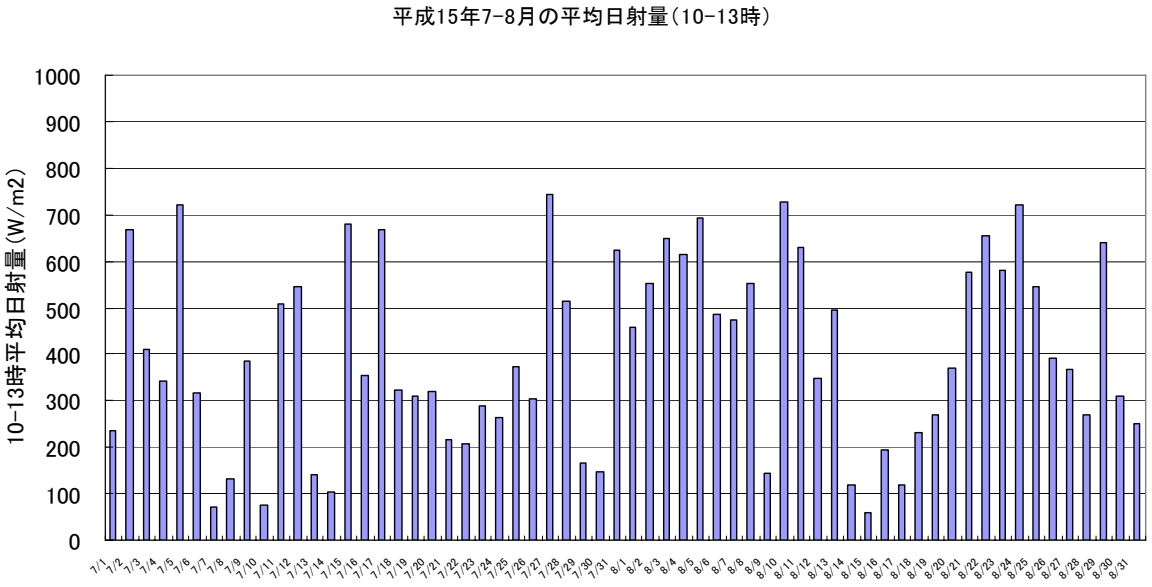


図-3.3.1.2 平成 15 年 7 月～8 月の平均日射量 （10 時～13 時）

（3） 降雨

図-3.3.1.3 は日降水量を示したものである。梅雨時期の降水量が少なかった。

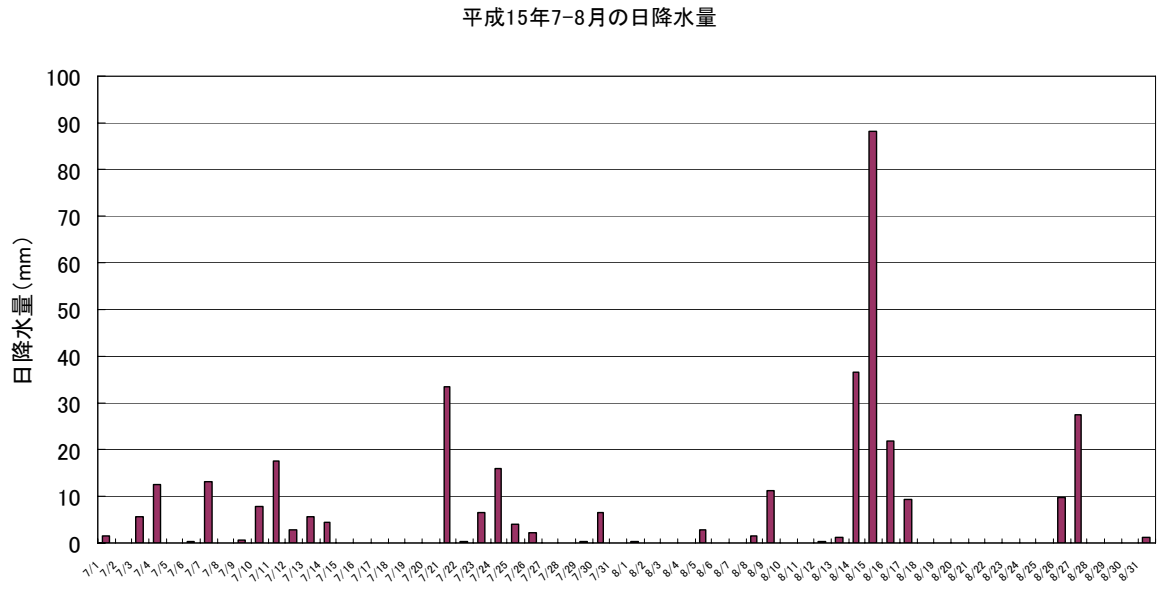


図-3.3.1.3 平成 15 年 7 月～8 月の日降水量

３．３．２　舗装表面温度

（１）　4m×4m供試体（表面温度）

１）　H15 混合物型（A－①）、（A－②）、塗布型（A）

◇混合物型（Ａ－①）

排水性舗装に比べ最大約 6℃程度の温度低減となり、目標値より低い結果となった。

◇混合物型（Ａ－②）

排水性舗装に比べ最大約 4℃程度の温度低減となり目標値より低い結果となった。

◇塗布型（Ａ）

排水性舗装に比べ最大約 10℃程度の温度低減となった。

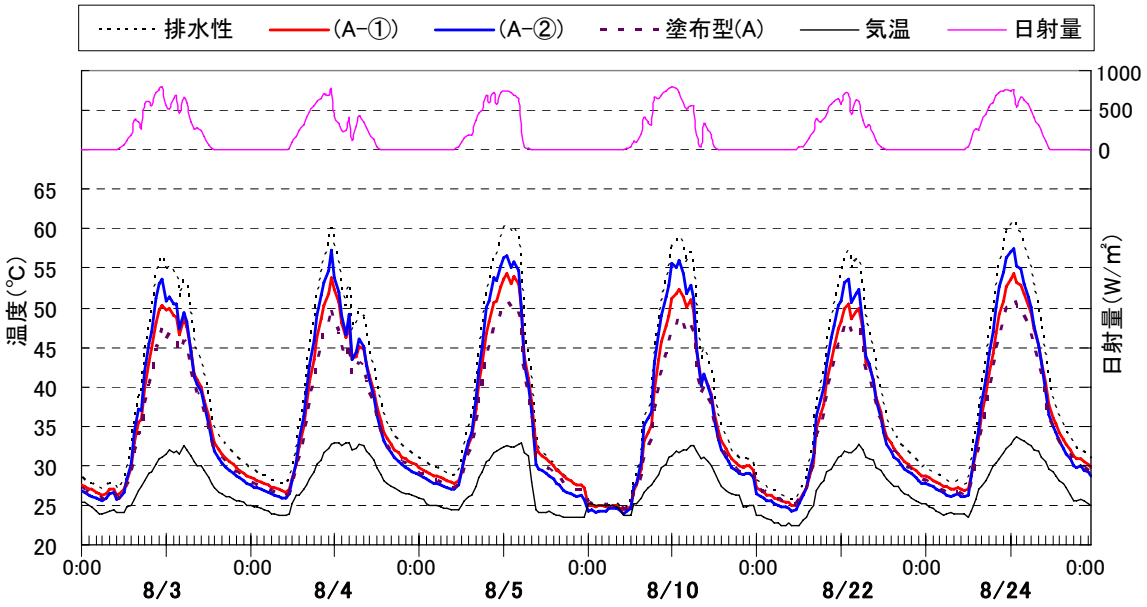


図-3.3.2.1　4m×4m 供試体表面温度

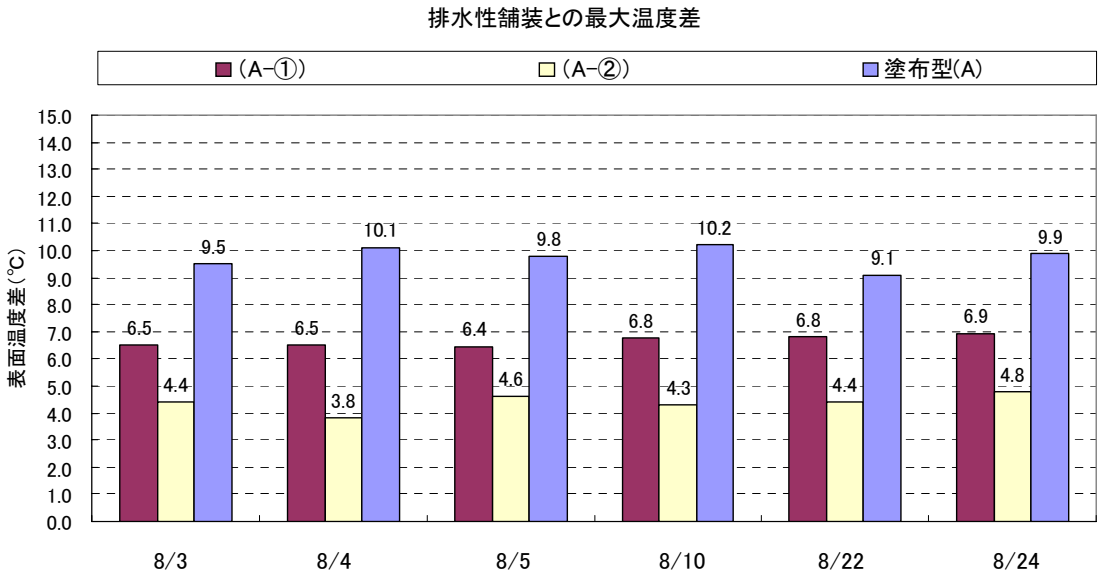


図-3.3.2.2　排水性舗装との最大表面温度差

2） H15 混合物型（B－①）、（B－②）、塗布型（B）

◇混合物型（Ｂ－①）

排水性舗装に比べ最大約 9℃程度の温度低減となり、目標値より低い結果となった。

◇混合物型（Ｂ－②）

排水性舗装に比べ最大約 10℃程度の温度低減となり、目標値となった。

◇塗布型（Ｂ）

排水性舗装に比べ最大 8℃程度の温度低減となった。

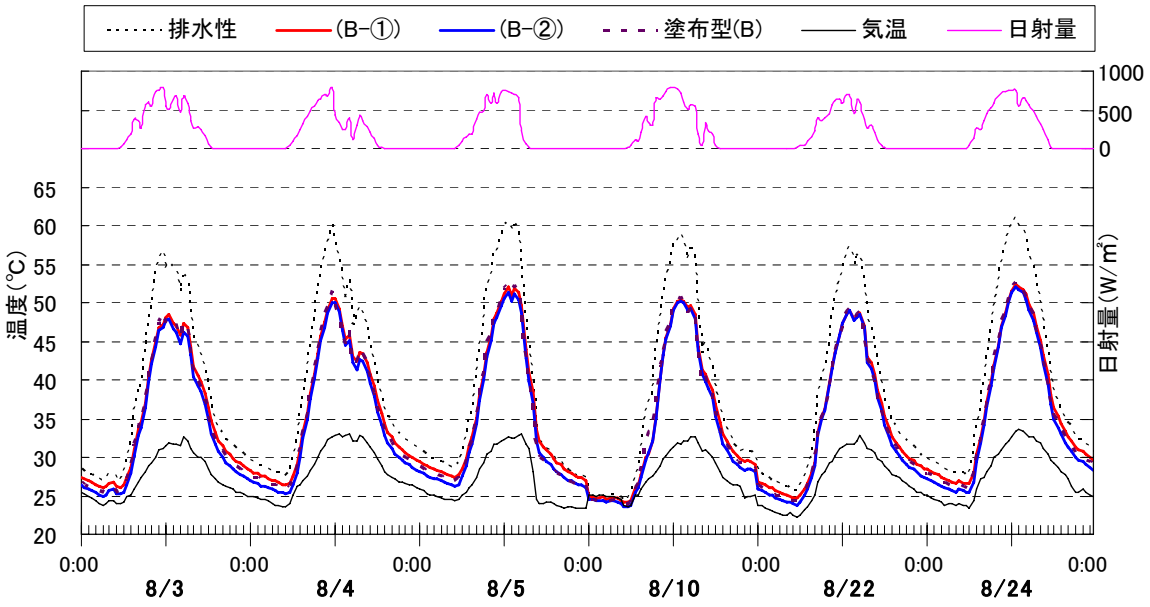


図-3.3.2.3 4m×4m 供試体表面温度

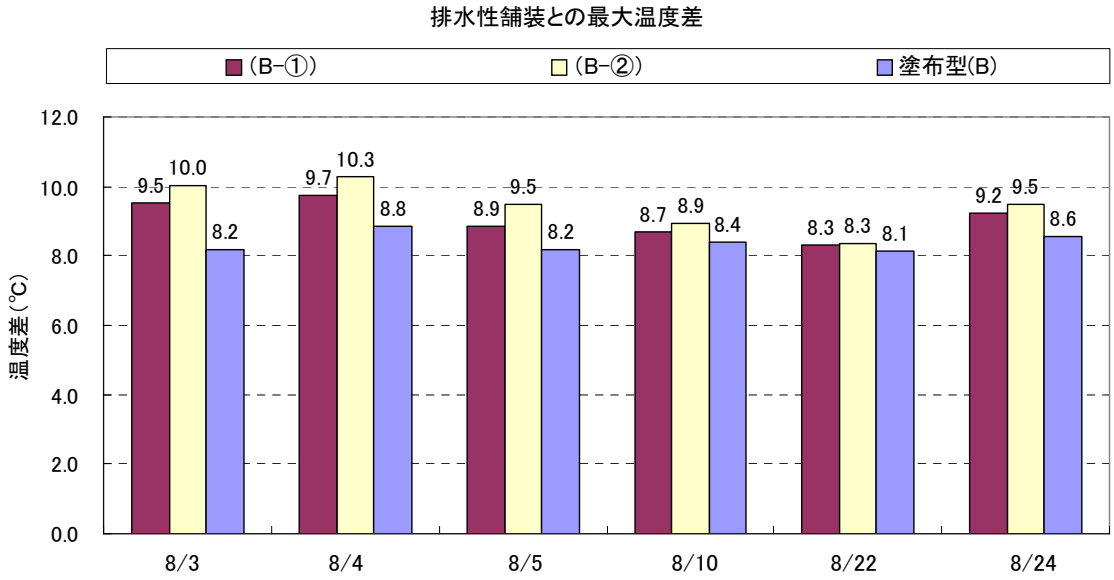


図-3.3.2.4 排水性舗装との最大表面温度差

3） H15 混合物型（C－①）、（C－②）、塗布型（C）

◇混合物型（Ｃ－①）

排水性舗装に比べ最大約 5℃程度の温度低減となり、目標値より低い結果となった。

◇混合物型（Ｃ－②）

排水性舗装に比べ最大約 4℃程度の温度低減となり、目標値より低い結果となった。

◇塗布型（Ｃ）

排水性舗装に比べ最大 6℃程度の温度低減となった。

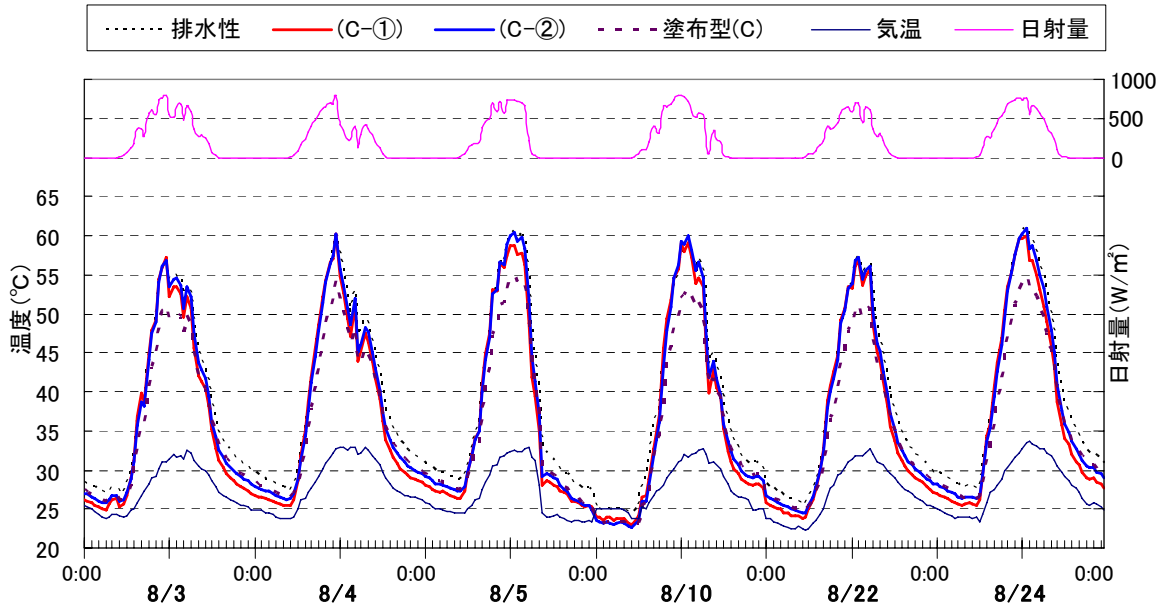


図-3.3.2.5　4m×4m 供試体表面温度

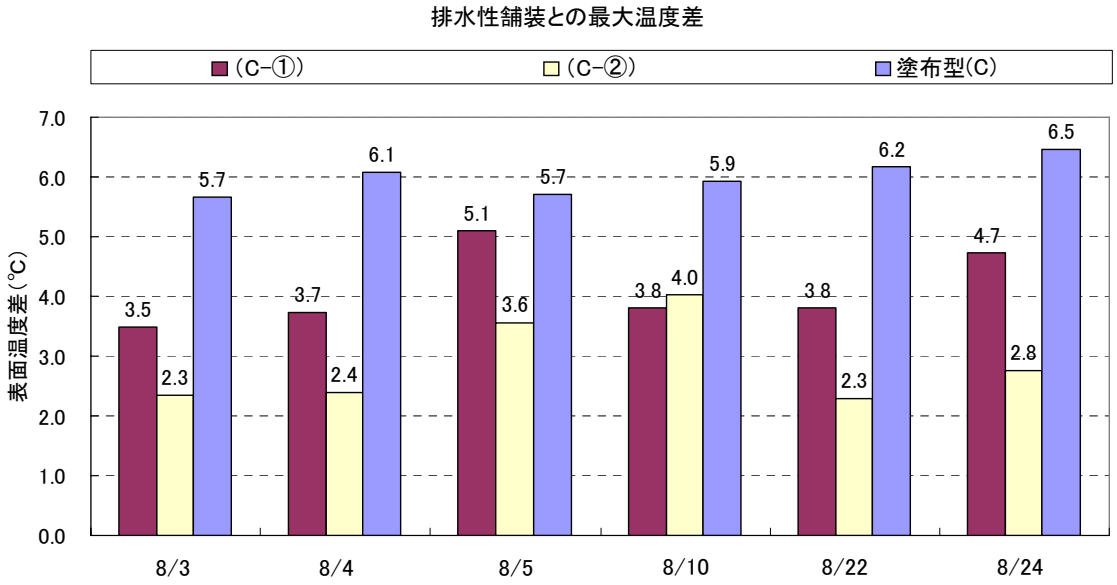


図-3.3.2.6　排水性舗装との最大表面温度差

4） H15 混合物型（D－①）、（D－②）、塗布型（D）

◇混合物型（D－①）

排水性舗装に比べ最大約 3℃程度の温度低減となり、目標値より低い結果となった。

◇混合物型（D－②）

排水性舗装に比べ最大約 5℃程度の温度低減となり、目標値より低い結果となった。

◇塗布型（D）

排水性舗装に比べ最大 3℃程度の温度低減となった。

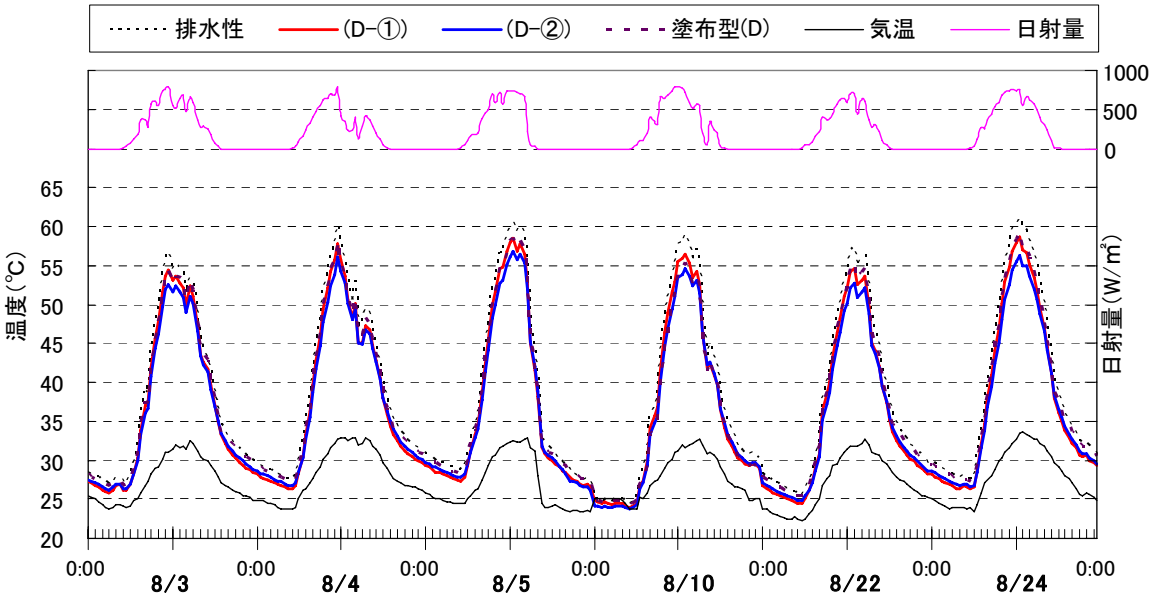


図-3.3.2.7　4m×4m 供試体表面温度

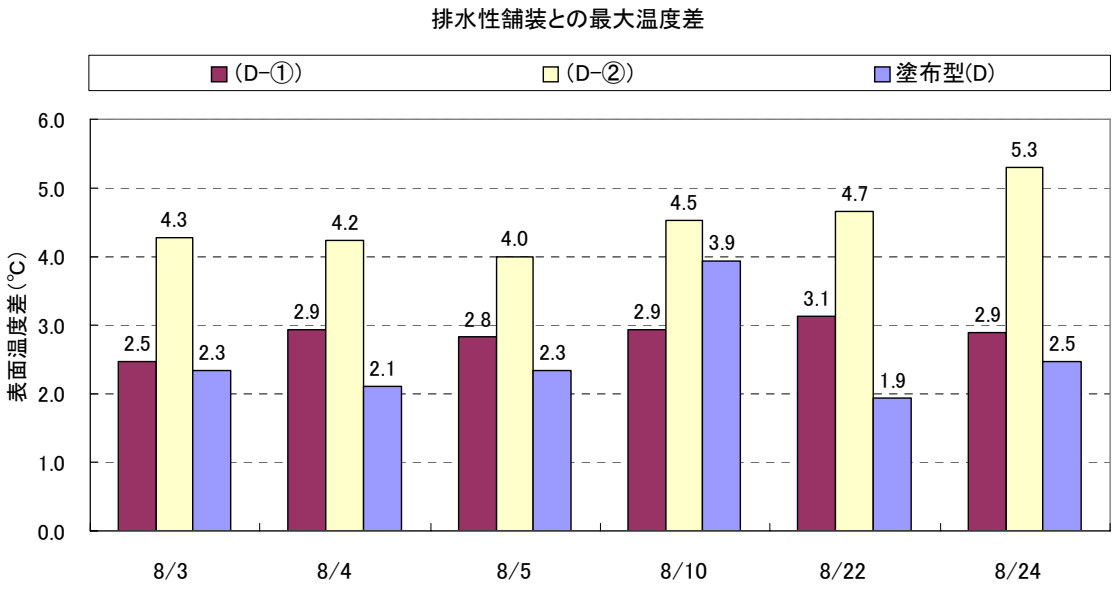


図-3.3.2.8　排水性舗装との最大表面温度差

5） 排水性舗装と密粒度舗装

排水性舗装と密粒度舗装の表面温度を図-　に示す。6時から 16 時頃までの温度上昇時において、最高温度時は排水性、密粒度ともほぼ同じ値を示しているが、16 時頃から6時頃の温度下降時に、最低温度時については排水性が密粒度に比べやや低くなる傾向がみられた。

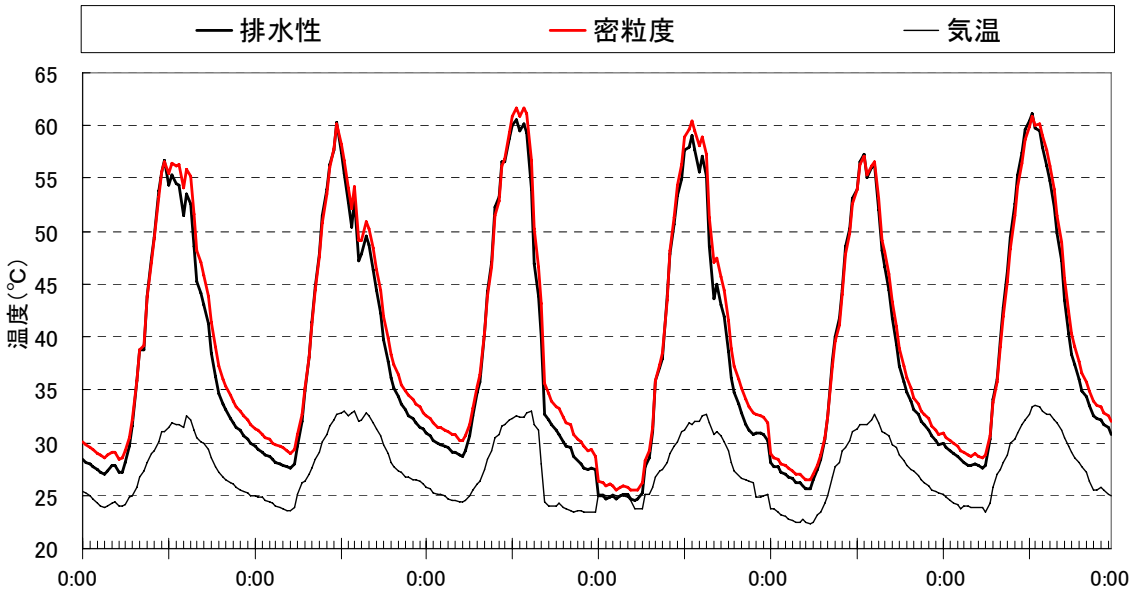


図-3.3.2.9　4m×4m 供試体表面温度 （排水性舗装、密粒度舗装）

（2） 舗装走行実験場試験走路 （平成15年度）

1） H15 混合物型（A－①）

排水性舗装工区に比べタイヤ走行部（OWP）で最大 9℃程度、非走行部（BWP）で最大 8℃程度の温度低減となった。なお、タイヤ走行部は非走行部に比べ温度低減量がやや高くなる傾向がみられた。

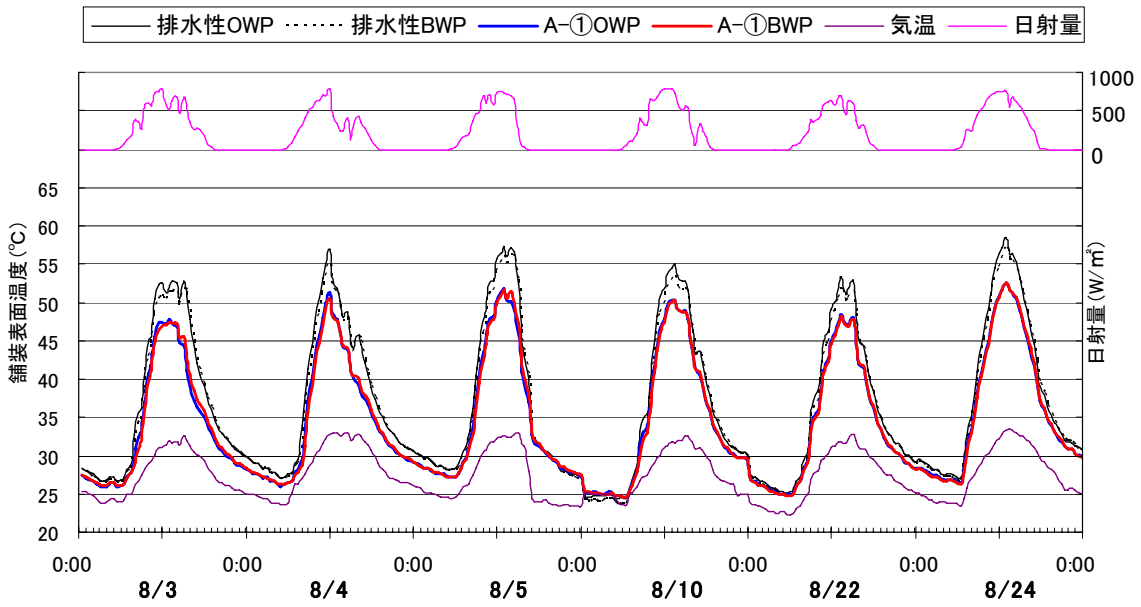


図-3.3.2.10 試験走路表面温度

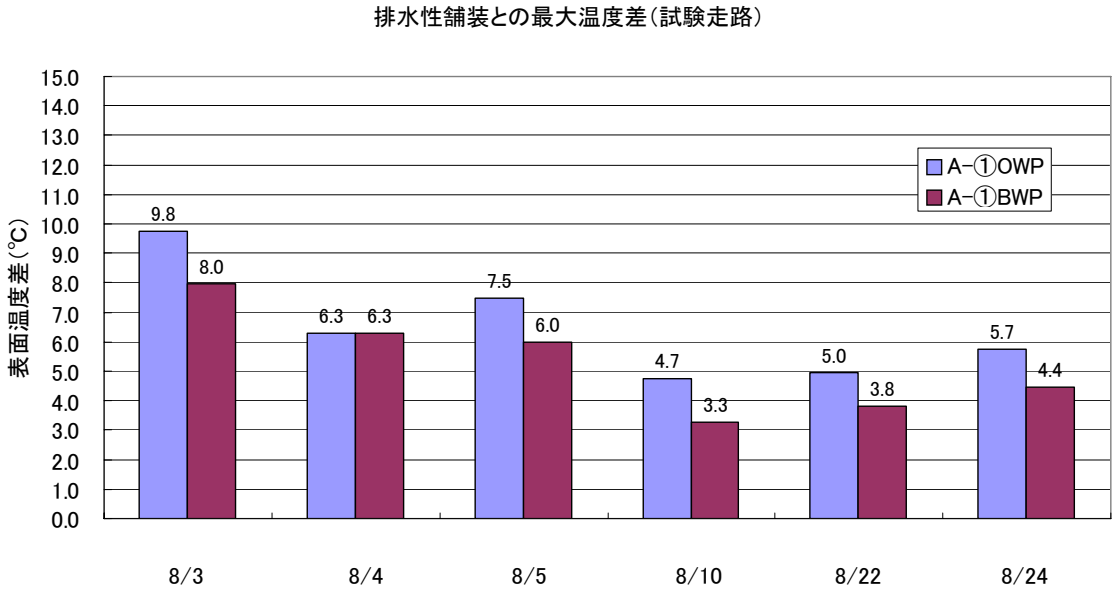


図-3.3.2.11 排水性舗装との最大表面温度差 （試験走路）

2） H15 混合物型（B－①）

排水性舗装工区に比べタイヤ走行部（OWP）で最大 7℃程度、非走行部（BWP）でも最大 7℃程度の温度低減となった。なお、タイヤ走行部は非走行部に比べ温度低減量がやや高くなる傾向がみられた。

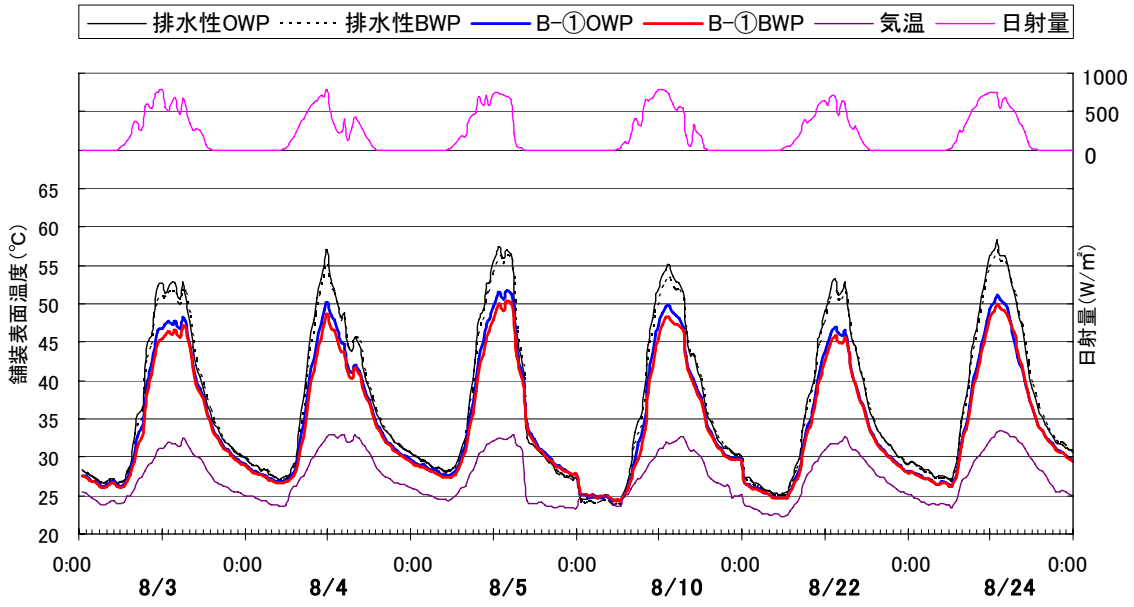


図-3.3.2.12 試験走路表面温度

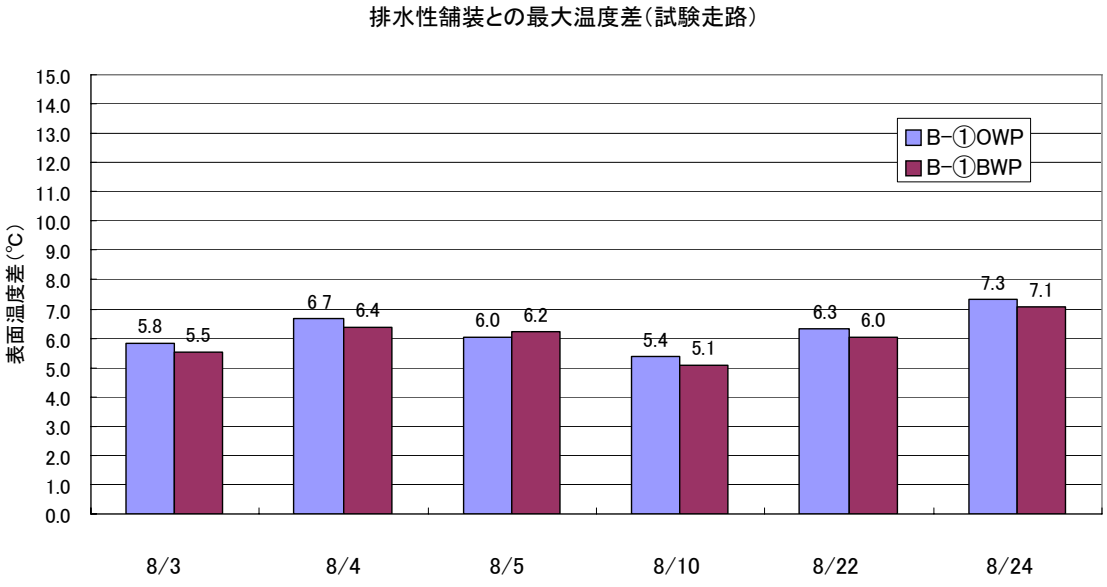


図-3.3.2.13 排水性舗装との最大表面温度差 （試験走路）

3） H15 混合物型（C－①）

排水性舗装工区に比べタイヤ走行部（OWP）で最大 4℃程度、非走行部（BWP）でも最大 4℃程度の温度低減となった。なお、タイヤ走行部は非走行部に比べ温度低減量がやや高くなる傾向がみられた。

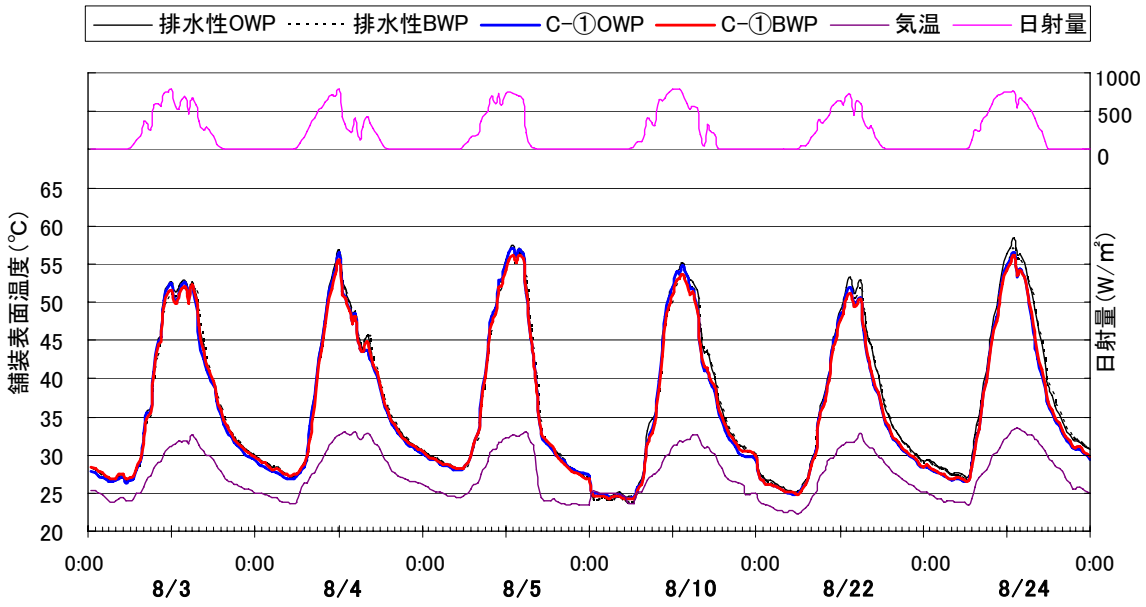


図-3.3.2.14 試験走路表面温度

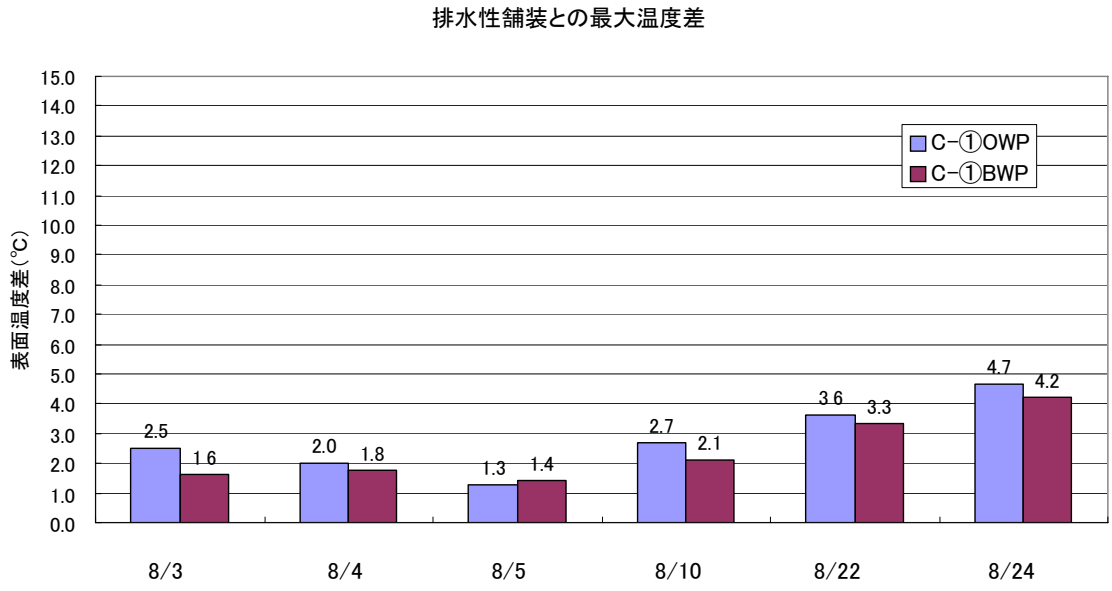


図-3.3.2.15 排水性舗装との最大表面温度差 （試験走路）

4） H15 混合物型（D－①）

排水性舗装工区に比べタイヤ走行部（OWP）で最大 5℃程度、非走行部（BWP）でも最大 8℃程度の温度低減となった。なお、この工区のみタイヤ非走行部が走行部に比べ温度低減量がやや低くなる傾向がみられた。

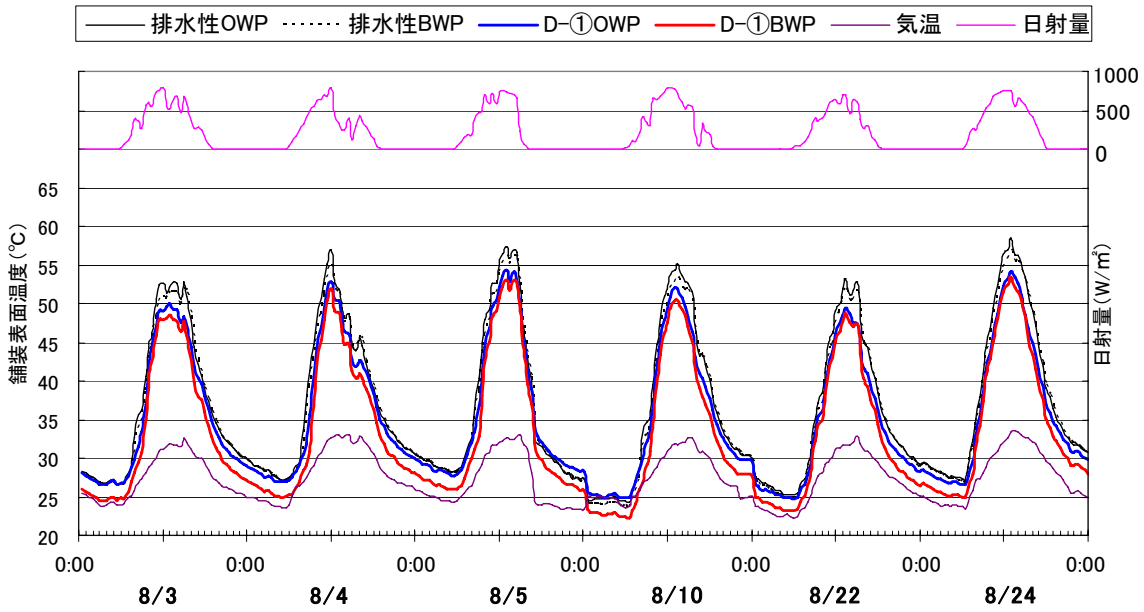


図-3.3.2.16 試験走路表面温度

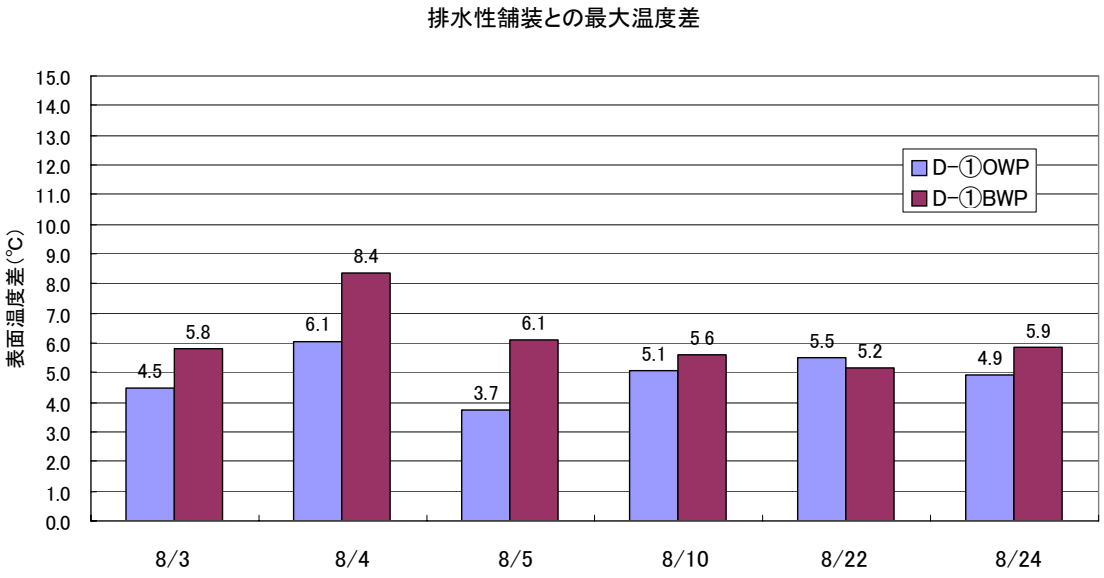


図-3.3.2.17 排水性舗装との最大表面温度差 （試験走路）

３．３．３　舗装内部温度

（1）　4m×4m供試体　（内部温度）

1）　H15 混合物型（A－①）

最大温度差約３℃、平均温度差約１℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果はそれ程ないと考えられた。また、夜間早朝については温度が逆転する傾向がみられた。

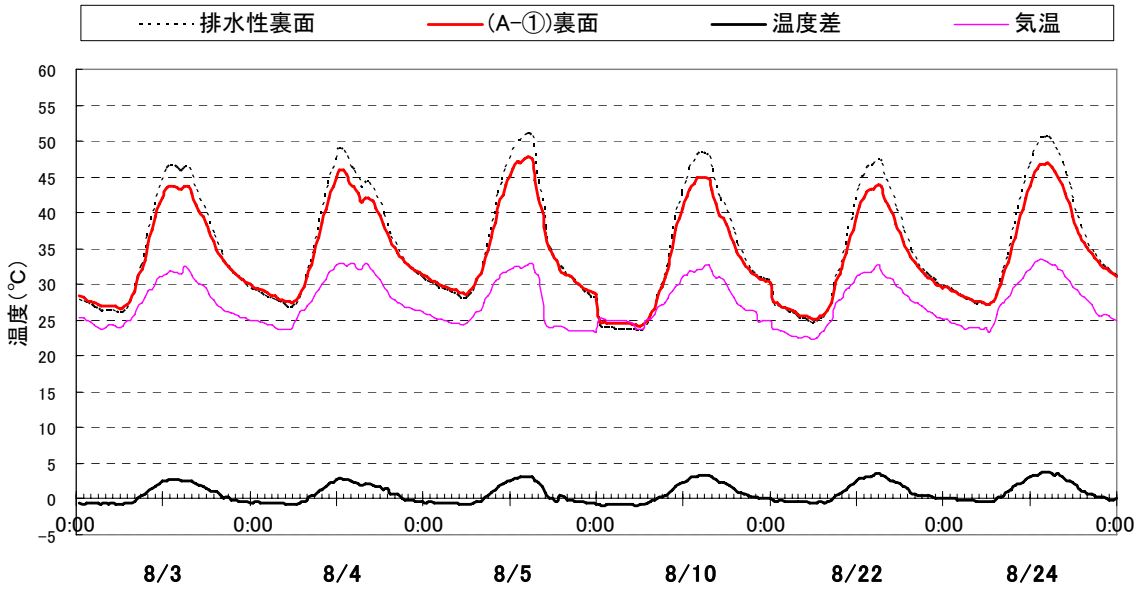


図-3.3.3.1　排水性舗装との内部温度差

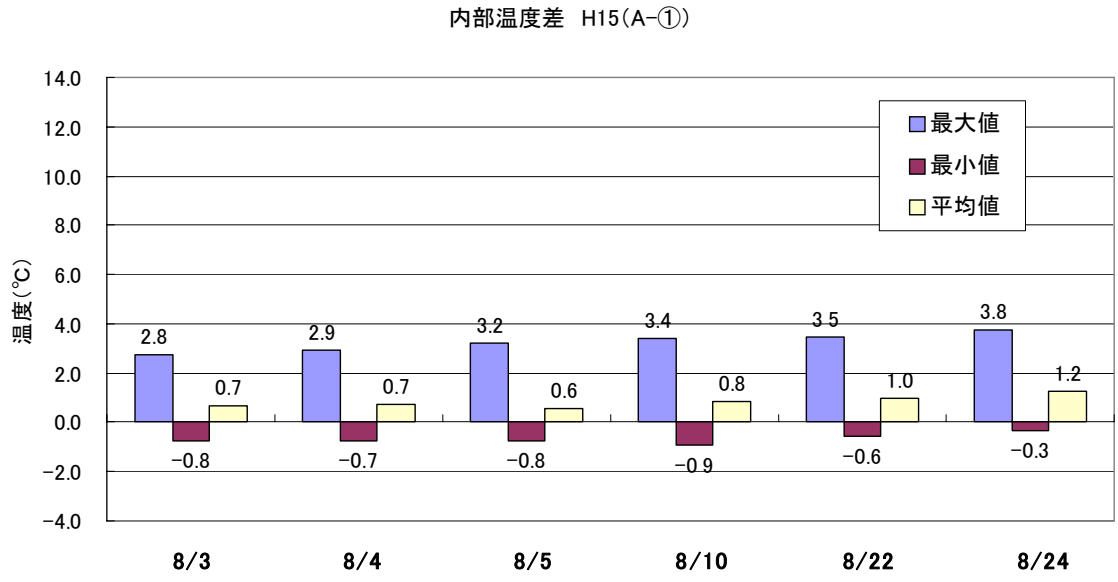


図-3.3.3.2　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

2） H15 混合物型（A－②）

最大温度差約３℃、平均温度差約１℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果はそれ程ないと考えられた。また、夜間早朝については温度が逆転する傾向がみられた。

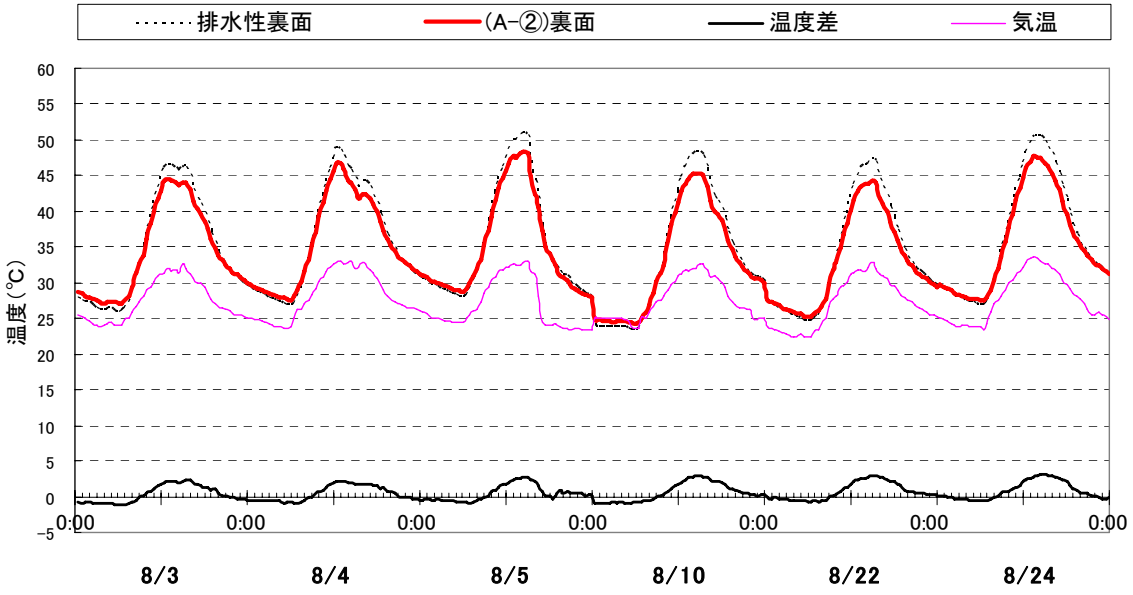


図-3.3.3.3 排水性舗装との内部温度差

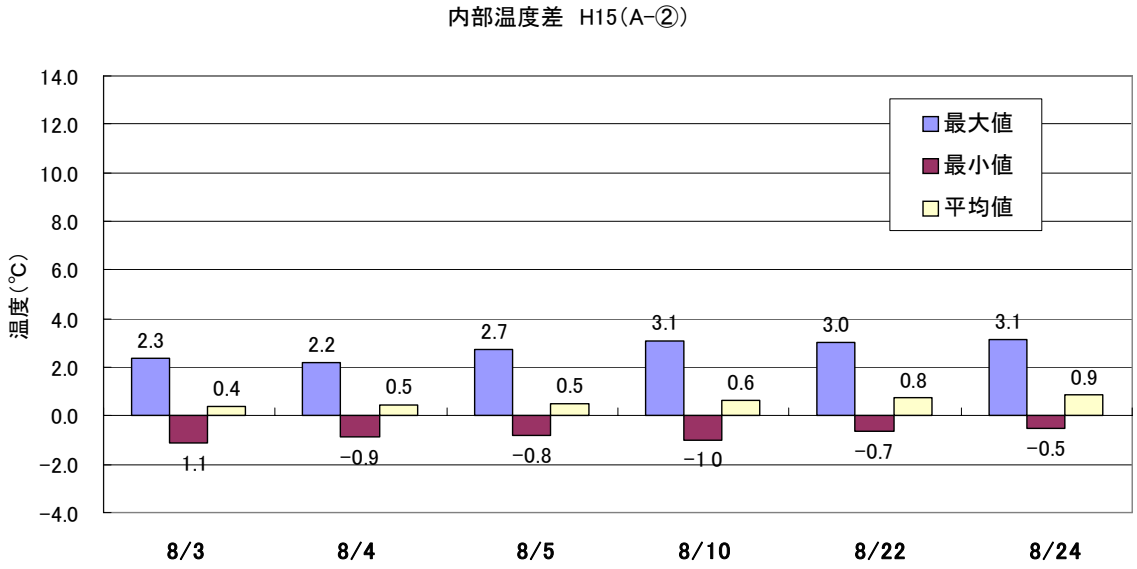


図-3.3.3.4 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

3） H15 塗布型（A）

最大温度差約７℃、平均温度差約３℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がある程度みられた。

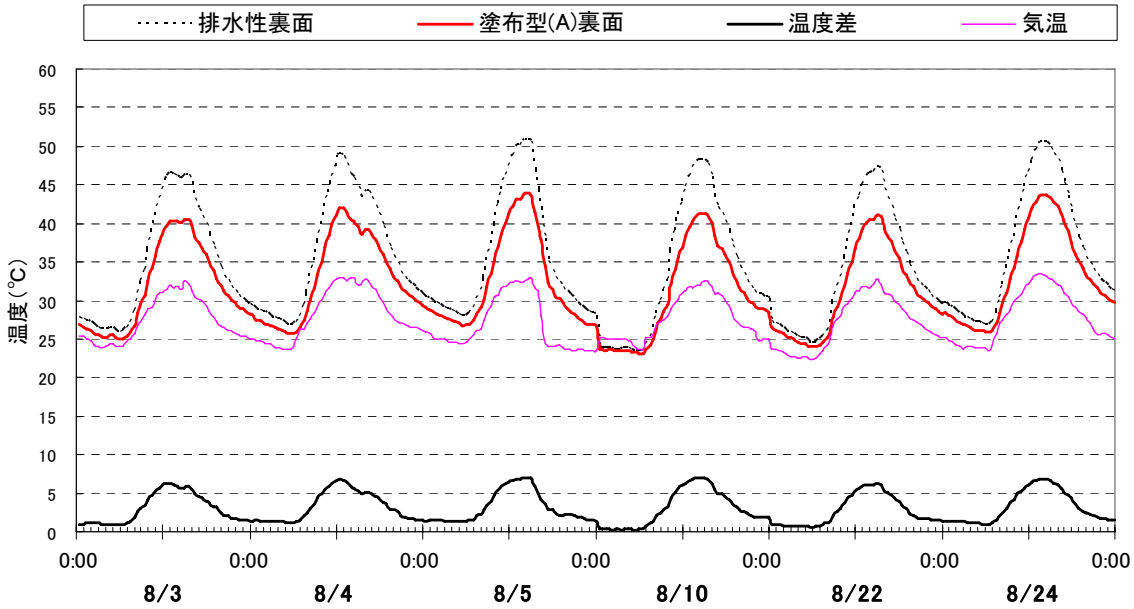


図-3.3.3.5 排水性舗装との内部温度差

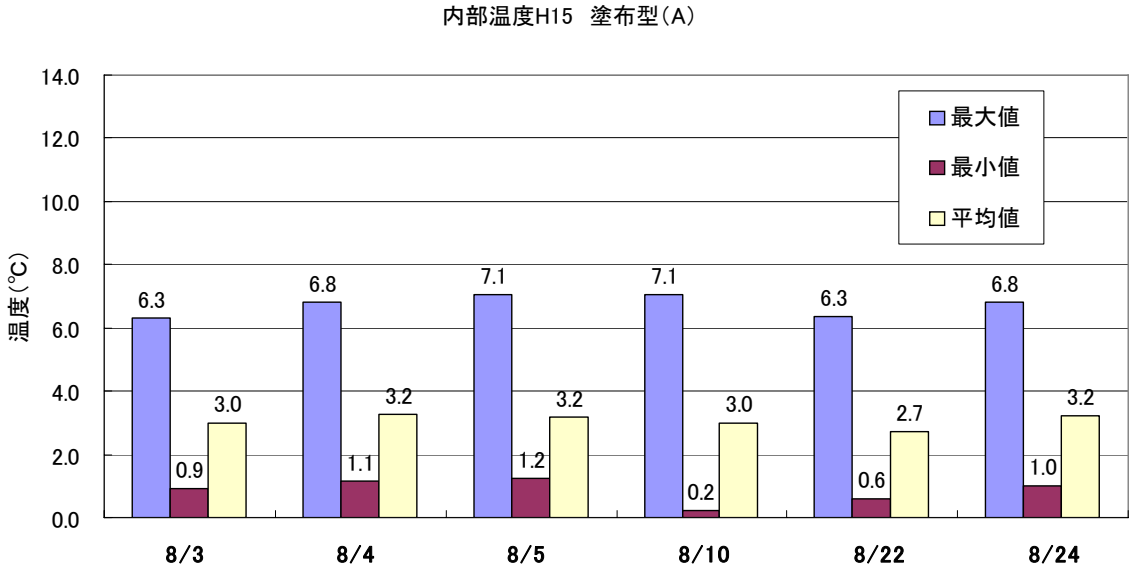


図-3.3.3.6 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

4） H15 混合物型（B－①）

最大温度差約６℃、平均温度差約２℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がある程度みられた。しかし、夜間早朝については、温度が逆転する傾向がみられた。

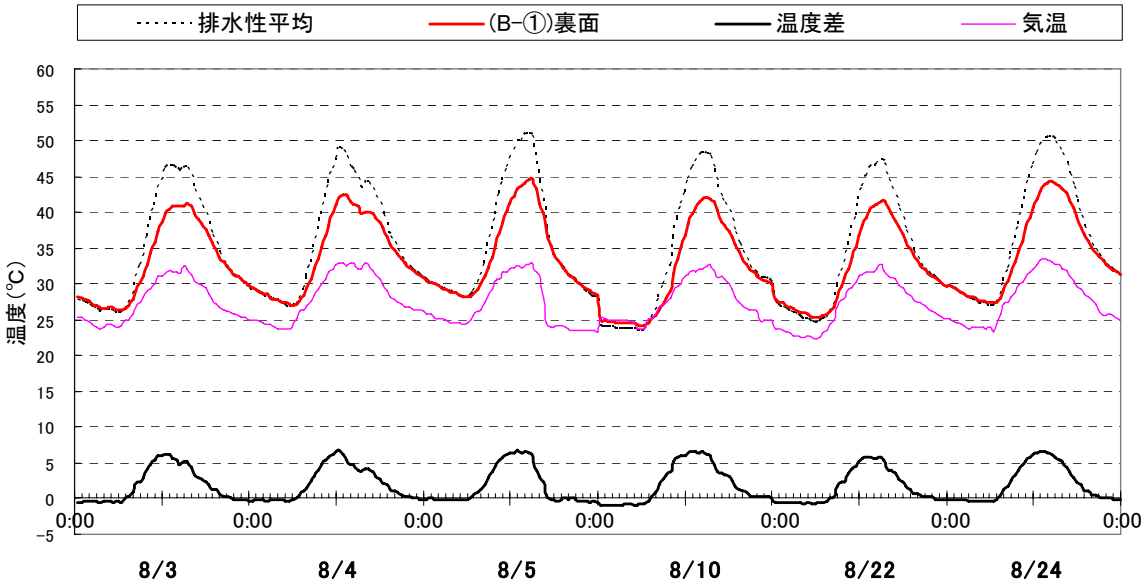


図-3.3.3.7 排水性舗装との内部温度差

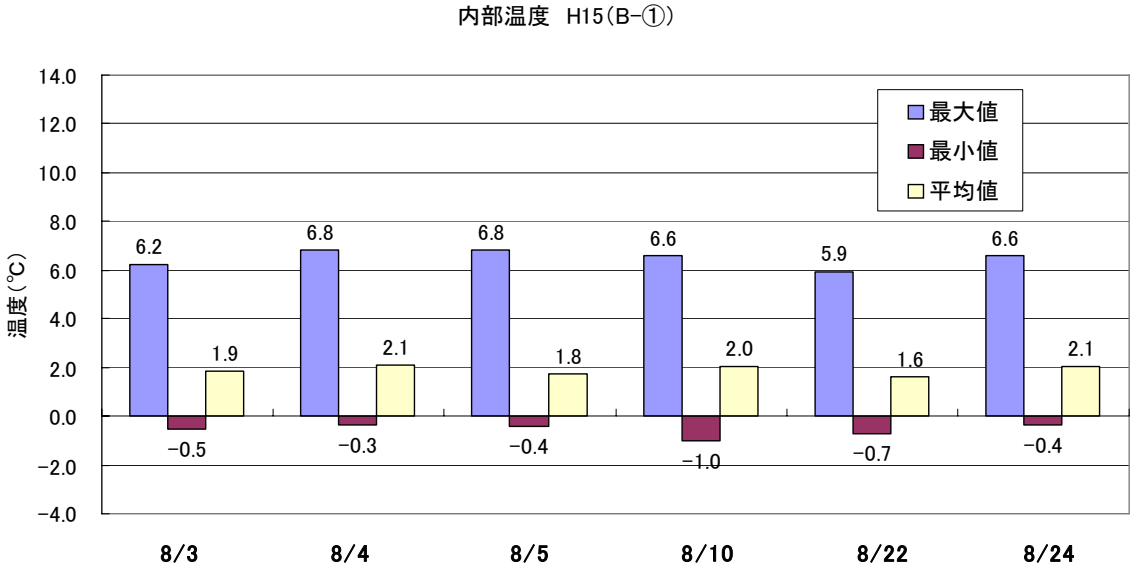


図-3.3.3.8 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

5） H15 混合物（B－②）

最大温度差約８℃、平均温度差約３℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がある程度みられた。しかし、夜間早朝については、温度が逆転する傾向がみられた。

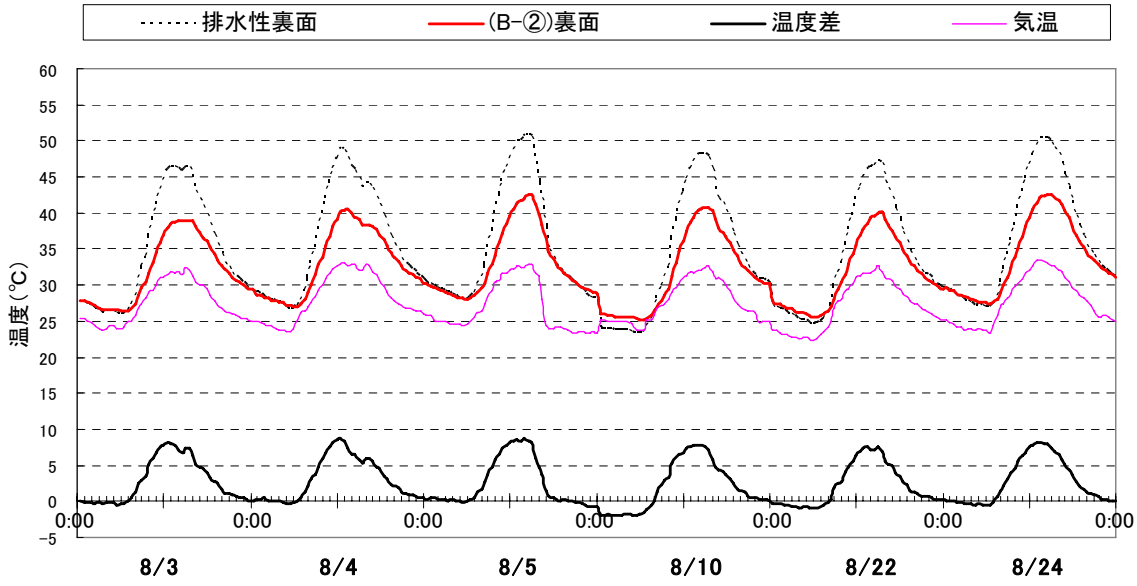


図-3.3.3.9 排水性舗装との内部温度差

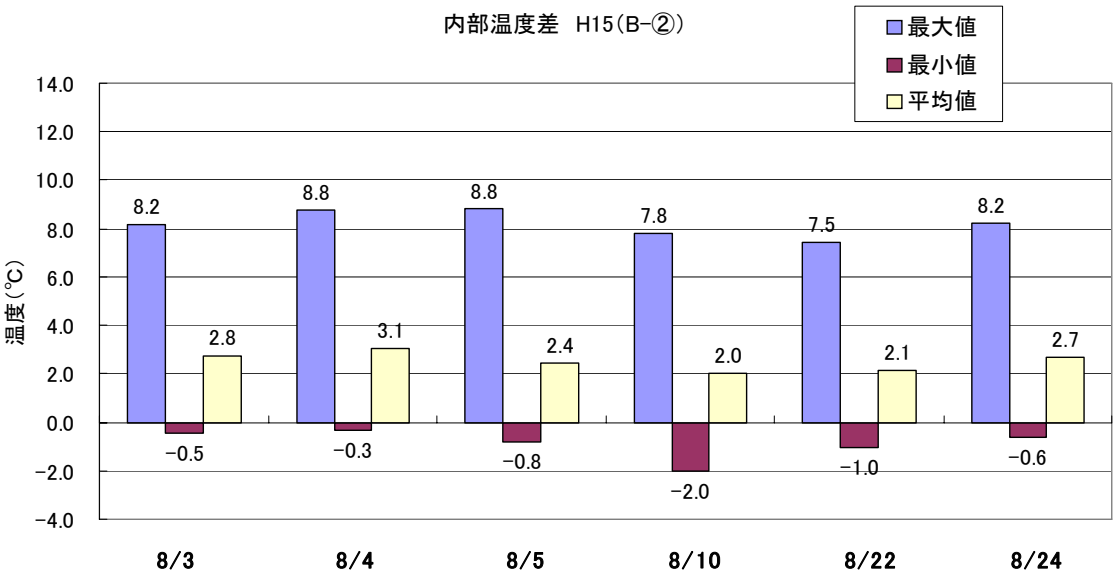


図-3.3.3.10 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

6） H15 塗布型（B）

最大温度差約５℃、平均温度差約２℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がある程度みられた。しかし、夜間早朝については、温度が逆転する傾向がみられた。

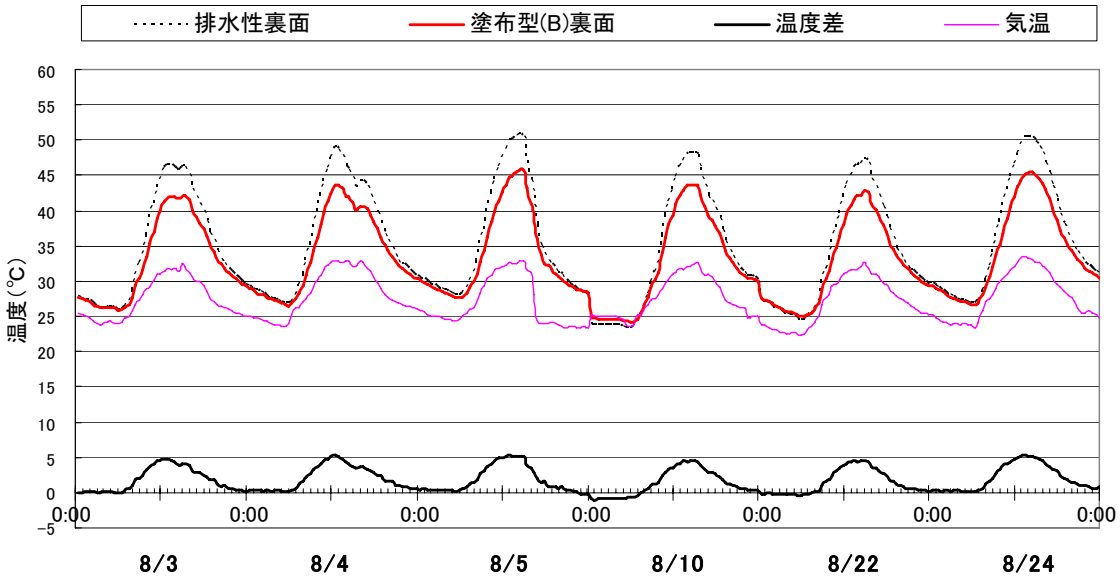


図-3.3.3.11　排水性舗装との内部温度差

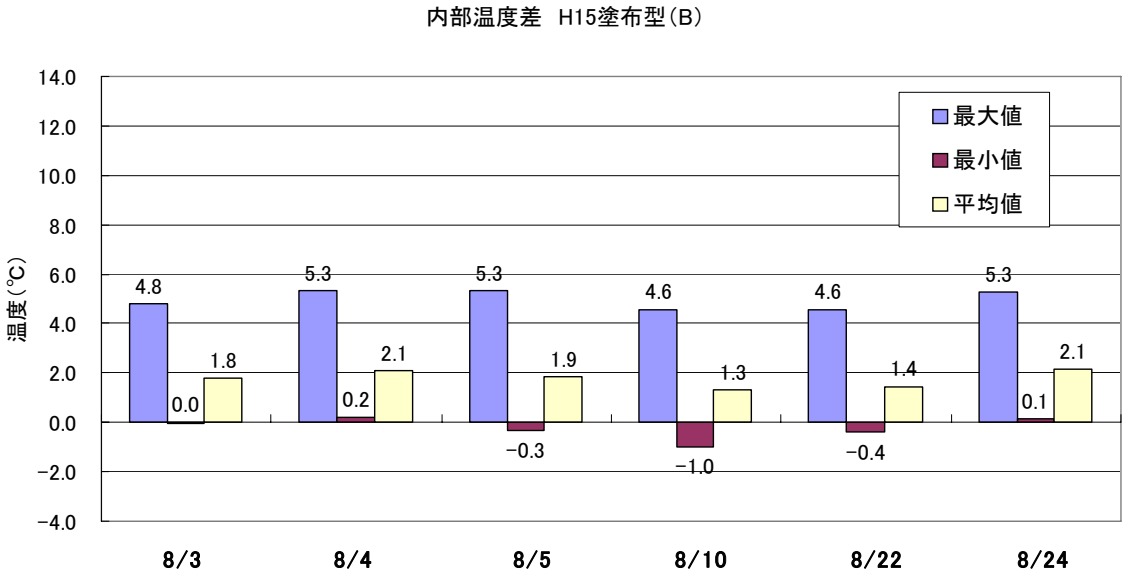


図-3.3.3.12　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

7） H15 混合物型（C－①）

最大温度差約４℃、平均温度差約０℃、夜間早朝については、温度差が最大約２℃程度逆転する傾向がみられ、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果はそれ程ないと考えられた。

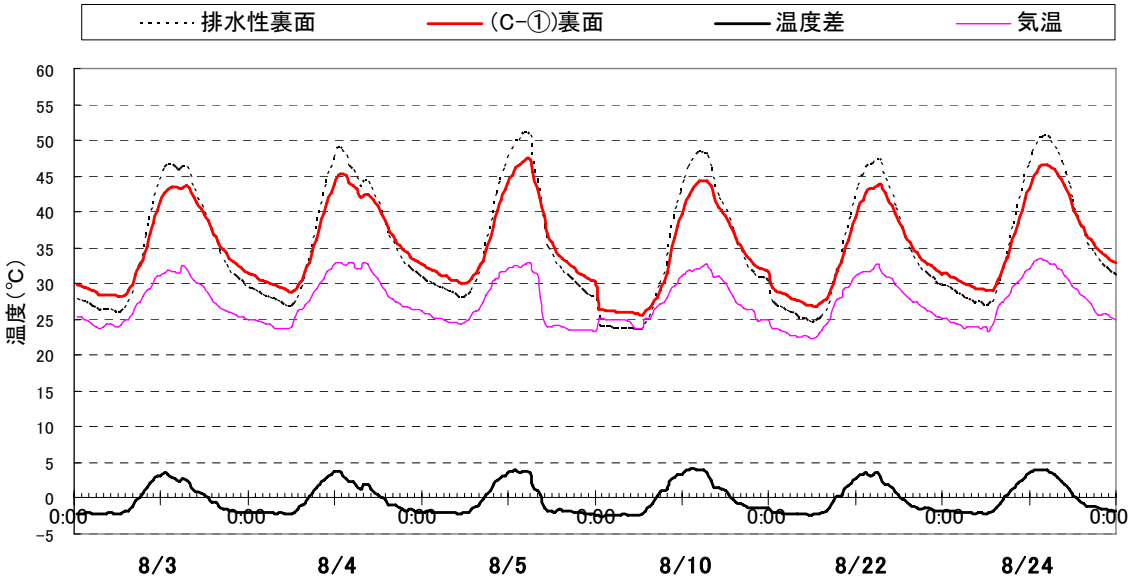


図-3.3.3.13 排水性舗装との内部温度差

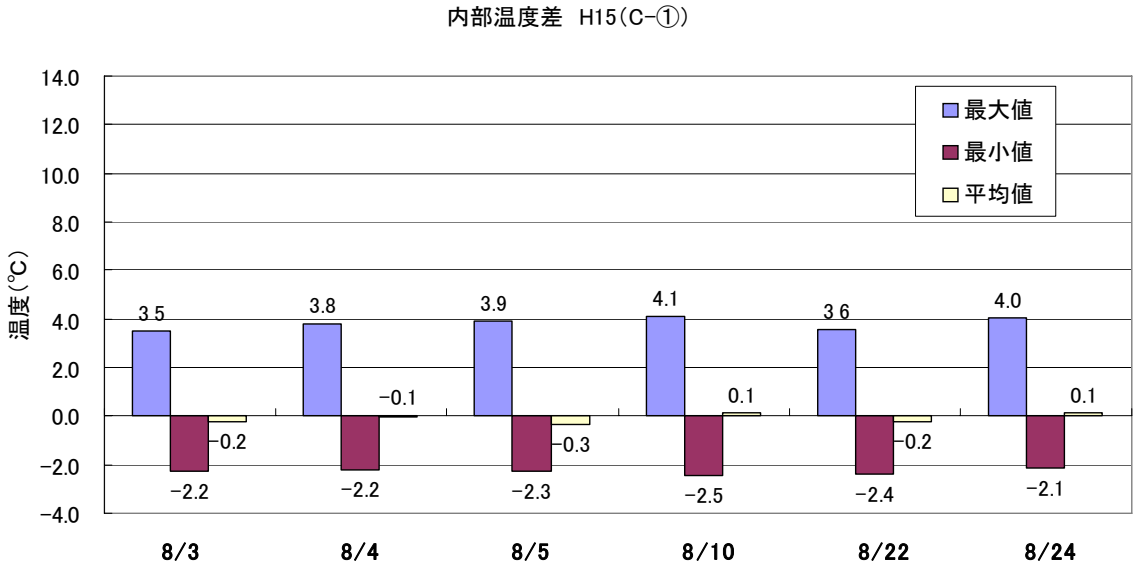


図-3.3.3.14 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

8） H15 混合物型（C－②）

最大温度差約４℃、平均温度差約０℃、夜間早朝については、温度差が最大約２℃程度逆転する傾向がみられ、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果はそれ程ないと考えられた。

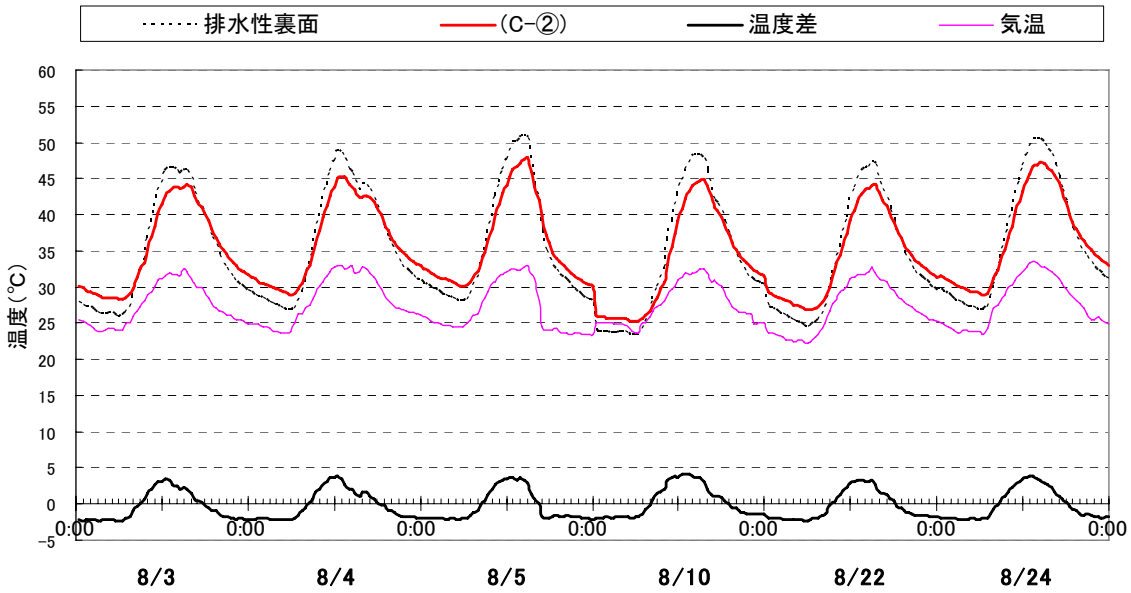


図-3.3.3.15　排水性舗装との内部温度差

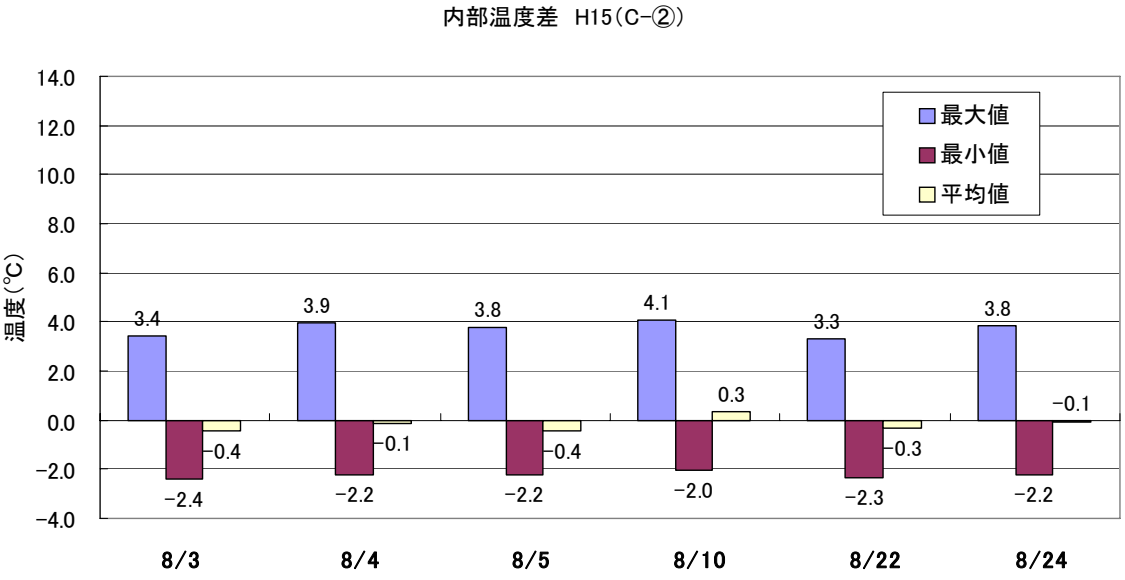


図-3.3.3.16　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

9） H15 塗布型(C)

最大温度差約３℃、平均温度差約０℃、夜間早朝については、温度差が最大約１℃程度逆転する傾向がみられ、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果はそれ程ないと考えられた。

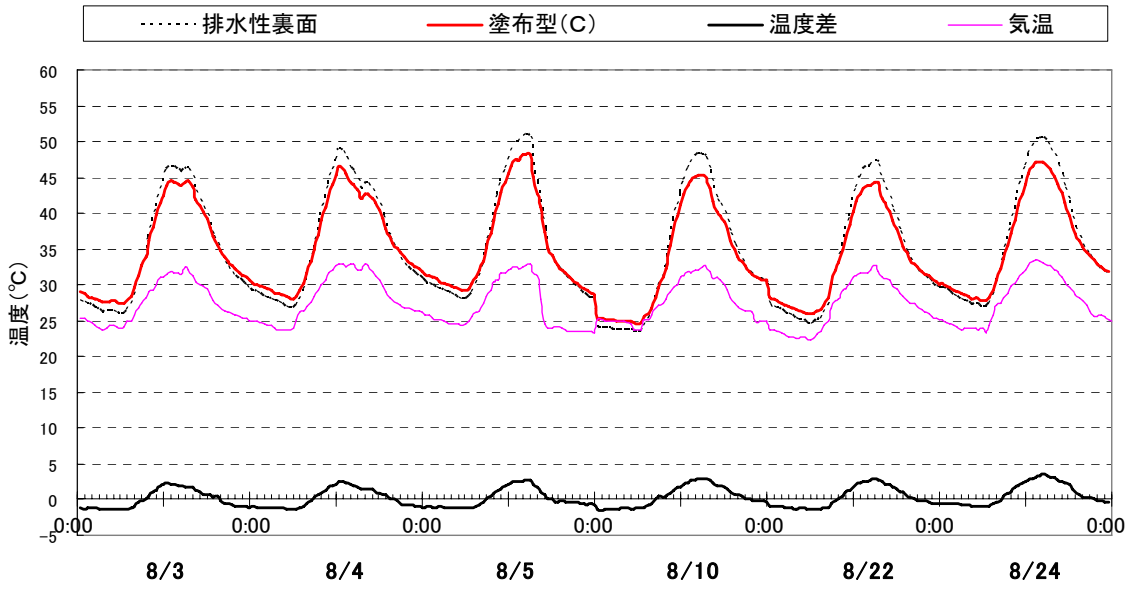


図-3.3.3.17 排水性舗装との内部温度差

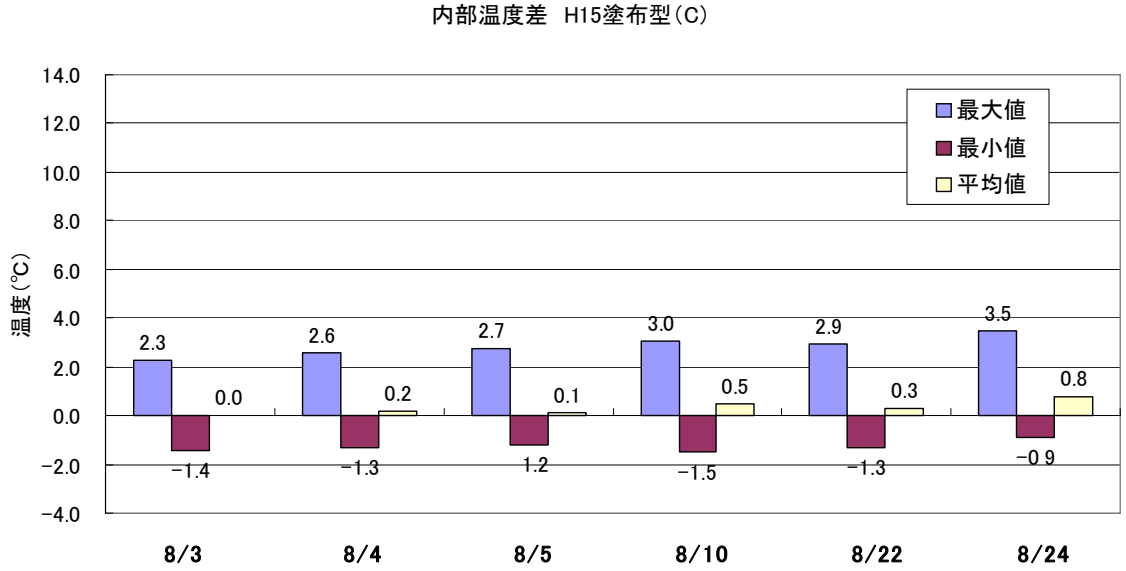


図-3.3.3.18 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

10） H15 混合物型（D－①）

最大温度差約２℃、平均温度差約０℃、夜間早朝については、温度差が最大約１℃程度逆転する傾向がみられ、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果はそれ程ないと考えられた。

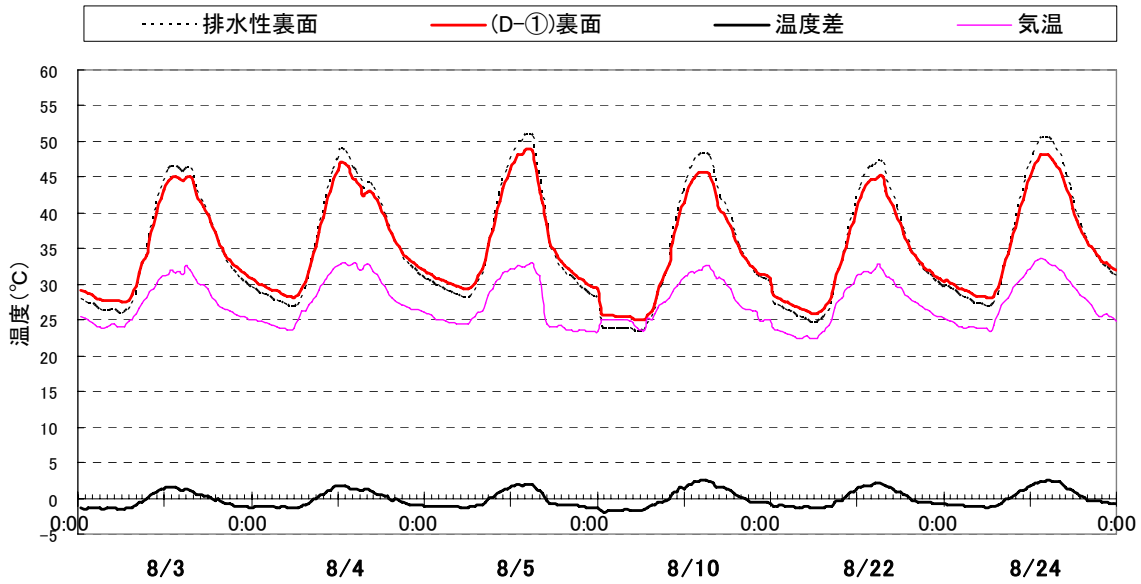


図-3.3.3.19　排水性舗装との内部温度差

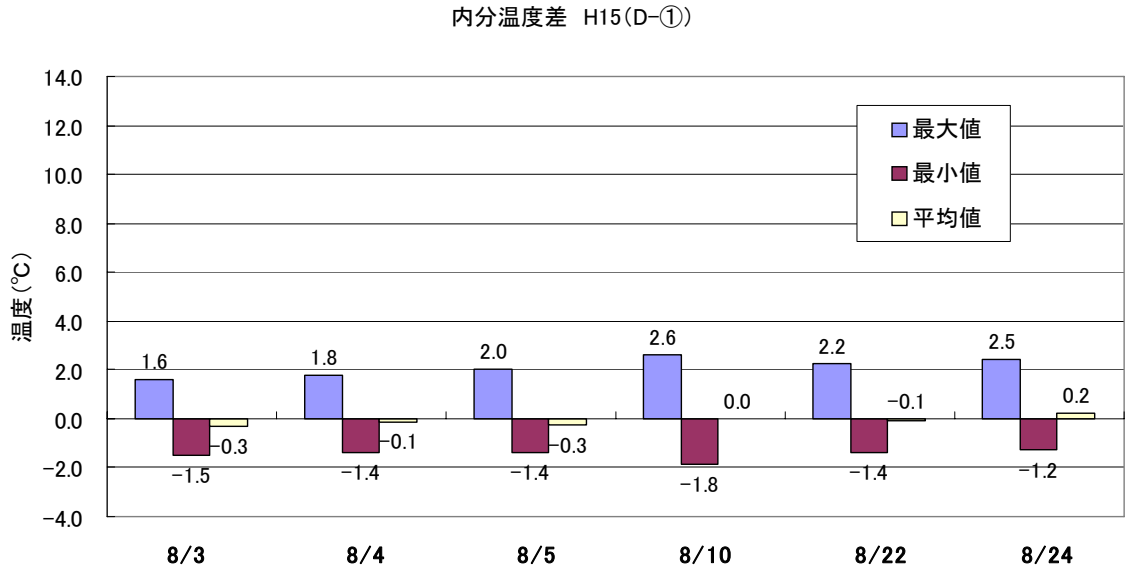


図-3.3.3.20　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

11） H15 混合物型(D－②)

最大温度差約１℃、平均温度差約０℃、夜間早朝については、温度差が最大約１℃程度逆転する傾向がみられ、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果はそれ程ないと考えられた。

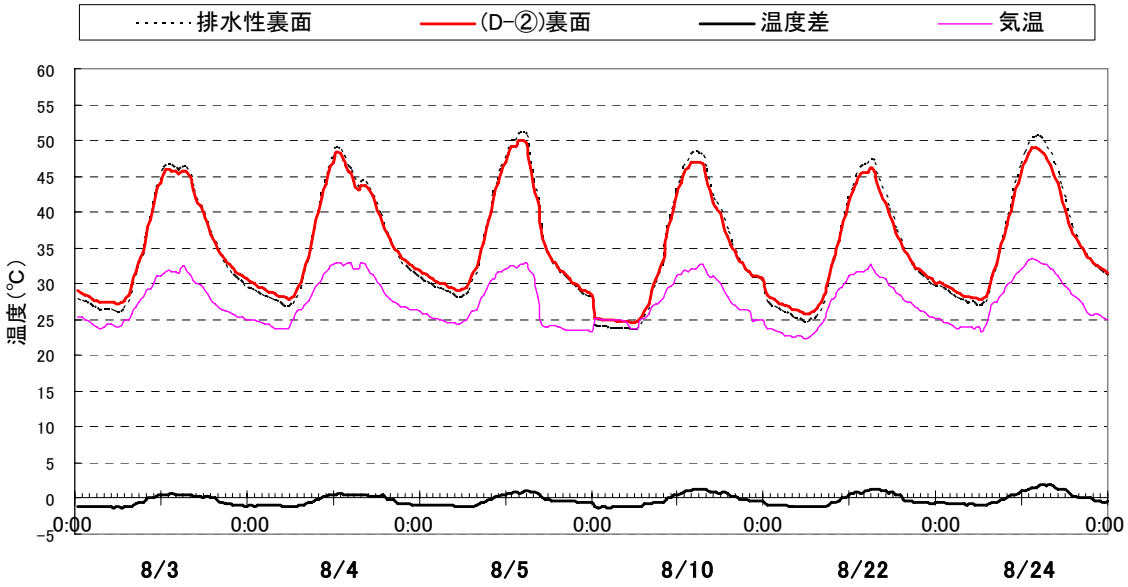


図-3.3.3.21　排水性舗装との内部温度差

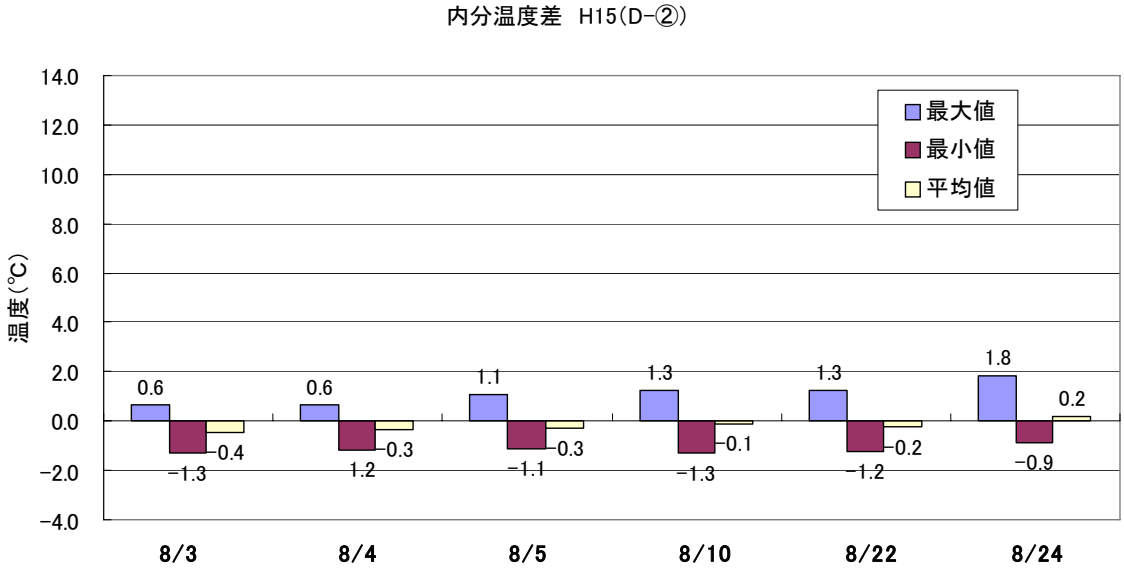


図-3.3.3.22　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

12） H15 塗布型(D)

最大温度差はほとんど無くまた、温度差が逆転する傾向がみられ、排水性舗装より蓄熱する傾向がみられた。

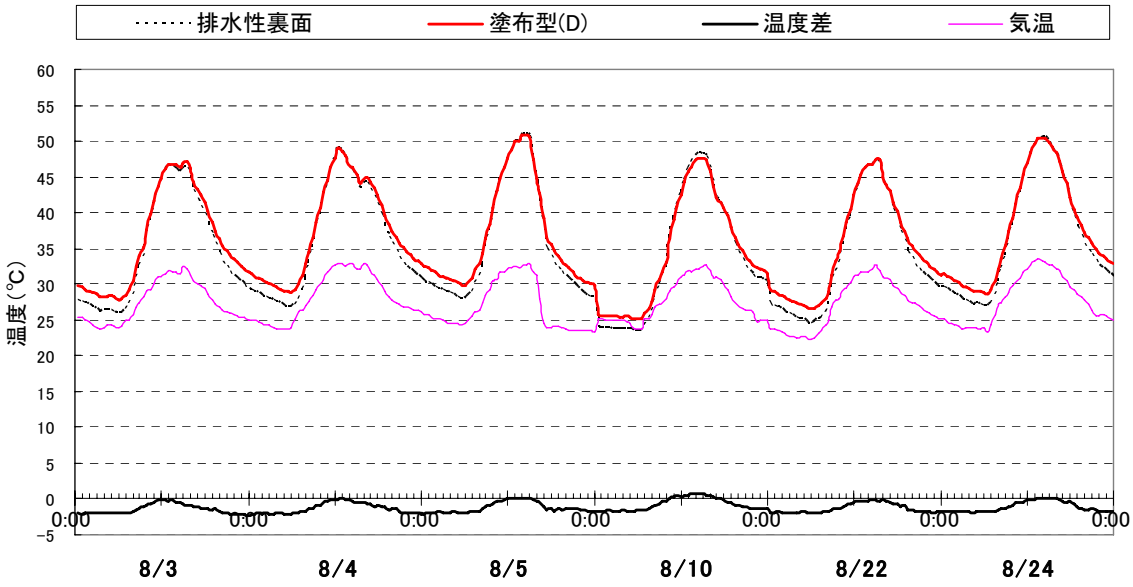


図-3.3.3.23 排水性舗装との内部温度差

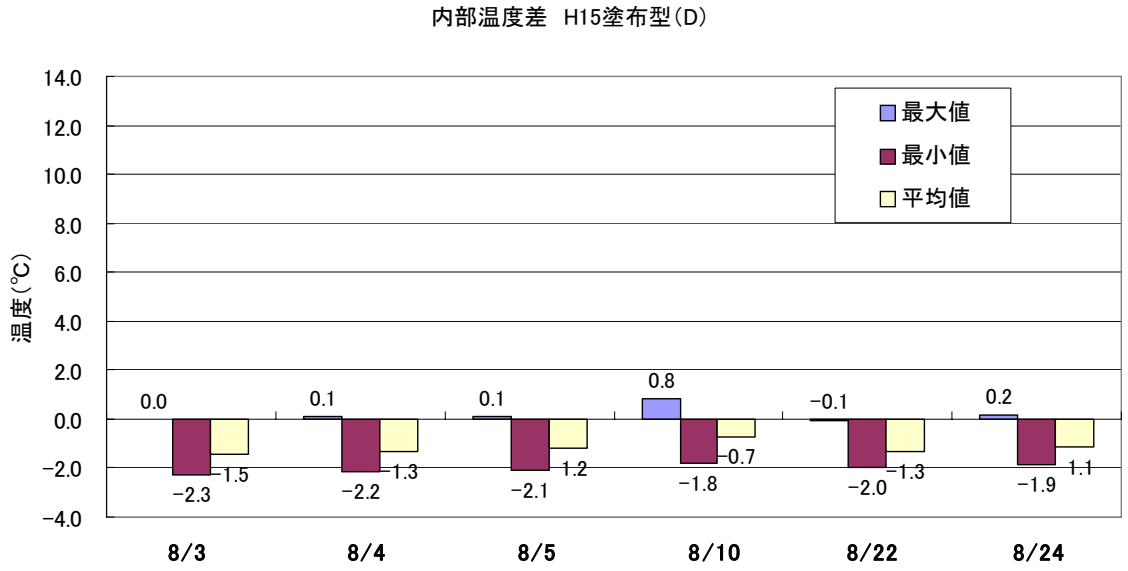


図-3.3.3.24 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

３．３．４　日射反射率（アルベド）の測定結果

（1）　4m×4m供試体　（平成15年度）

アルベドの調査結果を図-3.3.4.1 に示す。

測定高さによる相違を確認するため測定高さ 20cm と 50cm で行ったが、測定高さによるアルベドの相違はほとんどみられなかった。以後測定高さは 20cm で行う。

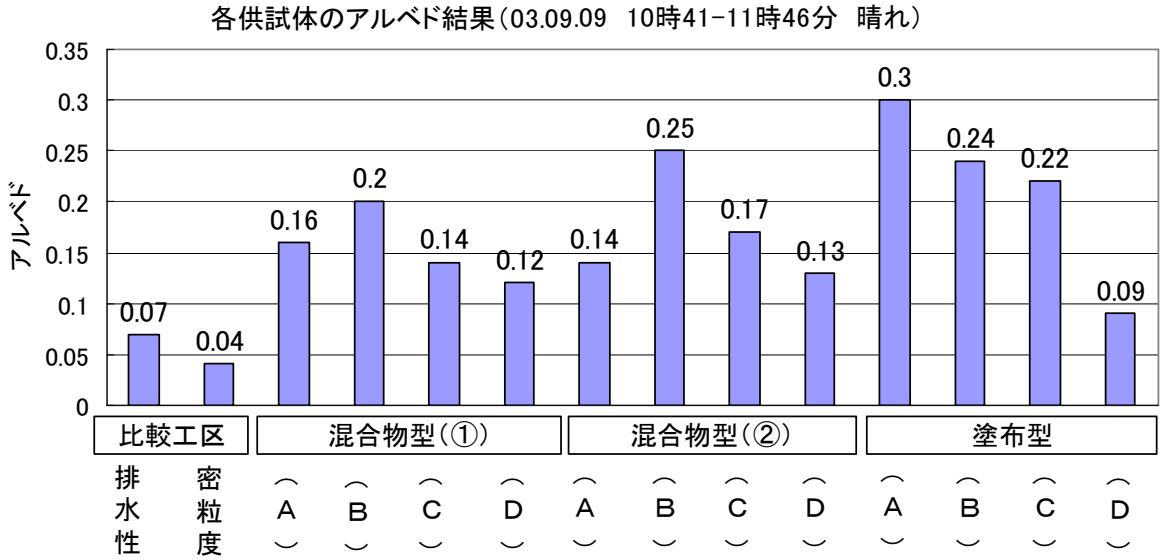


図-3.3.4.1　アルベド調査結果

３．３．４　明度測定結果　（平成15年度）

色彩色差計による明度の調査結果を図-3.3.5.1 に示す。

混合物①については目標明度 L*50 であるが、目標に届かない箇所もみられた。

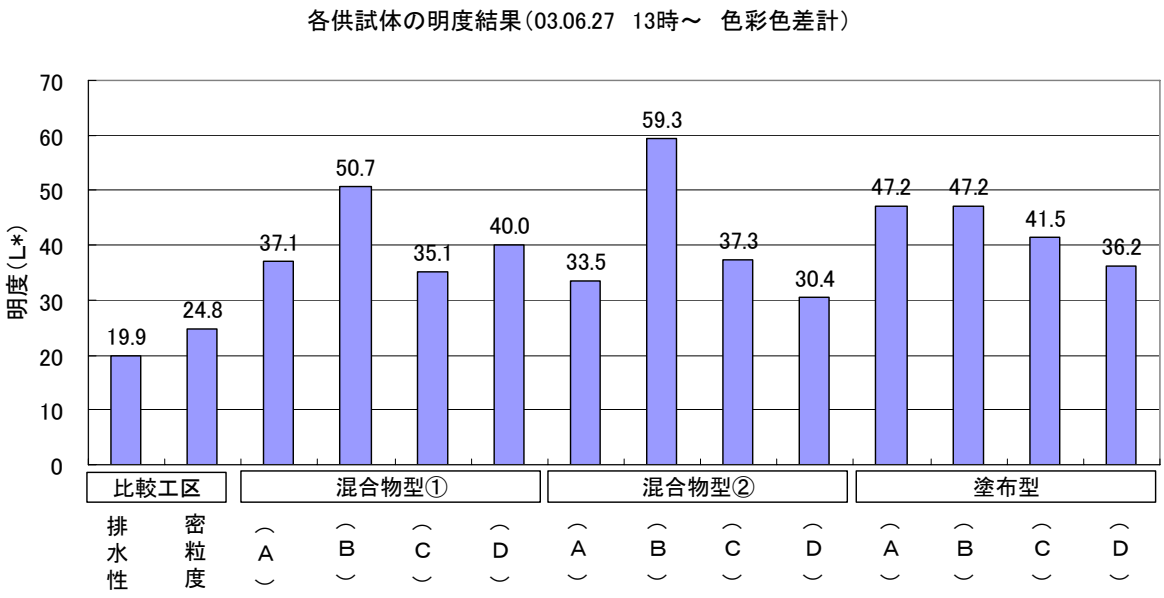


図-3.3.5.1　明度調査結果

３．３．６ 路面性状の測定結果 （平成15年度）

（1） H15 縦断凹凸量

縦断凹凸量測定結果について図-3.3.6.1、表-3.3.6.1 に示す。

排水性舗装に比べ全ての工区において、標準偏差が小さく、25 万輪走行後も良好な結果となった。

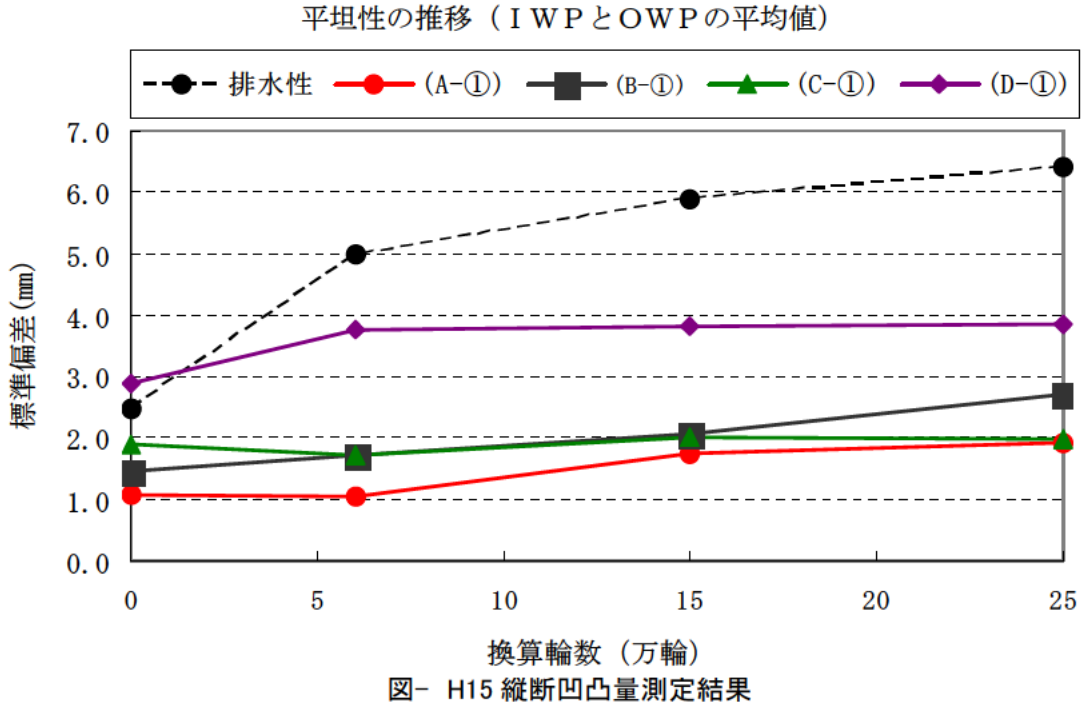


図- H15 縦断凹凸量測定結果

表-3.3.6.1 縦断凹凸量測定結果一覧表

標準偏差(mm)

工　区	測定位置	49kN換算輪数			
		０万輪	６万輪	１５万輪	２５万輪
排水性	内側（ＩＷＰ）	2.46	4.43	4.78	5.27
	外側（ＯＷＰ）	2.49	5.53	6.97	7.58
	平均値	2.48	4.98	5.88	6.43
(A-①)	内側（ＩＷＰ）	1.12	1.25	1.80	2.17
	外側（ＯＷＰ）	1.04	0.87	1.68	1.68
	平均値	1.08	1.06	1.74	1.93
(B-①)	内側（ＩＷＰ）	1.18	1.44	2.04	2.51
	外側（ＯＷＰ）	1.74	1.98	2.11	2.90
	平均値	1.46	1.71	2.08	2.71
(C-①)	内側（ＩＷＰ）	1.80	2.04	2.23	2.08
	外側（ＯＷＰ）	2.01	1.41	1.78	1.86
	平均値	1.91	1.73	2.01	1.97
(D-①)	内側（ＩＷＰ）	2.41	3.43	3.01	2.90
	外側（ＯＷＰ）	3.34	4.08	4.63	4.80
	平均値	2.88	3.76	3.82	3.85

（2） H15 横断凹凸量

横断凹凸量測定結果について図-3.3.6.2、表-3.3.6.2 に示す。

排水性舗装に比べて、全ての工区においてわだち掘れ量が小さく、25 万輪走行後も良好な結果となった。

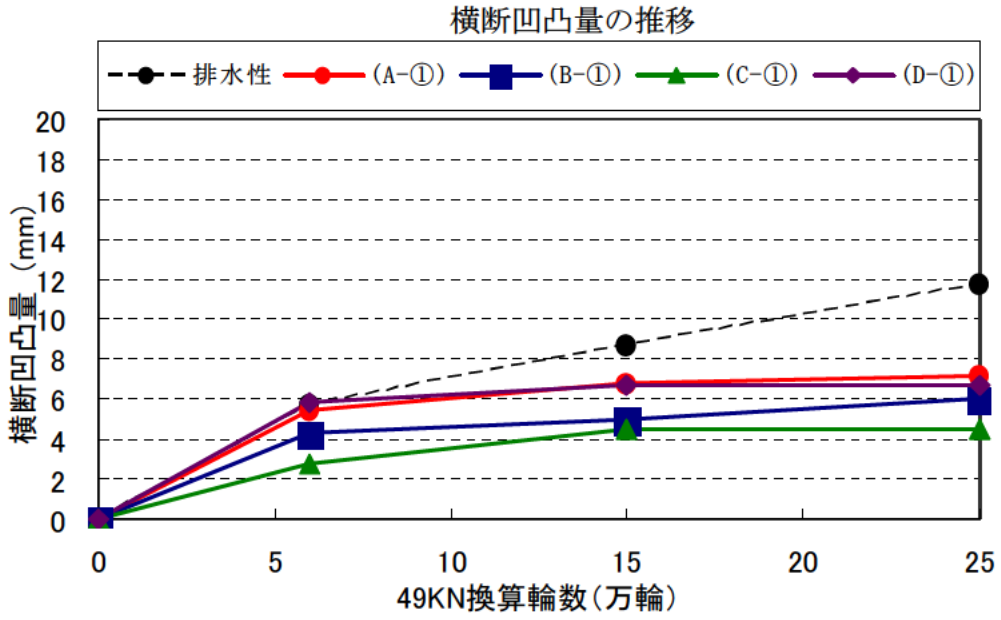


図-3.3.6.2 H15 横断凹凸量測定結果

表-3.3.6.2 H15 横断凹凸量測定結果

初期値（本年度）との比較　　単位：m

工区	49kN換算輪数	0 万輪			6 万輪			15 万輪			25 万輪		
	測定位置	内側	外側	平均値	内側	外側	平均値	内側	外側	平均値	内側	外側	平均値
排水性	測線1	0.0	0.0	0.0	3.5	5.0	4.3	6.5	9.0	7.8	7.0	13.0	10.0
	測線2	0.0	0.0	0.0	5.5	6.5	6.0	7.0	8.5	7.8	7.5	9.5	8.5
	測線3	0.0	0.0	0.0	3.5	5.5	4.5	3.5	8.5	6.0	4.0	13.0	8.5
	平　均	0.0	0.0	0.0	4.2	5.7	4.9	5.7	8.7	7.2	6.2	11.8	9.0
(A-①)	測線1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	2.5	3.0	5.5	4.3	3.0	5.5	4.3
	測線2	0.0	0.0	0.0	2.5	4.0	3.3	3.0	5.0	4.0	4.0	5.0	4.5
	測線3	0.0	0.0	0.0	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	平　均	0.0	0.0	0.0	1.3	4.5	2.9	3.0	5.3	4.2	3.5	5.3	4.4
(B-①)	測線1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	2.0	2.0	4.5	3.3	3.0	6.0	4.5
	測線2	0.0	0.0	0.0	0.5	4.5	2.5	1.5	5.5	3.5	2.0	6.0	4.0
	測線3	0.0	0.0	0.0	2.5	4.5	3.5	3.0	5.0	4.0	3.5	6.0	4.8
	平　均	0.0	0.0	0.0	1.0	4.3	2.7	2.2	5.0	3.6	2.8	6.0	4.4
(C-①)	測線1	0.0	0.0	0.0	0.5	2.0	1.3	1.0	3.0	2.0	1.5	3.0	2.3
	測線2	0.0	0.0	0.0	2.5	3.0	2.8	3.5	5.0	4.3	4.0	5.0	4.5
	測線3	0.0	0.0	0.0	2.0	3.5	2.8	3.5	5.5	4.5	3.5	5.5	4.5
	平　均	0.0	0.0	0.0	1.7	2.8	2.3	2.7	4.5	3.6	3.0	4.5	3.8
(D-①)	測線1	0.0	0.0	0.0	3.5	4.5	4.0	4.5	5.0	4.8	4.5	5.0	4.8
	測線2	0.0	0.0	0.0	2.0	5.5	3.8	2.0	7.0	4.5	3.0	7.0	5.0
	測線3	0.0	0.0	0.0	5.5	7.5	6.5	8.0	8.0	8.0	9.0	8.0	8.5
	平　均	0.0	0.0	0.0	3.7	5.8	4.8	4.8	6.7	5.8	5.5	6.7	6.1

（3） H15 ひび割れ率

ひび割れ率測定結果について図-3.3.6.3、表-3.3.6.3 に示す。

全ての工区において 25 万輪走行後もひび割れはみられず、良好な結果となった。

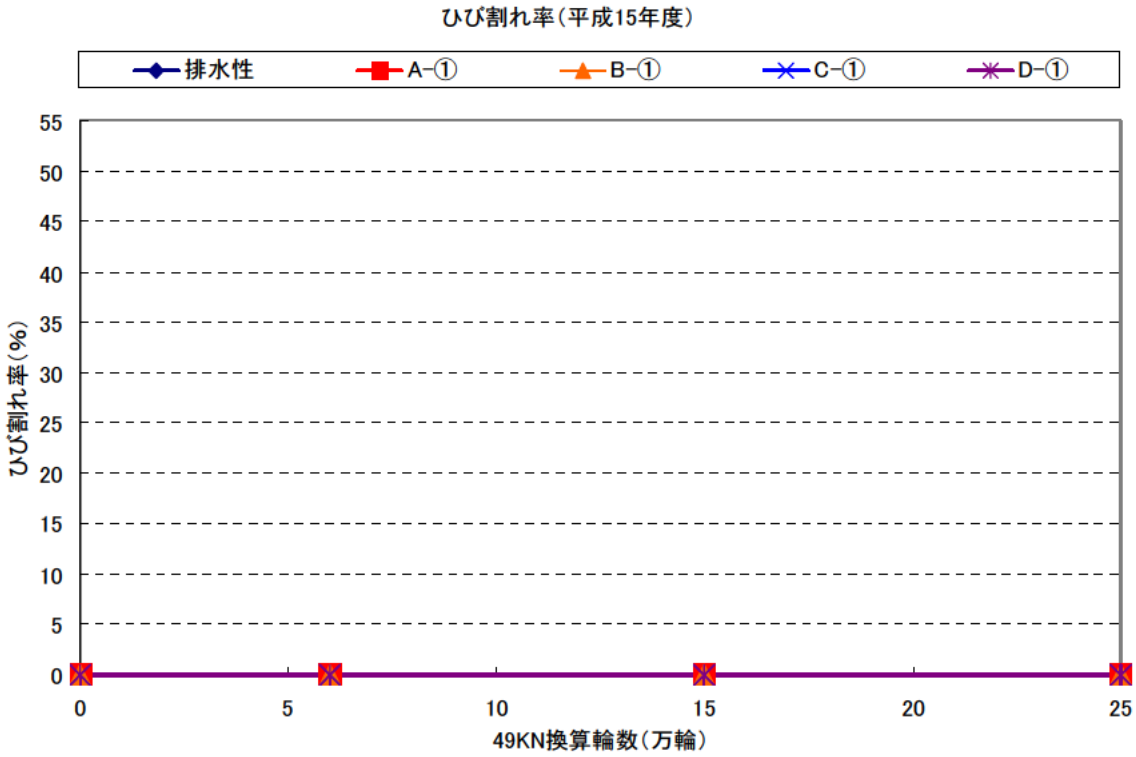


図-3.3.6.3 H15 ひび割れ率調査結果

表-3.3.6.3 H15 ひび割れ率調査結果

工区	対象面積 (m^2)	49kN 換算輪数 / 種別	0 輪			6 万輪			15 万輪			25 万輪		
			ます目数	面積 (m^2)	われ率 (%)	ます目数	面積 (m^2)	われ率 (%)	ます目数	面積 (m^2)	われ率 (%)	ます目数	面積 (m^2)	われ率 (%)
排水性	35.0	ひび割れ２本以上	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
		ひび割れ１本	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
		合　計	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
(A-①)	35.0	ひびわれ２本以上	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
		ひびわれ１本	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
		合　計	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
(B-①)	35.0	ひび割れ２本以上	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
		ひび割れ１本	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
		合　計	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
(C-①)	35.0	ひびわれ２本以上	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
		ひびわれ１本	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
		合　計	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
(D-①)	35.0	ひびわれ２本以上	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	
		ひびわれ１本	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
		合　計	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00	

（4） H15 現場透水量

1）タイヤ走行部(外側)の現場透水量測定結果について図-3.3.6.4、表-3.3.6.4 に示す。

全ての工区において、25 万輪走行後も 1000mm/15sec 以上を維持しており、良好な結果となった。

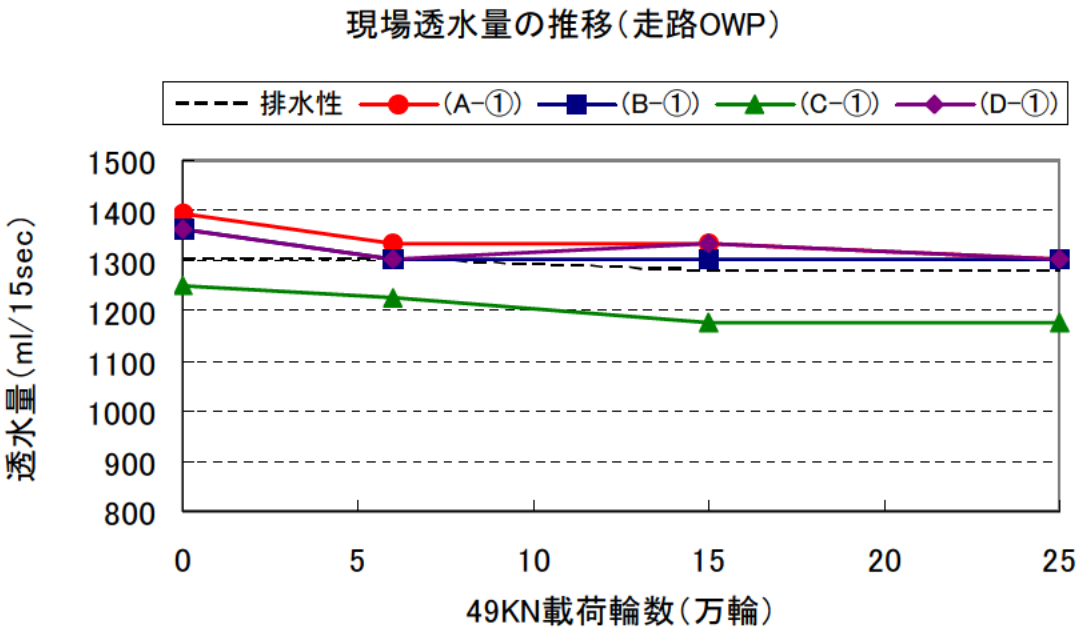


図-3.3.6.4 H15 現場透水量測定結果(OWP)

表-3.3.6.4 H15 現場透水量測定結果(OWP)

OWP	0万輪	6万輪	15万輪	25万輪
排水性	1,304	1,304	1,277	1,277
(A-①)	1,395	1,333	1,333	1,304
(B-①)	1,364	1,304	1,304	1,304
(C-①)	1,250	1,224	1,176	1,176
(D-①)	1,364	1,304	1,333	1,304

2）タイヤ非走行部の現場透水量測定結果について図-3.3.6.5、表-3.3.6.5 に示す。

排水性舗装に比べ透水量が低くなっている箇所もみられるが、各工区とも 25 万輪走行後も 1000mm/15sec 以上を保っており、良好な状況である。

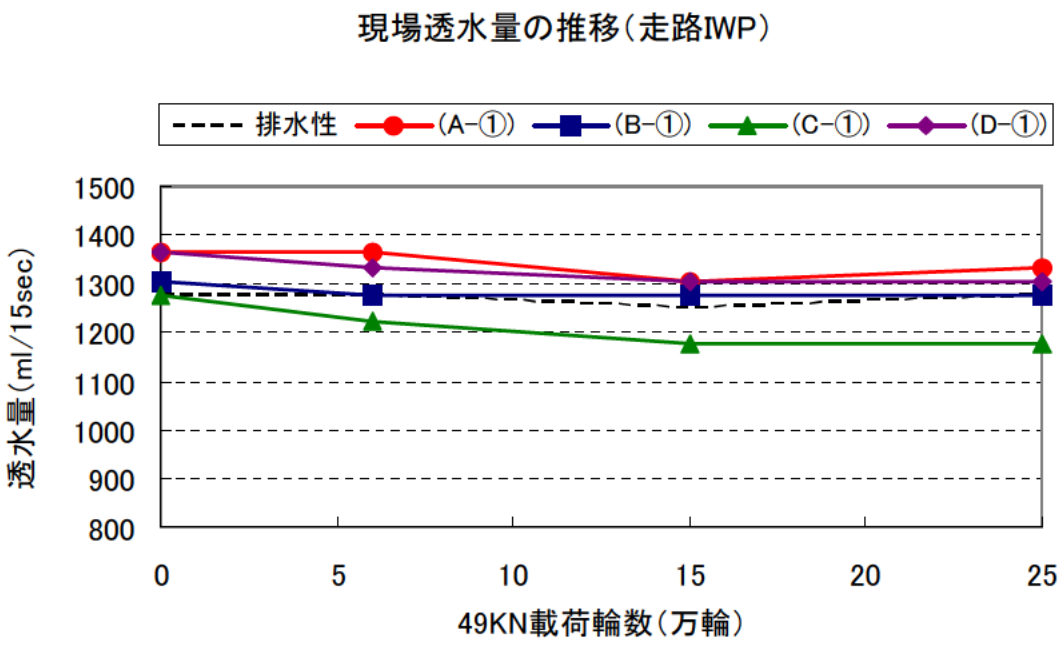


図-3.3.6.5 H15 現場透水量測定結果(IWP)

表-3.3.6.5 H15 現場透水量測定結果(IWP)

IWP	0万輪	6万輪	15万輪	25万輪
排水性	1,277	1,277	1,250	1,277
(A-①)	1,364	1,364	1,304	1,333
(B-①)	1,304	1,277	1,277	1,277
(C-①)	1,277	1,224	1,176	1,176
(D-①)	1,364	1,333	1,304	1,304

（5） H15 すべり摩擦抵抗（DFT）

1） 測定速度 40km

すべり摩擦抵抗測定結果（DFT・測定速度 40km）について図-3.3.6.6、表-3.3.6.6 に示す。排水性舗装に比べ低い箇所もみられるが、25 万輪走行後も全体的に良好である。

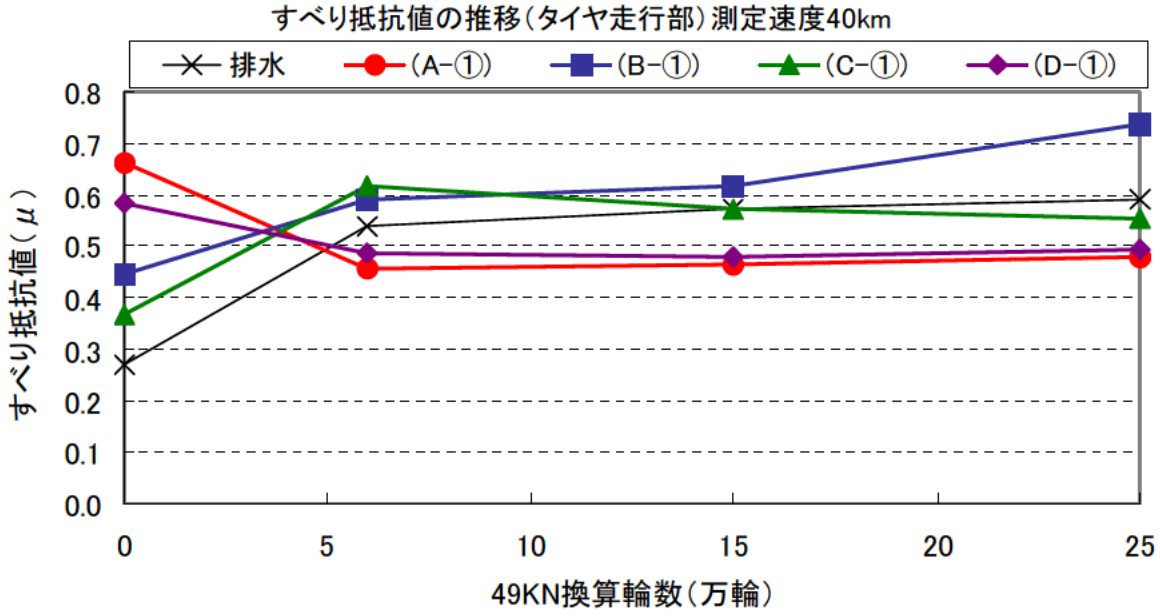


図-3.3.6.6 H15 すべり摩擦抵抗測定結果（DFT40km）タイヤ走行部

表-3.3.6.6 H15 すべり摩擦抵抗測定結果（DFT40km）タイヤ走行部

	0万輪	6万輪	15万輪	25万輪
排水	0.268	0.540	0.572	0.590
(A-①)	0.662	0.455	0.462	0.477
(B-①)	0.445	0.592	0.617	0.738
(C-①)	0.367	0.618	0.573	0.553
(D-①)	0.585	0.487	0.480	0.493

2） 測定速度 60km

すべり摩擦抵抗測定結果（DFT・測定速度 60km）について図-3.3.6.7、表-3.3.6.7 に示す。排水性舗装に比べ低い箇所もみられるが 25 万輪走行後も全体的に良好である。

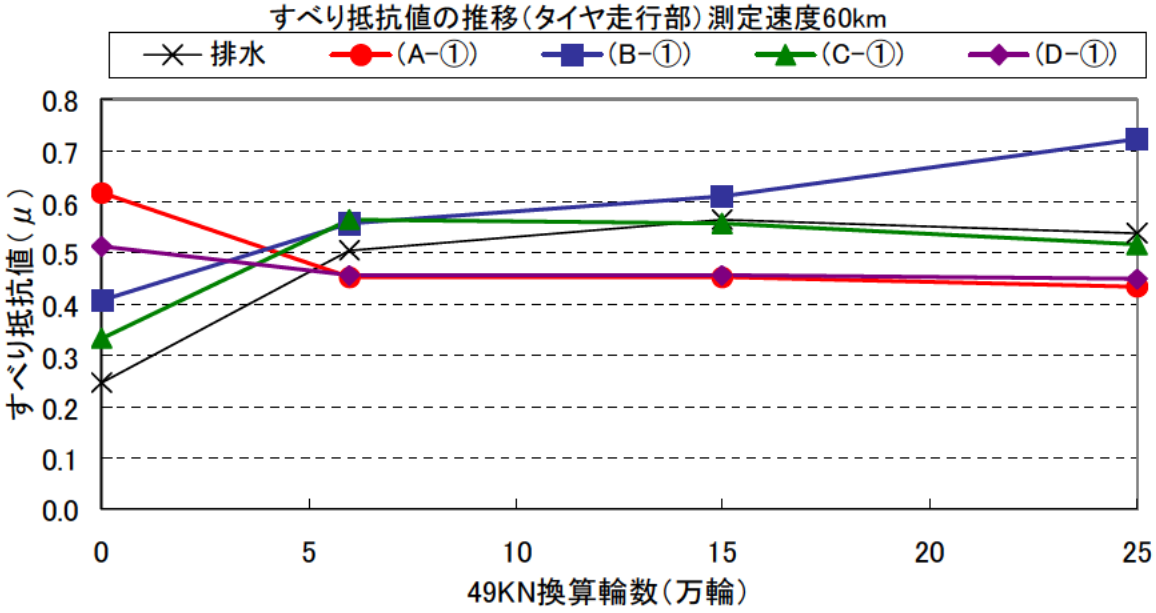


図-3.3.6.7 H15 すべり摩擦抵抗測定結果（DFT60km）タイヤ走行部

表-3.3.6.7 H15 すべり摩擦抵抗測定結果（DFT60km）タイヤ走行部

	0万輪	6万輪	15万輪	25万輪
排水	0.247	0.503	0.563	0.537
(A-①)	0.618	0.452	0.452	0.433
(B-①)	0.408	0.557	0.610	0.720
(C-①)	0.333	0.565	0.558	0.515
(D-①)	0.512	0.455	0.455	0.448

3） 測定速度 80km

すべり摩擦抵抗測定結果（DFT・測定速度 80km）について図-3.3.6.8、表-3.3.6.8 に示す。排水性舗装に比べ低い箇所もみられるが、25 万輪走行後も全体的に良好である。

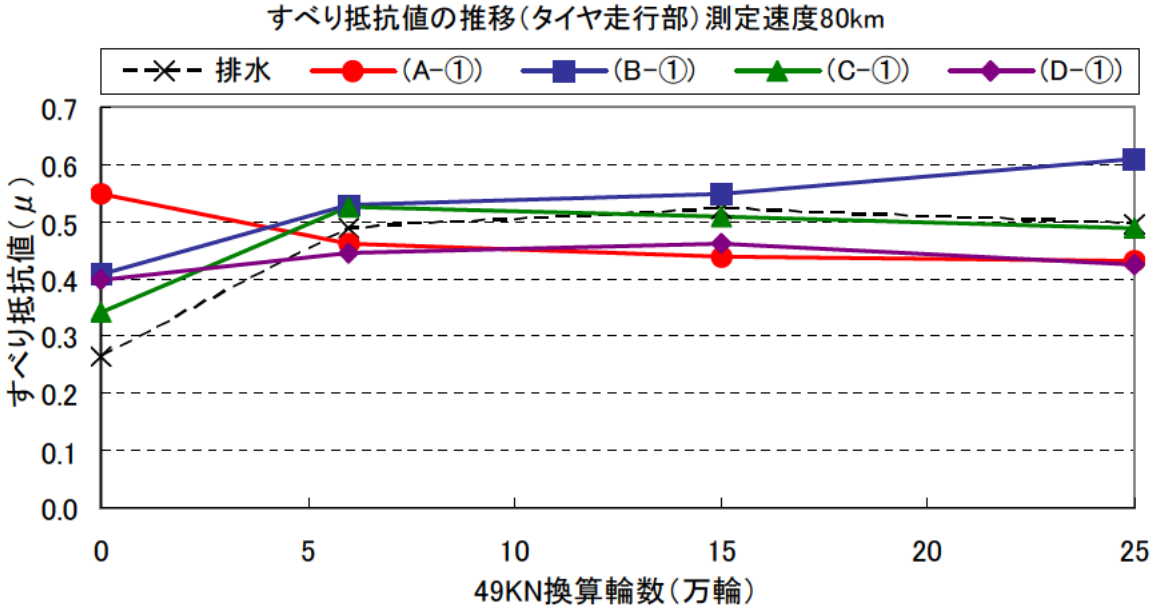


図-3.3.6.8 H15 すべり摩擦抵抗測定結果（DFT80km）タイヤ走行部

表-3.3.6.8 H15 すべり摩擦抵抗測定結果（DFT80km）タイヤ走行部

	0万輪	6万輪	15万輪	25万輪
排水	0.265	0.490	0.522	0.495
(A-①)	0.548	0.463	0.440	0.433
(B-①)	0.408	0.528	0.548	0.610
(C-①)	0.343	0.525	0.510	0.490
(D-①)	0.400	0.447	0.463	0.425

（6） H15 騒音調査（タイヤ路面騒音）

図-3.3.6.9 にタイヤ路面騒音測定結果を示す。

Ａ-①、Ｂ-①、Ｃ-①については排水性舗装と同レベルとなった。Ｄ-①については排水性舗装と比べ低くなった。

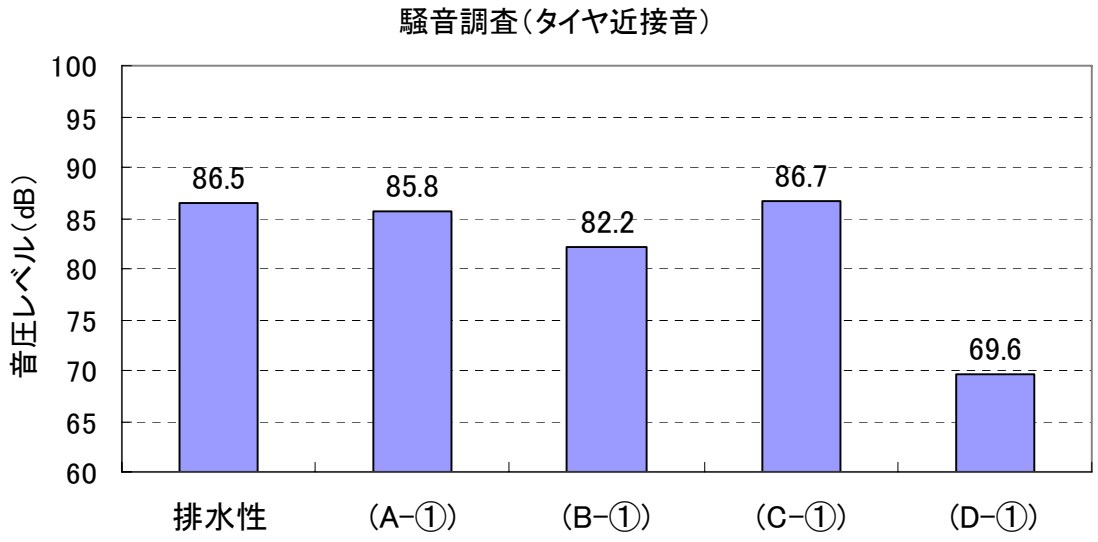


図-3.3.6.9 H15 タイヤ路面騒音測定結果

（7）表面状況

1）混合物型（A－①）

全景↓





OWP↓

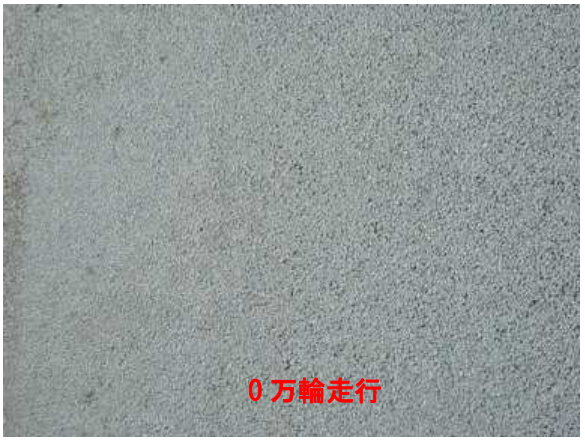




2）混合物型（B－①）









3）混合物型（C－①）

全景↓





OWP↓

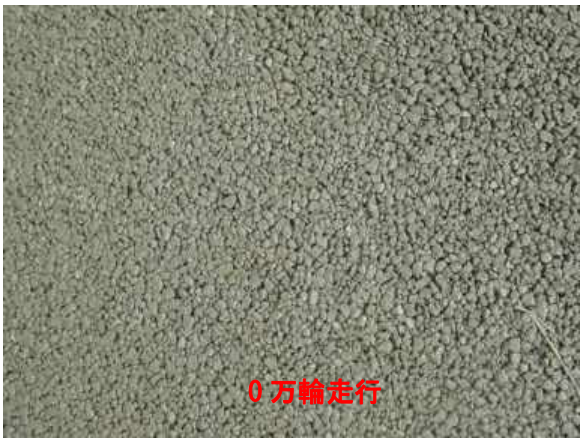




4）混合物型（D－①）









３．４ 平成 15 年度結果のまとめ

本研究では、車両の走行等により表面の遮熱材がダメージを受けても温度上昇の抑制ができ、また施工の手間を改善するため、通常の舗設作業にて施工可能な混合物型遮熱性舗装の開発を行った。

平成 15 年度は、冷夏となり、排水性舗装の最高温度が 60℃を超える日がほとんどみられず、路面温度低減効果を調査するには適さない気象条件となった。

排水性舗装の表面温度が 55℃以上となる日について検討した結果、ほとんどの混合物型において目標温度 10℃以上を達成することはできなかった。これらの舗装の路面温度低減効果は表-3.4.1 に示す通りである。

また、試験走路における路面温度低減がほとんどみられないことから、ダメージ後の温度上昇の抑制効果についてはあきらかにるすることはできなかった。

表-3.4.1 各供試体における最大温度差 （平成15年度）

供試体種類	最大温度差 （℃）
混合物型（A－①）	6
混合物型（A－②）	4
塗布型（A）	10
混合物型（B－①）	9
混合物型（B－②）	10
塗布型（B）	8
混合物型（C－①）	5
混合物型（C－②）	4
塗布型（C）	6
混合物型（D－①）	3
混合物型（D－②）	5
塗布型（D）	3

荷重車による促進載荷試験を 49kN 換算輪数 25 万輪走行を行った結果、一部工区において骨材の飛散もみられたが、ほとんどの工区においては排水性舗装に比べて良好な結果となった。

これらの結果をふまえ、次年度検討（平成 16 年度）においては、路面温度低減効果を向上させるための材料開発を更に進めて、試験施工ならびに路面調査等を実施することとした。

4．平成16年度検討

4．1　室内検討

4．1．1　混合物型遮熱性舗装（A）

(1) 平成15年度との相違点

平成 15 年度は、共同研究初年度として当初目標である施工効率の改善と材料コスト抑制を目指し、表層内に混合物型遮熱性舗装と母体排水性舗装を敷き重ねて上下層を一体構築するものとして、アスファルトフィニッシャによる２層同時敷均しにも対応できる加熱混合物タイプの検討を実施した。具体的には、脱色高粘度バインダと白色人工骨材（シノパール、最大粒径 13mm）をベースに遮熱顔料等を添加した加熱系遮熱混合物とした。しかし、加熱系であるために使用可能な遮熱顔料の選択範囲を狭めることになり、満足する路面温度低減効果を得るには至らなかった。

そこで、平成 16 年度の開発においては、遮熱混合物のバインダを脱色高粘度バインダから常温エポキシ樹脂に替えることによって、常温で使用することができる高性能な遮熱顔料を選択出来るようにした。この加熱系から常温系に変更して温度低減性能の向上を図ったことが平成 16 年度の最大の変更点である。

(2) 概要

平成 16 年度は、遮熱混合物のバインダを常温硬化型樹脂に変更することによって、高性能な遮熱顔料を使用して温度低減性能の改善を図るとともに、高価な遮熱混合物を小粒径化して薄層施工とすることによって、施工コストの低廉化を考慮するものとした。

平成 16 年度に実施した遮熱混合物舗装の舗装構成は、温度低減性能と雨水浸透性ならびにコスト低廉を考慮して、図-4.1.1.1 に示すとおり、排水性舗装（低騒音舗装）を母体として最大粒径 2.5mm の遮熱混合物を薄層で敷き均す構成とした。

施工方法は、特殊エポキシ樹脂をベースにしていることから、混合物の製造にはモルタルミキサを用い、母体舗装への薄層敷均しはパームスペーバを用いることを想定している。転圧については、小型ローラで表面を軽く整える程度としている。

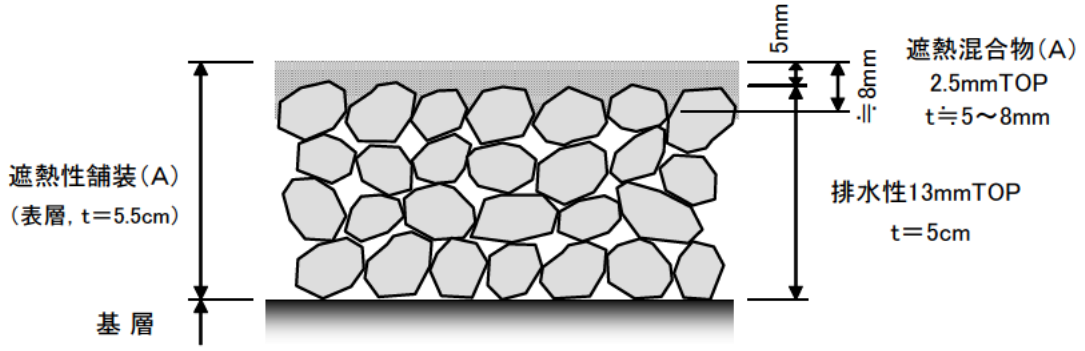


図-4.1.1.1　平成 16 年度の混合物型遮熱性舗装（A）の舗装構成

(3) 使用材料と配合

平成 16 年度検討における混合物型遮熱性舗装(A)に使用した表層混合物と、比較用舗装の表層に使用した排水性舗装用混合物と密粒度混合物、ならびに各社共通である基層用混合物に使用した材料と産地は表-4.1.1.1 に示すとおりである。また、これら４種類の混合物の配合は表-4.1.1.2 に示すとおりである。

混合物型遮熱性舗装(A)については、常温硬化型のエポキシ樹脂をバインダに用い、薄層で仕上げるために小粒径の白色人工骨材を選定した。なお、表面色を所定明度（N-50）と自由明度（N-60 に設定）に仕上げるにあたり、白色骨材との混合を考慮した常温エポキシ樹脂の明度調整を予め行い、熱反射性顔料等の混合は塗料製造工場で実施するものとした。

表-4.1.1.1 遮熱混合物(A)の使用材料と産地（平成 16 年度）

材料の種類	産　地　名	材　質	適用混合物		
			遮熱性 2.5mmTOP	排水性 13mmTOP	改質粗粒 20mmTOP
５号砕石	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩			●
６号砕石	茨城県西茨城郡岩瀬町	硬質砂岩		●	
６号砕石	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩			●
７号砕石	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩			●
砕砂	茨城県新治郡新治村	硬質砂岩			●
粗目砂	茨城県下館市	洗い砂		●	●
細目砂	千葉県佐原市	洗い砂			●
石粉	栃木県葛生町	石灰岩		●	●
白色人工骨材	兵庫県龍野市	硬質人工骨材	●		
白色人工砂	愛知県名古屋市	硬質人工骨材	●		
アスファルト	栃木県下都賀郡国分寺町	高粘度改質		●	
アスファルト	栃木県下都賀郡国分寺町	改質Ⅱ型			●
遮熱バインダ	埼玉県八潮市	常温硬化型樹脂	●		
摘　　要			遮熱工区表層	遮熱工区母体 比較工区表層	基層共通

表-4.1.1.2 遮熱混合物(A)の配合（平成 16 年度）

		表　層		基　層
		遮熱性 2.5mmTOP	排水性 13mmTOP	改質粗粒 20mmTOP
アスファルト(樹脂)の種類		常温硬化型樹脂	高粘度改質	改質Ⅱ型
骨材配合（%）	５号砕石	－	－	20.0
	６号砕石	－	84.5	36.5
	７号砕石	－	－	16.0
	砕　砂	－	－	8.0
	粗目砂	－	10.0	7.5
	細目砂	－	－	8.0
	石　粉	－	5.5	4.0
	白色人工骨材	80.0	－	－
	白色人工砂	20.0	－	－
最適アスファルト（樹脂）量　（%）		15.0	4.8	4.6

(4) 試験項目と試験結果

ここでは、使用した遮熱混合物等の性状と温度低減性能について、表-4.1.1.3 に試験の項目と結果を示し、図-4.1.1.2 に温度低減性能について室内ランプ照射試験を実施した結果を示す。ただし、平成 16 年度の遮熱混合物については常温エポキシ樹脂を用いた舗装厚 5mm の樹脂薄層舗装とするため、表-4.1.1.3 については重点項目について示した。

なお、ここで実施した室内ランプ照射試験については、遮熱性舗装技術研究会が提案している「遮熱性舗装室内照射試験方法(暫定版)」に基づいた。

表-4.1.1.3 遮熱混合物(A)の試験結果 (平成 16 年度)

			表 層		基 層
			遮熱性 2.5mmTOP	排水性 13mmTOP	改質粗粒 20mmTOP
舗装厚さ		(mm)	5	50	50
アスファルト(樹脂)の種類			常温硬化型樹脂	高粘度改質	改質Ⅱ型
マーシャル試験	理論密度	(g/cm^3)	2.242	2.475	2.489
	密 度	(g/cm^3)	1.936	1.972	2.388
	空隙率	(%)	25.2	20.3	4.1
	安定度	(kN)	≧98.0	5.57	14.13
	フロー値	(1/100cm)	計測不能	29	30
品質	透水係数	(cm/sec)	5.24×10^{-2}	21.1×10^{-2}	—
	カンタブロ損失量	標準 (%)	4.6	—	—
	動的安定度	(回/mm)	15,750 注	5,730	—
摘 要			遮熱工区表層	遮熱工区母体 比較工区表層	基層共通

注) 遮熱混合物の動的安定度は、母体排水性(t=50mm)＋遮熱性(t=5mm)の値

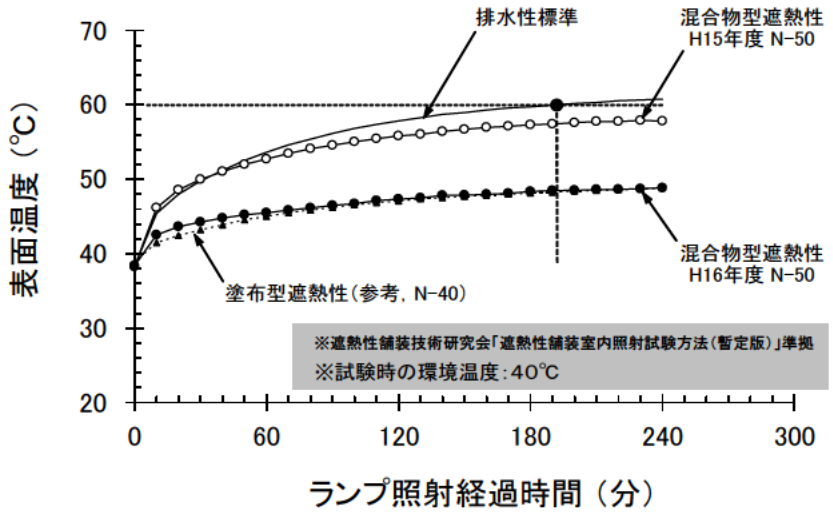


図-4.1.1.2 遮熱混合物(A)の温度低減効果 (平成 16 年度)

図-4.1.1.2 より、遮熱性舗装室内照射試験方法(暫定版)に基づく室内ランプ照射試験では、平成 16 年度検討の温度低減効果は排水性舗装に対して約 12℃であり、塗布型遮熱性舗装（参考、N-40）に相当する性能が得られている。一方で、同様に実施した平成 15 年度検討の遮熱性混合物については温度低減効果が 3℃程度にとどまり、舗装走行実験場など屋外で測定されたのと同様な状況となっている。したがって、今回実施した室内ランプ照射試験で得られた平成 16 年度検討の遮熱混合物の温度低減効果は屋外でも再現される可能性が高く、混合物の大幅な改良が高性能化に寄与することが期待できる。このように、遮熱化した常温エポキシ樹脂をバインダとした平成 16 年度検討の遮熱混合物は、高性能な遮熱顔料を使用したことよる温度低減効果の向上が図られている。

(5) 試験施工で提案する舗装断面

平成 16 年度に舗装走行実験場と供試体ヤードで実施する混合物型遮熱性舗装(A)の試験舗装断面は、図-4.1.1.1 に示すものとした。

４．１．２ 混合型遮熱性舗装(B)

（1）概要（平成15年度との相違点）

平成１５年度の混合型遮熱性舗装(B)は，目標とする色の設定，ならびに路面温度低減効果を得ることができたが，舗装走行実験場での荷重車走行により，舗装表面の一部に飛散が見られ，耐久性を改善する必要が確認された．

また，遮熱性舗装の路面温度低減効果に寄与する遮熱性顔料は高価である．提案した混合型遮熱性舗装は薄層ではあるものの，塗布型に比べると施工厚が２ｃｍと厚いため，顔料の使用量が多く，経済性も改善する必要があった．

以上のことを踏まえて，平成１６年度の混合型遮熱性舗装(B)の開発では，平成１５年度の舗装で得られた路面温度低減効果を保ちながら，舗装の耐久性の改善と路面温度低減効果の持続性評価，またより安価な舗装材の開発を目指し経済性の改善を行った．平成１５年度の目標とした①～⑤のうち，④，⑤の改善である．

（2）舗装構成

舗装構成は，平成１５年度と同じである．

（3）使用材料と配合

1）骨材

混合型遮熱性舗装の使用骨材は，平成１５年度と同じである．

2）遮熱性顔料の検討

①目標色の検討

混合型遮熱性舗装(B)の目標とする色は，平成１５年度に引き続きN50を基本とし，その他の色（自由：有彩色・明度50）についても合わせて評価した．有彩色は，暗色系顔料と白色顔料（酸化チタン）を組み合わせて調整することとし，暗色系顔料のうち，群青顔料の遮熱効果が高いことが確認できたため，青色系とした．検討した目標色を表-4.1.2.1に示す．

表-4.1.2.1 混合型遮熱性舗装(B)の目標色

色		明度
無彩色	N50	50
有彩色	青色系	50

②使用顔料の選定

昨年度の開発では，黒色の複合酸化物顔料と白色の酸化チタンを調合して混合型遮熱性舗装の色をＮ５０に調整した．しかし，この黒色顔料が高価なためこれに変わる安価で反射率の高い遮熱顔料を使用した．検討した顔料を表-4.1.2.2に，その分光反射率を図-4.1.2.1，4.1.2.2に示す．

表-4.1.2.2 検討した遮熱顔料

色	顔料名	番号
白	酸化チタン	①
青	群青	②
黒	複合物酸化物	③

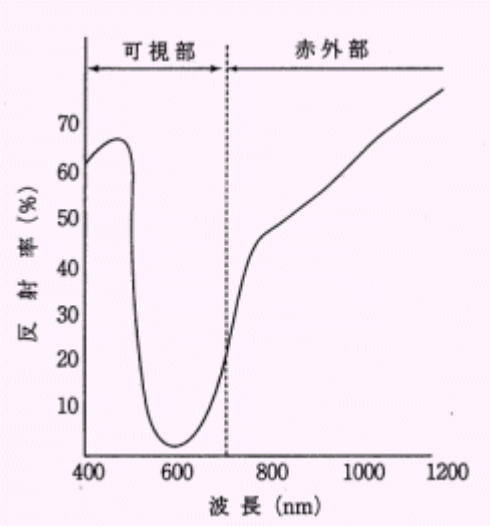


図-4.1.2.1 群青顔料(②)の分光反射率

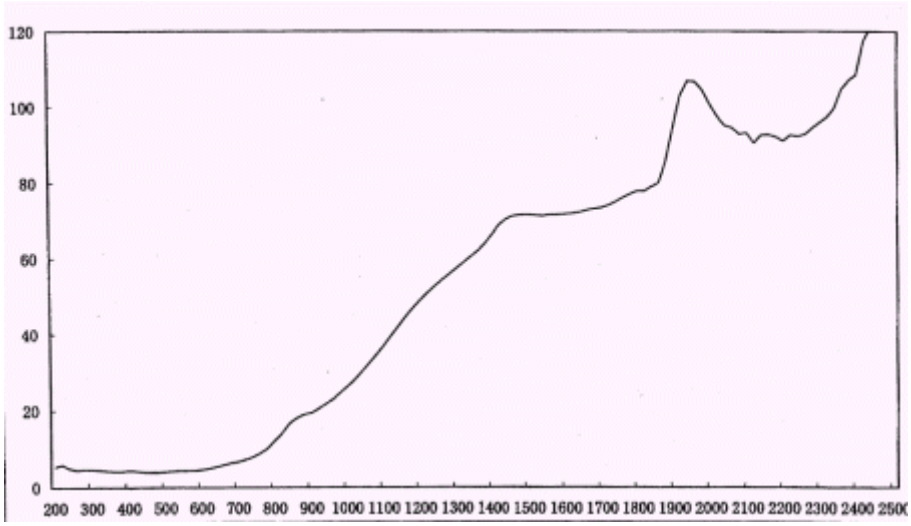


図-4.1.2.2 黒顔料(③)の分光反射率

③配合比率の検討

これらの顔料を用いて，目標とする混合型遮熱性舗装(B)の色の調整を行った．表-4.1.2.3に調合方法を示す．

表-4.1.2.3 顔料の調合方法

色	顔料の調合方法
N50	①＋②＋③
青色系	①＋③

(a)N50の配合

(ｉ)黒色顔料5%での検討

使用する顔料のうち，黒色顔料が最も反射率が低く吸熱性が高い．したがって，より効果を高めるためには黒色顔料の添加量を可能な範囲で少なくすることが必要である．

以上のことから，第一段階として黒色顔料添加量（全顔料に対する質量割合）を５％に固定し，群青顔料と酸化チタンの割合を調整した供試体で明度の確認を行った．結果を図-4.1.2.3に示す．

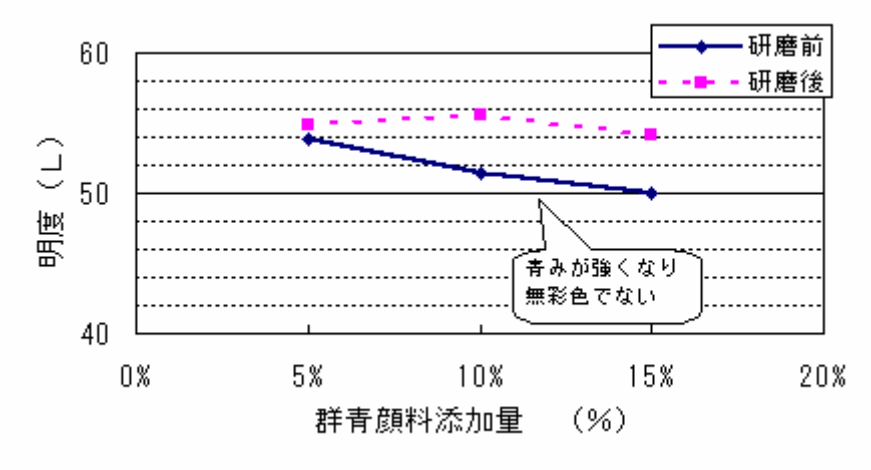


図-4.1.2.3　混合物の明度測定結果（黒顔料5%）

この結果より，黒色顔料を５％とすると群青顔料の比率を高めても明度が高くまた無彩色とならないことがわかった，なお，顔料を３種配合とした場合でも研磨による影響はさほど大きくないことが確認できた．

以上のことから，黒色顔料の配合比率を高める必要があることがわかった．

（ⅱ）黒色顔料7，9%での検討

黒色顔料の添加量を７%と９％に増やし，同様に群青顔料と酸化チタンの割合を調整した供試体で明度の確認を行った．結果を図-4.1.2.4に示す．

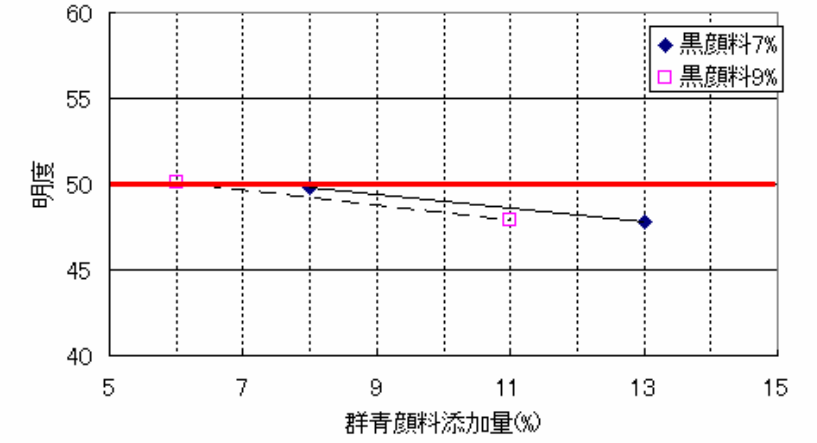


図-4.1.2.4　混合物の明度測定結果（黒顔料7%，9%）

この結果より，黒色顔料の添加量が７％，９％ともに明度５０に調整可能であるが，温度低減効果および経済性の観点から，黒色顔料の添加量が少ない黒色顔料７％，群青顔料８％，酸化チタン８５％を配合比率と決定した．なお，顔料添加量は平成１６年度と同様で３％としている．

(b)青色系の配合

青色系は２種類の顔料によるものであるため，配合は平成１５年度と同様の方法で決定した．結果を図-4.1.2.5に示す．

この結果より，群青顔料２０％，酸化チタン８０％を配合比率と決定した．なお，顔

料添加量は同じく３％である．

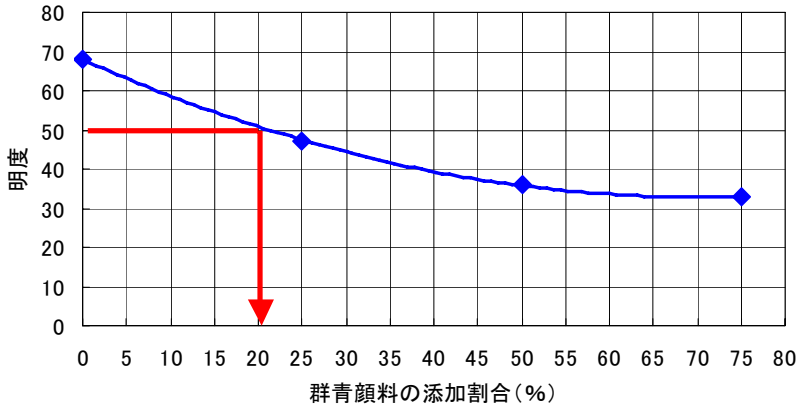


図-4.1.2.5 混合物の明度測定結果（群青顔料）

3）バインダ

平成１５年度の混合型遮熱性舗装(B)と同様に，最大粒径が5mm の明色排水性混合物であるため，耐久性を向上させた特殊高粘度脱色バインダを用いた．

4）混合型遮熱性混合物(B)の配合決定

平成１５年度の舗装走行実験場で，荷重走行により，舗装表面の一部に飛散が見られた．この主な原因として，バインダ量の不足が考えられたため，平成１６年度では，カンタブロ試験結果によりバインダ量を決定した．試験結果を，表-4.1.2.4 と図-4.1.2.6 に示す．

表-4.1.2.4 カンタブロ試験結果

バインダ量(%)	No.	試験前重量(g)	試験後重量(g)	損失率(%)
4.5	1-1	927.4	842.5	9.2
	1-2	926.4	846.7	8.6
	1-3	923	838.3	9.2
	平均			9.0
5.0	2-1	829.2	790.6	4.7
	2-2	934.7	878.2	6.0
	2-3	926.5	866.4	6.5
	平均			5.7
5.5	3-1	939.7	890.8	5.2
	3-2	936.4	887.5	5.2
	3-3	933.4	893.1	4.3
	平均			4.9
6.0	4-1	937.6	909.8	3.0
	4-2	938	890.4	5.1
	4-3	937.4	902.1	3.8
	平均			3.9
6.5	5-1	936.4	910.9	2.7
	5-2	935.1	908.9	2.8
	5-3	917.3	891.2	2.8
	平均			2.8

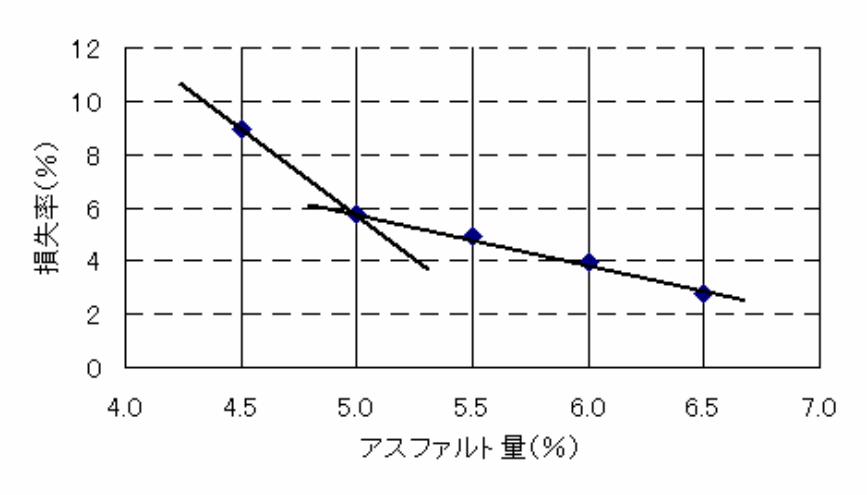


図-4.1.2.6 カンタブロ試験結果

この結果より，最少バインダ量を５．０％とした．平成１５年度のアスファルト量が４．８％であったこと，ならびにプラントでの試験練りの結果から，混合型遮熱性舗装(B)の最適バインダ量を５．５％と設定した．

上記の材料の試験結果と，プラントでの試験練り結果から，混合型遮熱性舗装(B)の配合を表-4.1.2.5に示すとおりとした．

表-4.1.2.5 混合型遮熱舗装材料

材料の種類	名称	配合率(質量%)
7号砕石	硬質砂岩	64．0
白色骨材	人工白色骨材(7号)	17．7
粗砂	砕砂	6．8
石粉	石灰石粉	2．2
顔料	遮熱性顔料(無彩色・有彩色)	3．8
バインダ	特殊高粘度脱色アスファルト	5．5
合計		100．0

(4)試験項目と試験結果

試験項目は表-4.1.2.6 に示すとおりである．ここでは，混合型遮熱性舗装(B)N50，青色系の路面温度低減効果を確認することを目的に照射実験を行った．また，平成15年度の予備試験で行った分光反射率を測定した．

表-4.1.2.6 試験項目

項目	試験方法
低減温度	室内照射法
分光反射率	分光反射計

1)分光反射率測定結果

遮熱性舗装の各波長毎の反射率測定結果を図-4.1.2.7 に示す．平成16年の混合型遮熱性混合物は，平成15年(N50)の混合物に比べ900以上の領域で，反射率の増加が見られ，路面温度低減効果の改善が期待できる．

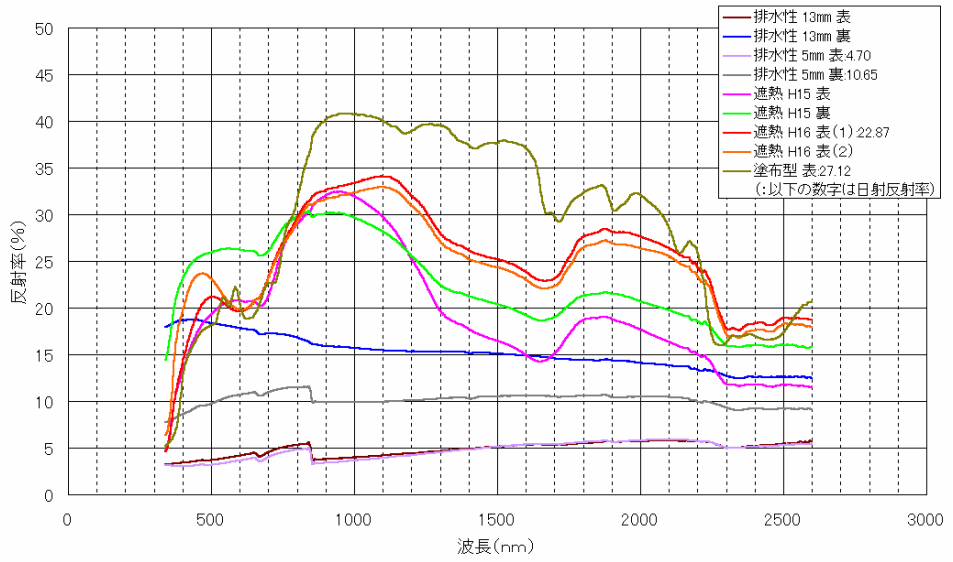


図-4.1.2.7　各波長毎の反射率測定結果

2)室内照射実験

試験を行った供試体は，N50 と青色系の2種類である．

①実験方法

照射実験は遮熱性舗装研究会方式で行った．実験方法を表-4.1.2.7 に示す．

表-4.1.2.7　実験条件

項目	内容
供試体の大きさ	30cm×30cm、厚さ5cm
舗装構成	表層(混合型遮熱)
熱源体	ビームランプ
測定時間	2～4時間(比較用供試体の表面温度が、60℃前後の平衡温度になるように設定)
温度計	熱電対(舗装表面に設置)、放射温度計
試験温度	40℃
評価項目	路面温度低減効果
評価方法	比較対照が60℃に達した時の温度差

②試験結果

実験結果を図-4.1.2.8 に示す．

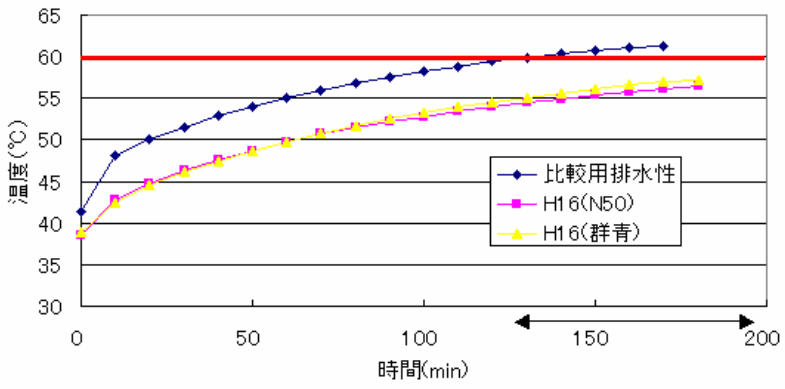


図-4.1.2.8　照射実験結果

結果より，N50 で約5℃，青色系で7℃の低減効果が確認できた． 若干ではあるが，有彩色の方の効果が高いことが確認された．

(5)試験施工で提案する舗装断面

上記の室内試験により，目標性能を満足する混合型遮熱性舗装の条件を以下のように設定した．

・混合物　　排水性混合物(最大粒径5㎜)
・バインダ　　特殊明色高粘度バインダ(バインダ量:5．5%)
・粗骨材　　砂岩＋白色人工骨材(容積比率　65:35)
・遮熱材　N50　　酸化チタン＋特殊遮熱顔料(黒)＋群青顔料
(添加量3%　85:7:8)
青色系　酸化チタン＋群青顔料(添加量3%　80:20)

また，試験施工で提案する舗装断面を図-4.1.2.9 のように設定した．

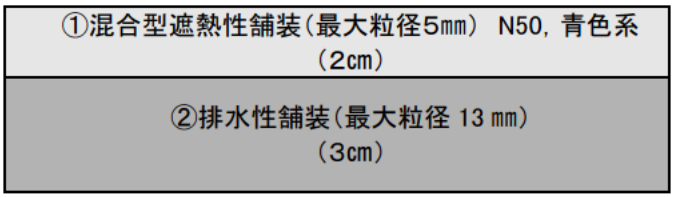


図-4.1.2.9　試験施工に提案する舗装断面

４．１．３ 混合物型遮熱性舗装(C)

(1) 平成15年度との相違点

①基本方針

平成１５年度では、通常のアスファルト舗装と同様な製造ならびに施工を行うことが可能な混合型遮熱性舗装の開発をすすめてきた。そのため、当該混合物の結合材にはアスファルト系材料を使用することが必要条件となり、温度上昇を抑制する効果を得るために赤外線の反射効果を有する顔料や粉末を混入することで対応してきた。

しかしながら、平成１５年度の試験施工結果を踏まえ、現時点で容易に入手可能な赤外線反射顔料とアスファルトの組合せでは、十分な赤外線反射性能を発揮することができず、目標とする温度上昇抑制効果を得ることが難しいという見解に至った。

そこで、平成１６年度の基本方針として、温度上昇抑制効果を最重要課題として考えて開発をすすめることとし、使用材料と製造・施工方法を限定しない、新たな方法で望むこととした。

②温度上昇抑制効果を得るための方策

平成１５年度の混合物型遮熱性舗装(C)では、図-4.1.3.1 に示すように赤外線の反射はバインダー表面で行っていた。平成１６年度に開発を行った混合物では、図-4.1.3.2 に示すように、①白色骨材表面 ②バインダー内部 ③バインダー表面の３箇所によって赤外線を反射させる構造となっている。

この新しい反射方法を得るためには、赤外線の透過率が高いバインダーが要求されるが、現在市販されている脱色アスファルトでは透明度が低く、なおかつ、紫外線等による劣化が進むにつれて黒色化するため、十分な性能を発揮することができない。そこで、今年度の開発では、バインダーに樹脂系材料を使用することで、３箇所による赤外線反射機能の効果を確認することを第一の目標とした。

なお、樹脂系バインダーを使用することで、製造・施工性ならびにコスト面で、通常のアスファルト舗装に劣る結果となるが、実験の結果、この構造による赤外線反射機能が有効に作用することが確認された後、樹脂系材料と同程度の透過率を有するアスファルトの開発が今後の課題として挙げられる。

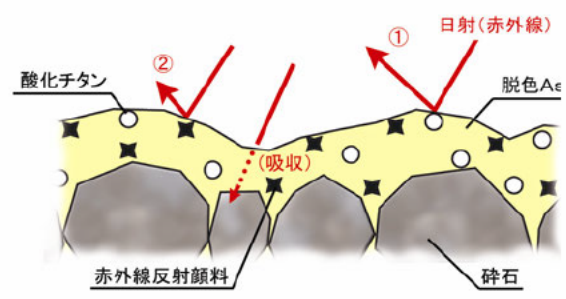


図-4.1.3.1 平成 15 年度の概念

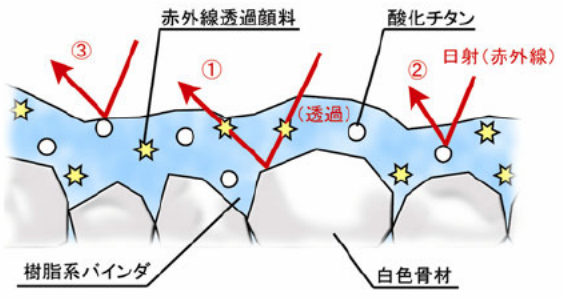


図-4.1.3.2 平成 16 年度の概念

(2) 概要

混合物型遮熱性舗装(C)typeC の室内検討は、通常の排水性舗装と比較して 10℃以上の温度上昇抑制効果を有する混合物の開発を目的として実施した。本年度の室内検討では、「赤外線透過顔料」に着目して、使用材料の選定ならびに最適配合割合の決定を行い、温度上昇抑制効果と混合物性状について試験を行った。

室内検討では、表-4.1.3.1 に示すような材料を検討対象とし、室内照射試験や屋外暴露による温度測定によって評価を行った。

表-4.1.3.1 室内で検討した材料の概要

分 類	検討材料名	検討対象とした理由	結果
バインダ	高粘度改質ｱｽﾌｧﾙﾄ	バインダーの種類による赤外線透過顔料の効果の関係を確認し、最も温度上昇抑制効果が得られるものを選定。	×
	脱色アスファルト		△
	MMA系樹脂		○
	エポキシ系樹脂		○
骨 材	砕石(砂岩)	骨材の種類による赤外線透過顔料の効果の関係を確認し、最も温度上昇抑制効果が得られるものを選定。	×
	白色セラミック		○
顔 料	酸化チタン(白顔料)	赤外線反射ならびに明度調整	○
	赤外線透過 黒顔料	赤外線透過型と反射型の2種類の黒色顔料の効果の違いを検証。	○
	赤外線反射 黒顔料		×

(3) 使用材料と配合

室内検討で使用した材料名を表-4.1.3.2 に示す。

表-4.1.3.2 材料名と製造元

材料名	製造または販売元	備 考
砕石	飯渕砕石㈱	硬質砂岩
白色ｾﾗﾐｯｸ骨材 5mm	美州興産㈱	ｾﾗｻﾝﾄﾞ A-2 粒
白色ｾﾗﾐｯｸ骨材 1mm	同上	ｾﾗｻﾝﾄﾞ B 粒
白色ｾﾗﾐｯｸ骨材 0.6mm	同上	ｾﾗｻﾝﾄﾞ C 粒
二酸化チタン(白色顔料)	森下弁柄工業㈱	―
赤外線透過 黒顔料	―	―
赤外線反射 黒顔料	アトミクス㈱	―
高粘度ｱｽﾌｧﾙﾄ	ニチレキ	ﾀﾌﾌｧﾙﾄｽｰﾊﾟｰ
脱色ｱｽﾌｧﾙﾄ	日進化成㈱	ｼｭｰﾙｶﾗｰｸｽ
MMA 系樹脂	大日本インキ化学工業㈱	―
エポキシ系樹脂	アトミクス㈱	―

① バインダーの選定

「バインダーの選定」で使用した材料と配合割合を表-4.3 に示す。

表-4.1.3.3 使用材料と配合（バインダーの選定）

材料名	配 合 名							
	①-a	①-b	①-c	①-d	①-e	①-f	①-g	①-h
白色ｾﾗﾐｯｸ骨材	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
赤外線透過 黒顔料	0.4	0.4	0.4	0.4	－	－	－	－
赤外線反射 黒顔料	－	－	－	－	3.0	3.0	3.0	－
高粘度ｱｽﾌｧﾙﾄ	5.0	－	－	－	5.0	－	－	5.0
脱色ｱｽﾌｧﾙﾄ	－	5.0	－	－	－	5.0	－	－
MMA 系樹脂	－	－	10.0	－	－	－	5.0	－
エポキシ系樹脂	－	－	－	10.0	－	－	－	－

② 骨材の選定

「骨材の選定」で使用した材料と配合割合を表-4.4 に示す。

表-4.1.3.4 使用材料と配合（骨材の選定）

材料名	配 合 名					
	②-a	②-b	②-c	②-d	②-e	②-f
砕石（砂岩）	100.0	100.0	－	－	100.0	－
白色ｾﾗﾐｯｸ骨材	－	－	100.0	100.0	－	100.0
赤外線透過 黒顔料	0.4	－	0.4	－	－	－
赤外線反射 黒顔料	－	3.0	－	3.0	－	－
MMA 系樹脂	10.0					

③顔料比率の決定

「顔料比率の決定」で使用した材料と配合割合を表-4.5 に示す。

表-4.1.3.5 材料と配合割合（顔料比率の決定）

材料名	配 合 名				
	③-a	③-b	③-c	③-d	③-e
白色ｾﾗﾐｯｸ骨材 5mm	67.0				
白色ｾﾗﾐｯｸ骨材 2mm	18.0				
白色ｾﾗﾐｯｸ骨材 0.6mm	10.0				
赤外線透過 黒顔料	0.75	0.40	0.20	0.125	0.10
酸化チタン	4.25	4.60	4.80	4.875	4.90
MMA 系樹脂	12.0				
黒顔料を1としたときの白顔料の比率	5.7	11.5	24.0	39.0	49.0

(4) 試験項目と試験結果

室内検討の試験項目と試験条件を表-4.6 に示す。

表-4.1.3.6 試験項目と条件

試験項目	試験条件
室内照射試験	使用電球:東芝製 BRF110V150W 試験温度:30℃ 試験時間:4時間 供試体 :WT 用2層(試験用供試体+密粒供試体) 側面および底面を発砲ウレタンフォームで断熱 測定方法:K タイプ熱電対
屋外暴露温度測定	試験日時:平成16年3～4月の晴天の数日間 供試体:WT 用1層(試験用供試体のみ) 側面および底面を発砲スチロールで断熱 測定方法:K タイプ熱電対
アルベド測定	供試体:40cm×40cm 測定高さ:10cm 測定時刻:13 時～15 時
明度測定	色彩・色差計による L*a*b*表色系モード

①バインダーの選定

バインダ内を赤外線が透過して、白色骨材表面による赤外線反射性能を得るために適するバインダの選定を行った。

図-4.1.3.3 は、各配合の室内照射試験結果を示したものである。図のように、通常のアスファルトの場合には、赤外線透過機能を有する顔料の性能は発揮されず、従来用いてきた赤外線反射顔料の効果が高くなっている。脱色アスファルトと樹脂を用いた場合には、赤外線透過顔料を混入することによって、従来の赤外線反射顔料と比較して温度が低下しており、特に樹脂系では明確な差がみられた。また、MMA樹脂ならびにエポキシ樹脂とも同程度の結果が得られていることから、樹脂自体の透過率が同等であれば、同じ温度低減効果が得られるものと考える。

図-4.1.3.4 は、赤外線透過顔料を添加した各供試体のアルベドを測定した結果を示したものである。図のように、供試体作製直後に測定した場合には、脱色アスファルトとMMA 樹脂をバインダとした供試体のアルベドは同程度であり、通常の排水性と比較して高い値となっている。しかし、屋外に供試体を暴露して1ヶ月後に測定した場合、MMA樹脂をバインダとした供試体は変化していないが、脱色アスファルトをバインダとした供試体のアルベドは低下している。これは、日射等によるバインダの劣化が原因と考えられる。

以上の結果から、樹脂系バインダーを選定し、梅雨時期に実施予定の試験施工を考慮して硬化速度が早いMMA樹脂を今後の実験に用いることとした。

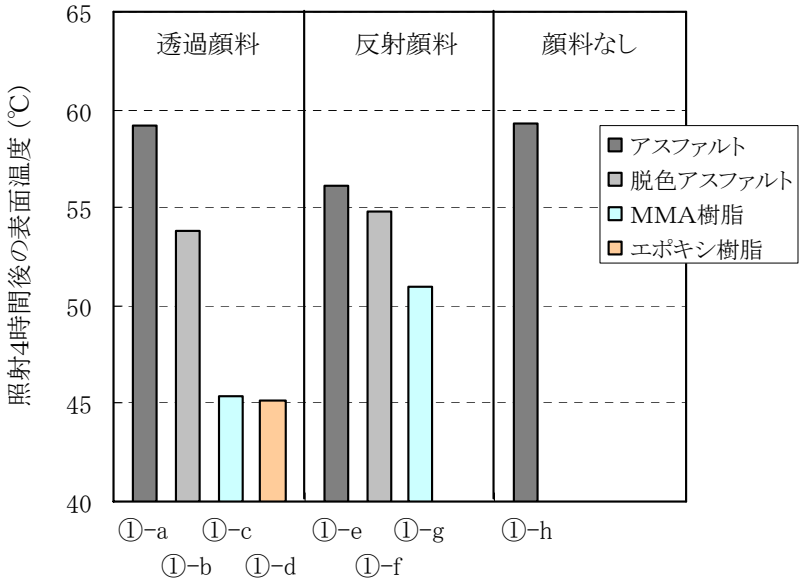


図-4.1.3.3 室内照射試験結果（バインダーの選定）

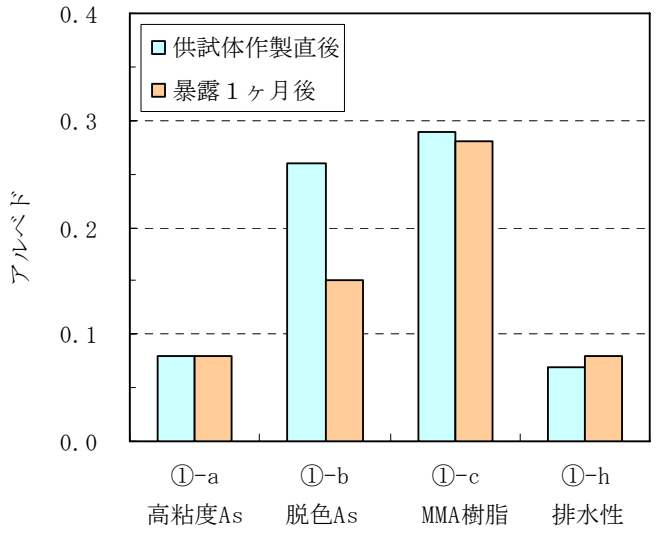


図-4.1.3.4 アルベド測定結果（バインダーの選定）

② 骨材の選定

可視光線をバインダ表面で吸収しつつ赤外線はバインダ内を透過して、骨材の表面で反射させる構造を確認するために、白色骨材と通常の砕石による効果の違いを確認した。

図-4.1.3.5 は室内照射試験結果を表したものであるが、白色骨材の場合には赤外線透過顔料を混入したものが高い温度低減効果を示し、通常の砕石の場合にはその効果はみられない。

図-4.1.3.6 は、赤外線透過顔料の有無によるアルベドと明度を表したものである。白色セラミック骨材の場合では、赤外線透過顔料を添加することで、明度(色調)が黒色に変化するが、アルベドの低下は若干量に留まり、高い赤外線反射率を保つことが確認できた。

以上の結果から、使用する骨材には白色セラミック骨材を選定した。

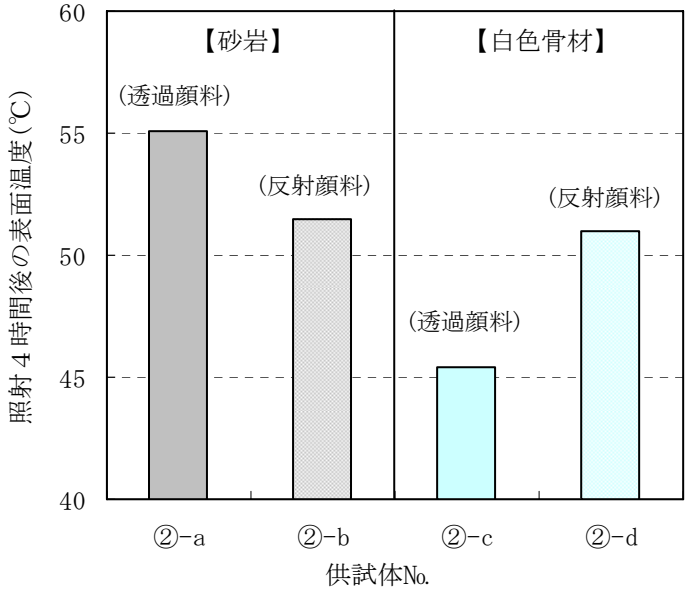


図-4.1.3.5 室内照射試験結果(骨材の選定)

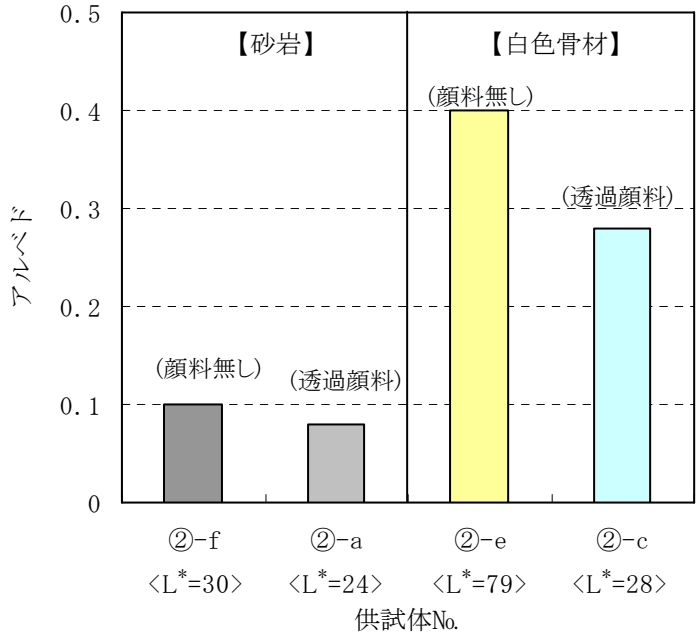


図-4.1.3.6 室内照射試験結果(骨材の選定)

③ 顔料比率の決定

これまでの検討で、骨材表面による赤外線反射によって温度上昇を抑制する構造が確認できた。ここでは、更に反射効率を向上させる方策として、バインダ表面ならびに内部においても赤外線を反射させるために、白色顔料（酸化チタン）の添加量について検討を行った。　図-4.1.3.7 は赤外線透過黒顔料を１としたときの、白色顔料の比率と明度の関係をあらわしたものであり、比率が高くなると明度も高くなる傾向を示す。この結果をもとに、明度Ｌ*を 50 と 35 の２種類の供試体を作製して、屋外温度測定を実施した。

図-4.1.3.8 は 30cm 供試体に熱電対を埋設して、屋外で温度測定を実施した結果を示したものである。なお、測定は４月下旬に実施している。図のように、遮熱性混合物の温度低減効果は明度によって異なり、明度が高い L*50 で 10℃、L*35 では８℃程度の効果が期待できる結果となった。

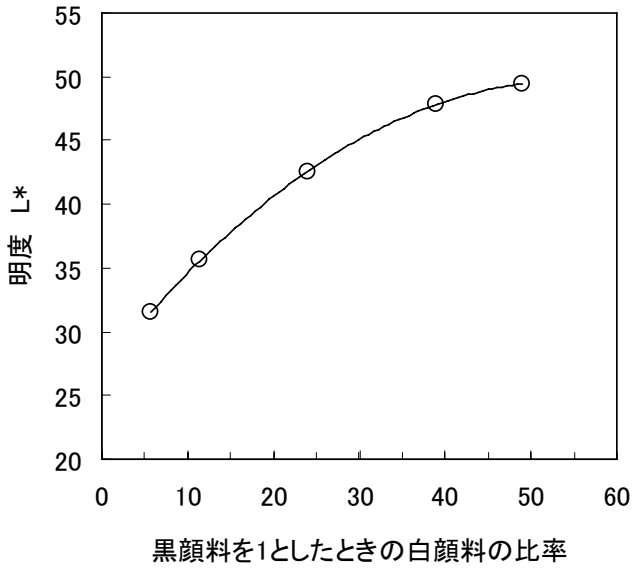


図-4.1.3.7　顔料比率と明度の関係

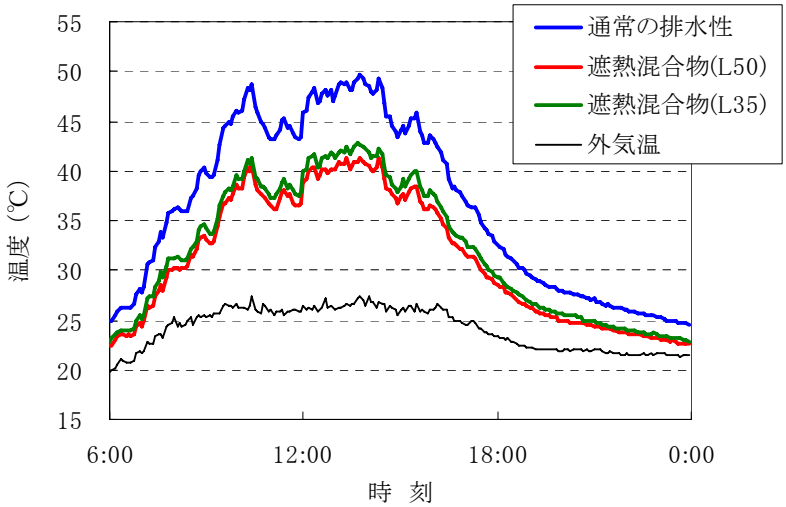


図-4.1.3.8　屋外温度測定結果（明度の違い）

(5) 試験施工で提案する断面

室内試験結果を以下にまとめる。

① 赤外線透過顔料、白色骨材、樹脂系バインダの組合せによって白色骨材表面で赤外線を反射する構造となり、従来の赤外線反射顔料を上回る温度低減効果が得られる。

② 上記材料に酸化チタンを加えることで、温度低減効果を更に高めることができる。

以上のことから、路面温度の上昇を抑制する舗装に使用する材料として、以下の材料で構成される樹脂系混合物を提案する。

- 赤外線透過顔料（黒色顔料）
- 二酸化チタン（白色顔料）
- MMA 樹脂またはエポキシ樹脂

混合物型遮熱性舗装(C)としては、図-4.1.3.9 に示すような舗装断面を提案することにした。表層に最大粒径 5mm の樹脂系遮熱性混合物、中間層に最大粒径 13mm の排水性舗装用混合物、基層に粗粒度アスファルト混合物を施工するものとし、施工性とコストを考慮して、表層を 1cm，中間層を 4cm の厚さに設定した。

混合型遮熱性舗装(C)typeCは表層の樹脂系遮熱性混合物の明度を L*=50 に、同舗装typeD は明度を L*=35 に設定して、試験施工によって明度の影響を確認することにした。

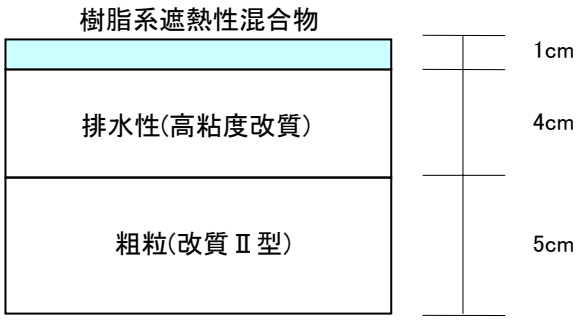


図-4.1.3.9 提案する舗装断面（ 混合物型遮熱性舗装(C) typeC,D ）

4．1．4 混合物型遮熱性舗装(D)

（1）平成 15 年度との相違点

1）温度低減効果

平成 15 年度の混合物(D)は、温度低減効果が 3～4℃程度と低く、微小中空粒子による遮熱性の効果が明確には確認できなかったため、本年度は混合物の着色に遮熱性顔料を用いることで、遮熱性の効果を期待した。その結果、配合検討段階における供試体を使った夏期屋外での温度測定では、通常の排水性混合物に対し、およそ10℃の温度低減効果が確認された。

2）施工コスト

遮熱性舗装用混合物を開発するにあたって課題となるのが施工コストである。

本検討では、塗布タイプの遮熱性舗装をコストの上限値と考え、開発を進めた。(具体的には、[排水性舗装＋遮熱性塗料塗布]＝7,000～8,000 円/㎡程度を混合物タイプの施工コストの上限とした。)

本混合物では、脱色アスファルトと遮熱性顔料のコストが高いため、一般的な排水性舗装用混合物の約 3～4 倍程度の混合物コストとなるが、施工は一般的な舗装と同様に行うことができる、つまり舗装工のみの施工となるため、塗布タイプと同等の施工コストにすることができた。なお、舗装工を含めた施工時間も塗布タイプのおよそ 2 分の 1 である。

3）明度

平成 15 年度の遮熱性舗装用混合物は、明度が低く、N50 設定の混合物で L^*=38 しかなかったため、顔料の再調整をおこなった。また、本混合物は、バインダがアスファルト系であるため、供用後に風雨や紫外線等により若干変色する。そのため、今回は供用後の変色を考慮し、変色した後の明度が色彩色差計（φ50mm）で L^*=50 および 60 となるような配合とした。

（2）概要

遮熱性舗装のひとつの形態として、排水性舗装の表面に遮熱効果を持たせた塗料あるいは樹脂等を塗布する手法があり、国道や地方道などで試験施工が行われているが、耐久性や施工性等に課題がある。特に舗設作業と別に樹脂等を塗布する作業を行うため、施工日数の増大とそれに伴うコストの増大に対する対応が課題とされている。

そういった背景のもとで、平成 15 年度に(独)土木研究所構内において、舗装用混合物自体に遮熱性を付与した混合物型遮熱性舗装の試験施工が行われた。追跡調査により得られた夏期の温度データや耐久性の面で未だ課題は残したものの、更なる改良により今後の可能性が期待されている。

平成 16 年度の混合物型遮熱性舗装(D)の特長は以下のとおりである。

① 路面温度低減効果

夏期舗装路面の温度低減効果により、ヒートアイランド現象の抑制、歩行者環境の緩和、熱帯夜の減少などの環境改善効果が期待されている。本混合物は塗布タイプの遮熱性舗装と同様に、日射の反射率を向上させ、路面温度の上昇を一般的なアスファルト舗装に対し 10℃程度抑制することができる。

② 施工時間の短縮

本混合物は、一般的な加熱アスファルト混合物と同様に施工できるため、舗装路面に遮熱性を付与した塗料や樹脂等を塗布する遮熱性舗装に対し、施工時間がおよそ 2 分の 1 に短縮することができる。

③ 耐久性

本混合物は耐流動性、すべり抵抗性、透水性等、一般的な排水性舗装と同等の耐久性を持つため、重交通道路にも対応することができる。特に、路面温度の上昇を抑制するため、夏期の耐流動性の向上が期待される。

④ 景観性

本混合物は、さまざまな調色が可能であるため、重交通道路のみならず、公園の園路等にも適用でき、景観性を向上させることができる。

⑤ 製造・施工の簡便性

本混合物は、一般的な加熱アスファルト混合物のプラントで製造が可能である。また、施工機械においても、フィニッシャや一般的な舗装機械で施工できるため、特殊な専用機械等を必要としない。

（3）使用材料と配合

本年度に検討を行った混合物は、平成 15 年度の混合物タイプの遮熱性舗装試験施工結果をもとに、平成 16 年度版として、改良を加えたものである。本検討では以下の 2 種類の混合物について検討を行った。

① N50 グレータイプ（Ａタイプ）

前年度、遮熱性材料として微小中空粒子を使用していたが、温度低減効果に大きな変化が見られないことから、顔料を遮熱性の高いものに変更した。また、使用する脱色高粘度アスファルトをより透明度の高いものに変更し、遮熱性顔料の効果が損なわれないようにした。

② N60 グレータイプ（Ｂタイプ）

Ａタイプ混合物をベースに、遮熱性顔料を N60 に調色、明色化し、より温度低減効果の高いものとした。

各混合物の使用材料および配合を表-4.1.4.1、表-4.1.4.2 に示す。

骨材には排水性舗装の一般的な材料を用いた。また、遮熱性顔料は、求められる性能や使用する色の比重・着色力により配合を変更し、それにあわせて石粉の配合率を配合設計により調整する。

特に摩耗耐久性が懸念される施工箇所においては、シノパール等の明色骨材を使用するなどの対策が必要である。

表-4.1.4.1　使用材料と配合（Ａ，Ｂタイプ）

使用材料	規格・品質	用　途	配合率（%）	備　考
砕　石	６号、葛生市	粗骨材	79.8	排水性舗装の一般的な使用骨材
粗目砂	佐野市	細骨材	5.0	
細目砂	佐野市	細骨材	5.0	
石　粉	安蘇郡	フィラー	2～5	
顔　料	舗装用	赤外線反射性能、明色化	3～10	遮熱性の高い顔料
アスファルト	脱色高粘度改質	バインダ	4.8	
（明色骨材）	シノパール６号	粗骨材	40～70	特に摩耗が懸念される施工箇所

（4）試験項目と試験結果

1）配合試験

本混合物（以下、混合物(D)）の基本性状を表-4.1.4.2 に示す。

表-4.1.4.2　混合物(D)の基本性状

試験項目	混合温度（℃）	締固め温度（℃）	動的安定度（回/mm）	透水係数（cm/sec）
Aタイプ	170	150	6350	25.5×10^{-2}
Bタイプ	170	150	6550	26.4×10^{-2}
基準値	170±5	-	3000 以上	10^{-2} 以上

各タイプの混合物ともに通常の排水性混合物の基準を満たす配合となった。

2）室内試験による路面温度上昇抑制効果

混合物(D)の路面温度上昇抑制効果を検証するため、室内において、ホイールトラッキング試験と同様の供試体を用いたランプ照射試験を行った。実験は図-1 に示すような試験装置を用い、遮熱性舗装技術研究会の「遮熱性舗装室内照射試験方法（暫定版）」にしたがって行った。

なお、混合物の色は、N50 相当の灰色である。

実験結果を表-4.1.4.3、図-4.1.4.2 に示す。

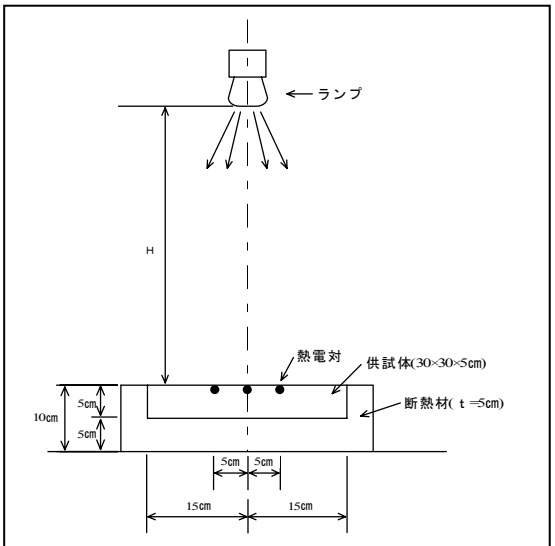


図-4.1.4.1　室内照射試験

なお、実験データの整理は、各熱電対のデータを平均し、排水性舗装と混合物(D)の温度データをそれぞれ XY 軸にプロットし、得られた回帰直線から、排水性舗装が60℃の時の混合物(D)の温度を推定する方法によって行った。

表-4.1.4.3　室内照射試験結果

照射時間	240 分
回帰直線の傾き	0.4909
回帰直線の切片	21.317
排水性舗装 60℃時の予測温度	50.8℃
排水性舗装 60℃時の予測低減温度	9.2℃

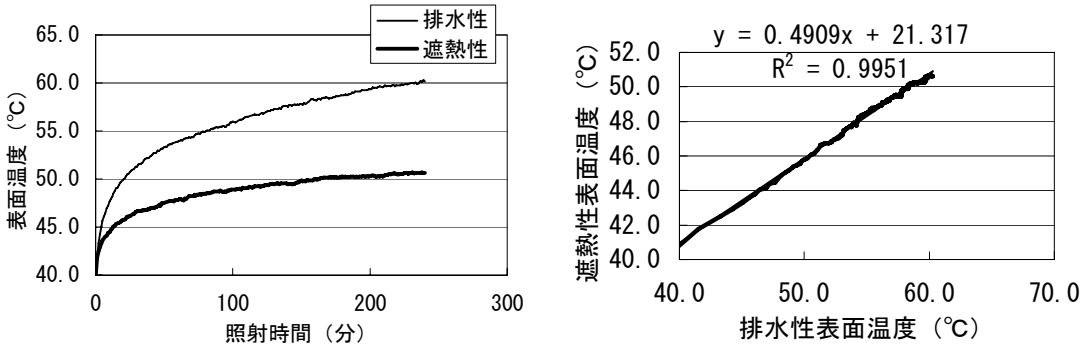


図-4.1.4.2　室内照射試験結果

実験結果より、遮熱性舗装技術研究会の暫定試験方法では、一般的な排水性舗装と比較して約 9℃の低減温度であった。

2）屋外での路面温度上昇抑制効果

室内試験に用いたＡタイプの供試体（色調は N50 灰色）により混合物(D)の夏期屋外暴露試験を行った。実験結果を表-4.1.4.4、図-4.1.4.3 に示す。なお、実験データの整理方法は室内照射試験と同様である。

表-4.1.4.4　屋外暴露試験結果

照射時間	3 日間（晴天）
回帰直線の傾き	0.7251
回帰直線の切片	7.0577
排水性舗装 60℃時の予測温度	50.6℃
排水性舗装 60℃時の予測低減温度	9.4℃

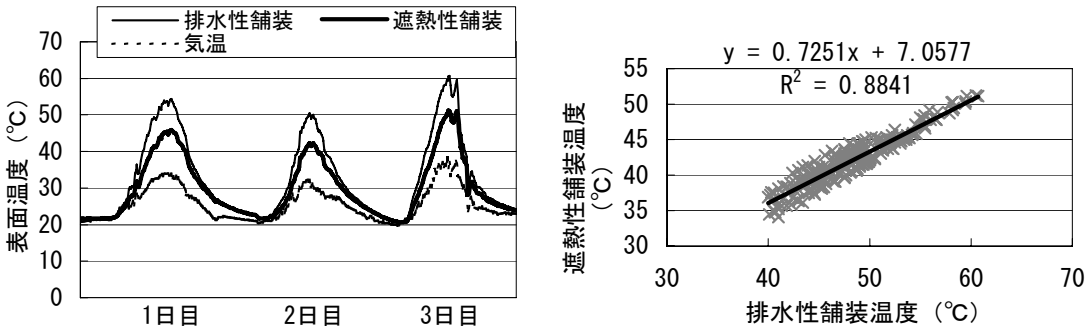


図-4.1.4.3　屋外暴露試験結果

実験結果より、推定された屋外での路面温度低減量は約 9℃程度であり、室内試験と同等の結果となった。

3) すべり抵抗性

混合物(D)のすべり抵抗性を測定するため、50×50×5cm の供試体を作製し、DF テスターによる動摩擦係数の測定を行った。試験結果を表-4.1.4.5 に示す。

表-4.1.4.5　混合物(D)のすべり抵抗性試験結果

舗装種類	動摩擦係数（μ60）	試験方法
排水性舗装	0.47	試験法便覧別冊
混合物(D)	0.48	4-1-1T

試験結果より、混合物(D)のすべり抵抗性は、排水性舗装とほぼ同等であった。

4) 現場透水量

混合物(D)の透水性評価について、現場透水量試験による、現場透水量の測定を行った。試験結果を表-4.1.4.6 に示す。

表-4.1.4.6　現場透水量試験結果

舗装種類	現場透水量 (ml/15sec)	試験方法
排水性舗装	1215	舗装試験法便覧
混合物(D)	1210	5-4-1

試験結果より、混合物(D)の透水性は排水性舗装と同等であった。

（5）試験施工で提案する舗装断面

試験施工箇所は 4×4m の供試体が 2 面、およびループ走行路における延長が 15m の試験施工区間である。

各舗装構造を図-4.1.4.4、図-4.1.4.5 に示す。なお、ループ走行路では、既設の舗装を切削し、レベリングをした後、Ａタイプのみを舗設することとした。また、4×4m の供試体は、Ａ，Ｂタイプともに同様の構造で 1 箇所ずつ施工することとした。

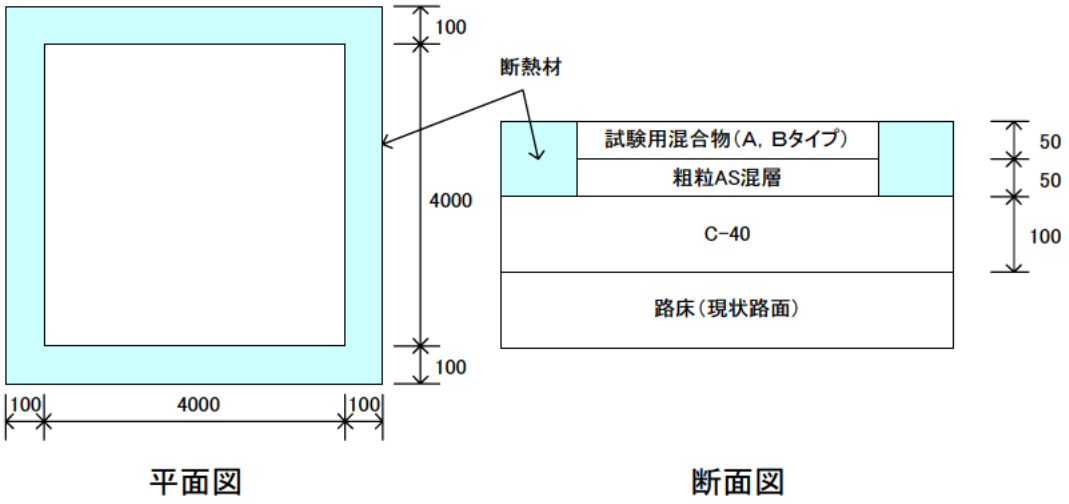


図-4.1.4.4　舗装構造図（供試体）

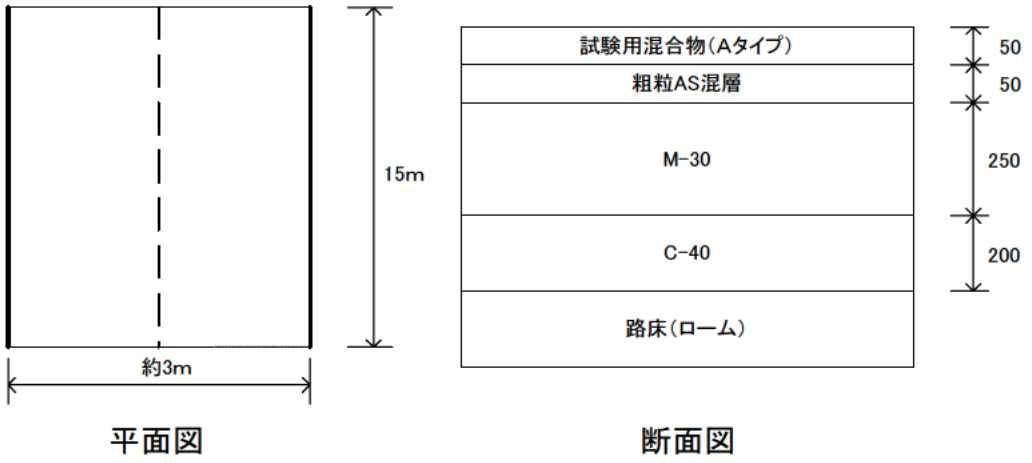


図-4.1.4.5　舗装構造図（ループ走行路）

4．2　試験施工による検討　（平成16年度）

4．2．1　試験施工の概要

（1）　土木研究所内での試験施工

平成 16 年度は、平成 15 年度の隣接箇所とし、図-4.2.1.1 に示す配置で試験施工を行った。試験状況を図-4.2.1.2 に示す。

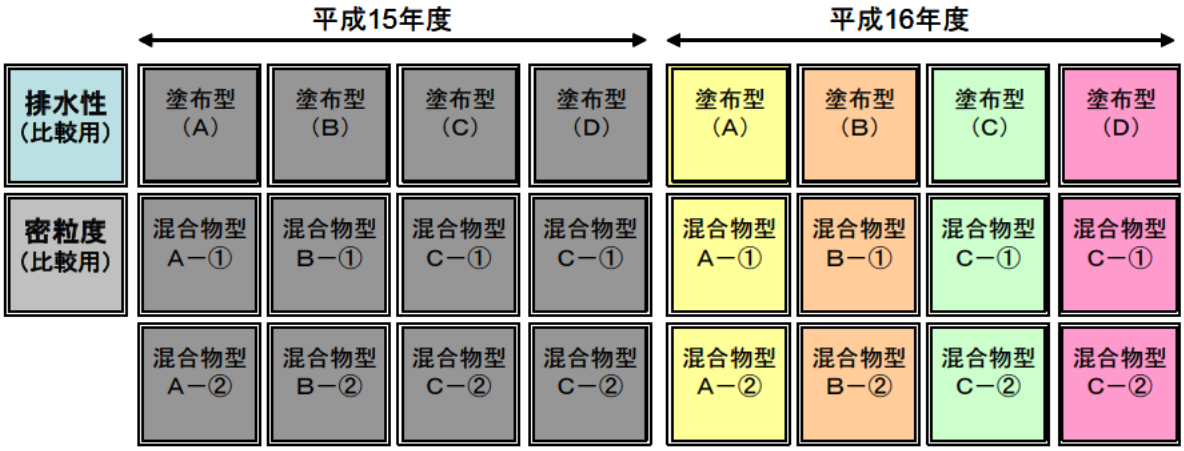


図-4.2.1.1　4m×4m供試体配置図



図-4.2.1.2　4m×4m供試体配置状況

（2） 試験走路

図-2.2.2.3 に示す混合物型遮熱性舗装地点において各グループの試験舗装A、B、C、Dの４種類と比較用舗装として設けた排水性舗装の合計５種類の舗装を試験施工し、矢印の方向に荷重車を走行させ促進載荷試験を行った。各工区割を図-4.2.1.3、施工後の試験走路状況を図-4.2.1.4 に示す。なお、表-4.2.1.1 に平成 16 年度の荷重車走行記録、表-4.2.1.2 に路面調査時期を示す。

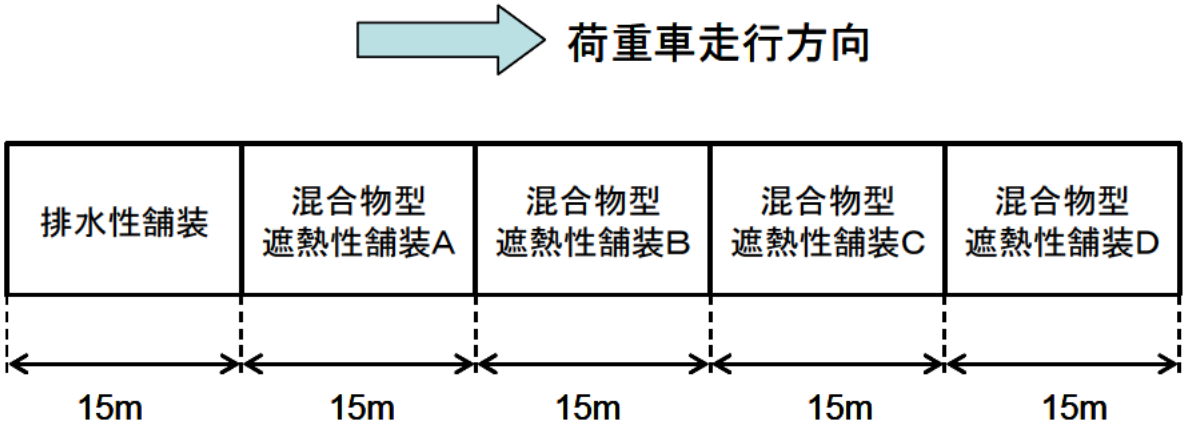


図-4.2.1.3 試験工区



図-4.2.1.4 試験走路施工状況 （平成16年度）

表-4.2.1.1 平成16年度荷重車走行記録（1／2）

平成16年度		運転時刻			車両通過回数		49KN換算輪通過回数	
日付	天候	開始	終了	運転時間	当日	合計	当日	合計
7/9	晴れ	9:00	18:00	6:15	1,197	1,197	5,119	5,119
7/12	晴れ	14:31	17:54	3:14	680	1,877	2,908	8,028
7/13	晴れ	10:00	16:45	5:30	960	2,837	4,106	12,133
7/14	晴れ	10:00	18:15	7:39	927	3,764	3,965	16,098
7/15	晴れのち雷雨	9:30	17:54	7:29	1,202	4,966	5,141	21,239
7/16	晴れのち雷雨	9:30	16:00	6:01	1,226	6,192	5,243	26,482
7/20	-	10:00	11:00	1:00	263	6,455	1,125	27,607
7/21	-	9:46	15:34	5:48	818	7,273	3,498	31,105
7/22	-	13:20	15:46	2:26	457	7,730	1,954	33,060
7/23	-	9:24	16:45	7:21	1,514	9,244	6,475	39,535
7/24	晴れ	9:24	17:46	8:22	1,923	11,167	8,224	47,759
7/26	晴れ夕刻雷雨	9:21	16:30	7:09	1,510	12,677	6,458	54,217
7/27	朝曇りのち晴れ	9:33	19:47	10:14	1,510	14,187	6,458	60,675
7/28	晴れ	9:34	17:06	7:32	1,296	15,483	5,543	66,218
7/29	大雨のち晴れ	9:30	21:30	12:00	846	16,329	3,618	69,836
7/30	曇り、雨一時晴れ	9:22	17:46	8:24	1,536	17,865	6,569	76,405
8/1	晴れ	10:49	19:21	8:32	1,552	19,417	6,638	83,043
8/2	晴れ	9:16	17:15	7:59	1,555	20,972	6,650	89,693
8/3	晴れ	9:50	17:52	8:02	1,665	22,637	7,121	96,814
8/4	晴れ一時曇り	9:38	12:42	3:04	745	23,382	3,186	100,000
8/12	-	11:47	18:41	6:54	107	23,489	458	100,458
8/13	-	15:12	19:52	4:40	122	23,611	522	100,980
8/14	-	14:31	20:16	5:45	255	23,866	1,091	102,070
8/15	-				31	23,897	133	102,203
8/16	-				179	24,076	766	102,968
8/17	-				66	24,142	282	103,251
8/20	晴れ	14:00	20:21	6:21	1,000	25,142	4,277	107,527
8/21	晴れ	10:18	20:12	9:54	1,924	27,066	8,229	115,756
8/22	-				47	27,113	201	115,957
8/23	-				155	27,268	663	116,620
8/24	曇りのち晴れ	9:17	19:56	10:39	2,280	29,548	9,751	126,371
8/25	晴れ	9:01	20:42	11:41	1,701	31,249	7,275	133,646
8/26	晴れのち曇り	14:42	20:55	6:13	1,475	32,724	6,308	139,954
8/27	曇り	8:43	20:56	12:13	1,492	34,216	6,381	146,335
8/28	曇り	9:51	19:25	9:34	1,451	35,667	6,206	152,541
8/30	曇り	10:22	19:23	9:01	1,648	37,315	7,048	159,589
8/31	雨	9:25	20:16	10:51	2,160	39,475	9,238	168,827

表-4.2.1.1 平成16年度荷重車走行記録 （2／2）

平成16年度		運転時刻			車両通過回数		49KN換算輪通過回数	
日付	天候	開始	終了	運転時間	当日	合計	当日	合計
9/1	晴れ	8 58	12:40	3:42	840	40,315	3,593	172,419
9/2	曇り	15:10	18:06	2:56	806	41,121	3,447	175,866
9/3	曇り のち晴れ	9:17	20:10	10:53	2,400	43,521	10,264	186,131
9/4	-	8:40	17:30	8:50	2,160	45,681	9,238	195,369
9/6	-	9 51	14:53	5:02	1,099	46,780	4,700	200,069
10/4				0:00	5,088	51,868	21,031	221,099
10/5	雨	9 58	17:06	7:08	1,440	53,308	5,952	227,052
10/6	晴	8 27	17:14	8:47	1,680	54,988	6,944	233,996
10/7	晴	8 37	17:52	9:15	1,439	56,427	5,948	239,944
10/8	曇/雨	7 34	16:38	9:04	2,160	58,587	8,928	248,872
10/11	小雨時々曇	8 56	16:36	7:40	1,920	60,507	7,936	256,808
10/12	曇/雨	7:11	17:20	10:09	2,160	62,667	8,928	265,736
10/13	雨	7 08	12:25	5:17	1,310	63,977	5,415	271,151
10/14	晴	7 05	17:21	10:16	1,200	65,177	4,960	276,111
10/15	晴	7 03	18:00	10:57	1,824	67,001	7,539	283,650
10/16	曇	7 27	17:56	10:29	1,980	68,981	8,184	291,834
10/17	晴	7 09	17:50	10:41	2,400	71,381	9,920	301,754
10/18	晴	9 00	13:18	4:18	210	71,591	868	302,623
10/19	雨				70	71,661	289	302,912
1/17		0 00	0:00	0:00	0	78,931	0	332,962
1/18	晴	9 30	19:45	10:15	1,511	80,442	6,246	339,207
1/19	曇/晴	6:46	19:12	12:26	1,431	81,873	5,915	345,122
1/20	晴	6:49	19:32	12:43	1,076	82,949	4,448	349,570
1/21	晴	7 02	13:30	6:28	507	83,456	2,096	351,665
3/6		0 00	0:00	0:00	0	83,636	0	353,584
3/7	晴	8 00	17:00	9:00	92	83,728	380	353,964
3/8	晴	8 00	18:30	10:30	1,419	85,147	6,200	360,164
3/9	晴	8 00	17:00	9:00	1,023	86,170	4,158	364,322
3/10	晴	8 00	19:00	11:00	1,274	87,298	5,272	369,594
3/11	晴	8 00	18:00	10:00	1,320	88,618	5,530	375,124
3/12	晴	8 00	18:00	10:00	1,374	89,992	5,616	380,741
3/14	晴	8 00	18:00	10:00	987	90,979	4,117	384,857
3/15	晴	8 00	19:00	11:00	1,520	92,499	6,283	391,140
3/16	晴	8 00	23:55	15:55	1,390	93,889	5,745	396,886
3/17	晴	8 00	18:00	10:00	1,138	95,027	4,704	401,589
3/18					63	95,090	260	401,850
3/19					162		670	402,519
3/20	曇	13 00	16:00	3:00	98		405	402,924

表-4.2.1.2 路面調査時期

走行回数	調査時期
初期調査	H16.6.28～H16.6.29
10 万輪走行後調査	H16.8.6～H16.8.9
20 万輪走行後調査	H16.9.8～H16.9.9
30 万輪走行後調査	H16.10.21～H16.10.24
35 万輪走行後調査	H17.3.1
40 万輪走行後調査	H17.3.21～H17.3.28

4．2．2 混合物型遮熱性舗装(A)

(1) 施工断面

平成 16 年度に試験施工を実施した混合物型遮熱性舗装(A)の施工断面は図-4．2．2．1 に示すとおりである。また、遮熱表層の舗装構成は図-4．2．2．2 に示すとおりで、混合物の配合は表-4．1．1．2 と同様である。

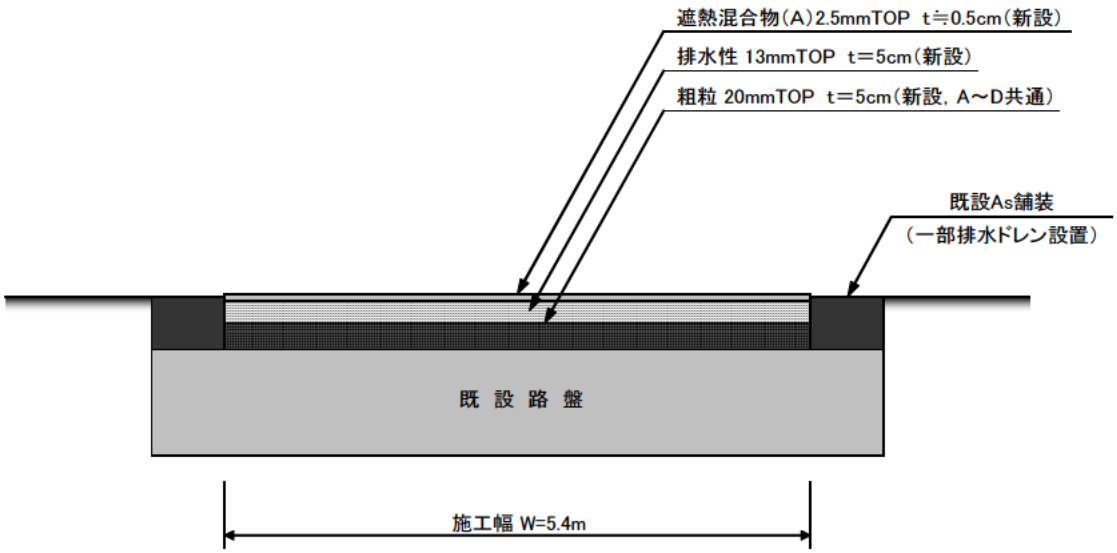


図-4.2.2.1 試験施工断面（平成 16 年度）

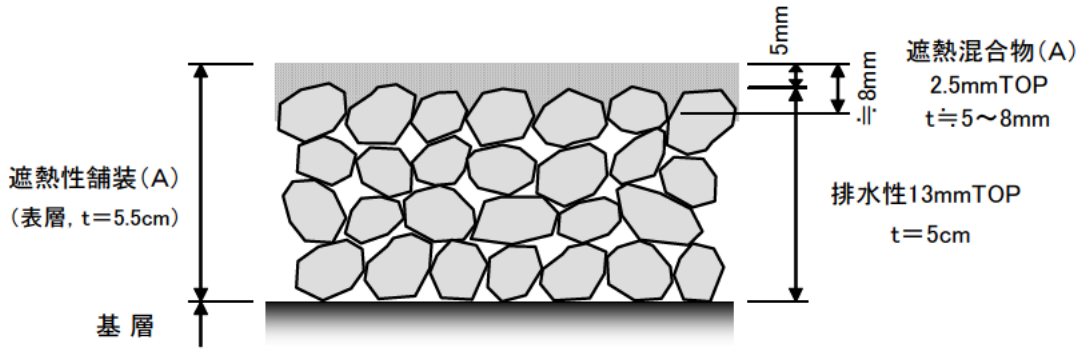


図-4.2.2.2 混合物型遮熱性舗装(A)の舗装構成（平成 16 年度）

(2) 試験施工の全体フロー

平成16年度に実施した遮熱性混合物の製造から舗設までの全体フローは図-4.2.2.3に示すとおりである。製造と舗設の詳細については以降に示す。

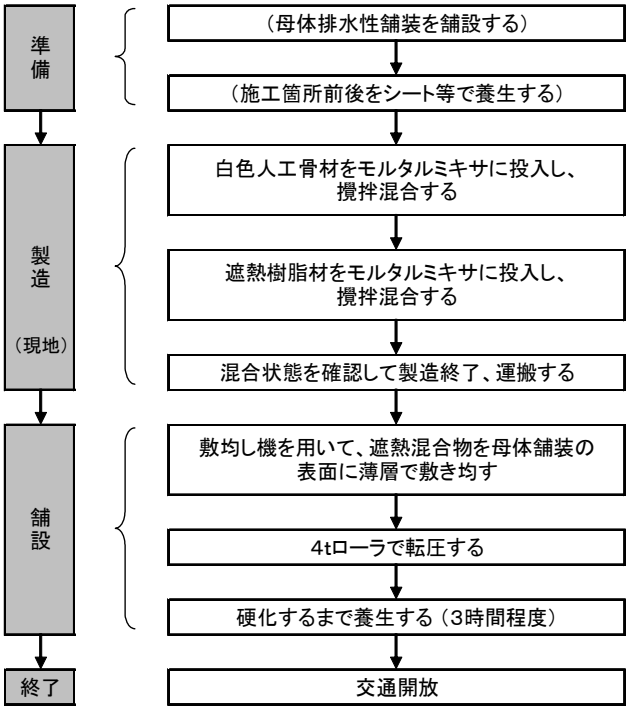


図-4.2.2.3 混合物型遮熱性舗装(A)の試験施工フロー（平成 16 年度）

(3) 遮熱混合物の製造

遮熱混合物の製造は、平成 15 年度検討がアスファルト合材工場で製造したのに対して、平成 16 年度検討ではモルタルミキサを使用して現場内で製造した。モルタルミキサは電動モータ式で 50～100kg/バッチの混合容量を持ち、4t ユニックにこれと発電機、材料（白色



写真-4.2.2.1 遮熱混合物(A)の製造装置



写真-4.2.2.2 混合物の排出状況

人工骨材と遮熱樹脂材）を同時に積載して移動することが可能である（写真-4.2.2.1）。

遮熱混合物の製造方法は、白色人工骨材をミキサで空練りしたのち、遮熱樹脂材を投入して撹拌混合した（写真-4.2.2.2）。混合時間は約１分/バッチである。

(4) 遮熱性舗装(A)の施工

混合物型遮熱性舗装(A)の施工は、図-4.2.2.4 に示す既存の施工機械を使用して敷均しと締固めを行った。敷均しについては、母体の排水性舗装との一体化を図りつつ舗装厚さ t=5mm の薄層施工を実施するため、摺動式スクリードを有する敷均し機を用いた。締固めには 4t 鉄輪ローラを用いた。なお、表層を除く基層以下の基盤施工に係わる部分については、平成 15 年度と同様に他グループと共通としており、基層には粗粒度アスファルト混合物（改質Ⅱ型、最大粒径 20mm）を用いている。

温度測定用の供試体ヤードの施工状況を写真-4.2.2.3～4 に、完成状況を写真-4.2.2.5～6 に示す。また、路面性状測定用の舗装走行実験場の施工状況を写真-4.2.2.7～8 に、完成状況を写真-4.2.2.9～10 に示す。

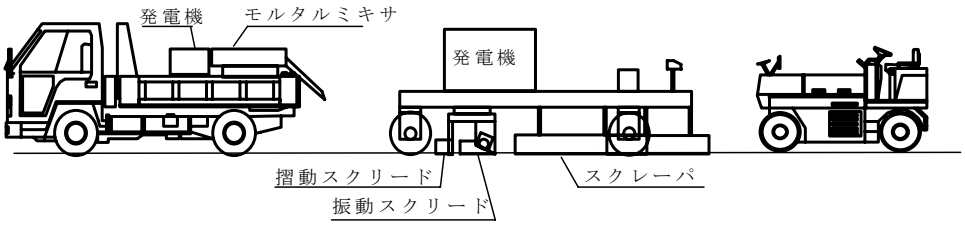


図-4.2.2.4 混合物型遮熱性舗装(A)の機械編成（平成 16 年度）



写真-4.2.2.3 遮熱混合物(A)の敷均し状況
（供試体ヤード）



写真-4.2.2.4　遮熱混合物(A)の転圧状況（供試体ヤード）



写真-4.2.2.5　混合物型遮熱性舗装(A)の施工完了
（供試体ヤード，指定明度 N-50，写真手前）



写真-4.2.2.6　混合物型遮熱性舗装(A)の施工完了
（供試体ヤード，自由明度 N-60，写真手前）



写真-4.2.2.7 遮熱混合物(A)の敷均し状況
(舗装走行実験場)



写真-4.2.2.8 遮熱混合物(A)の敷均し状況
(舗装走行実験場)



写真-4.2.2.9 遮熱混合物(A)の転圧状況 (舗装走行実験場)



写真-4.2.2.10 混合物型遮熱性舗装(A)の施工完了
(舗装走行実験場, 指定明度 N-50)

4．2．3 混合型遮熱性舗装(B)

混合型遮熱性舗装(B)の，屋外における路面温度低減効果と車輌走行による舗装の耐久性を調べるため，供試体工事と舗装走行実験場で，試験施工を行った．

(1)施工概要

1) 施工場所 :独立行政法人 土木研究所内 供試体ヤードおよび舗装走行実験場

2) 日 時 :平成 16 年 6 月 7 日(月), 8 日(火), 23 日(水)
(7 日:AP での試験練り, 8 日:試験施工, 23 日:塗布型遮熱施工)

3)施工数量 : ①供試体工事 4m×4m, 3カ所, A=48.0 ㎡, t=5cm
② 舗 装 走 行 実 験 場 L =15m , W =5.4m , A =81.0 ㎡ , t=5cm
(混合型遮熱性舗装 2cm＋排水性舗装 3cm)

(2)舗装構成および断面

舗装走行実験場の舗装構成および断面を図-4.2.3.1 に示す．供試体工事も同じ舗装構成・断面である．

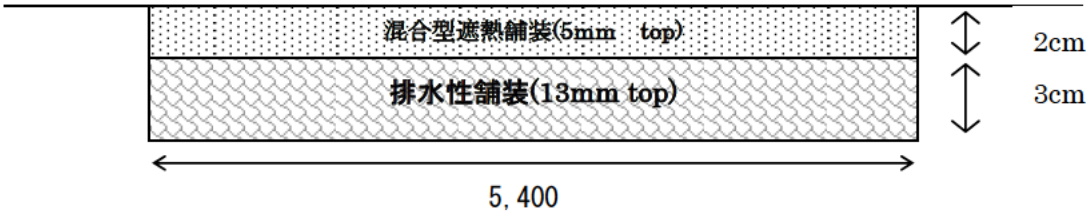


図-4.2.3.1 施工断面

4．1 実施工程

実施工程を表-4.2.3.1 に示す．

表-4.2.3.1 工事工程表

工種	単位	数量	6/7	6/8	6/23	備考
準備工						
試験練り	式	1	▒▒			
表層工						
排水性舗装	m²	129.0	(NIPPO 社が施工)			t=30 ㎜舗装走行実験場，供試体工事
混合型遮熱性舗装(N50)	m²	97.0		▒▒		舗装走行実験場，供試体工事
混合型遮熱性舗装(青色系)	m²	16.0		▒▒		供試体工事
塗布型遮熱性舗装						
施工	m²	16.0			▒▒	

4．2 施工状況

1）排水性舗装

平成16年度と同様で，通常の施工と同様に行った（他工区の施工時にNIPPO社が実施）．

2）混合型遮熱性混合物

概ね，平成１６年度と同様である．

施工に関しては，前年度の経験を踏まえて付着防止対策を実施するとともに，施工後の手直しを極力行わないようにした．

施工状況を表-4.2.3.2に示す．

表-4.2.3.2 混合型遮熱舗装 施工状況

時刻	工程	備考
ー	排水性舗装施工	NIPPO社が事前に施工
前日	AF清掃	試験練り混合物による
7:30	AP清掃	捨てバッチによる
8:00	混合型遮熱混合物出荷	無彩色
8:45	供試体工事 敷均し開始	人力施工(ﾊﾝﾄﾞｶﾞｲﾄﾞﾛｰﾗ)
9:15	舗装走行実験場 敷均し開始	機械施工(AF， MR)
9:30	混合型遮熱混合物出荷	有彩色
10:15	供試体工事 敷均し開始	人力施工(ﾊﾝﾄﾞｶﾞｲﾄﾞﾛｰﾗ)
10:45	混合型遮熱混合物施工終了	
11:30	施工現場片付け完了	

3）施工状況写真

供試体工事の施工状況を写真-4.2.3.1～4.2.3.6 に，舗装走行実験所の施工状況を写真-4.2.3.7～4.2.3.11に示す．



写真-4.2.3.1 混合型遮熱性舗装（N50）の敷均し状況（供試体工事）



写真-4.2.3.2　混合型遮熱性舗装（N50）の転圧状況（供試体工事）



写真-4.2.3.3　混合型遮熱性舗装（N50）の施工完了（供試体工事）



写真-4.2.3.4　混合型遮熱性舗装（有彩色）の敷均し状況（供試体工事）



写真-4.2.3.5　混合型遮熱性舗装（有彩色）の転圧状況（供試体工事）



写真-4.2.3.6　混合型遮熱性舗装（有彩色）の施工完了（供試体工事）



写真-4.2.3.7　排水性舗装の施工完了（舗装走行実験場）



写真-4.2.3.8　混合型遮熱性舗装（N50）の敷均し状況（舗装走行実験場）



写真-4.2.3.9　混合型遮熱性舗装（N50）の転圧状況（舗装走行実験場）



写真-4.2.3.10　混合型遮熱性舗装（N50）の転圧状況（舗装走行実験場）



写真-4.2.3.11　混合型遮熱性舗装（N50）の施工完了（舗装走行実験場）

4．2．4　混合物型遮熱性舗装(C)

(1)舗装断面

本試験施工では、温度測定工区には、２種類の混合物型遮熱性舗装(C)（typeC，typeD)、耐久性評価工区には１種類の混合物型遮熱性舗装（C）(typeC)の施工を実施した。各施工断面は図-4.2.4.1 のとおりである。同図に示すように、粗粒度アスファルト混合物を基層として、中間層には通常の高粘度改質アスファルトを使用した排水性混合物(13)、表層には樹脂系遮熱混合物を設ける舗装構成となっている。

表層の樹脂系遮熱混合物の施工は、中間層となる排水性舗装の施工翌日を予定している。一般に、ニート工法等の樹脂系材料を施工する際には、余剰アスファルト分や施工時の油分による付着力低下を防ぐためにベースとなるアスファルト舗装の施工直後は行わない。そこで、本試験施工においては、付着力を確保するために中間層の排水性舗装の表面を研磨した上でプライマー処理を行うことで対処した。

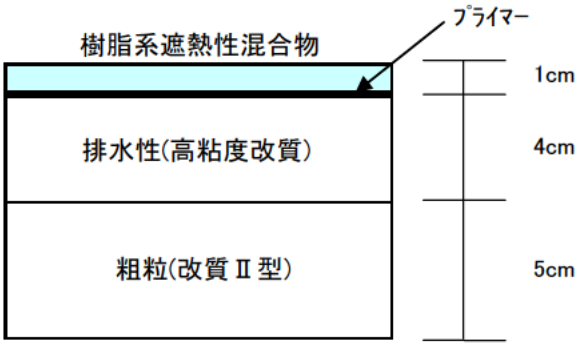


図-4.2.4.1　試験施工断面

(2)使用材料

混合物型遮熱性舗装(C)の施工は、表-4.2.4.1 に示す材料を使用した。バインダについては、本試験施工の実施予定日が当初４月～５月とされていたことから、硬化反応が早いMMA樹脂を用いた。なお、夏期施工ではエポキシ樹脂を使用する。

表-4.2.4.1　使用材料

材　料	種　類	製造会社	使用した混合物
砕石 5-2.5mm	セラミック骨材(白色)	美州興産㈱	表層 遮熱性混合物
粗砂	同　上	同　上	
細砂	同　上	同　上	
特殊黒顔料	有機顔料	―	
白色顔料	酸化チタン	森下弁柄工業㈱	
バインダー※	MMA系樹脂	大日本インキ化学工業㈱	
プライマー	MMA系樹脂	同　上	層間の接着
砕石6号	硬質砂岩	㈱藤坂	中間層 排水性混合物
粗砂	川砂	㈱しだ産業	
石粉	石灰石	田政礦業㈱	
アスファルト	高粘度改質アスファルト	ニチレキ㈱	

表-4.2.4.2 バインダの基本性状

項　目	性　状	試験方法
外 観	半透明液状	目　視
密度 (g/cm^3)	1.13	JIS K 6901
粘度 (dPa･s)	9.0	同　上

(3)混合物性状

各混合物の配合割合と、遮熱混合物の基本性状を以下に示す。

表-4.2.4.3 各混合物の配合割合

配合名	材料の種類	配合割合 (%)	ふるい目の開き(mm)						
			13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
typeC	砕石5mm	67.0	100.0	98.5	0.4				
	粗　砂	18.0			100.0	18.4	0.2		
	細　砂	10.0				100.0	47.3	4.3	0.1
	黒顔料	0.125							100.0
	白顔料	4.875							100.0
	合　計	100.0	100.0	99.0	33.3	18.3	9.8	5.4	5.0
	ﾊﾞｲﾝﾀﾞ量	12.3							
typeD	砕石5mm	67.0	100.0	98.5	0.4				
	粗　砂	18.0			100.0	18.4	0.2		
	細　砂	11.5				100.0	47.3	4.3	0.1
	黒顔料	0.32							100.0
	白顔料	3.18							100.0
	合　計	100.0	100.0	99.0	33.3	18.3	9.0	4.0	3.5
	ﾊﾞｲﾝﾀﾞ量	12.3							
排水性（中間層）	砕石6号	82.0	93.0	3.1					
	粗　砂	13.0		100.0	87.3	67.8	31.5	6.0	2.6
	石　粉	5.0					100.0	95.6	78.5
	合　計		94.3	20.5	16.3	13.8	9.1	5.6	4.2
	ｱｽﾌｧﾙﾄ量	4.8							

表-4.2.4.4 遮熱混合物の基本性状

項 目		性 状
密度 (g/cm^3)		1.958
圧縮強さ (MPa)	3 時間	20.0
	24 時間	24.7
	72 時間	25.0
圧裂強度 (MPa)	24 時間	5.4
ｶﾝﾀﾌﾞﾛ損失率 (%)	20℃	5.6
	-20℃	10.1
透水係数 (×10^{-1} cm/s)		1.31

(4)施工

① 製造

(i) 排水性混合物

中間層に用いた排水性混合物(13)は、前田道路㈱土浦合材工場で製造した。

(ii) 表層混合物(typeC,D)

表層用樹脂混合物 (typeC,D) は、施工現場で人力により製造した。表-4.2.4.5 に製造条件を示す。

表-4.2.4.5 混合物の製造条件

項 目	条 件
ミキサ種類	パン型強制練りミキサ
投入順序	骨材 → 顔料 → バインダ
混合時間	全材料投入後、60 秒

② 施工

(i) 施工手順

各混合物の施工は図-4.2.4.2 に示す手順で実施した。なお、施工は２日間の予定であったが、２日目の降雨のために３日間工程となった。

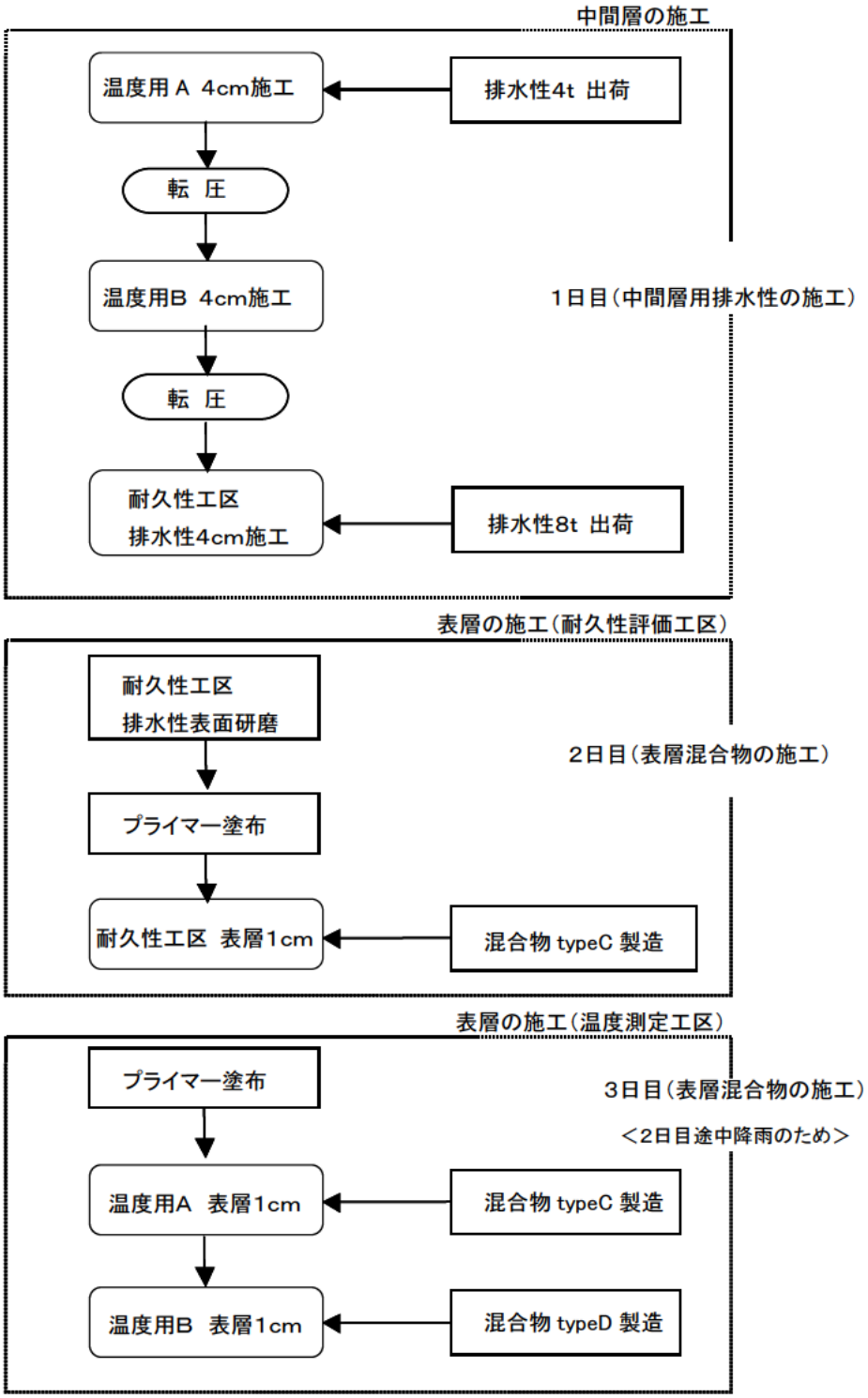


図-4.2.4.2 各混合物の施工手順

(ii) 使用機械

本試験施工に使用した機械を表-4.2.4.6 に示す。なお、タイヤローラは小規模施工の為、使用しなかった。

表-4.2.4.6 使用機械

施工場所	機 械 名	能力・型式
温度測定用供試体	ハンドガイド式ローラ	―
	プレートコンパクタ	―
	パン型強制練りミキサ	―
	金コテ、ローラ刷毛	―
耐久性評価用（中ループ）	アスファルトフィニッシャ	フェーゲル SUPER 2000
	タンデムローラ	HAMM HD70 7t 級振動ローラ
	パン型強制練りミキサ	―
	幅広プレートコンパクタ	幅 90cm（接地面積を広くしたもの）
	金コテ、ローラ刷毛	

(iii) 施工状況

・遮熱性混合物(C) typeC（耐久性評価用）

本遮熱性混合物はバインダにMMA系樹脂を使用しているために、機械施工は行わず、人力による施工とした。施工現場で混合物を製造後、速やかに金コテ等を用いて敷きならしを行った。その後、幅広プレートコンパクタを１往復して平たん性とキメをそろえた。施工当日の気温は約 25℃であり、可使時間は１５分確保でき、一部箇所を除いて良好に施工が完了した。

・遮熱性混合物(C) typeC,D（温度用供試体）

本遮熱性混合物はMMA系樹脂をバインダとしているため、即日交通開放が可能となる反面、気温が高いと可使時間が確保できないという欠点を持っていた。温度測定用工区の施工当日は、気温が３０℃に達したために、敷きならし途中で混合物の硬化反応が始まり作業性が悪くなった。その影響により、施工ジョイント部分で表面に荒れが生じたが、ジョイント以外の箇所では良好に施工が完了した。



写真-4.2.4.1　中間層施工状況（耐久性評価工区）



写真-4.2.4.2　プライマー塗布状況（耐久性評価工区）



写真-4.2.4.3　表層混合物製造状況（耐久性評価工区）



写真-4.2.4.4　表層混合物施工状況（耐久性評価工区）



写真-4.2.4.5　施工完了（耐久性評価工区）



写真-4.2.4.6　中間層施工状況（温度測定工区）



写真-4.2.4.7　プライマー塗布状況（温度測定工区）



写真-4.2.4.8　表層施工状況（温度測定工区）

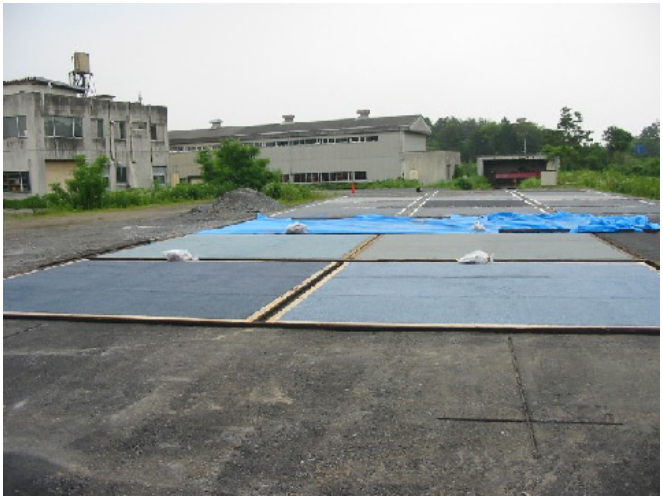


写真-4.2.4.9　表層施工完了（温度測定工区）

４．２．５ 混合物型遮熱性舗装(D)

（1）実施日および施工場所

実施日　：2004 年 6 月 15 日（火）

施工場所：独立行政法人土木研究所構内

走行路内供試体ヤードおよびループ走行路

（2）施工規模

走行路内供試体ヤード：施工面積 16 ㎡（4m×4m）×2 箇所

ループ走行路：延長 15m、幅員約 3.25m、施工面積約 49 ㎡

（3）施工機械

本試験施工に使用した施工機械を表-4.2.5.1 に示す。

なお、タイヤローラは今回小規模施工の為、使用していない。

表-4.2.5.1　使用機械

施工場所	機械名	能力・型式
温度測定用供試体用	ハンドガイドローラ	1t
	プレートコンパクタ	-
	タイヤショベル	0.35m^3
ループ走行路舗装用	アスファルトフィニッシャ	FL23T-63
	コンバインドローラ	4t

（4）施工方法

1）温度測定用供試体

温度測定用の供試体は、Ａタイプ、Ｂタイプ混合物ともに人力施工により行った。最大粒径が 13mm の通常の排水性舗装と同様の作業であったが、人力施工のため、平坦性の確保に苦慮した。

① 混合

混合物の製造は一般的な加熱アスファルト混合物と同様のプラントで行う。

② 運搬

混合物の運搬は 10t ダンプにより行った。

③ 敷均し

供試体が小さいこと、熱電対の設置作業があることなどから、混合物の敷均しはタイヤショベルおよび人力により行った。



写真-4.2.5.1　敷均し状況

④ 転圧

混合物の転圧にはハンドガイドローラおよびプレートコンパクタにより行った。



写真-4.2.5.2　転圧状況

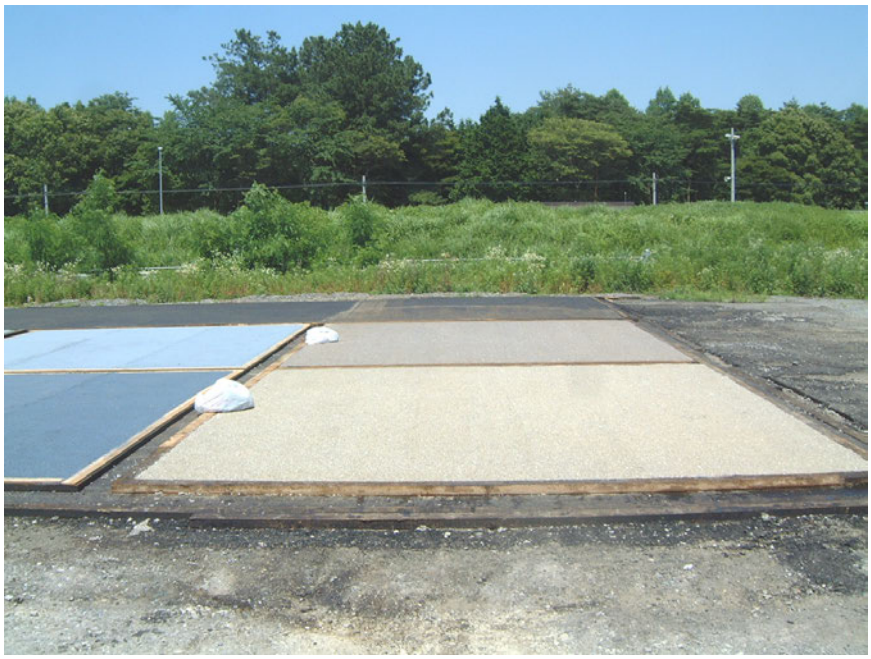


写真-4.2.5.3　舗設完了（4×4m 供試体）

2）ループ走行路舗装

今回の施工では通常の高締固め型フィニッシャを用い、Ａタイプ混合物を厚さ 5cm で１層施工により舗設した。

① 製造

混合物(D)の製造は、通常の加熱アスファルト混合物を製造する定置式プラントで製造した。

② 運搬

混合物は 10t ダンプで運搬した。

③ 敷均し

混合物の敷均しには､加熱アスファルト混合物の敷均しに用いるアスファルトフィニッシャを使用した。



写真-4.2.5.4　敷均し状況

④ 転圧

混合物を敷均した後、コンバインドローラで転圧作業を行った。



写真-4.2.5.5　敷均し状況

（5）施工結果

本試験施工は、室内検討を行った 2 種類の配合について、路面温度の上昇抑制効果、および耐久性等に関する夏期のデータ収集を目的として行われたものである。

合材の運搬径路が比較的長かったが、気温が高かったため、施工性は良好であった。

4．3 平成16年度試験施工による調査結果

4．3．1 平成16年度夏期の気象について

平成 16 年 7 月～8 月の気象観測結果を以下に示す。

（1） 気温

図-4.3.1.1 は各日における最高気温を示したものである。平成 16 年 7 月～8 月は最高気温が 30℃を越える日が多く、また 7 月 29 日には東京都で史上最高気温の 39.5℃を記録するなど、路面温度調査には適した年となった。

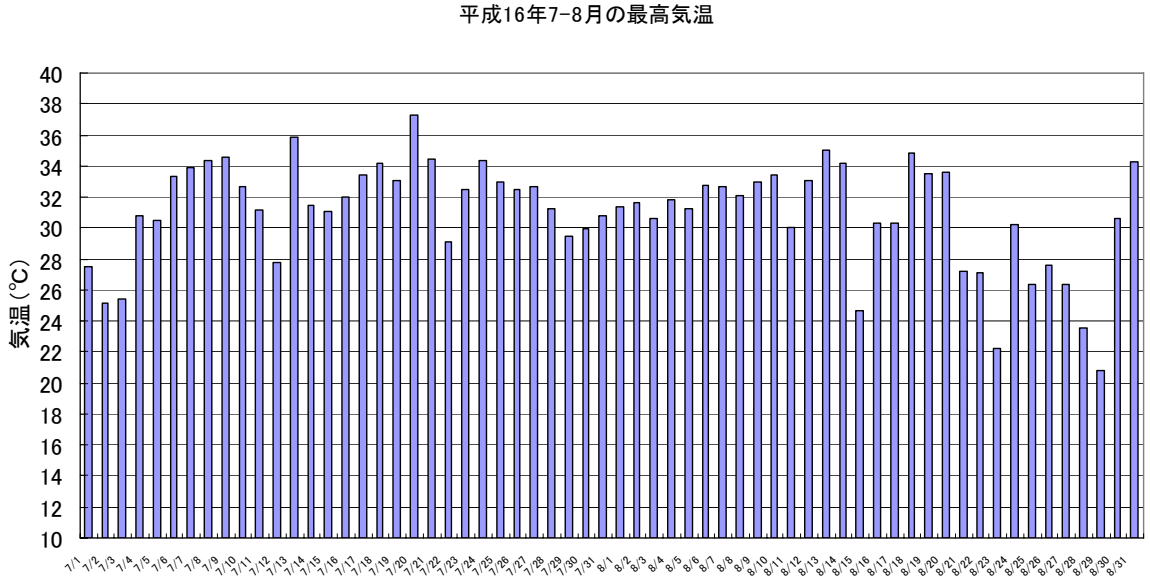


図-4.3.1.1 平成 16 年 7 月～8 月の最高気温

（2） 日射量

図-4.3.1.2 は、各日の 10 時～13 時における平均日射量を示したものである。

気温と同様、日射量についても多い日が多くなった。

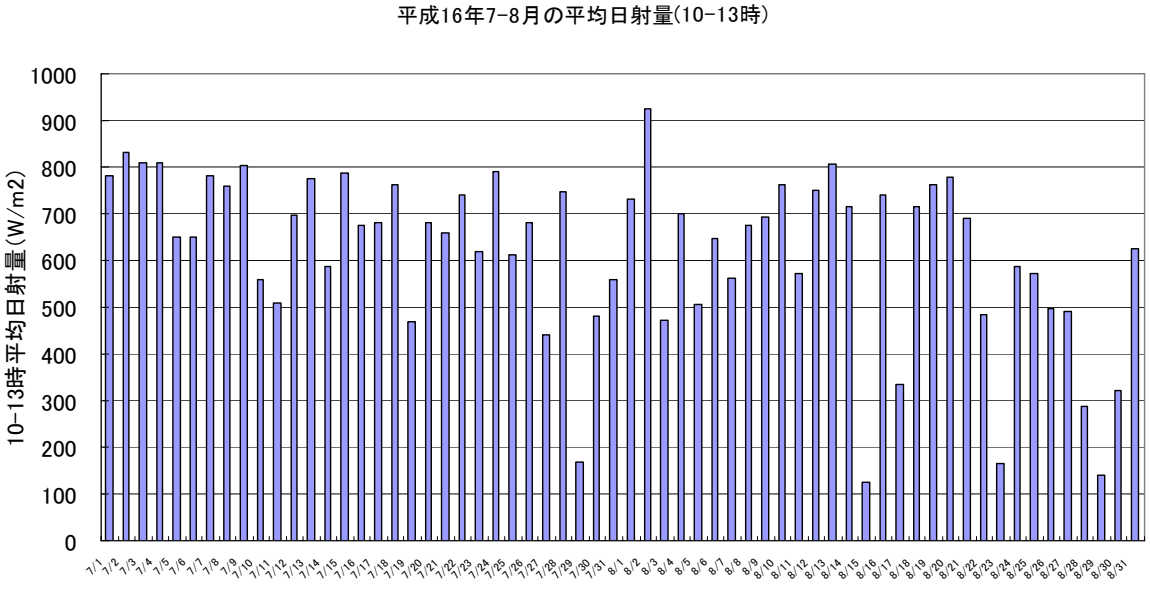


図-4.3.1.2 平成 16 年 7 月～8 月の平均日射量 （10 時～13 時）

（3） 降雨

図-4.3.1.3は日降水量を示したものである。降雨が少ない年となった。

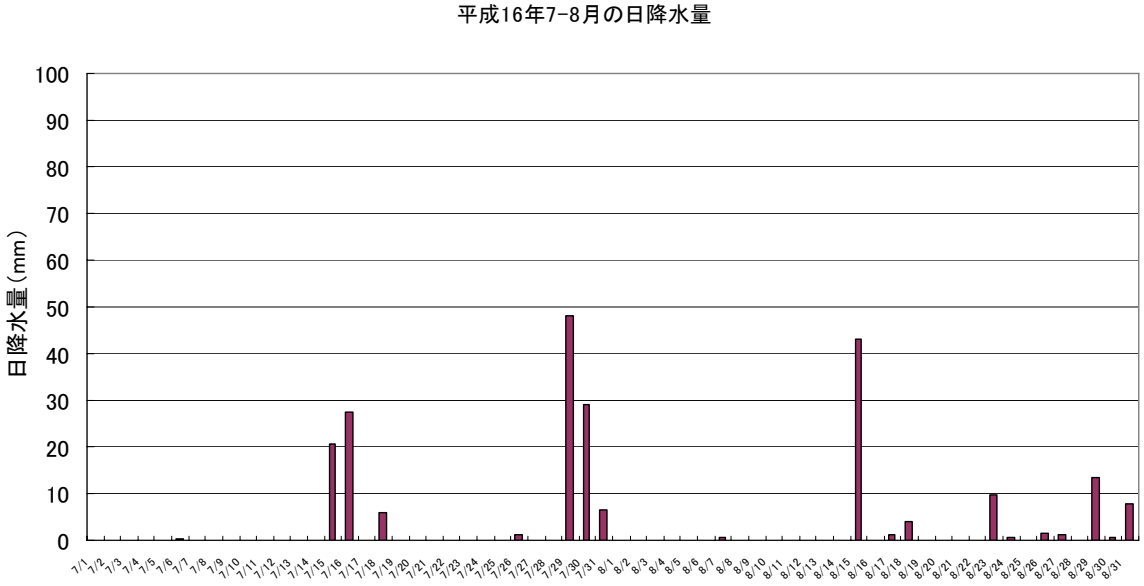


図-4.3.1.3 平成 16 年 7 月～8 月の日降水量

４．３．２　舗装表面温度　（平成16年度）

（１）　4m×4m供試体（表面温度）

１）　H16 混合物型（A－①）、混合物型（A－②）、塗布型（A）

◇混合物型（A－①）

排水性舗装に比べて最大約 17℃程度の温度低減となり、目標とする路面温度低減性能を満足する結果となった。

◇混合物型（A－②）

排水性舗装に比べて最大約 20℃程度の温度低減となり、目標とする路面温度低減性能を満足する結果となった。

◇塗布型（A）

排水性舗装に比べて最大約 16℃程度の温度低減となった。

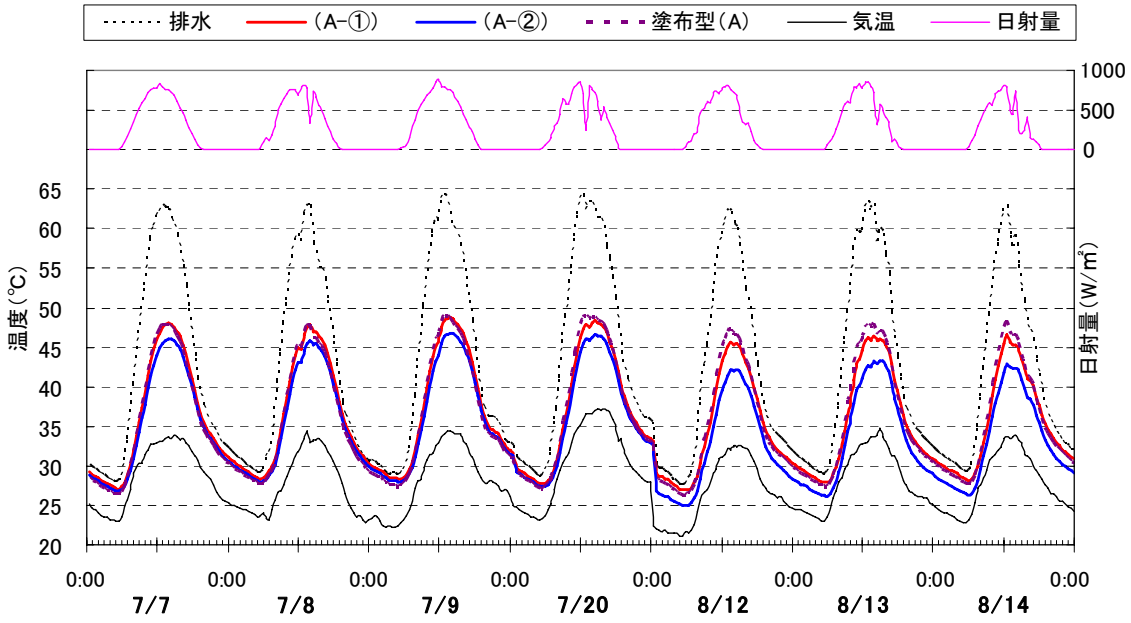


図-4.3.2.1　4m×4m供試体表面温度

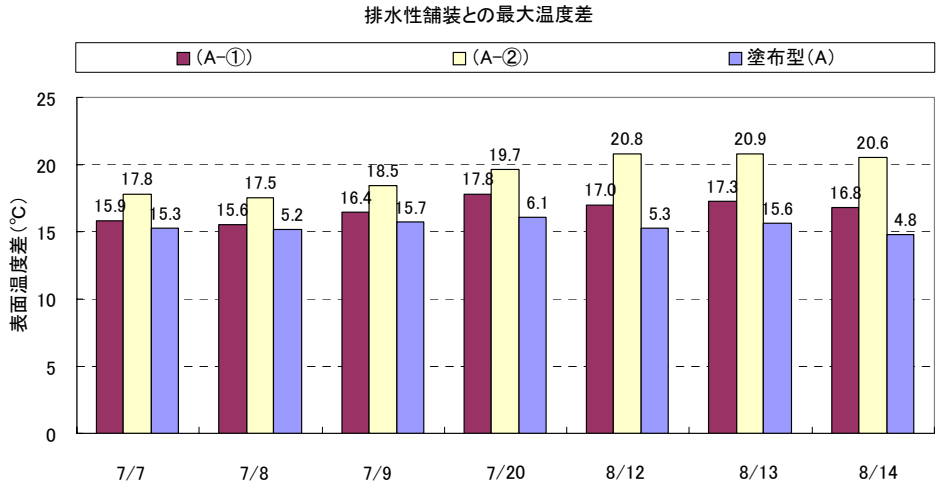


図-4.3.2.2　排水性舗装との最大表面温度差

2） H16 混合物型（B－①）、混合物型（B－②）、塗布型（B）

◇混合物型（B－①）

排水性舗装に比べて最大約 8℃程度の温度低減となり、目標値より低い結果となった。

◇混合物型（B－②）

排水性舗装に比べて最大約 13℃程度の温度低減となり、目標とする路面温度低減性能を満足する結果となった。

◇塗布型（B）

排水性舗装に比べて最大 15℃程度の温度低減となった。

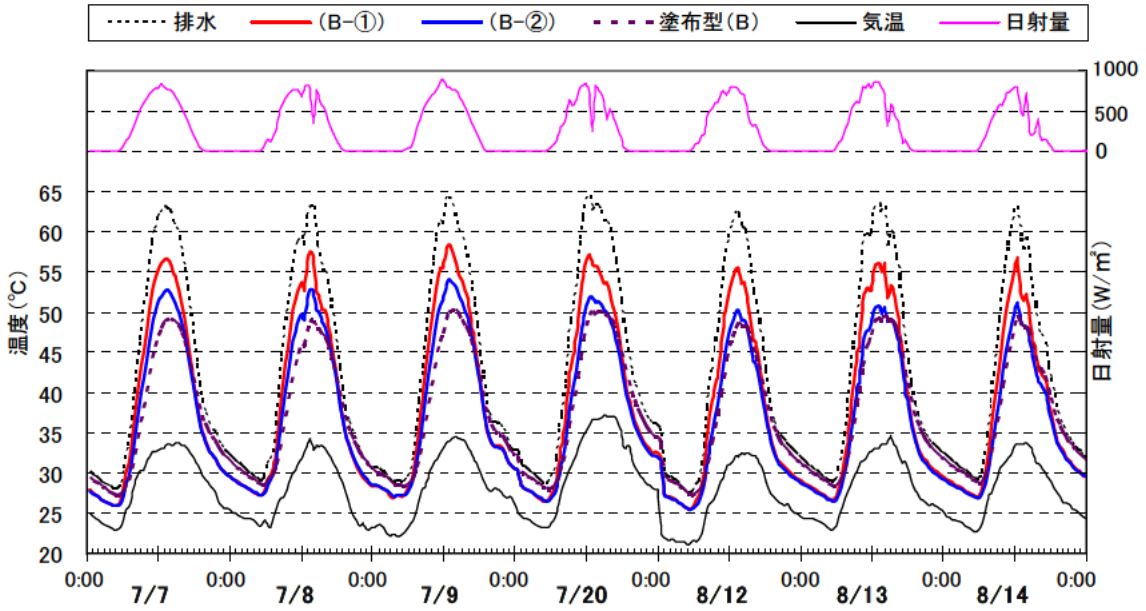


図-4.3.2.3 4m×4m供試体表面温度

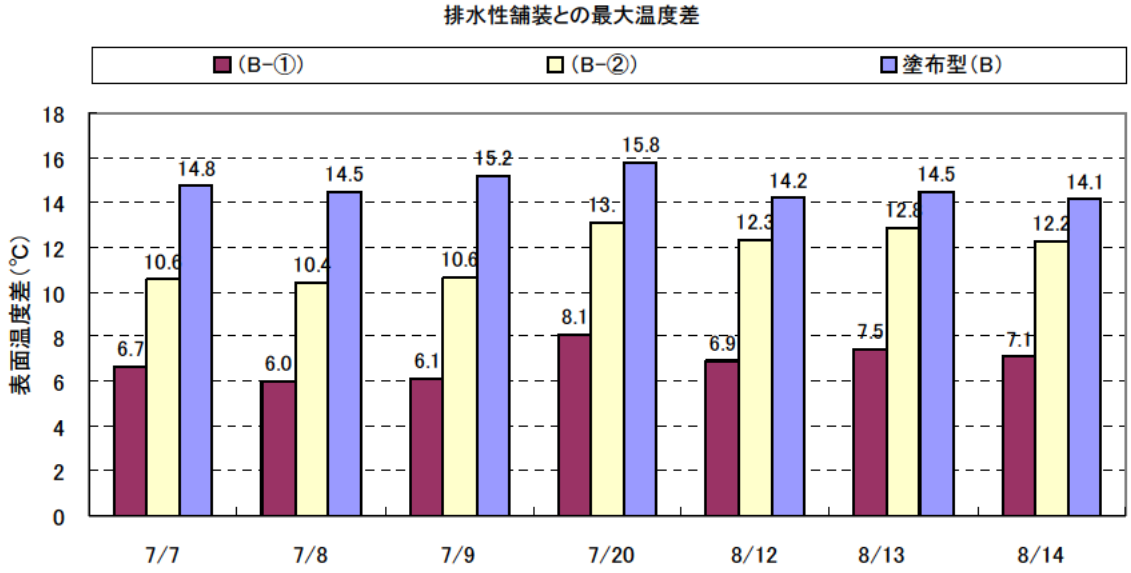


図-4.3.2.4 排水性舗装との最大表面温度差

3） H16 混合物型（C－①）、混合物型（C－②）、塗布型（C）

◇混合物型（C－①）

排水性舗装に比べて最大約 10℃程度の温度低減となり、目標値となった。

◇混合物型（C－②）

排水性舗装に比べて最大約 9℃程度の温度低減となり、目標とする路面温度低減性能を満足する結果となった。

◇塗布型（C）

排水性舗装に比べて最大 17℃程度の温度低減となった。

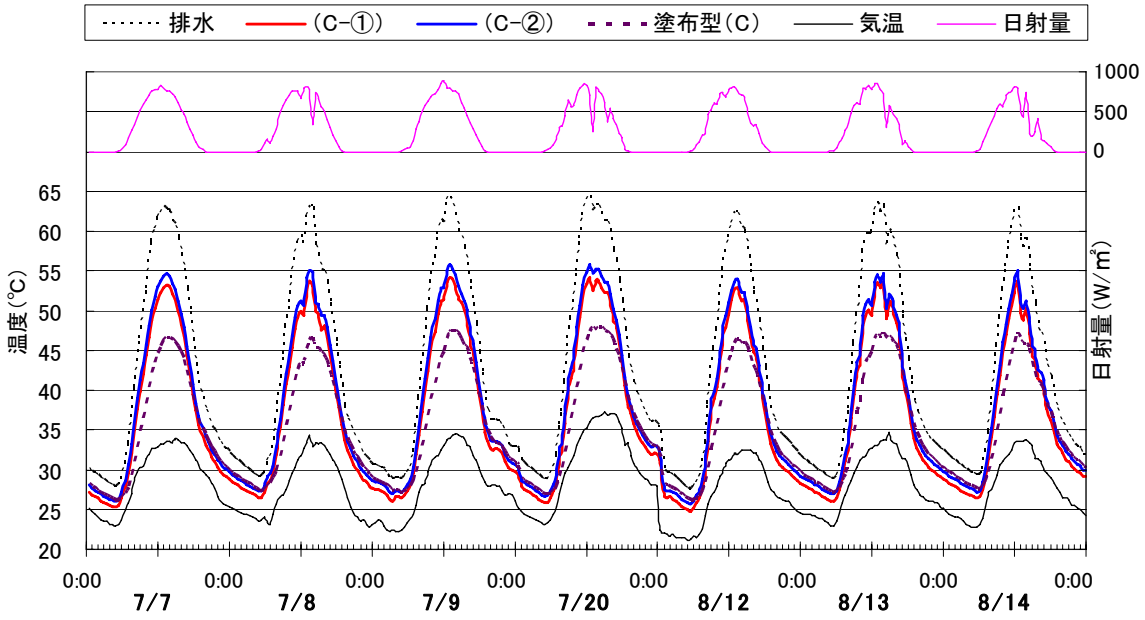


図-4.3.2.5 4m×4m供試体表面温度

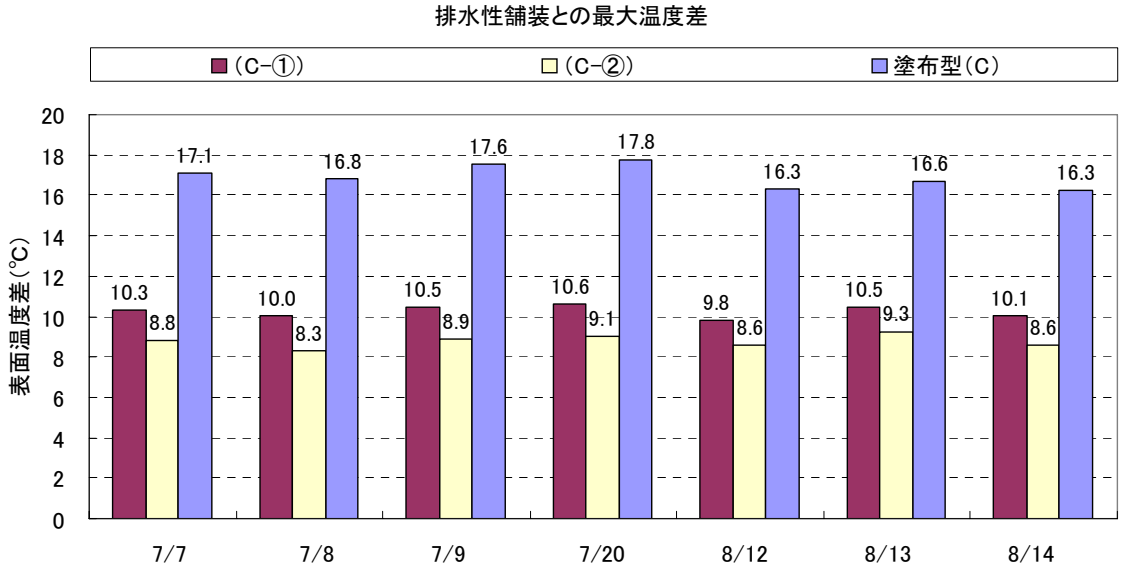


図-4.3.2.6 排水性舗装との最大表面温度差

4） H16 混合物型（D－①）、混合物型（D－②）、塗布型（D）

◇混合物型（D－①）

排水性舗装に比べて最大約 9℃程度の温度低減となり、目標値より低い結果となった。

◇混合物型（D－②）

排水性舗装に比べて最大約 10℃程度の温度低減となり、目標値となった。

◇塗布型（D）

排水性舗装に比べて最大 15℃程度の温度低減となった。

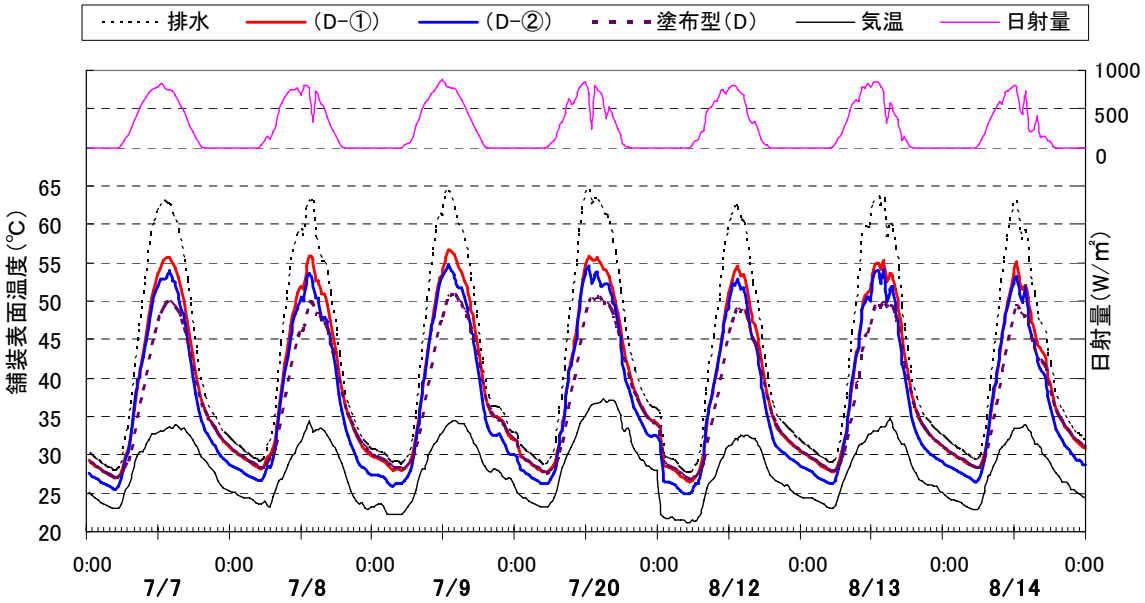


図-4.3.2.7　4m×4m供試体表面温度

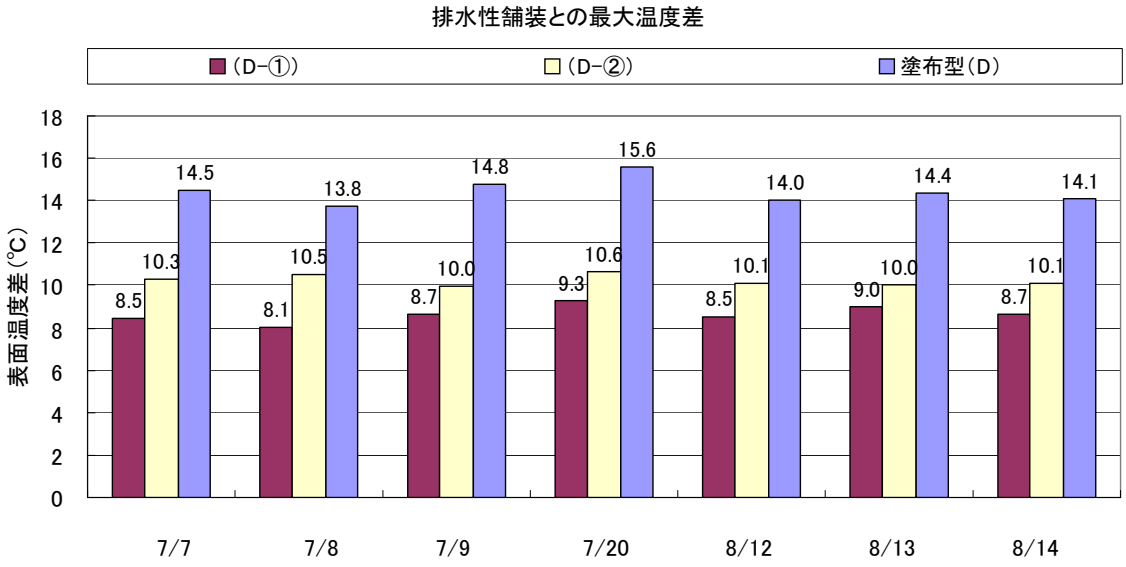


図-4.3.2.8　排水性舗装との最大表面温度差

（2） 舗装走行実験場試験走路 （平成16年度）

1） H16 混合物型（A－①）

排水性舗装工区に比べタイヤ走行部（OWP）で最大 10℃程度、非走行部（BWP）でも最大 10℃程度の温度低減となった。なお、タイヤ走行部は非走行部に比べ温度低減量がやや低くくなる傾向がみられた。

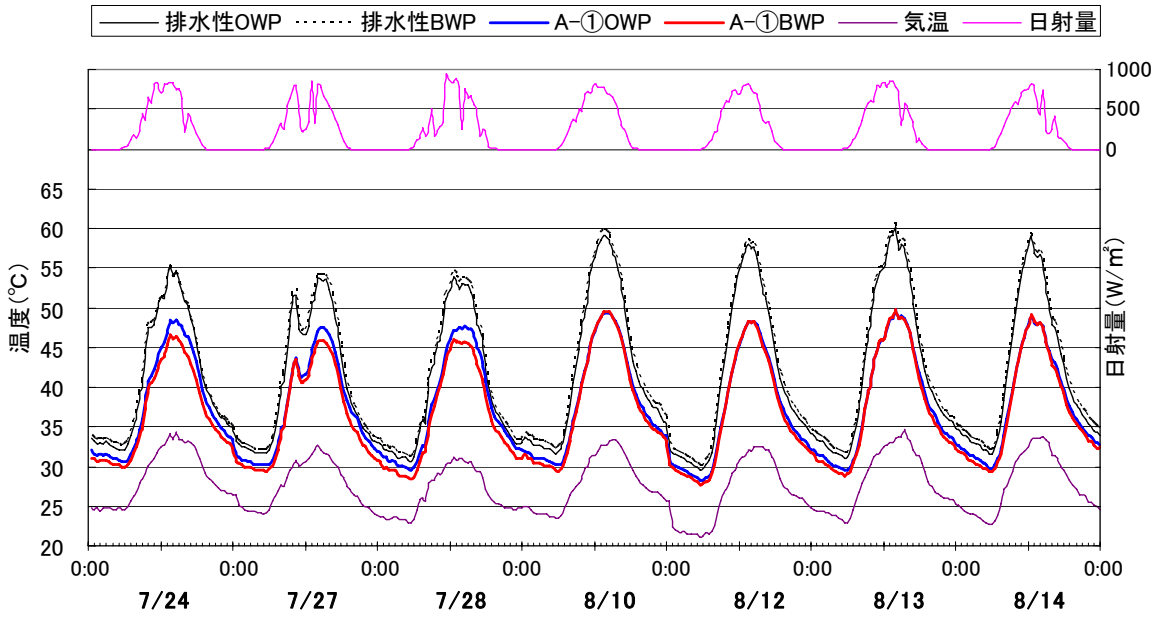


図-4.3.2.9 試験走路表面温度

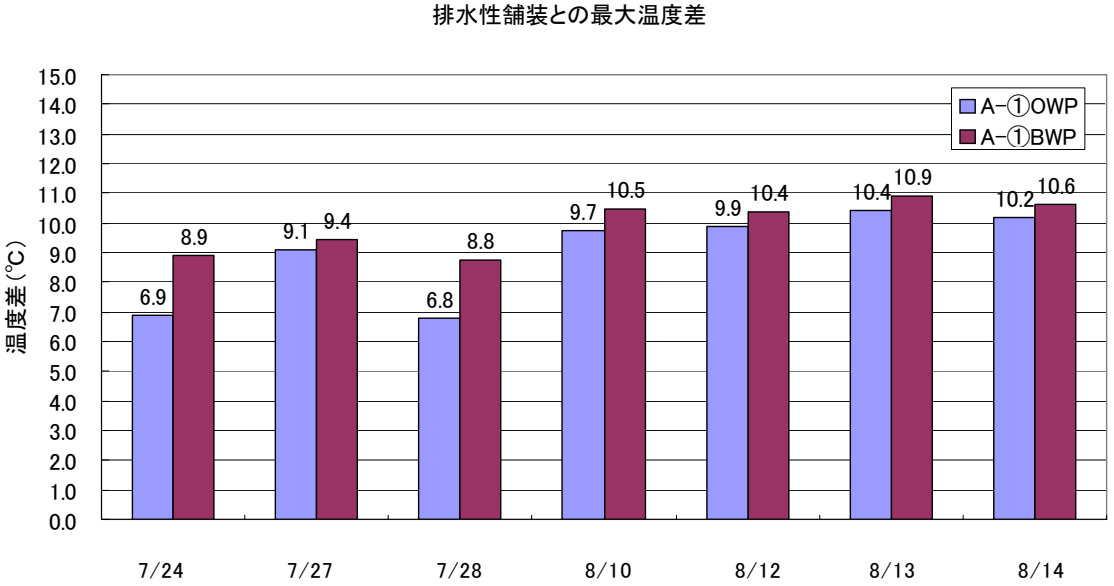


図-4.3.2.10 排水性舗装との最大表面温度差 （試験走路）

2） H16 混合物型（B－①）

排水性舗装工区に比べタイヤ走行部（OWP）で最大 3℃程度、非走行部（BWP）で最大 5℃程度の温度低減となった。なお、タイヤ走行部は非走行部に比べ温度低減量がやや低くなる傾向がみられた。

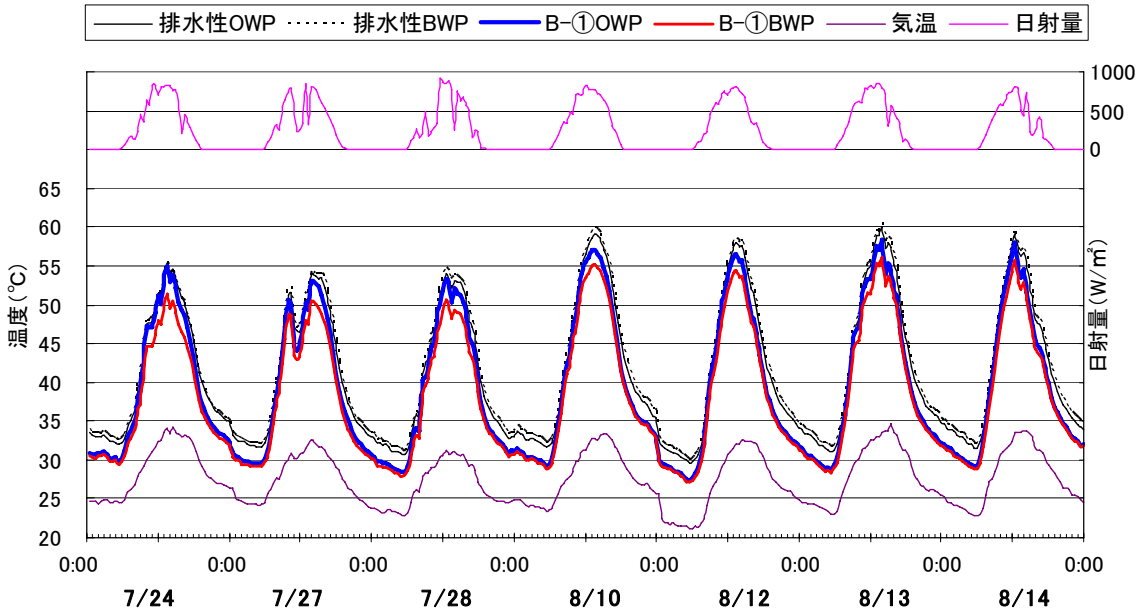


図-4.3.2.11　試験走路表面温度

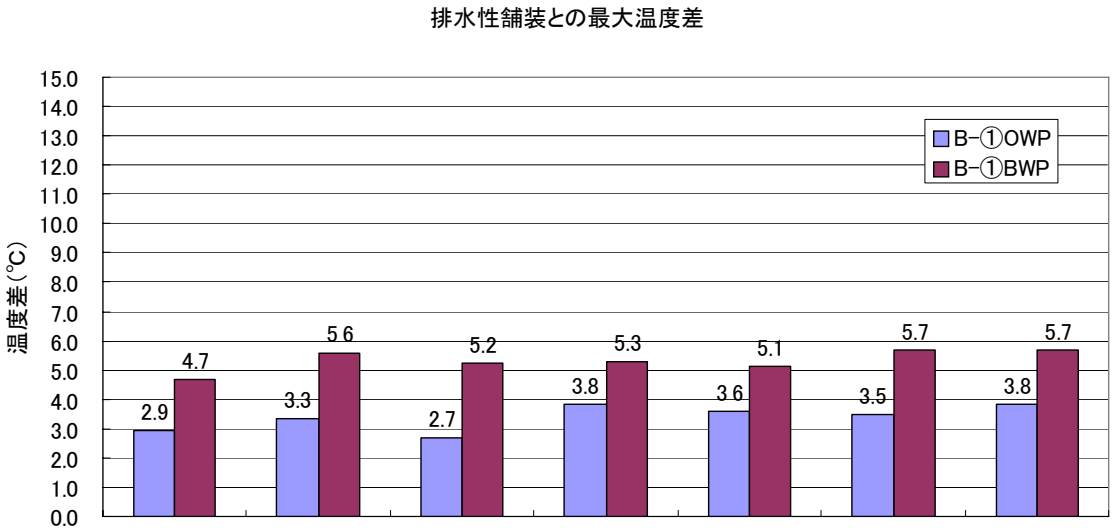


図-4.3.2.12　排水性舗装との最大表面温度差　（試験走路）

3） H16 混合物型（C－①）

排水性舗装工区に比べタイヤ走行部（OWP）で最大 7℃程度、非走行部（BWP）で最大 9℃程度の温度低減となった。なお、タイヤ走行部は非走行部に比べ温度低減量がやや低くなる傾向がみられた。

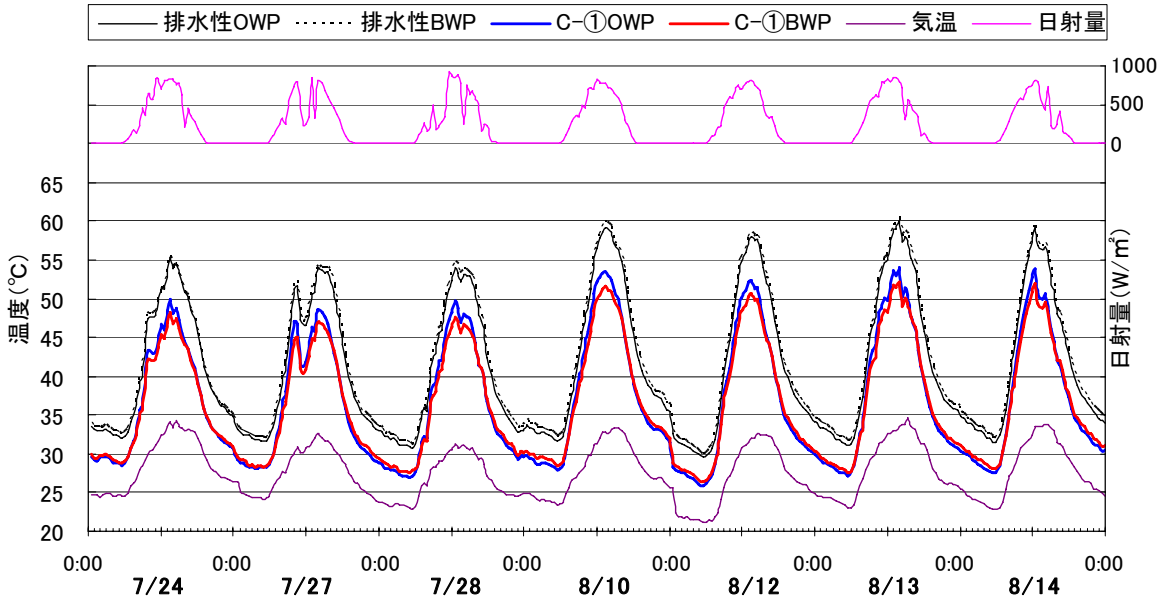


図-4.3.2.13 試験走路表面温度

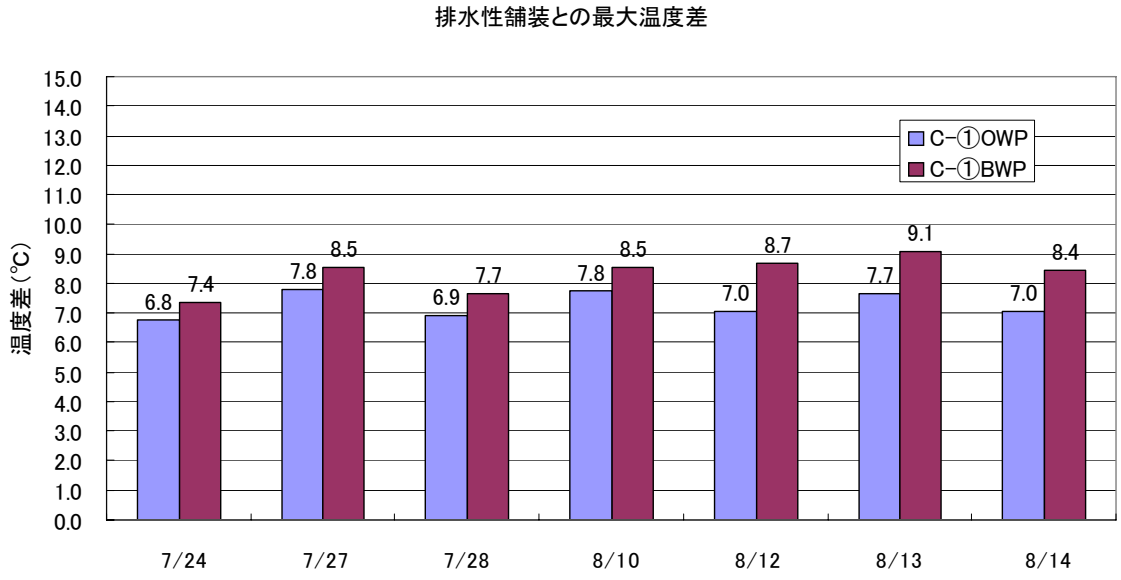


図-4.3.2.14 排水性舗装との最大表面温度差 （試験走路）

4） H16 混合物型（D－①）

排水性舗装工区に比べタイヤ走行部（OWP）で最大 7℃程度、非走行部（BWP）でも最大 7℃程度の温度低減となった。なお、タイヤ走行部は非走行部に比べ温度低減量がやや低くなる傾向がみられた。

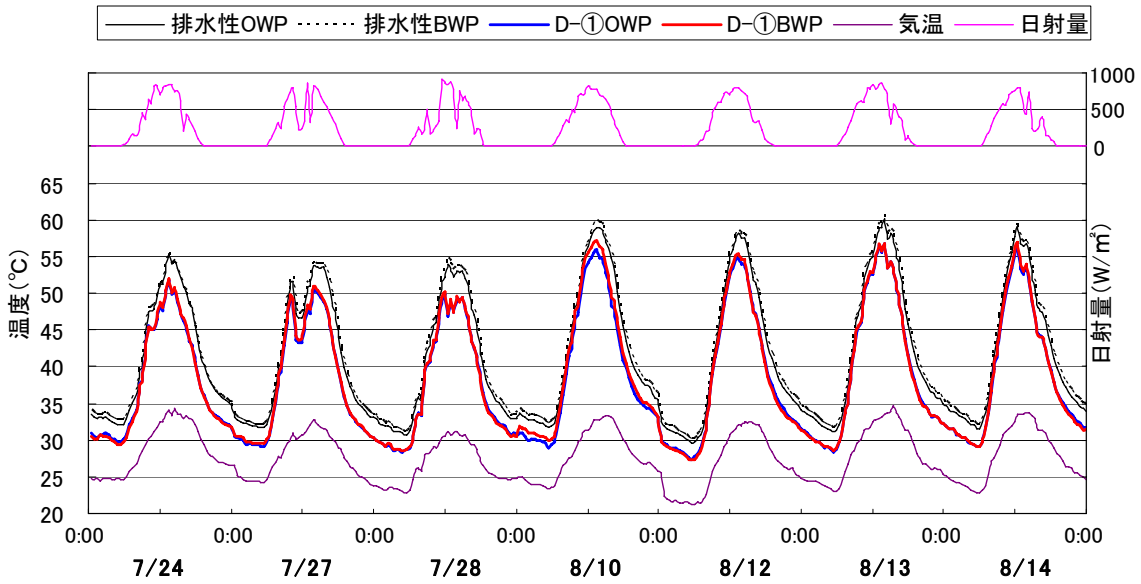


図-4.3.2.15 試験走路表面温度

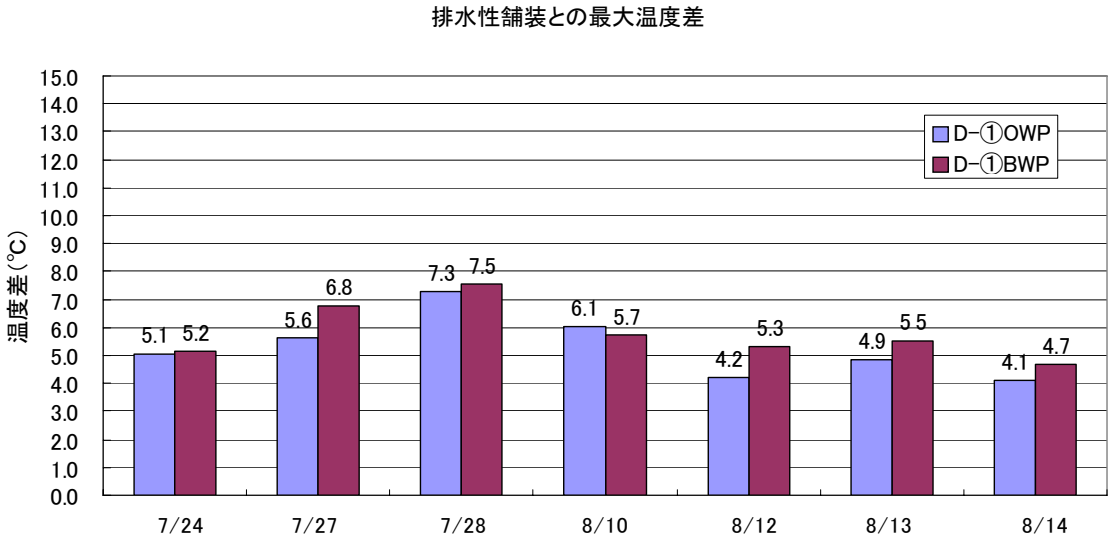


図-4.3.2.16 排水性舗装との最大表面温度差 （試験走路）

4．3．3　舗装内部温度　（平成16年度）

（1）　4m×4m供試体　（内部温度）

1）　H16 混合物（A－①）

最大温度差が約 12℃、最小温度差が約 2℃、平均温度差が約 6℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

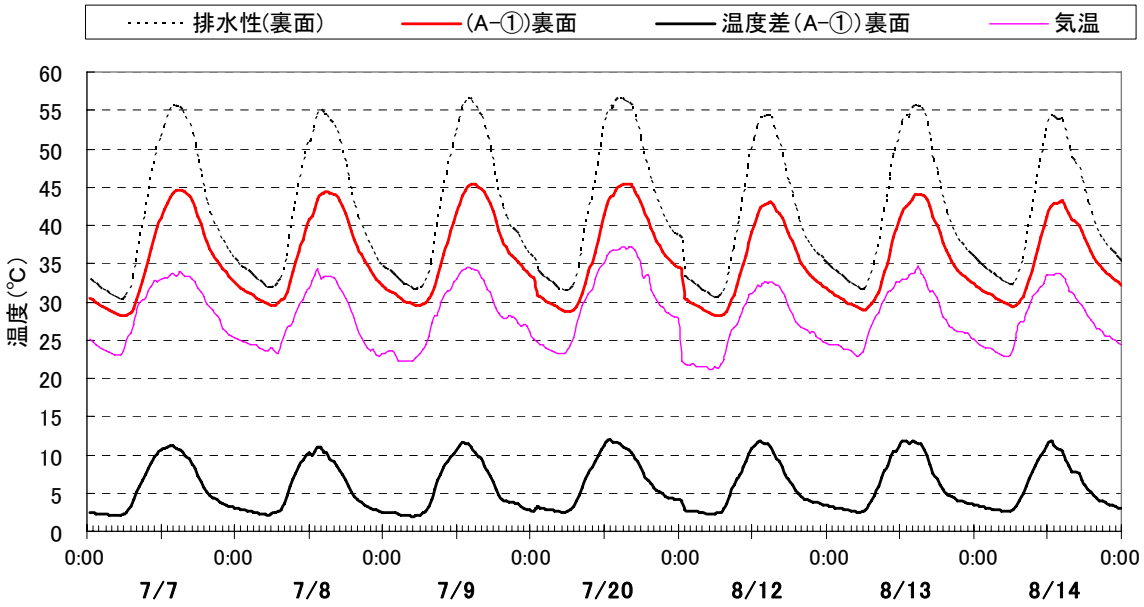


図-4.3.3.1　排水性舗装との内部温度差

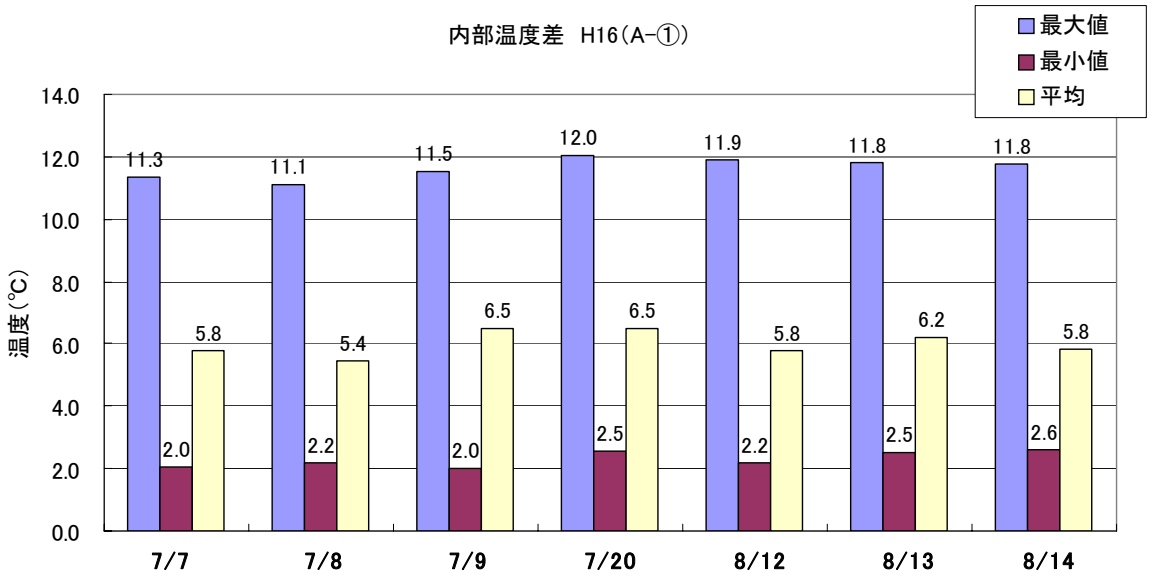


図-4.3.3.2　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

2） H16 混合物（A－②）

最大温度差が約 11℃、最小温度差が約 3℃、平均温度差が約 3℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

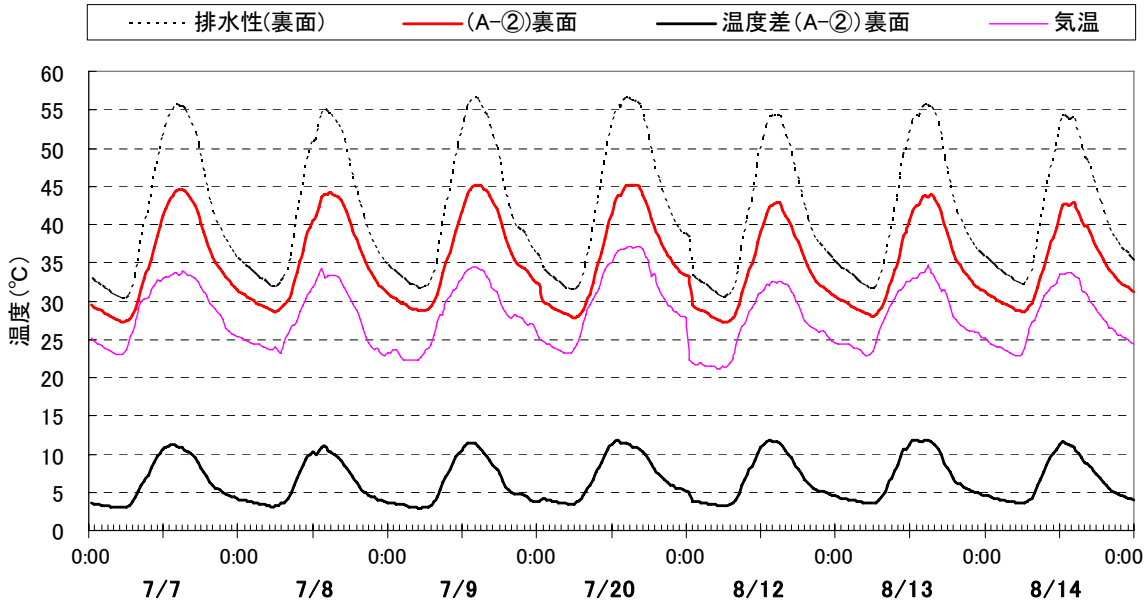


図-4.3.3.3 排水性舗装との内部温度差

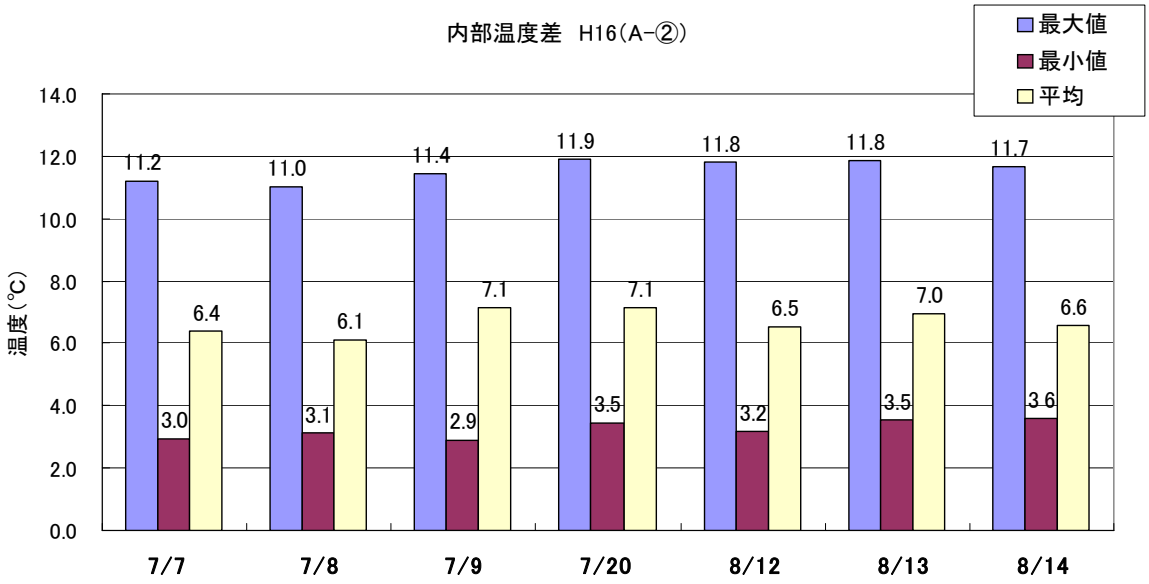


図-4.3.3.4 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

3） H16 塗布型（A）

最大温度差が約 10℃、最小温度差が約 3℃、平均温度差が約 6℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

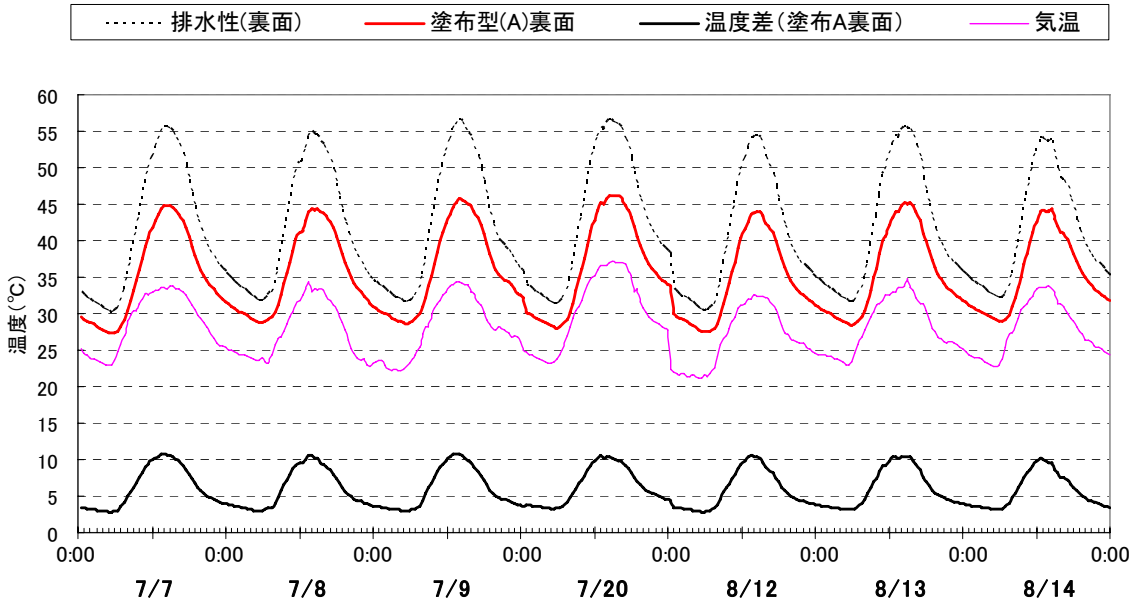


図-4.3.3.5 排水性舗装との内部温度差

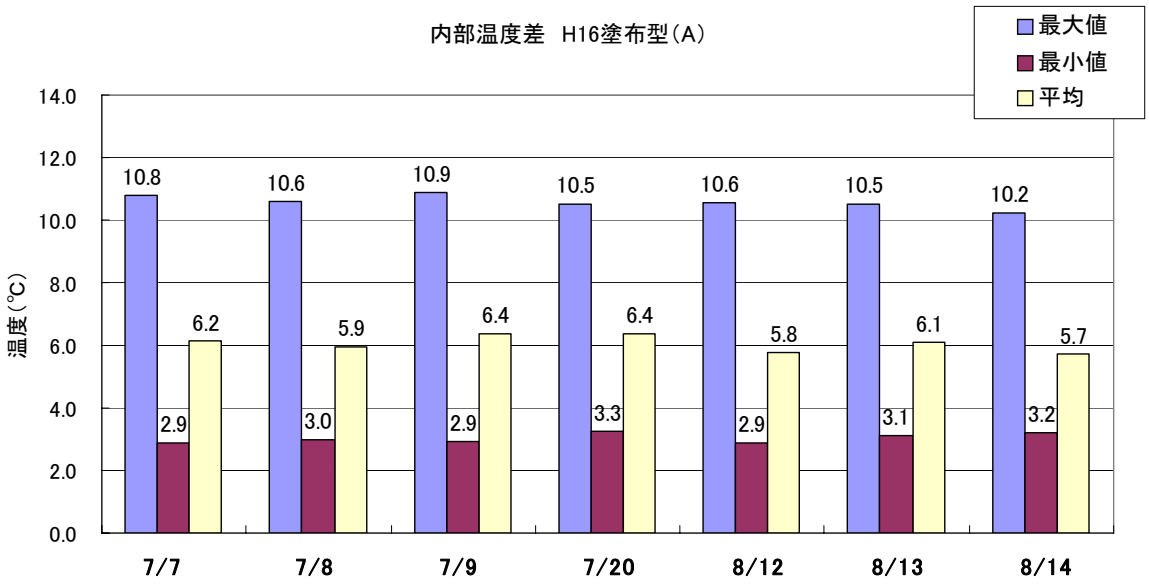


図-4.3.3.6 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

4） H16 混合物（B－①）

最大温度差が約 10℃、最小温度差が約 1℃、平均温度差が約 5℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

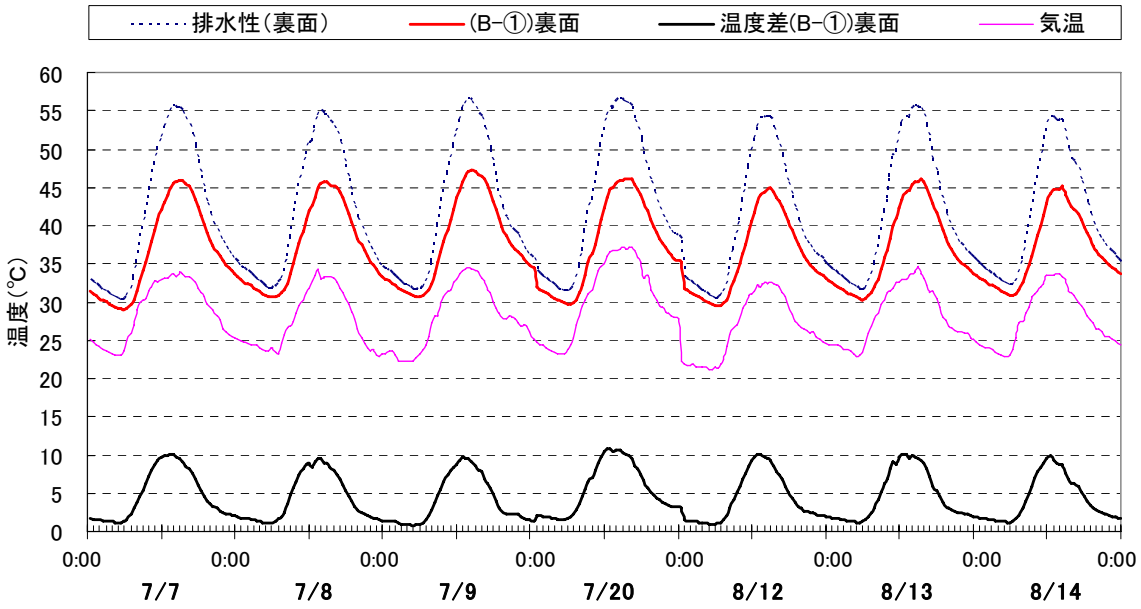


図-4.3.3.7 排水性舗装との内部温度差

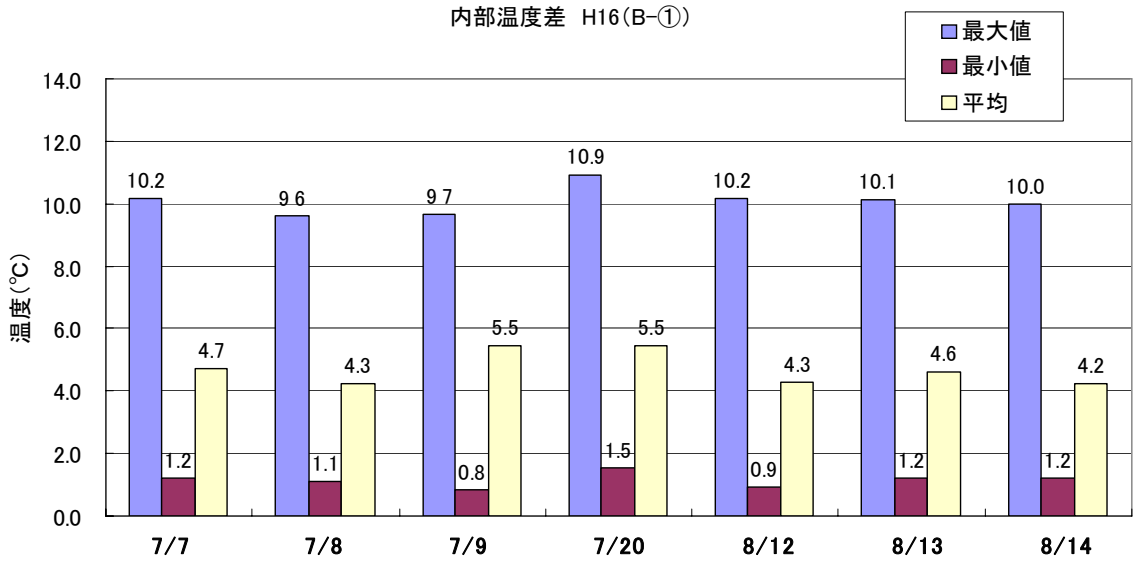


図-4.3.3.8 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

5） H16 混合物（B－②）

最大温度差が約 12℃、最小温度差が約 2℃、平均温度差が約 6℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

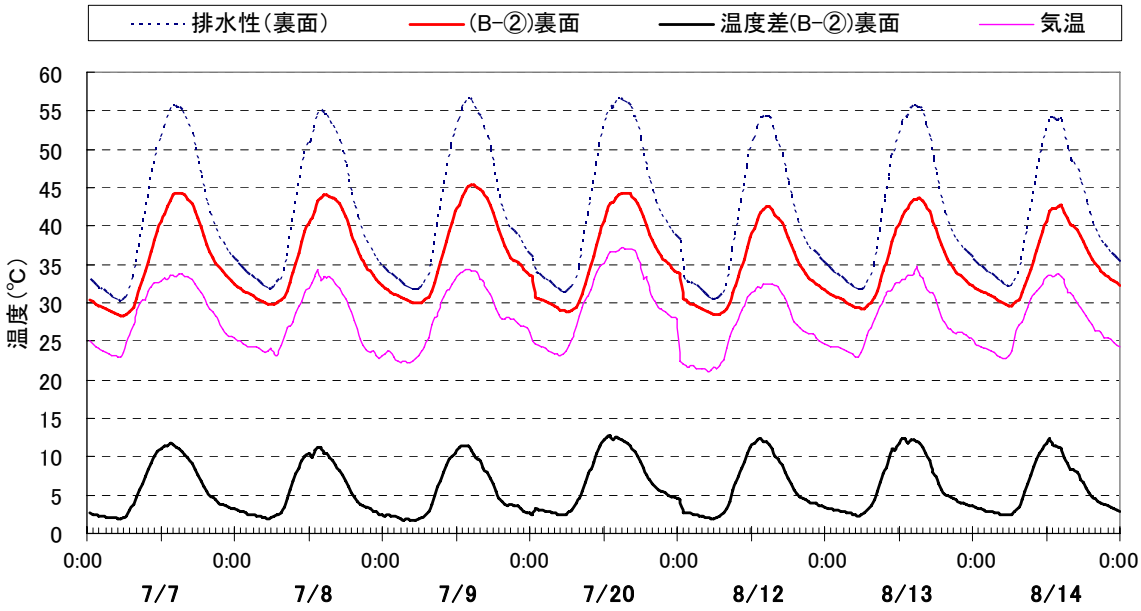


図-4.3.3.9 排水性舗装との内部温度差

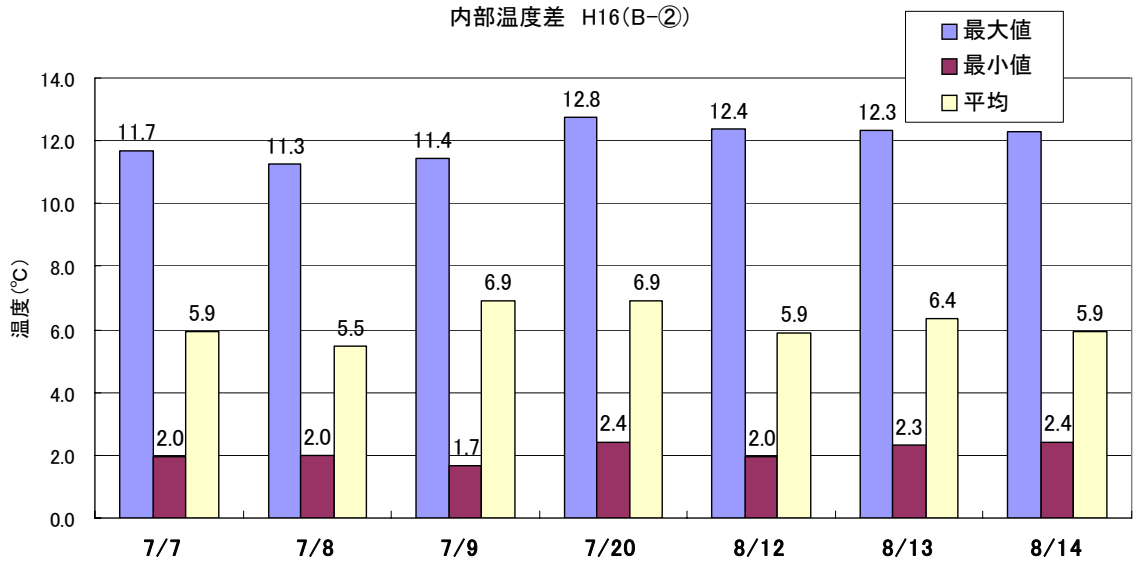


図-4.3.3.10 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

6） H16 塗布型（B）

最大温度差が約６℃、最小温度差が約３℃、平均温度差が約４℃となり、排水性舗装に比べてある程度蓄熱の軽減効果がみられた。

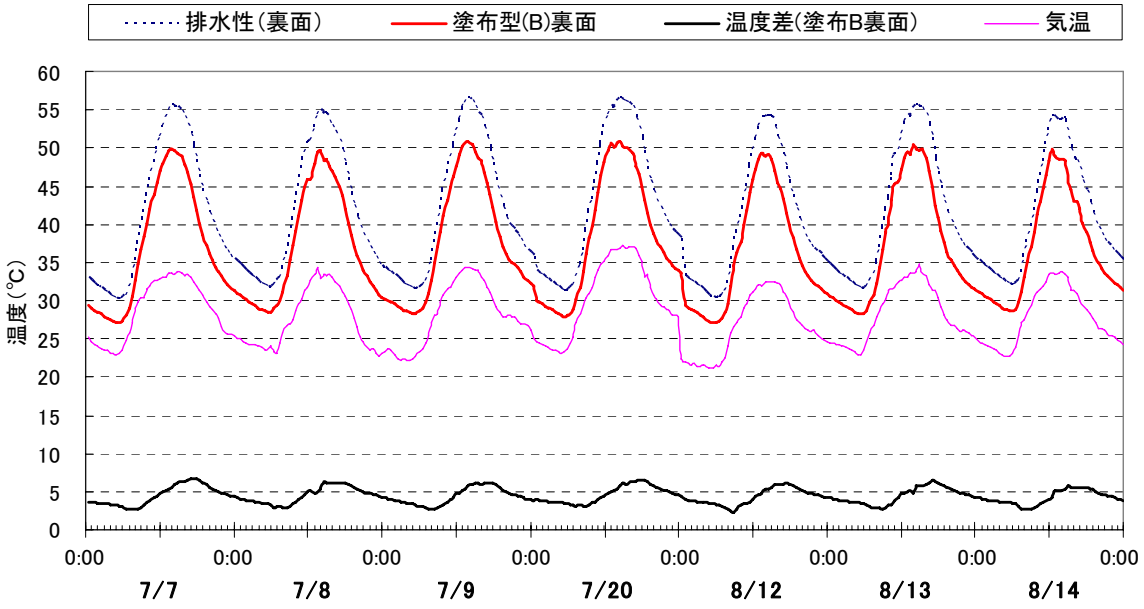


図-4.3.3.11　排水性舗装との内部温度差

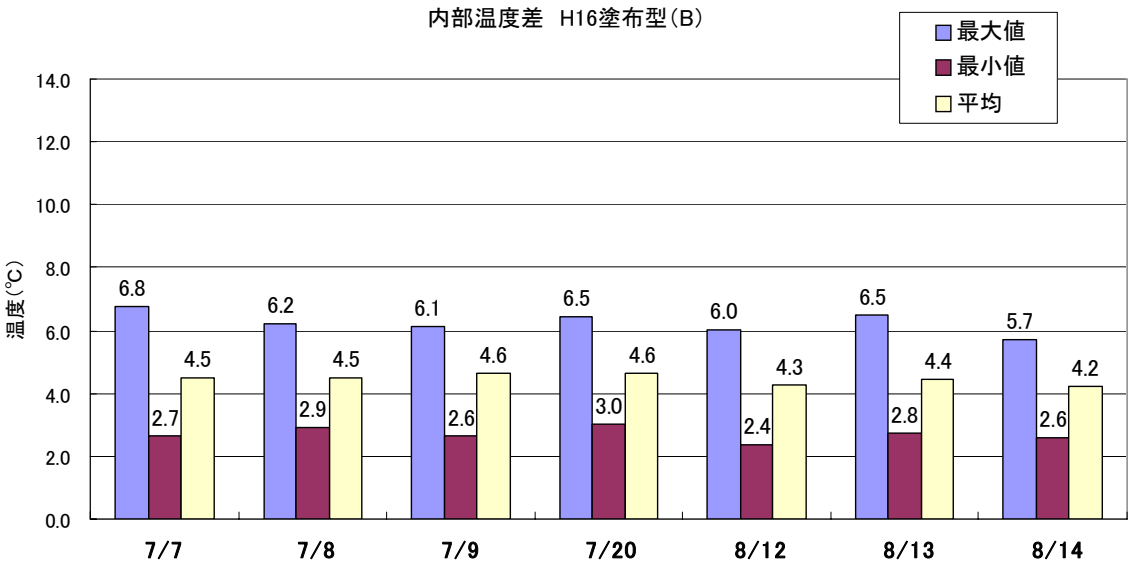


図-4.3.3.12　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

7） H16 混合物（C－①）

最大温度差が約 12℃、最小温度差が約 2℃、平均温度差が約 6℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

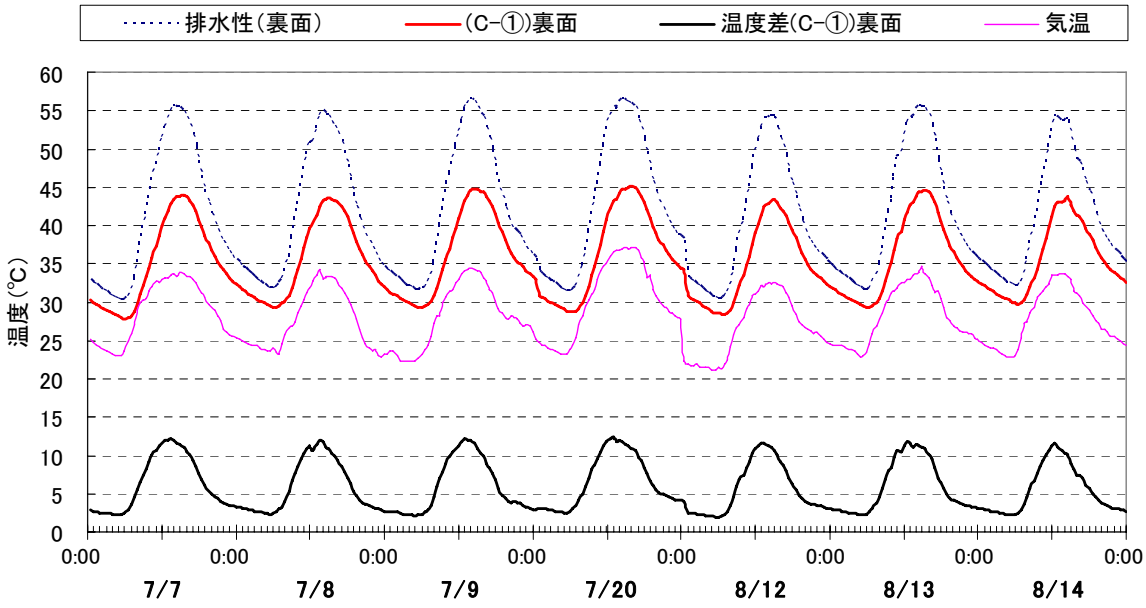


図-4.3.3.13 排水性舗装との内部温度差

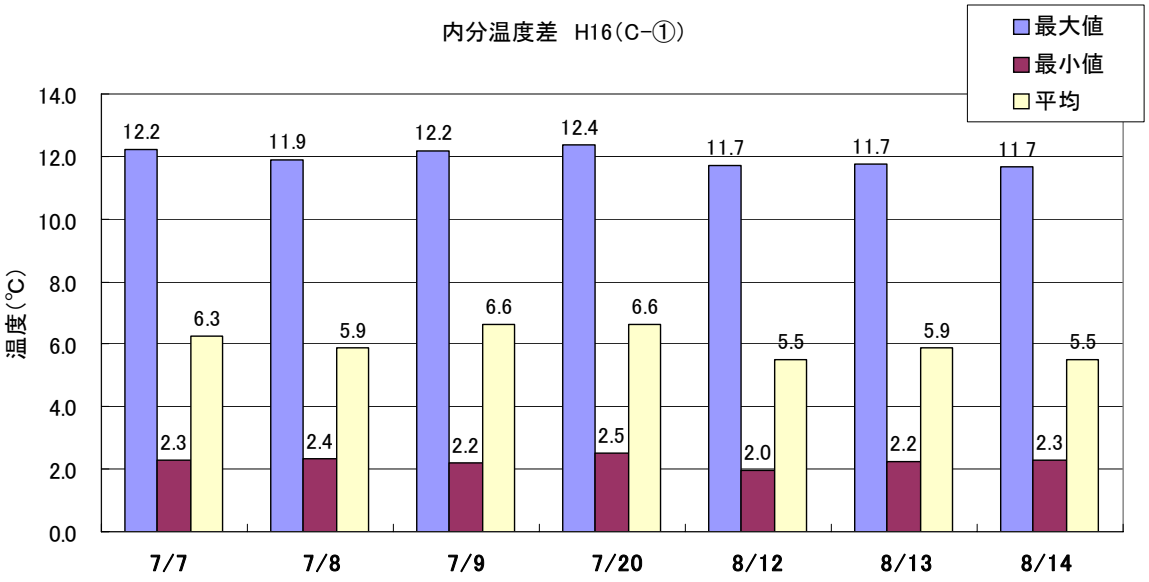


図-4.3.3.14 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

8） H16 混合物（C－②）

最大温度差が約９℃、最小温度差が約２℃、平均温度差が約５℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

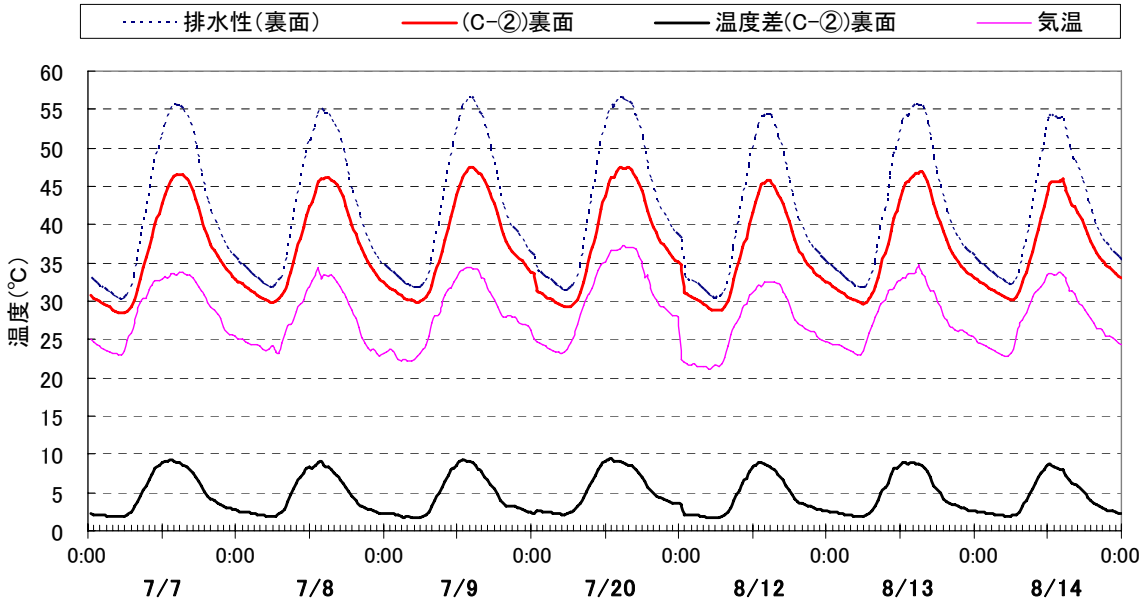


図-4.3.3.15　排水性舗装との内部温度差

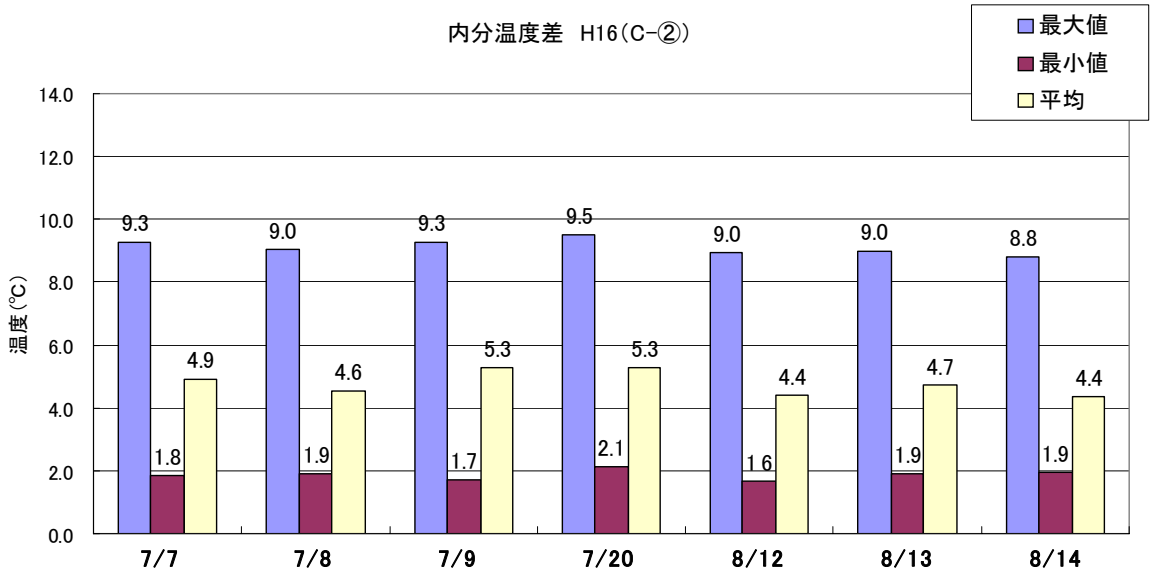


図-4.3.3.16　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

9） H16 塗布型(C)

最大温度差が約 11℃、最小温度差が約 3℃、平均温度差が約 6℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

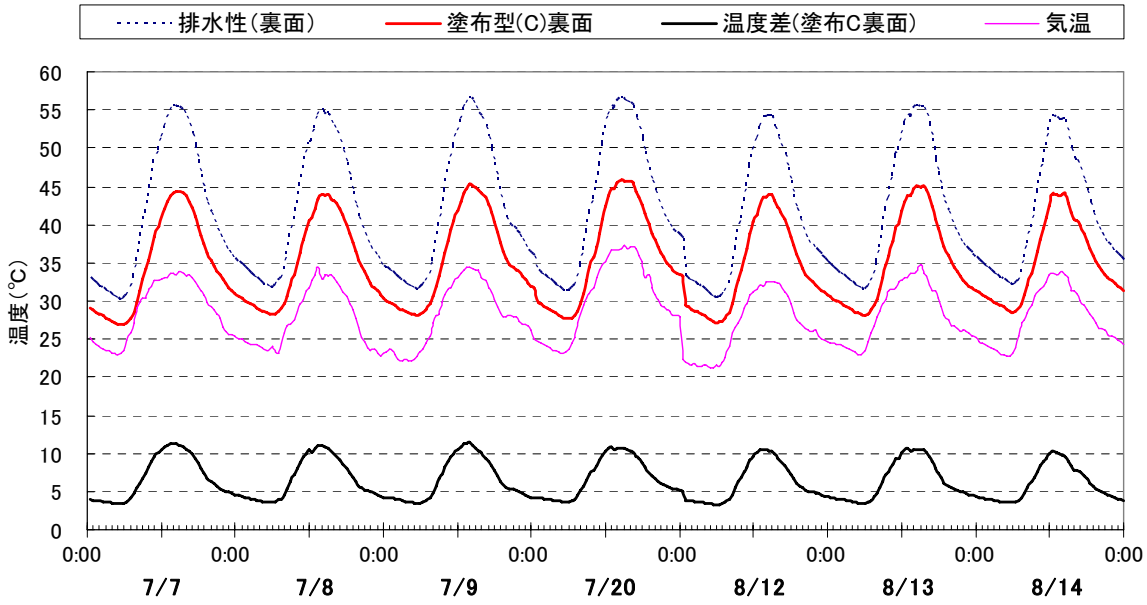


図-4.3.3.17 排水性舗装との内部温度差

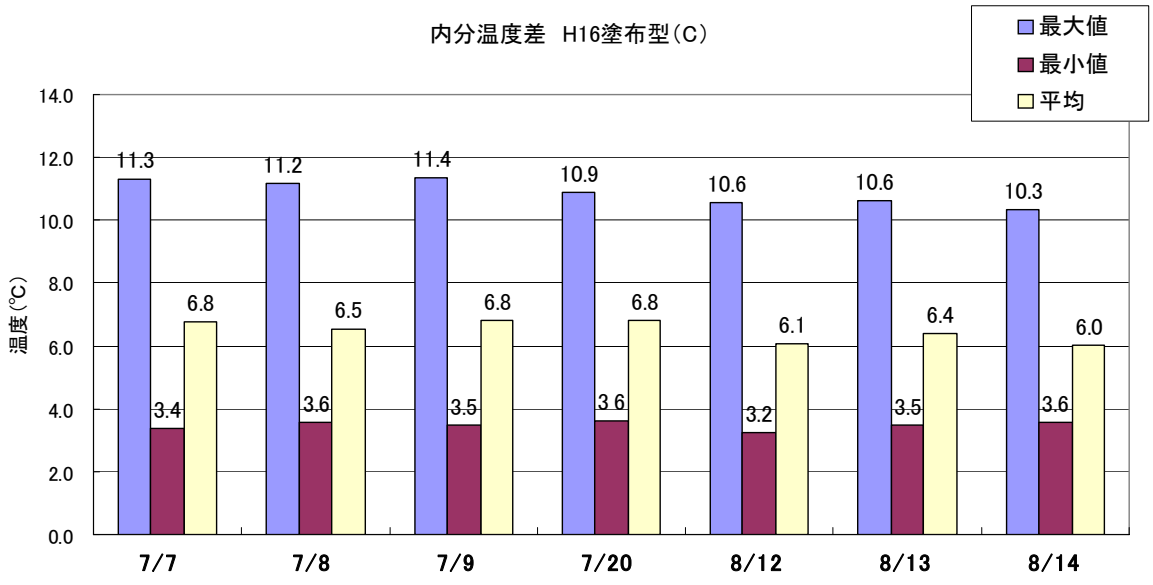


図-4.3.3.18 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

10） H16 混合物(D－①)

最大温度差が約５℃、最小温度差が約１℃、平均温度差が約３℃となり、排水性舗装に比べてある程度の蓄熱の軽減効果がみられた。

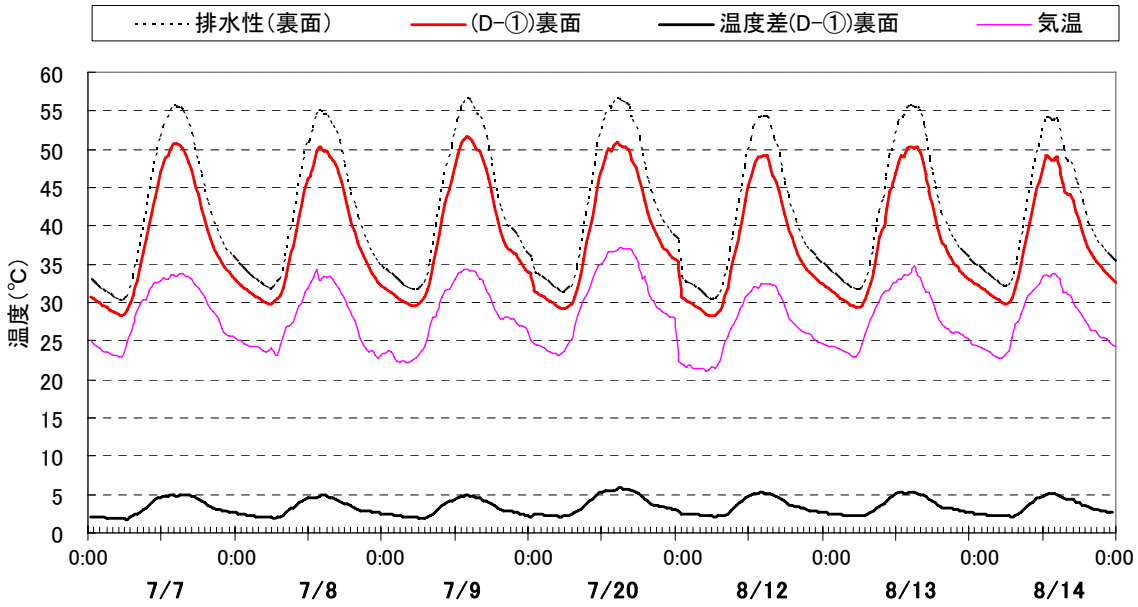


図-4.3.3.19　排水性舗装との内部温度差

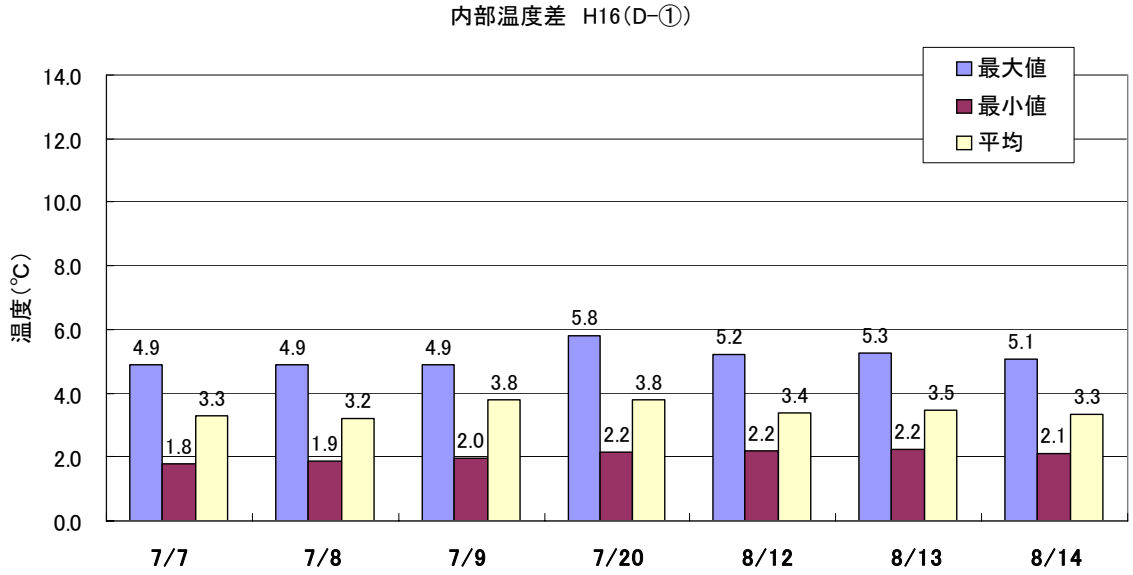


図-4.3.3.20　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

11） H16 混合物(D－②)

最大温度差が約８℃、最小温度差が約２℃、平均温度差が約５℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

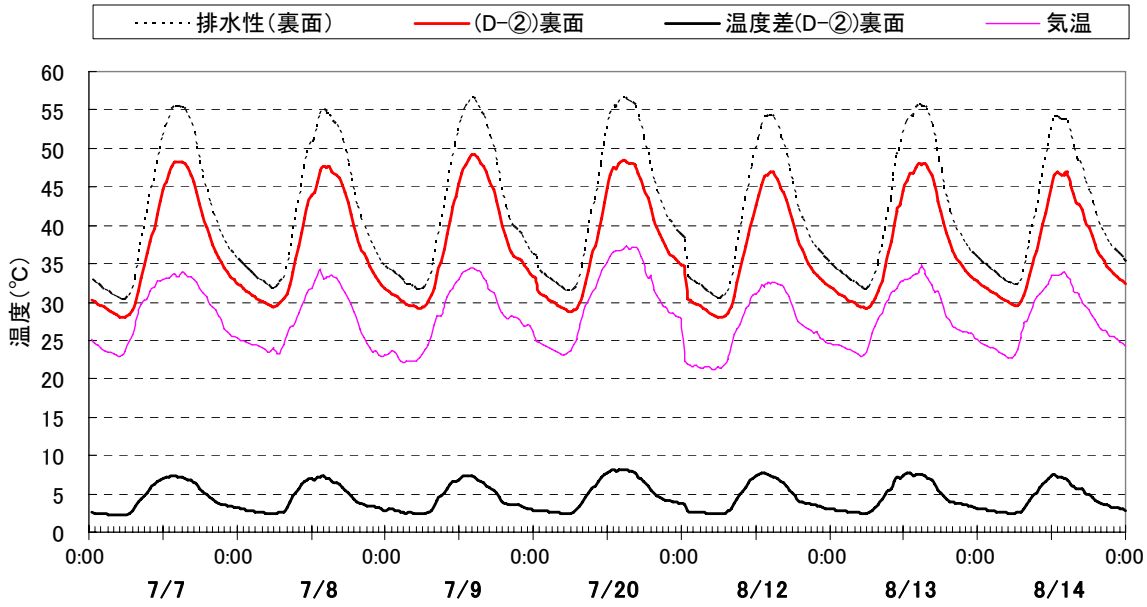


図-4.3.3.21　排水性舗装との内部温度差

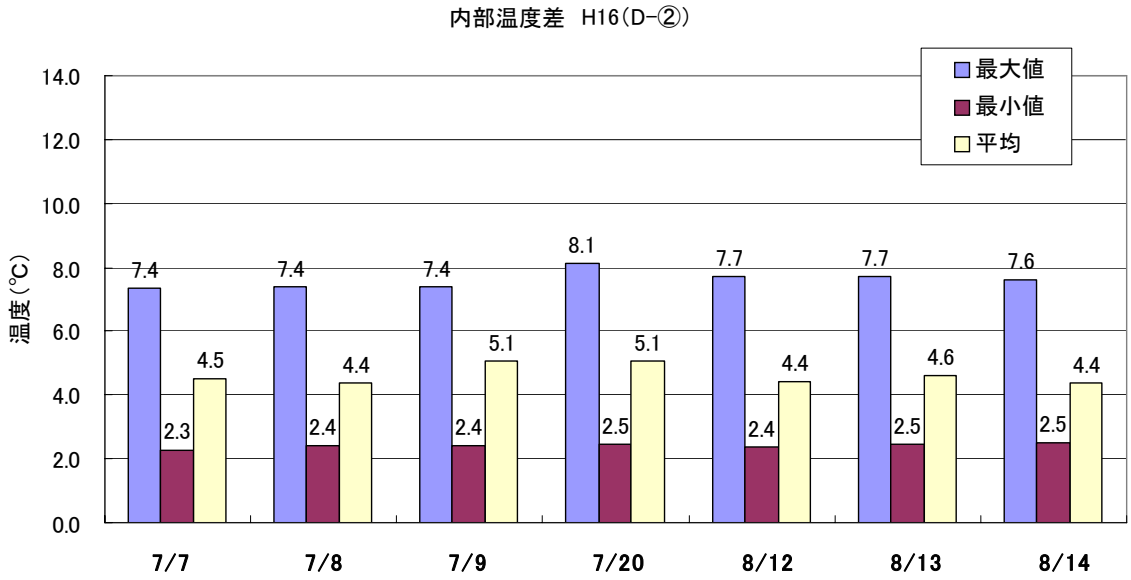


図-4.3.3.22　排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

12） H16 塗布型(D)

最大温度差が約７℃、最小温度差が約３℃、平均温度差が約５℃となり、排水性舗装に比べて蓄熱の軽減効果がみられた。

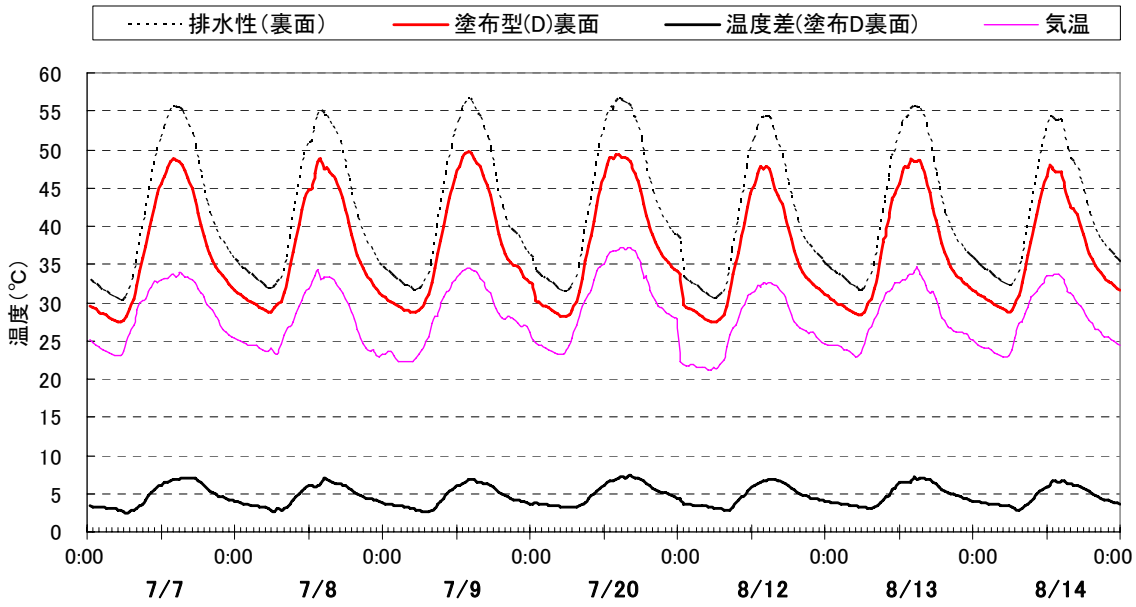


図-4.3.3.23 排水性舗装との内部温度差

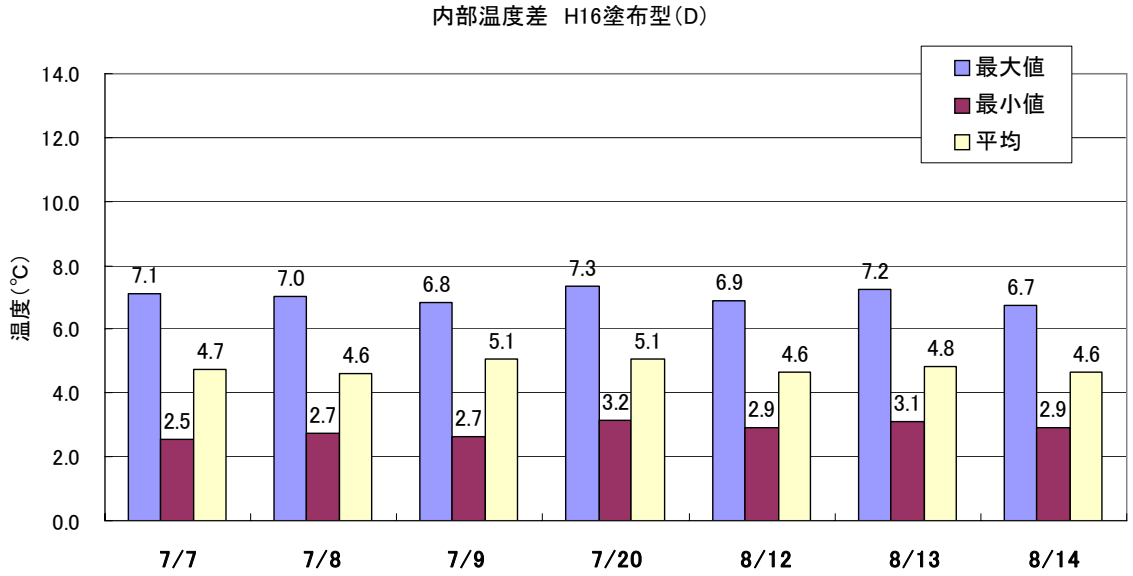


図-4.3.3.24 排水性舗装との内部温度差の最大値、最小値、平均値

4．3．4　日射反射率(アルベド)の測定結果　(平成16年度)

(1)　4m×4m供試体

アルベドの調査結果を図-4.3.4.1 に示す。３ヶ月経過後もアルベドの低下はみられなかった。

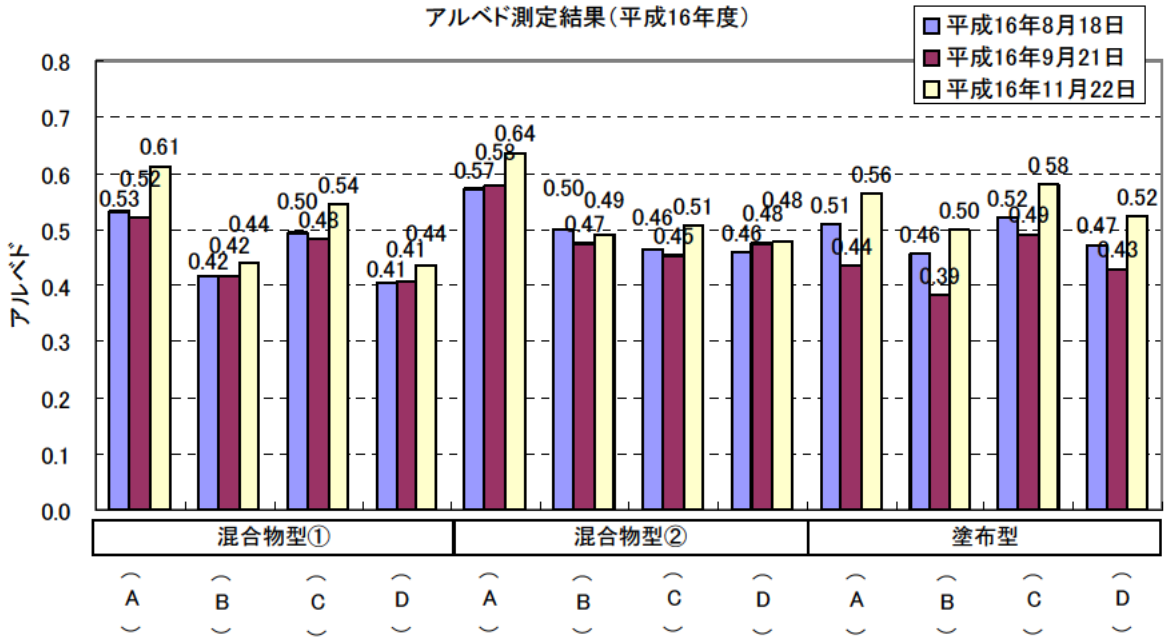


図-4.3.4.1　アルベド調査結果

(2)　舗装走行実験場試験走路

1）排水性舗装のアルベドの変化を図-4.3.4.2 に示す。

40 万輪走行もアルベドはほとんどかわらなかった。また、タイヤ走行部、非走行部によるアルベドの差はみられなかった。

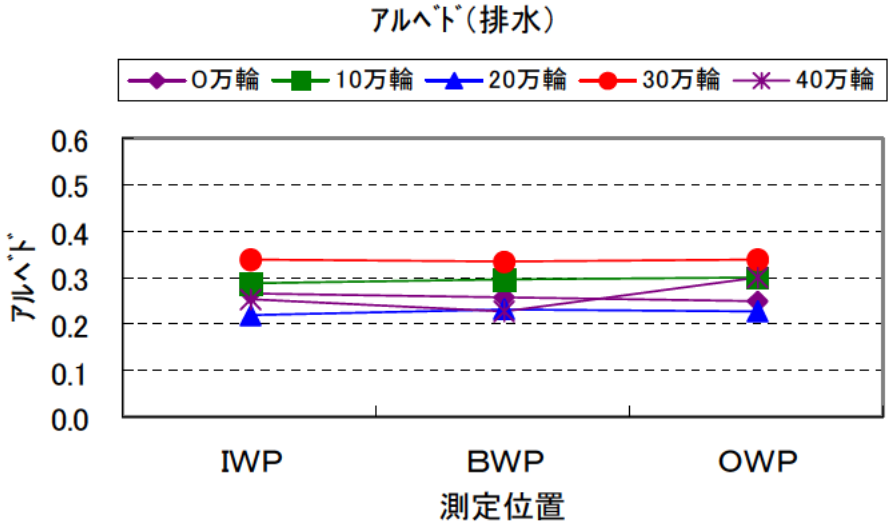


図-4.3.4.2　アルベド調査結果　(排水性舗装)

2）H16 混合物型（A－①）のアルベド変化を図-4.3.4.3 に示す。

40 万輪走行によるアルベドの低下はみられなかった。また、タイヤ走行部、非走行部によるアルベドの差はほとんどみられなかった。

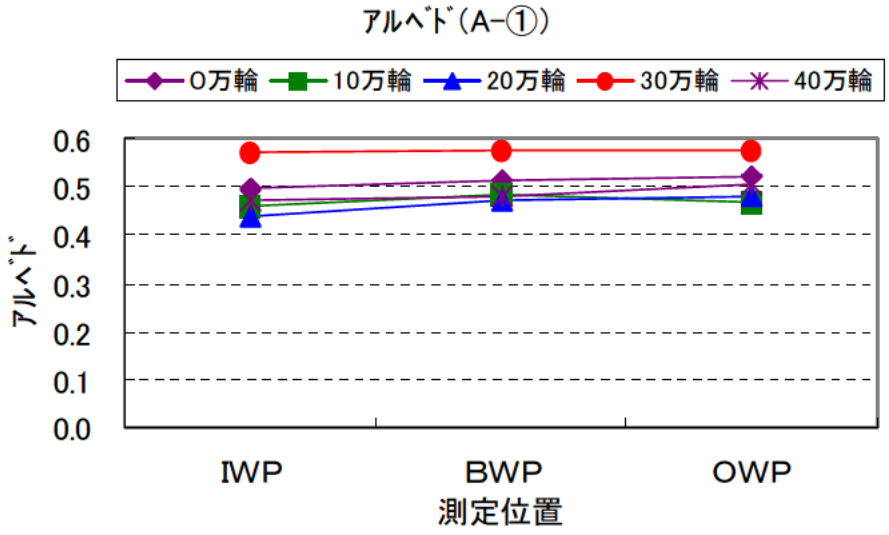


図-4.3.4.3 アルベド調査結果 （H16 混合物(A－①)）

3）H16 混合物型（B－①）のアルベドの変化を図-4.3.4.4 に示す。

40 万輪走行によるアルベドの低下はみられなかった。また、タイヤ走行部、非走行部によるアルベドの差はほとんどみられなかった。

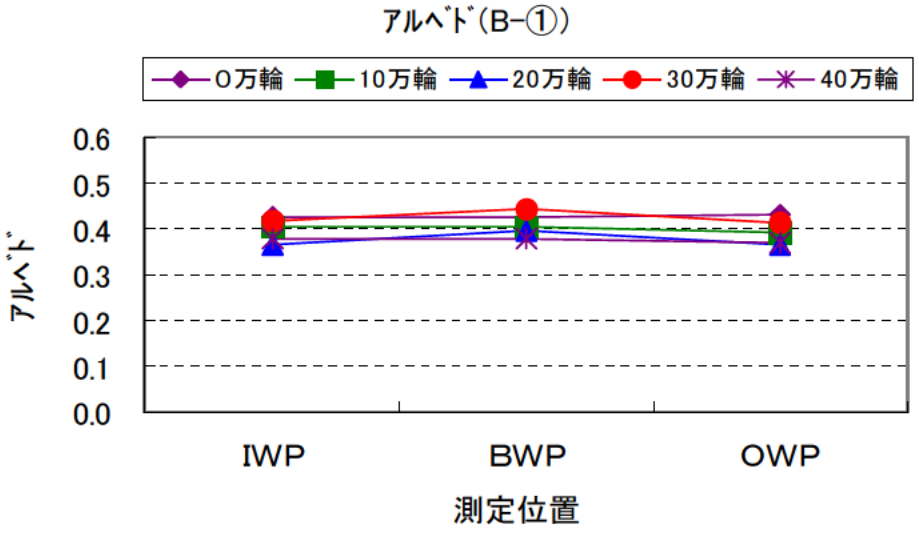


図-4.3.4.4 アルベド調査結果 （H16 混合物(B－①)）

4）H16 混合物型（C－①）のアルベドの変化を図-4.3.4.5 に示す。

40 万輪走行によるアルベドの低下はみられなかった。また、タイヤ走行部、非走行部によるアルベドの差はほとんどみられなかった。

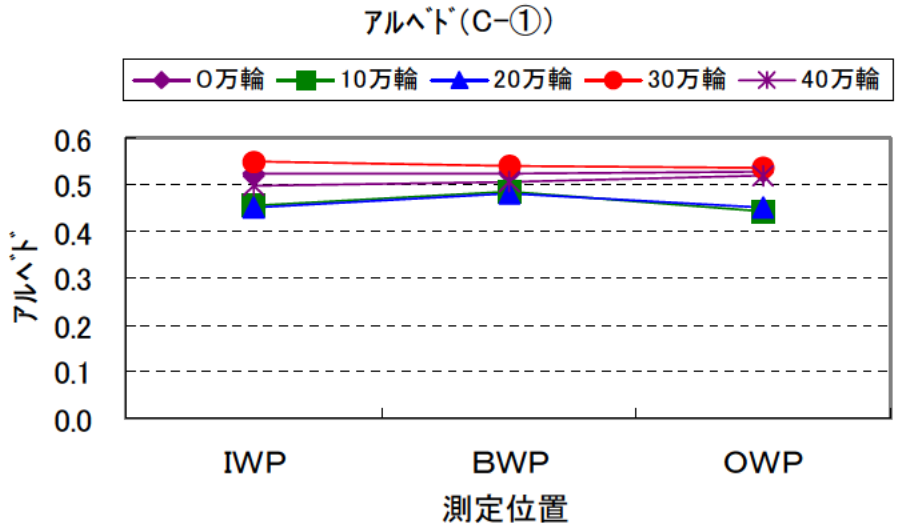


図-4.3.4.5 アルベド調査結果 （H16 混合物(C－①)）

5）H16 混合物型（D－①）のアルベドの変化を図-4.3.4.6 に示す。

40 万輪走行によるアルベドの低下はみられなかった。また、タイヤ走行部、非走行部によるアルベドの差はほとんどみられなかった。

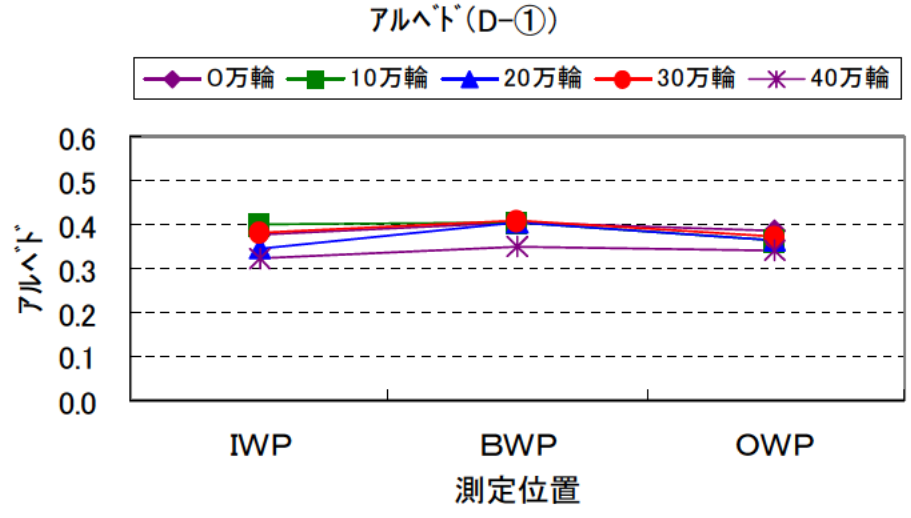


図-4.3.4.6 アルベド調査結果 （H16 混合物(D－①)）

4．3．5 明度の測定結果 （平成16年度）

（1） 4m×4m供試体

明度の調査結果を図-4.3.5.1 に示す。

３ヶ月経過による明度の低下はみられなかった。

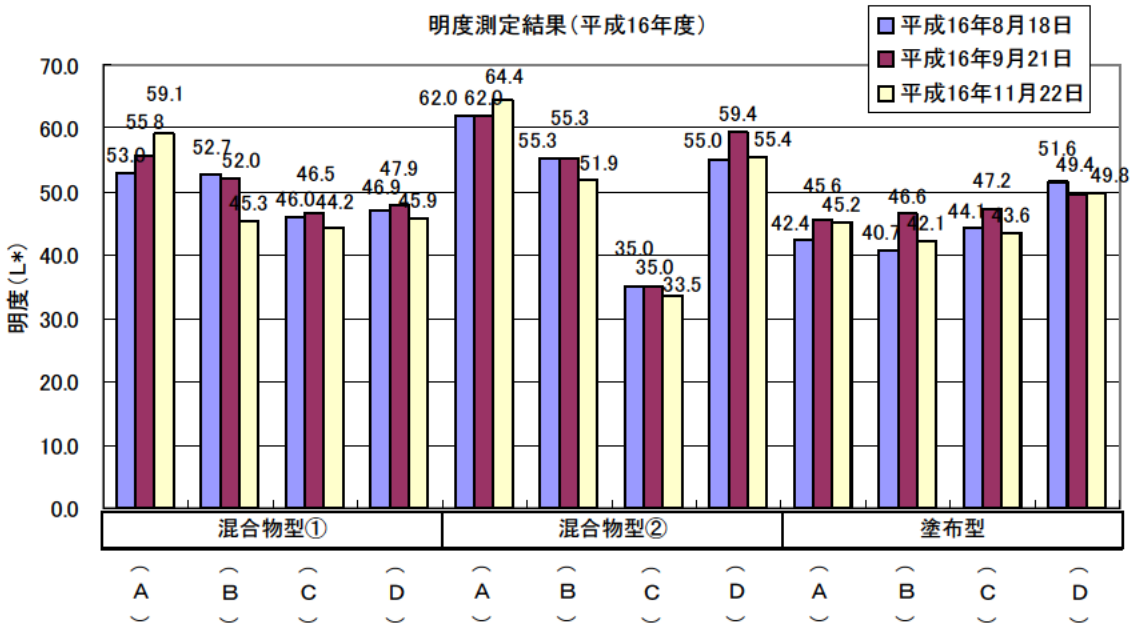


図-4.3.5.1 明度調査結果

（2） 舗装走行実験場試験走路

１）H16 混合物（A－①）の明度の変化を図-4.3.5.2 に示す。

40 万輪走行により明度が高くなる傾向がみられた。また、タイヤ走行部、非走行部によるアルベドの差はほとんどみられなかった。

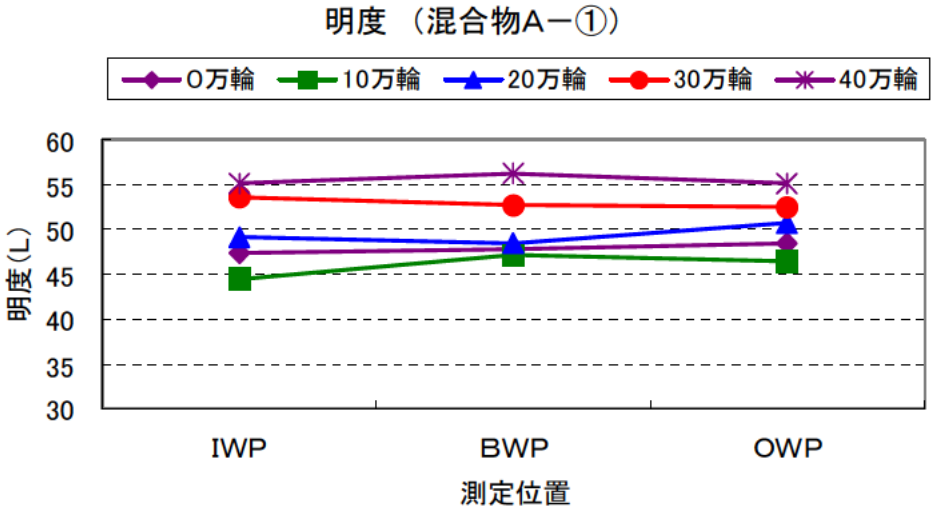


図-4.3.5.2 明度調査結果 （H16 混合物（A－①））

2）H16 混合物（B－①）の明度の変化を図-4.3.5.3 に示す。

40 万輪走行により明度が低くなる傾向がみられた。また、タイヤ走行部（0WP）に明度の低下がみられた。

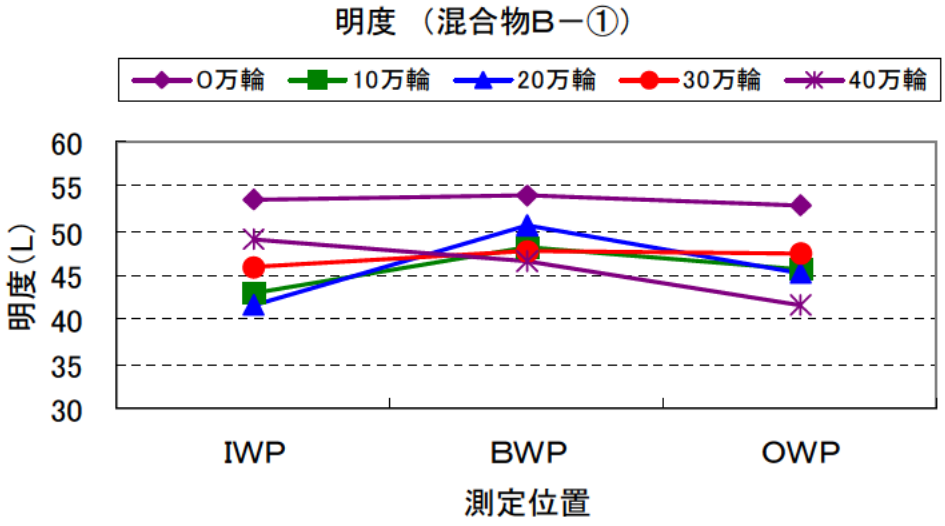


図-4.3.5.3 明度調査結果 （H16 混合物(B－①)）

3）H16 混合物（C－①）の明度の変化を図-4.3.5.4 に示す。

40 万輪走行により明度が高くなる傾向がみられた。また、タイヤ走行部の方が、非走行部より高くなった。

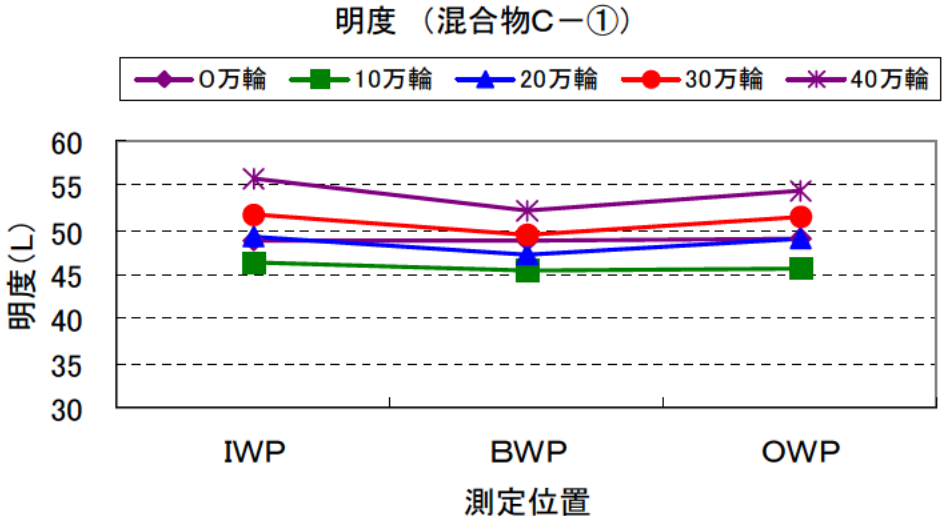


図-4.3.5.4 明度調査結果 （H16 混合物(C－①)）

4）H16 混合物（D－①）の明度の変化を図-4.3.5.5 に示す。

タイヤ非走行部については明度の低下はほとんどみられなかったが、タイヤ走行部については 40 万輪走行により明度が低くなる傾向がみられた。

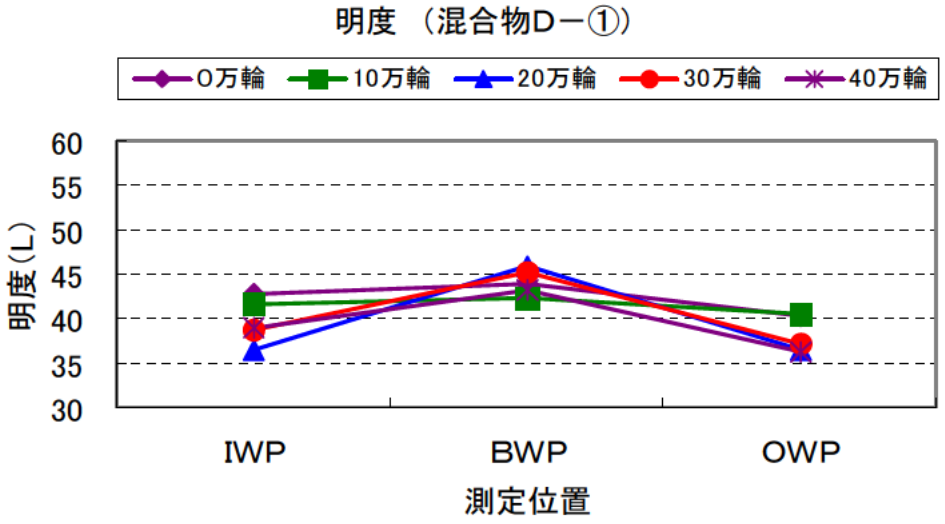


図-4.3.5.5 明度調査結果 （H16 混合物(D－①)

4．3．6 路面性状の測定結果 （平成16年度）

（1） H16 縦断凹凸量

縦断凹凸量測定結果について図-4.3.6.1、表-4.3.6.1 に示す。

排水性舗装に比べ全ての工区において標準偏差が小さく、40 万輪走行後も良好な結果となった。

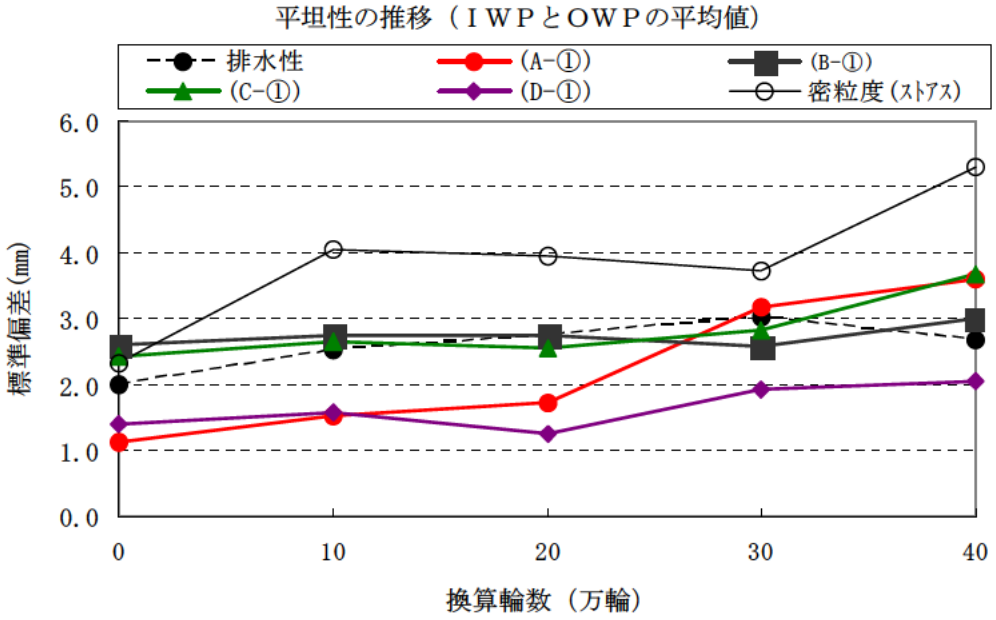


図-4.3.6.1 縦断凹凸量測定結果

表-4.3.6.1 縦断凹凸量測定結果一覧表

標準偏差(mm)

工 区	測定位置	49kN換算輪数				
		0万輪	10万輪	20万輪	30万輪	40万輪 (5万輪)
排水性	内側(IWP)	2.40	2.85	2.66	3.06	2.85
	外側(OWP)	1.58	2.21	2.82	2.97	2.51
	平均値	1.99	2.53	2.74	3.02	2.68
(A-1)	内側(IWP)	1.47	1.81	1.46	1.92	1.52
	外側(OWP)	0.78	1.24	2.00	4.44	5.65
	平均値	1.13	1.53	1.73	3.18	3.59
(B-1)	内側(IWP)	2.37	2.15	2.05	2.12	2.04
	外側(OWP)	2.80	3.33	3.44	3.02	3.95
	平均値	2.59	2.74	2.75	2.57	3.00
(C-1)	内側(IWP)	2.66	3.03	2.83	3.10	4.13
	外側(OWP)	2.18	2.24	2.26	2.55	3.23
	平均値	2.42	2.64	2.55	2.83	3.68
(D-1)	内側(IWP)	0.99	1.27	0.83	1.36	2.07
	外側(OWP)	1.80	1.88	1.68	2.48	2.02
	平均値	1.40	1.58	1.26	1.92	2.05

（2） H16 横断凹凸量

横断凹凸量測定結果について図-4.3.6.2、表-4.3.6.2 に示す。

排水性舗装に比べ、全ての工区においてわだち掘れ量が小さく、40 万輪走行後も良好な結果となった。

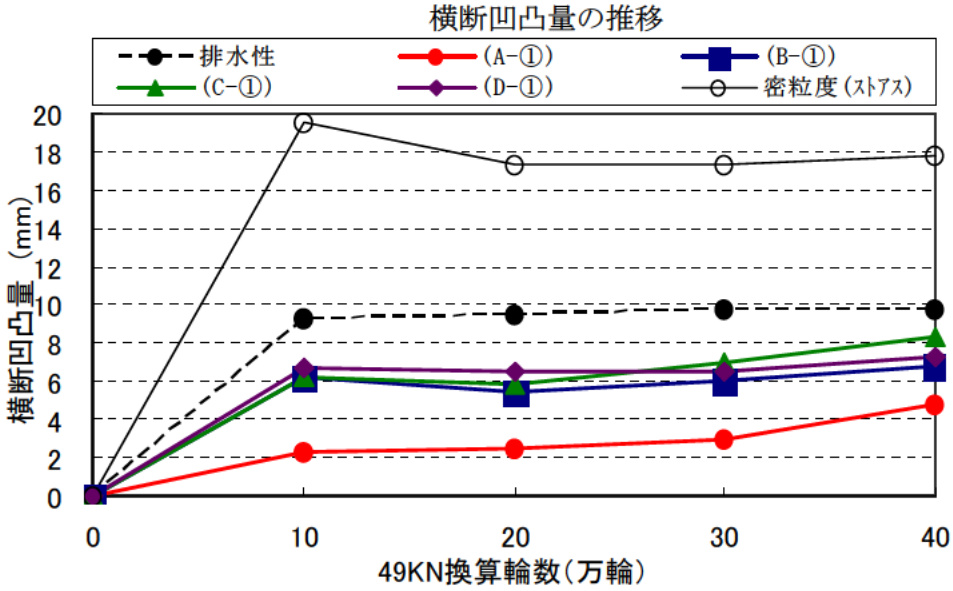


図-4.3.6.2 横断凹凸量測定結果

表-4.3.6.2 横断凹凸量測定結果一覧表

初期値(本年度)との比較　単位:mm

工 区	49kN換算輪数	0万輪		10万輪		20万輪		30万輪		40万輪	
	測定位置	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側
排水性	測線1	0.0	0.0	6.0	9.5	7.0	9.0	7.0	9.0	7.0	9.0
	測線2	0.0	0.0	6.0	9.0	6.5	9.5	6.5	10.5	6.5	10.0
	測線3	0.0	0.0	4.0	9.5	4.5	10.0	5.0	10.0	5.0	10.5
	平 均	0.0	0.0	5.3	9.3	6.0	9.5	6.2	9.8	6.2	9.8
(A-①)	測線1	0.0	0.0	-1.0	1.5	0.5	1.5	0.5	2.0	0.5	5.5
	測線2	0.0	0.0	-1.0	2.0	0.5	2.5	0.5	3.0	0.5	4.0
	測線3	0.0	0.0	0.0	3.5	1.0	3.5	1.0	4.0	1.0	5.0
	平 均	0.0	0.0	-0.7	2.3	0.7	2.5	0.7	3.0	0.7	4.8
(B-①)	測線1	0.0	0.0	4.0	7.0	4.5	6.5	4.5	6.5	4.5	7.0
	測線2	0.0	0.0	3.0	5.5	3.5	5.0	3.0	5.0	3.5	5.5
	測線3	0.0	0.0	3.0	6.0	3.5	5.0	3.5	6.5	4.0	8.0
	平 均	0.0	0.0	3.3	6.2	3.8	5.5	3.7	6.0	4.0	6.8
(C-①)	測線1	0.0	0.0	5.0	3.5	6.5	4.5	6.0	9.0	9.0	11.0
	測線2	0.0	0.0	5.0	6.5	6.5	7.0	6.5	13.5	7.5	16.5
	測線3	0.0	0.0	3.5	8.5	5.5	14.0	5.0	26.0	6.5	28.5
	平 均	0.0	0.0	4.5	6.2	6.2	8.5	5.8	16.2	7.7	18.7
(D-①)	測線1	0.0	0.0	7.0	5.5	7.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0
	測線2	0.0	0.0	5.5	6.0	6.5	6.5	6.5	6.5	7.5	8.0
	測線3	0.0	0.0	7.5	8.5	8.0	7.5	7.0	7.5	8.0	8.0
	平 均	0.0	0.0	6.7	6.7	7.2	6.5	6.3	6.5	7.2	7.3

（3） H16 ひび割れ率

ひび割れ率測定結果について図-4.3.6.3、表-4.3.6.3 に示す。

C-①、A-①に多くのひび割れがみられた。

基本的に表層に樹脂を使っていることが原因と考えられるが、その他の原因として、別途調査の結果、C-①については、基層の施工不良がひび割れの主な原因であると考えられた。また、A-①については、タイヤ走行位置と施工ジョイントが合致した影響も原因と考えられた。このため、今後施工に留意することによってひび割れの発生はある程度回避できるものと考えられた。

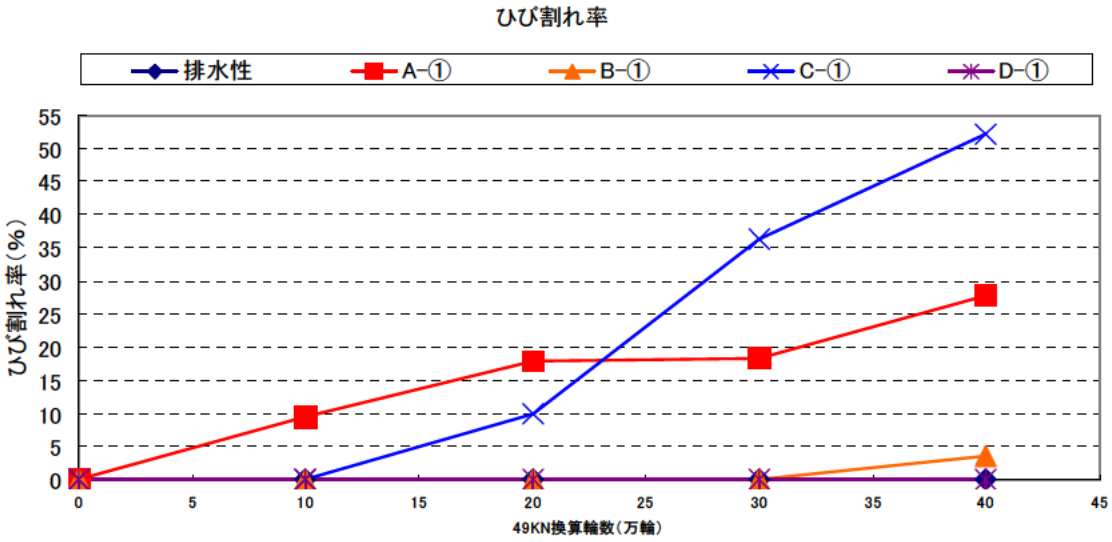


図-4.3.6.3 ひび割れ率調査結果

表-4.3.6.3 ひび割れ率調査結果

工区	対象面積 (m²)	49kN 換算輪数 / 種別	0 輪 ます目数	0 輪 面積 (m²)	0 輪 われ率 (%)	10万輪 ます目数	10万輪 面積 (m²)	10万輪 われ率 (%)	20万輪 ます目数	20万輪 面積 (m²)	20万輪 われ率 (%)	30万輪 ます目数	30万輪 面積 (m²)	30万輪 われ率 (%)	40万輪 ます目数	40万輪 面積 (m²)	40万輪 われ率 (%)	備考
排水性	35.0	ひび割れ２本以上	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		
		ひび割れ１本	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	
		合　計	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		
(A-①)	35.0	ひびわれ２本以上	0	0.00		0	0.00		2	0.50		4	1.00		22	5.50		表層施工ジョイントが原因と考えられるひび割れがみられるため、別途調査を行った。
		ひびわれ１本	0	0.00	0.00	22	3.30	9.43	38	5.70	17.71	36	5.40	18.29	28	4.20	27.71	
		合　計	0	0.00		22	3.30		40	6.20		40	6.40		50	9.70		
(B-①)	35.0	ひび割れ２本以上	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		5	1.25		
		ひび割れ１本	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	3.57	
		合　計	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		5	1.25		
(C-①)	35.0	ひびわれ２本以上	0	0.00		0	0.00		9	2.25		40	10.00		73	18.25		基層施工不良が原因と考えられるひび割れがみられるため、別途調査を行った。
		ひびわれ１本	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	8	1.20	9.86	18	2.70	36.29	0	0.00	52.14	
		合　計	0	0.00		0	0.00		17	3.45		58	12.70		73	18.25		
(D-①)	35.0	ひびわれ２本以上	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		
		ひびわれ１本	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	
		合　計	0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		0	0.00		

（4） H16 現場透水量

1）タイヤ走行部(外側)の現場透水量測定結果について図-4.3.6.4、表-4.3.6.4 に示す。

全ての工区において、40 万輪走行後も 1000mm/15sec 以上を維持しており、良好な結果となった。

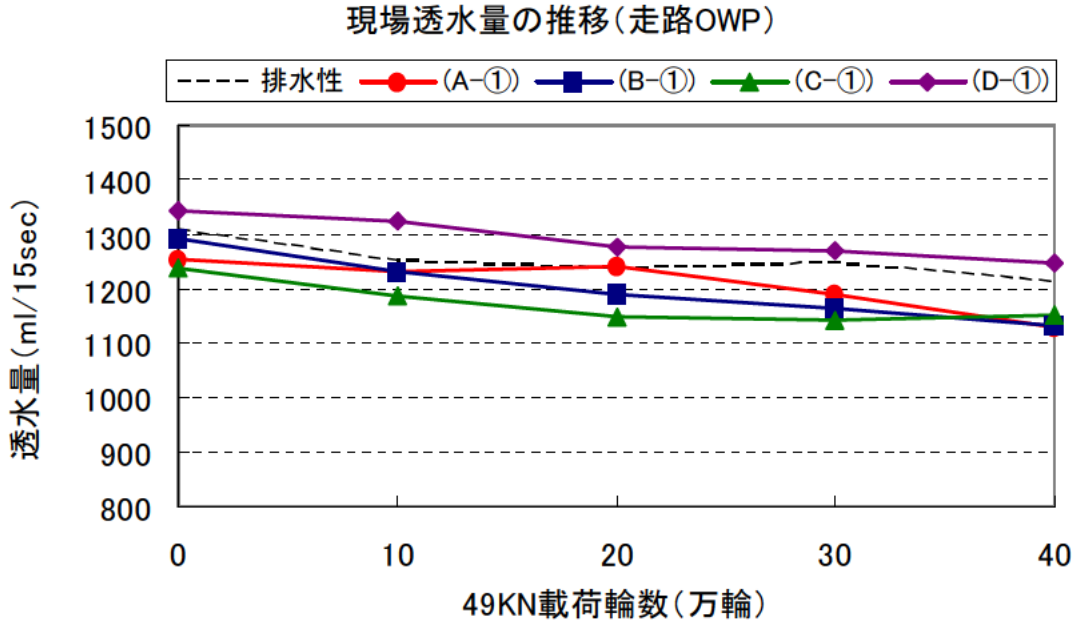


図-4.3.6.4 H16 現場透水量測定結果 （OWP）

表-4.3.6.4 H16 現場透水量測定結果 （OWP）

OWP	0万輪	10万輪	20万輪	30万輪	40万輪
排水性	1,307	1,250	1,237	1,247	1,212
(A-①)	1,253	1,232	1,242	1,190	1,128
(B-①)	1,293	1,232	1,190	1,165	1,132
(C-①)	1,237	1,186	1,149	1,141	1,152
(D-①)	1,342	1,325	1,277	1,269	1,247

2）タイヤ非走行部の現場透水量測定結果について図-4.3.6.5、表-4.3.6.5 に示す。

排水性舗装に比べ透水量が低くなっている箇所もみられるが、各工区とも 40 万輪走行後も 1000mm/15sec 以上を保っており、良好な状況である。

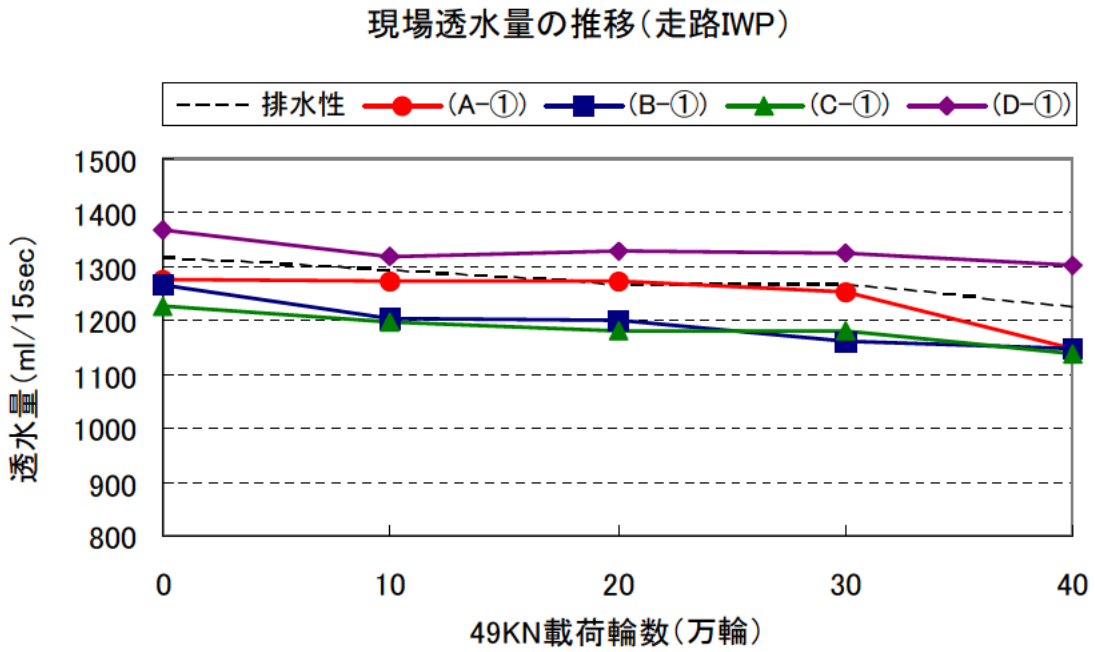


図-4.3.6.5 H16 現場透水量測定結果 （IWP）

表-4.3.6.5 H16 現場透水量測定結果 （IWP）

IWP	0万輪	10万輪	20万輪	30万輪	40万輪
排水性	1,316	1,293	1,268	1,268	1,224
(A-①)	1,277	1,274	1,274	1,255	1,149
(B-①)	1,268	1,205	1,200	1,161	1,147
(C-①)	1,227	1,198	1,181	1,181	1,139
(D-①)	1,367	1,319	1,330	1,325	1,302

（5） H16 すべり摩擦抵抗 （DFT）

1） 測定速度 40km

排水性舗装に比べ低い箇所もみられるが、40 万輪走行後も全体的に良好な状態である。

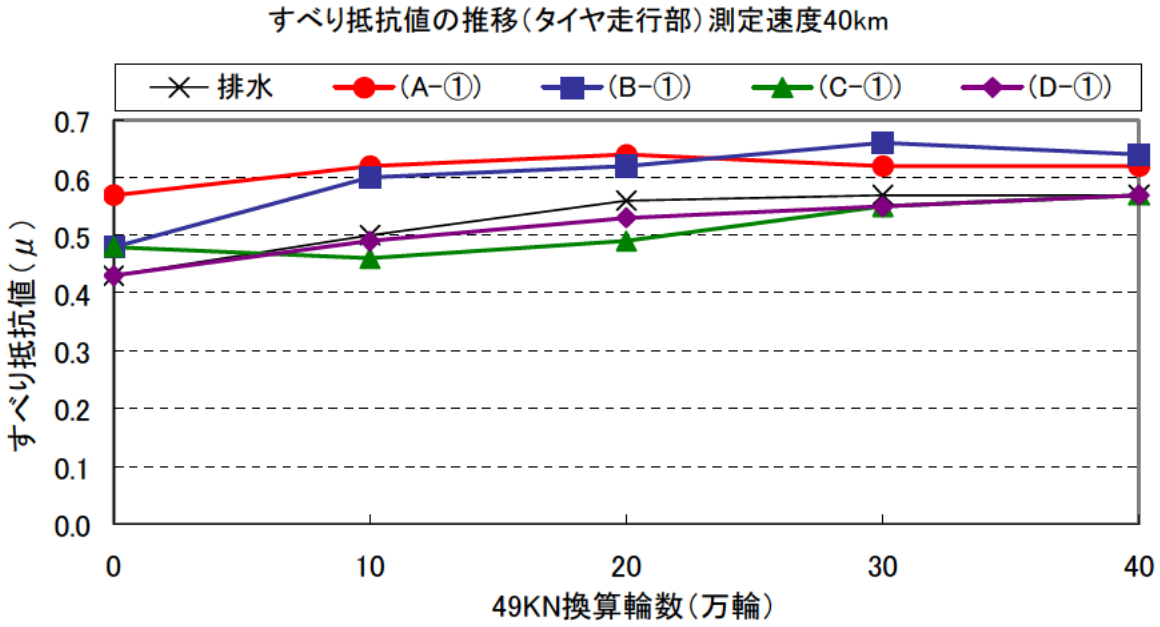


図-4.3.6.6 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （DFT 40km）

表-4.3.6.6 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （DFT 40km）

	0万輪	10万輪	20万輪	30万輪	40万輪
排水	0.43	0.50	0.56	0.57	0.57
(A-①)	0.57	0.62	0.64	0.62	0.62
(B-①)	0.48	0.60	0.62	0.66	0.64
(C-①)	0.48	0.46	0.49	0.55	0.57
(D-①)	0.43	0.49	0.53	0.55	0.57

2） 測定速度 60km

排水性舗装と同等以上であり、40 万輪走行後も全体的に良好な状態である。

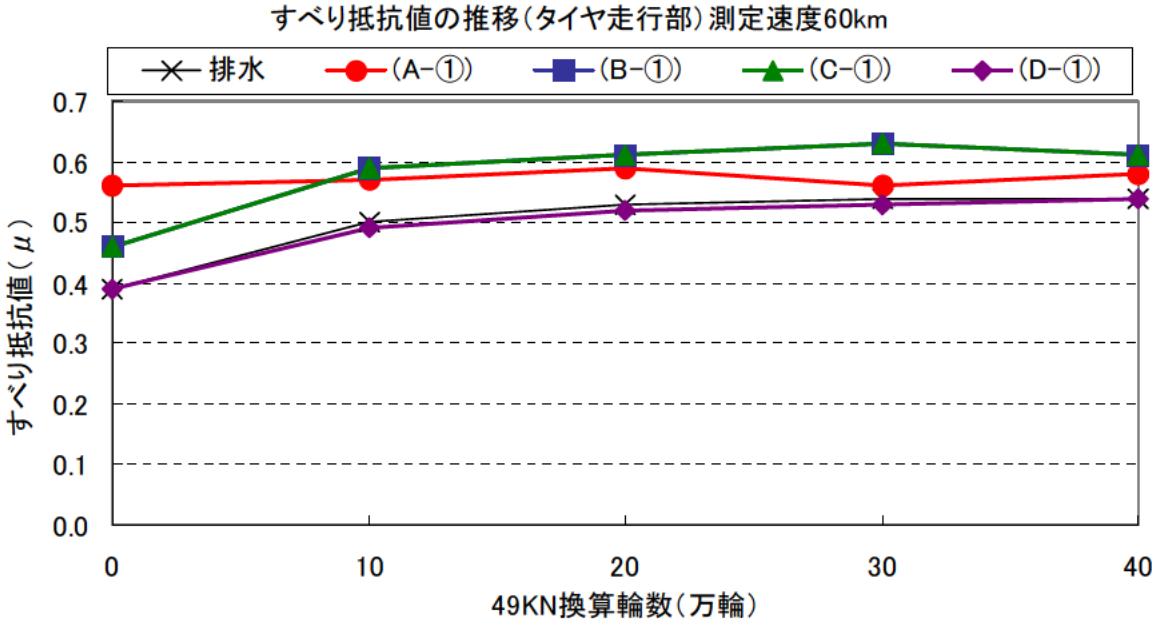


図-4.3.6.7 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （DFT 60km）

表-4.3.6.7 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （DFT 60km）

	0万輪	10万輪	20万輪	30万輪	40万輪
排水	0.39	0.50	0.53	0.54	0.54
(A-①)	0.56	0.57	0.59	0.56	0.58
(B-①)	0.46	0.59	0.61	0.63	0.61
(C-①)	0.46	0.59	0.61	0.63	0.61
(D-①)	0.39	0.49	0.52	0.53	0.54

3） 測定速度 80km

排水性舗装に比べ低い箇所もみられるが、40 万輪走行後も全体的に良好な状態である。

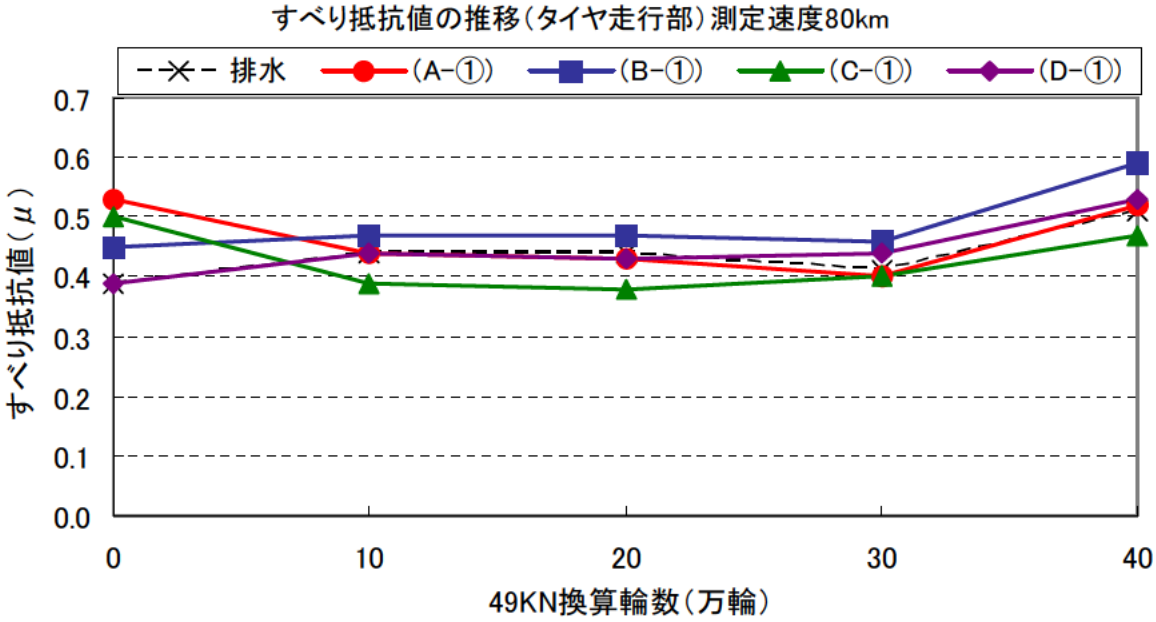


図-4.3.6.8 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （DFT 80km）

表-4.3.6.8 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （DFT 80km）

	0万輪	10万輪	20万輪	30万輪	40万輪
排水	0.39	0.44	0.44	0.41	0.51
(A-①)	0.53	0.44	0.43	0.40	0.52
(B-①)	0.45	0.47	0.47	0.46	0.59
(C-①)	0.50	0.39	0.38	0.40	0.47
(D-①)	0.39	0.44	0.43	0.44	0.53

（6） H16 すべり摩擦抵抗 （路面すべり摩擦測定車）

1） 測定速度 20km

排水性舗装に比べ低い箇所もみられるが 30 万輪走行後も全体的に良好な状態である。

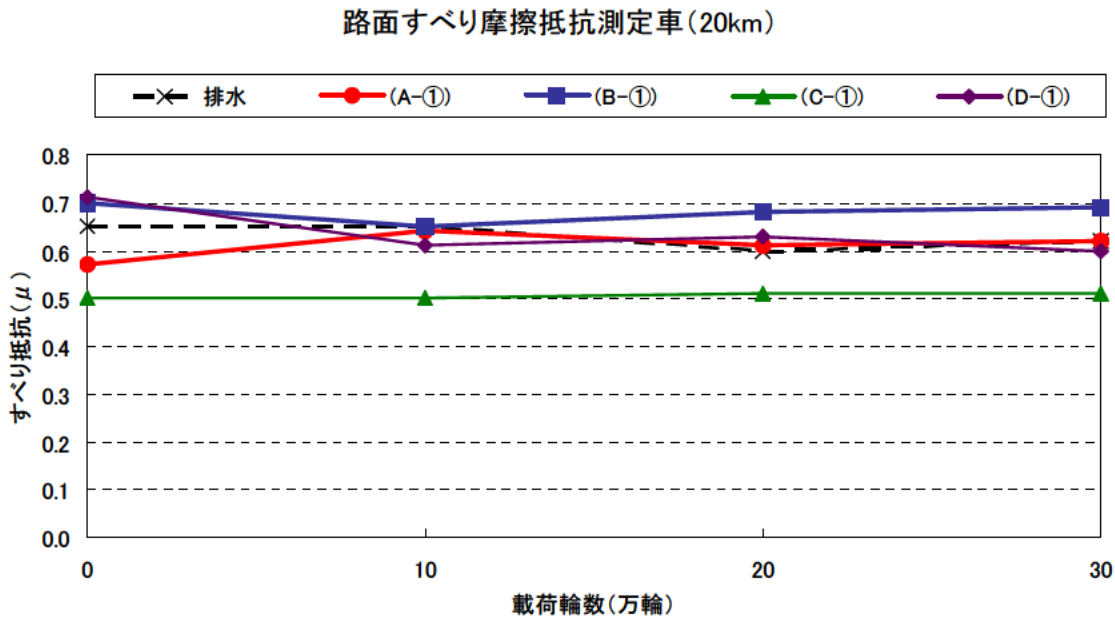


図-4.3.6.9 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （路面すべり摩擦測定車 20km）

表-4.3.6.9 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （路面すべり摩擦測定車 20km）

※40 万輪は未計測

	0万輪	10万輪	20万輪	30万輪	40万輪
排水	0.65	0.65	0.60	0.62	-
(A-①)	0.57	0.64	0.61	0.62	-
(B-①)	0.70	0.65	0.68	0.69	-
(C-①)	0.50	0.50	0.51	0.51	-
(D-①)	0.71	0.61	0.63	0.60	-

2） 測定速度 40km

排水性舗装に比べ低い箇所もみられるが、30 万輪走行後も全体的に良好な状態である。

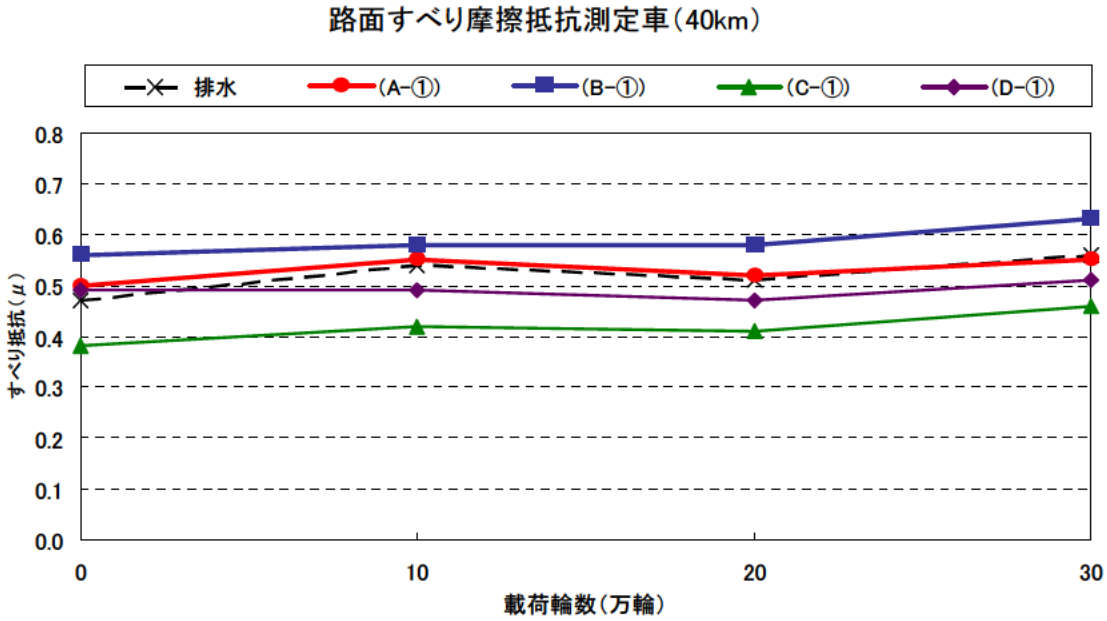


図-4.3.6.10 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （路面すべり摩擦測定車 40km）

表-4.3.6.10 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （路面すべり摩擦測定車 40km）

※40 万輪は未計測

	0万輪	10万輪	20万輪	30万輪	40万輪
排水	0.47	0.54	0.51	0.56	-
(A-①)	0.50	0.55	0.52	0.55	-
(B-①)	0.56	0.58	0.58	0.63	-
(C-①)	0.38	0.42	0.41	0.46	-
(D-①)	0.49	0.49	0.47	0.51	-

3） 測定速度 60km

排水性舗装に比べ低い箇所もみられるが、30 万輪走行後も全体的に良好な状態である。

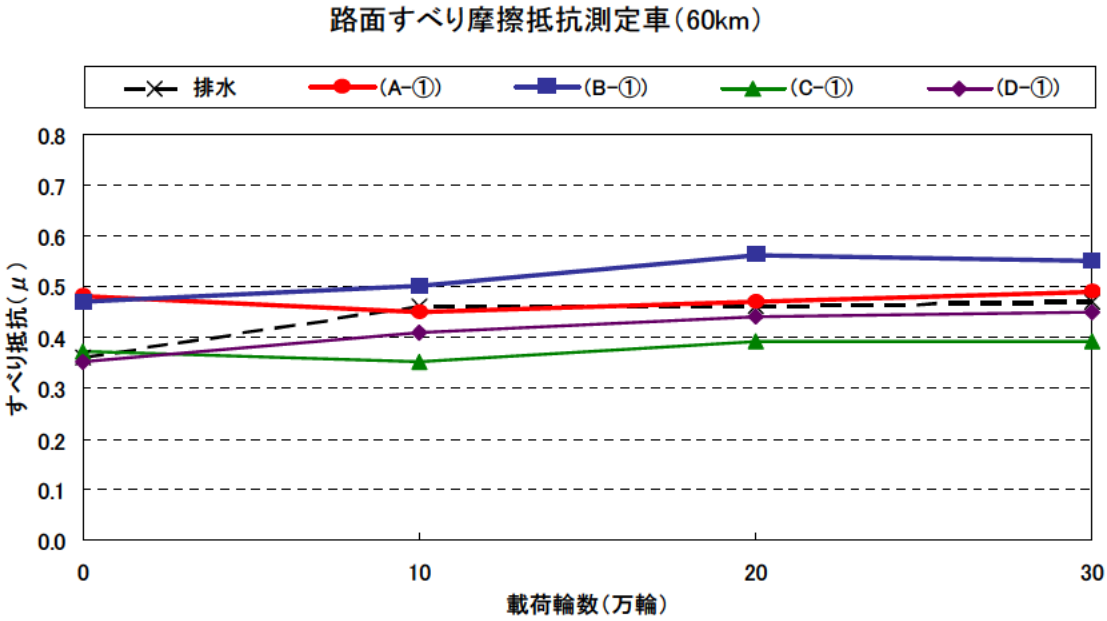


図-4.3.6.11 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （路面すべり摩擦測定車 60km）

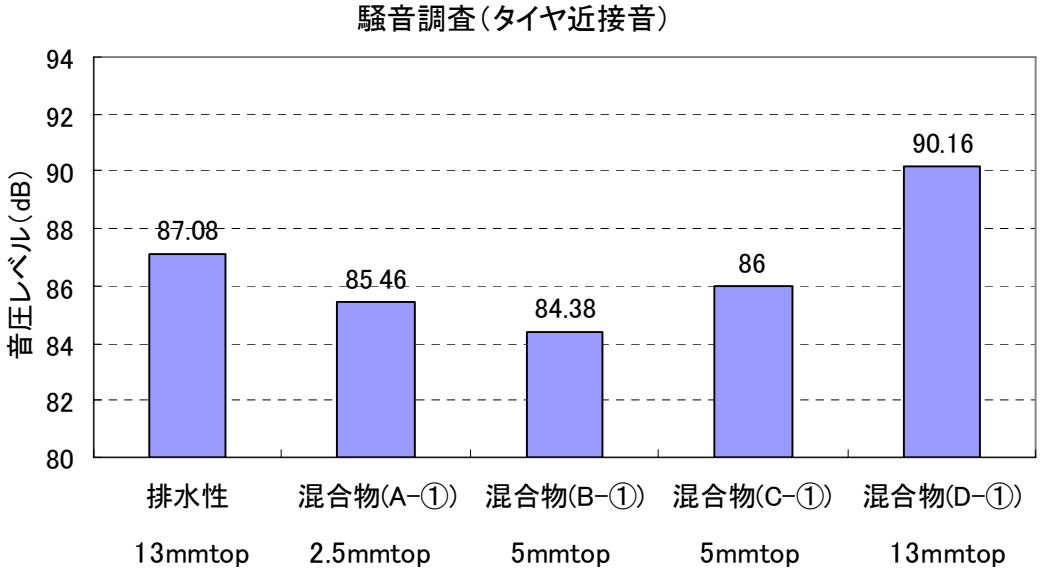
表-4.3.6.11 H16 すべり摩擦抵抗測定結果 （路面すべり摩擦測定車 60km）

※40 万輪は未計測

	0万輪	10万輪	20万輪	30万輪	40万輪
排水	0.36	0.46	0.46	0.47	-
(A-①)	0.48	0.45	0.47	0.49	-
(B-①)	0.47	0.50	0.56	0.55	-
(C-①)	0.37	0.35	0.39	0.39	-
(D-①)	0.35	0.41	0.44	0.45	-

（7） H16 騒音調査 （タイヤ近接音）

骨材粒度の相違による影響がみられた。粒度の小さい工区は排水性舗装に比べ音圧レベルが低くなった。



※普通タイヤを用いた。

図-4.3.6.12 H16 騒音調査結果 （タイヤ近接音）

（8） H16 騒音調査 （パワーレベル）

A-①、B-①、C-①については、排水性舗装に音圧レベルが比べ低くなった。

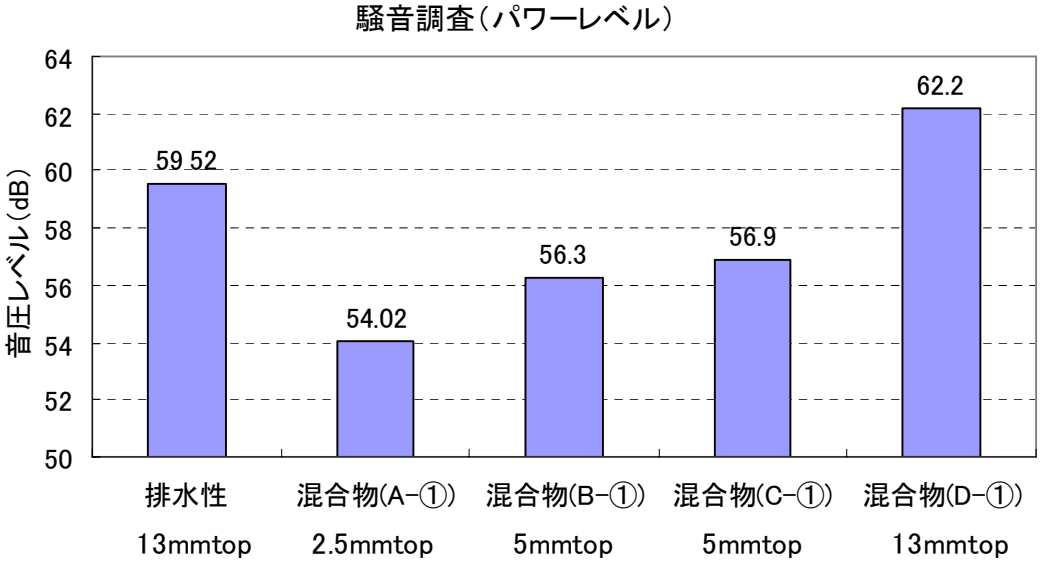


図-4.3.6.13 H16 騒音調査結果（パワーレベル）

※パワーレベルは道路中心から 7.5m、高さ 1.2m で、普通乗用車の走行時の騒音を測定したもの。

(9)表面状況

1)混合物型(A－①)

全景↓



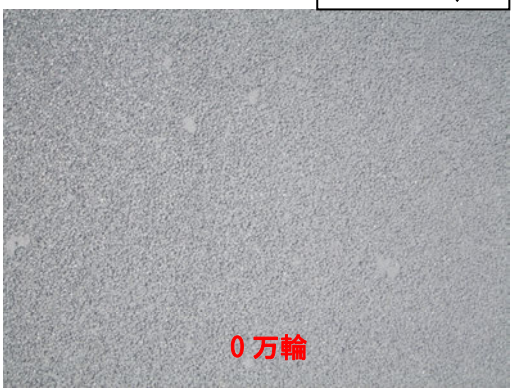


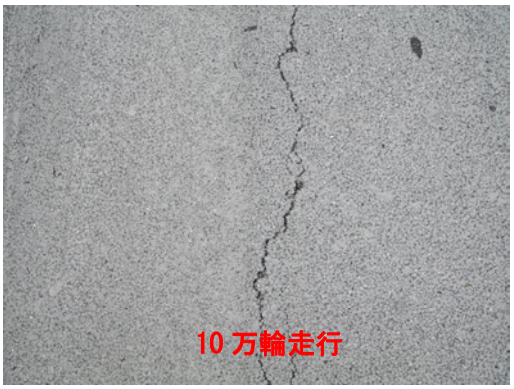






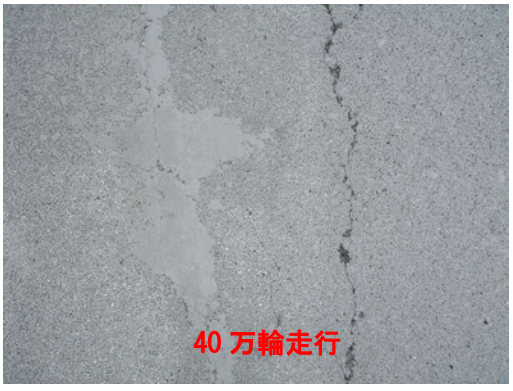
OWP↓











2）混合物型（B－①）

全景↓



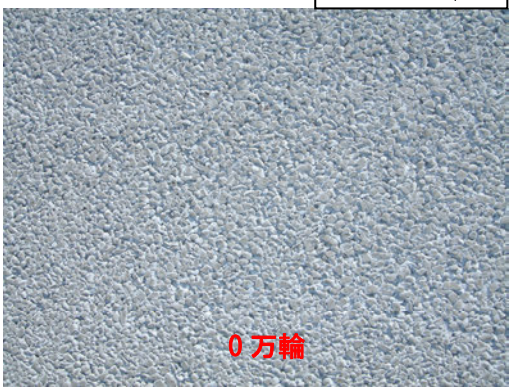


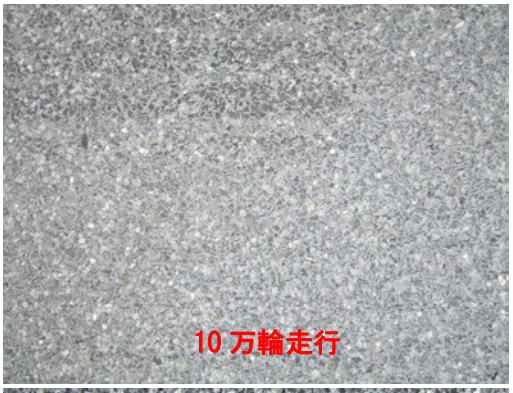


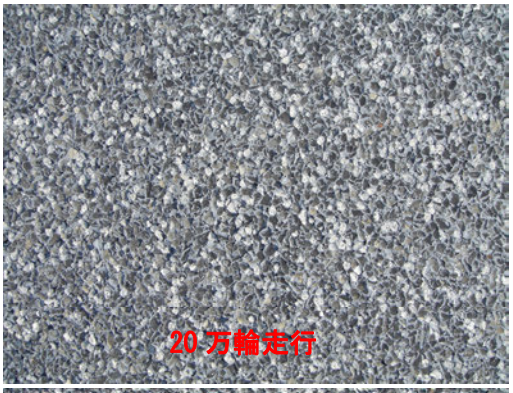




OWP↓











3)混合物型(C－①)

全景↓



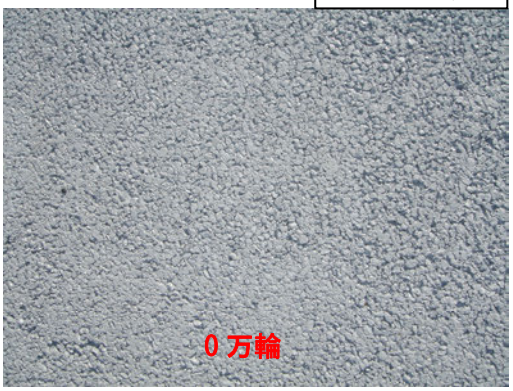


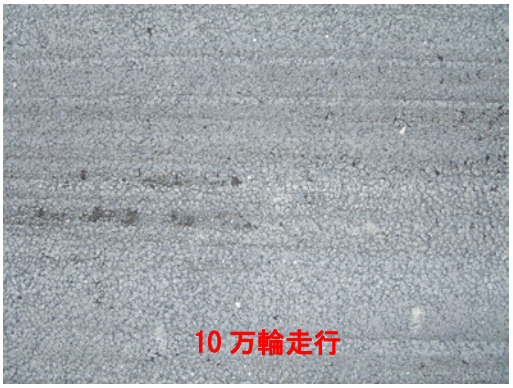


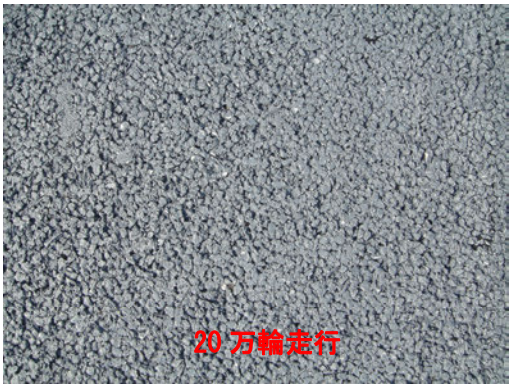




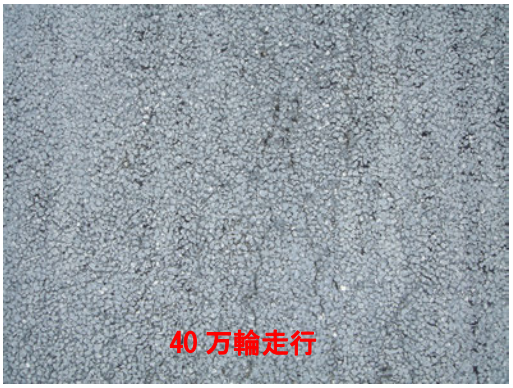
OWP↓











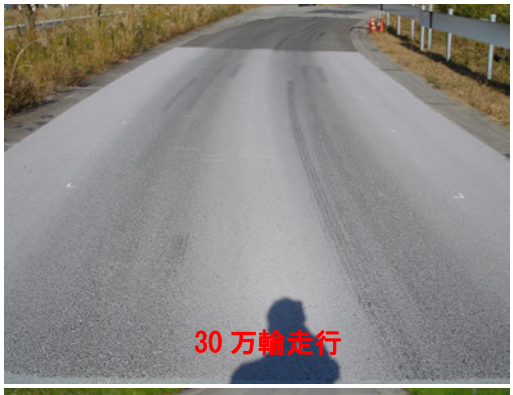
4)混合物(D－①)

全景↓



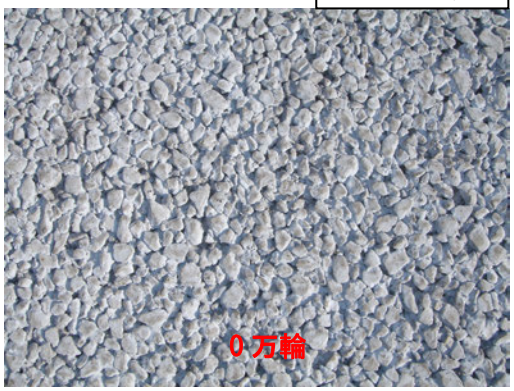


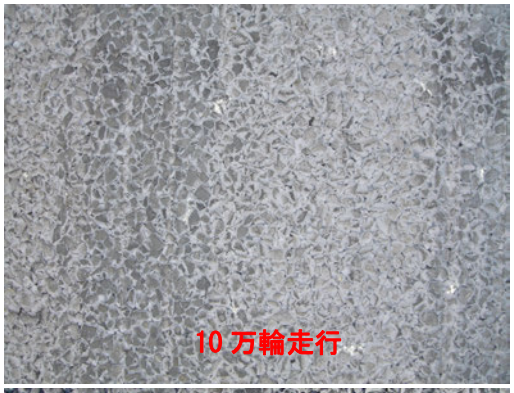


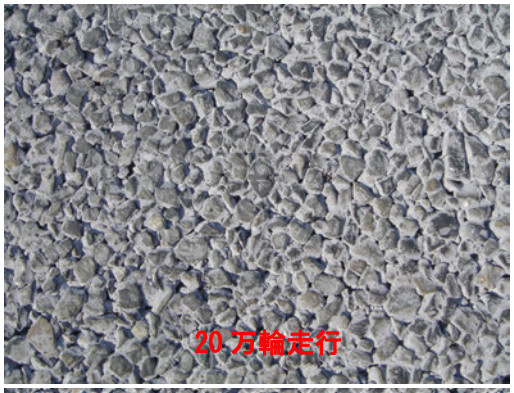


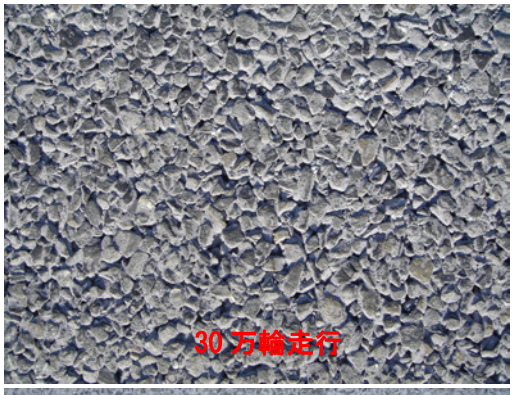


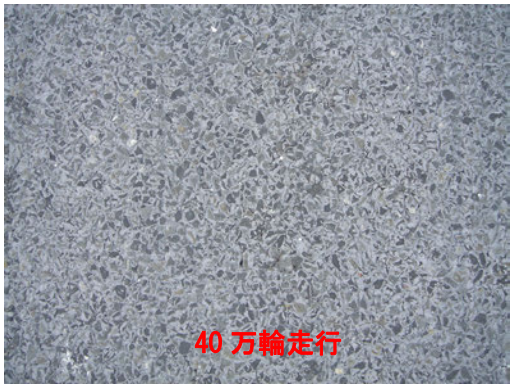
OWP↓











４．４．　平成 16 年度結果のまとめ

平成 16 年度の試験施工では、路面温度低減効果に優れた混合物型遮熱性舗装が開発できたと考えられる。供用履歴に伴う効果の持続性については全てが明らかになっていないが、アルベドの測定結果からすれば日射反射率の低下は特に見られないことから、今回の載荷輪数 40 万輪程度での効果の持続性は確保されていると考えられる。

平成 15 年度の結果を基に大幅な温度性能の向上を図る必要があったことから、平成 15 年度と同様に表層と同時施工が可能なものは混合物型遮熱性舗装タイプＢとタイプＤとなった。一方のタイプＡとタイプＣについては、温度性能の高性能化に特化した開発を行ったことから、表層施工後に薄層の遮熱性混合物を改めて敷き均す施工方法となった。

これらの路面温度低減効果は、表-4.4.1 に示す通りである。

表-4.4.1 各供試体における最大温度差 （平成16年度）

供試体種類	最大温度差 （℃）
混合物型（Ａ－①）	17
混合物型（Ａ－②）	20
塗布型（Ａ）	16
混合物型（Ｂ－①）	8
混合物型（Ｂ－②）	13
塗布型（Ｂ）	15
混合物型（Ｃ－①）	10
混合物型（Ｃ－②）	9
塗布型（Ｃ）	17
混合物型（Ｄ－①）	9
混合物型（Ｄ－②）	10
塗布型（Ｄ）	15

荷重車による促進載荷試験を 49kN 換算輪数 40 万輪走行を行った結果、各舗装の状況は以下のとおりである。

・混合物型（Ａ－①）

縦断凹凸量、横断凹凸量、現場透水量、すべり摩擦抵抗については、40 万輪走行後も排水性舗装に比べ良好な結果となった。特に横断凹凸量については全工区の中で最も良い結果となった。しかし、40 万輪走行後にひび割れ率が 27.71％となり、ひび割れがわだち部に縦断方向にみられる状況となった。原因として表層に樹脂を使っているためと考えられたがその他の原因として別途調査した結果、施工ジョイントの位置がわだち部に設置されていたことも原因と考えられたことから、今後施工する際には施工ジョイントの設置箇所を留意することによってひび割れの発生はある程度回避できると判断した。

・混合物型（Ｂ－①）

縦断凹凸量、横断凹凸量、現場透水量、すべり摩擦抵抗については、40 万輪走行後も排水性舗装に比べ良好な結果となった。40 万輪走行後にひび割れがみられるものの、ひび割れ率 3.57％と比較的良好な結果となった。

・混合物型（Ｃ－①）

縦断凹凸量、横断凹凸量、現場透水量、すべり摩擦抵抗については、40 万輪走行後も排水性舗装に比べ良好な結果となった。ただし、一部分において、わだち掘れやひび割れが発生した。原因として表層に樹脂を使っているためと考えられたがその他の原因として別途調査した結果、基層の施工不良も原因と考えられた。このため、横断凹凸量については影響箇所を除いて調査を行っている。

・混合物型（Ｄ－①）

縦断凹凸量、横断凹凸量、現場透水量、すべり摩擦抵抗については、40 万輪走行後も排水性舗装に比べ良好な結果となった。また、40 万輪走行後のひび割れ率も 0%と良好な結果となった。

５．結論

本共同研究では、平成 15 年度～16 年度の２年にわたり、混合物型遮熱性舗装の材料開発と、路面温度低減効果や道路舗装としての供用耐久性について検討した。平成 15 年度の研究結果をもとに平成 16 年度開発にフィードバックして性能向上に努めた結果、参加した５社４技術の全てにおいて、当初目標の一般的な舗装(ここでは排水性舗装)に対する路面温度低減効果 10℃以上について満足するものが開発できた。特に、温度性能確保を最優先とした混合物型タイプＡとタイプＣは最大で 17～20℃に達した。

また、路面温度低減性能の長期持続性(タイヤ走行に伴う遮熱材の損失に対して長期的に路面温度低減性能を持続)については、走行試験路において測定したアルベドの調査結果から 40 万輪走行では日射反射性がほとんど低下していないことから、温度性能の持続が期待できると考えられる。

通常舗装と同様の施工方法が可能な遮熱性舗装工法の開発については、混合物型タイプＢとタイプＤが通常の表層１回施工が可能なタイプであり、従来の塗布型に比べて塗布工程を省くことが出来る遮熱性舗装の構築が可能となった。一方の混合物型タイプＡとタイプＣについては、前述のように平成 15 年度検討結果を踏まえて温度性能向上を最優先したことにより、温度性能が最大で 17～20℃に達するものが開発できたが、表層との同時施工による施工工程の簡略化にはつながらなかった。

これらを含めて簡単にまとめると次の通りである。

①開発した混合物型遮熱性舗装の路面温度低減効果は、通常の排水性舗装に比べて、最大で 10～20℃程度得ることができる。

②温度性能の高性能化に特化して開発した混合物型遮熱性舗装タイプＡとタイプＣは、路面温度低減効果が最大で 17～20℃に達し、表層の排水性舗装上に小粒径の遮熱樹脂混合物を薄層で敷き均して構築する。

③温度性能と通常の施工工程確保をバランスして開発した混合物型遮熱性舗装タイプＢとタイプＤは、路面温度低減効果が最大で 8～13℃に達し、遮熱性混合物を表層用として施工、もしくは表層を２層構成として同時施工が可能である。

④路面温度低減性能の長期持続性については、40 万輪走行後も日射反射性がほとんど低下しておらず、温度性能の持続が期待できると考えられる。

⑤わだち掘れ量、現場透水量、すべり抵抗値などの路面性状は、40 万輪走行後も良好な結果が得られた。

⑥混合物型遮熱性舗装のうちタイプＡとタイプＣについては、荷重車の走行によるひび割れの発生が一部見られたが、材料の改良と施工方法のノウハウ蓄積により回避できると考えられる。

6. おわりに

本共同研究により、都市における暑熱環境改善対策の一つとして期待されている遮熱性舗装について、路面温度低減効果の高性能化が図られ、また通常舗装と同様の施工方法が可能な混合物型を開発した。これにより、遮熱コート材を用いた従来の塗布型遮熱性舗装に加え、新たに遮熱混合物が開発できたことから、今後、さまざまな場所で熱環境改善対策を講じる際の選択肢が広がることとなった。

２年間の検討期間では全てが解明されたわけではないが、少なくとも、ここ近年でも特に暑さが厳しく「酷暑」と称された平成 16 年の夏季を通じて、温度性能や路面性状の耐久性などを検討した結果であることから、より実用的な路面温度低減技術が開発できたものと考えている。

残された課題としては、イニシャルコストを更に低減するための工夫と、長期供用性の検証などが考えられる。

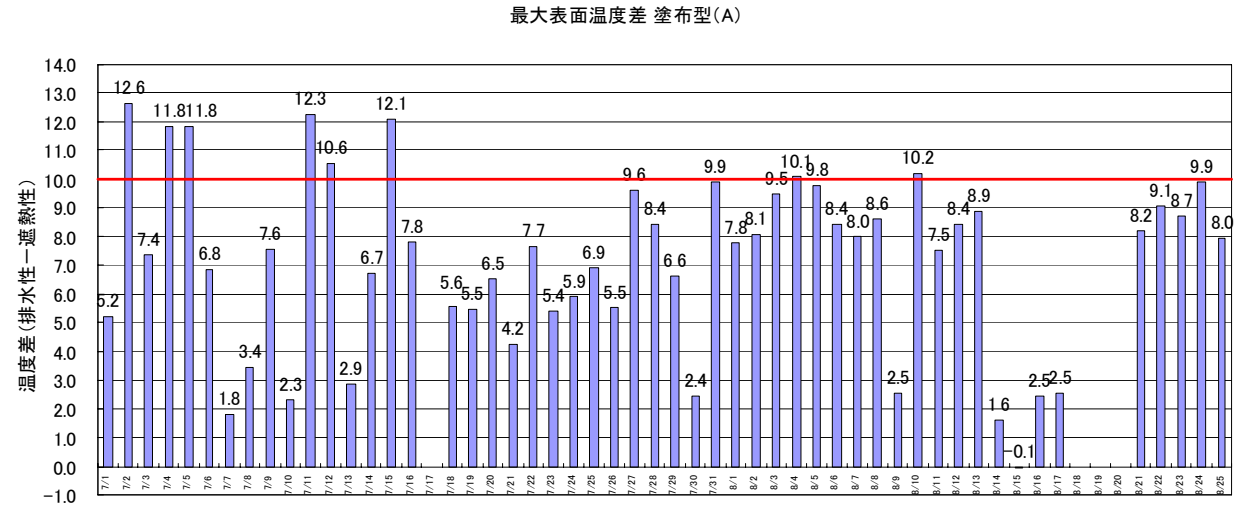
参 考 資 料

参考資料－１　平成15年度、平成16年度舗装温度調査結果
参考資料－２　アルベド測定方法の検討
参考資料－３　明度・色調の目標値及び測定方法の検討
参考資料－４　アルベド・明度と温度低減効果の関係

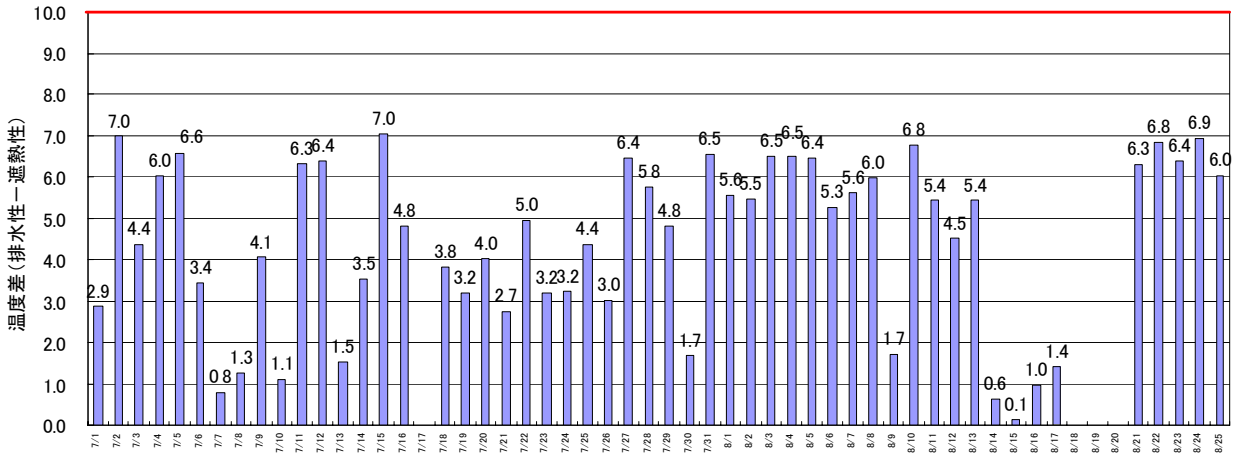
参考資料－1　平成15年度、平成16年度　舗装温度調査結果

（1） 平成15年度4m×4m供試体 （表面温度）

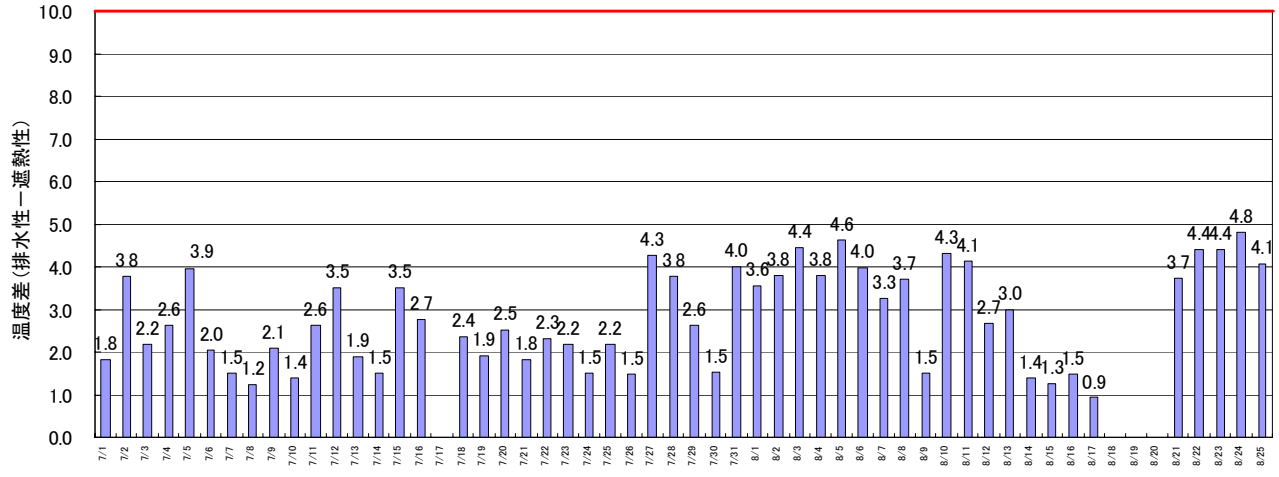
1） H15 塗布型（A）



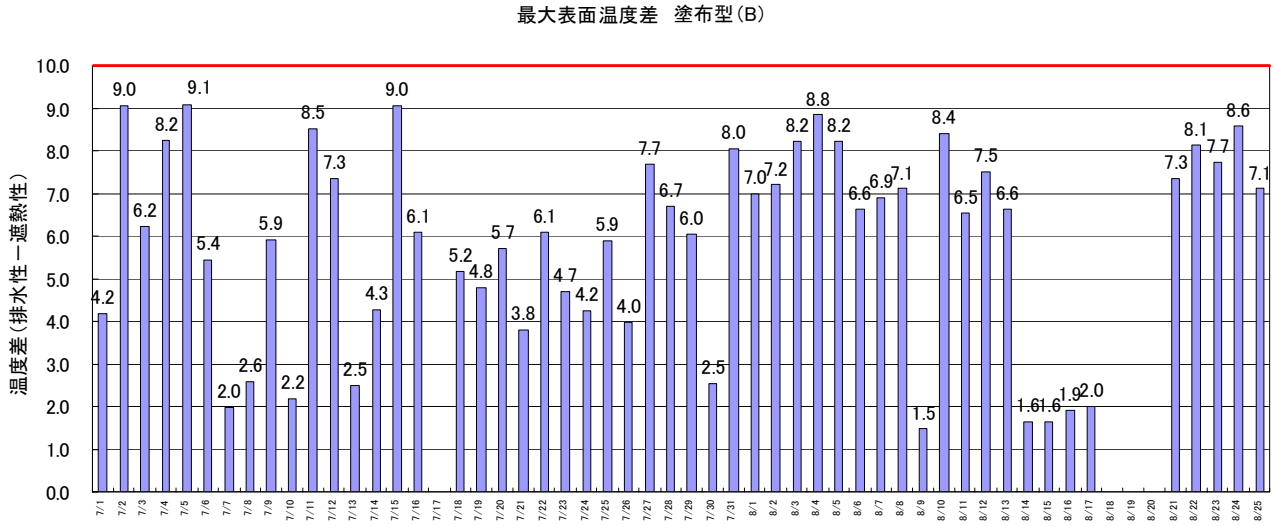
2） H15 混合物型（A－①）



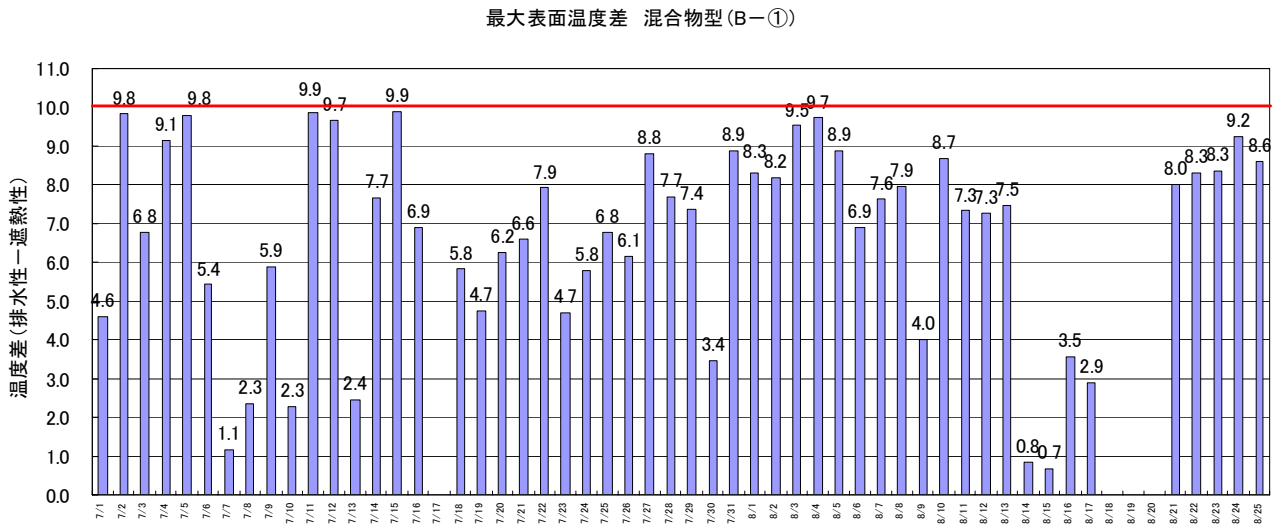
3） H15 混合物型（A－②）



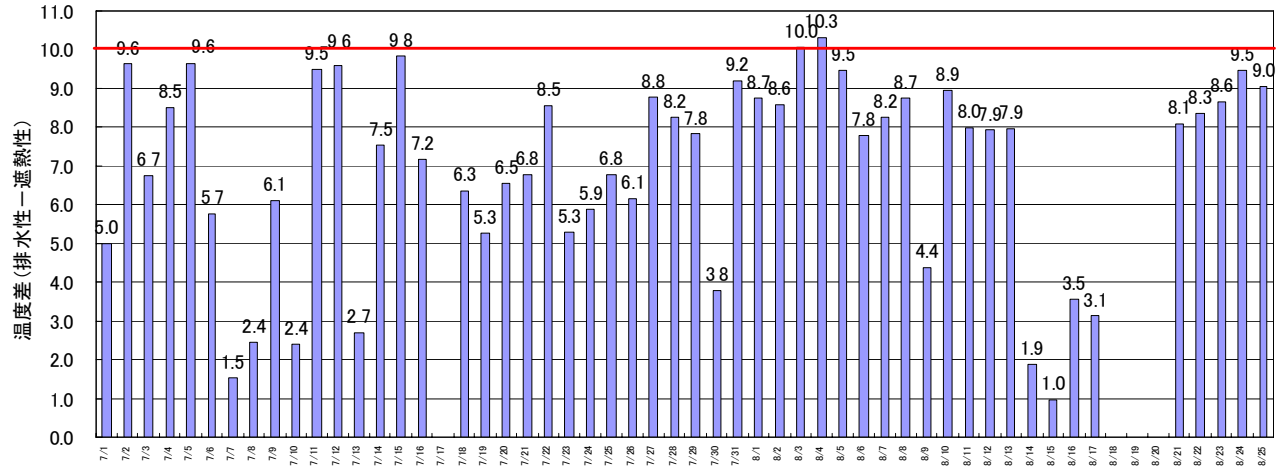
4） H15 塗布型(B)



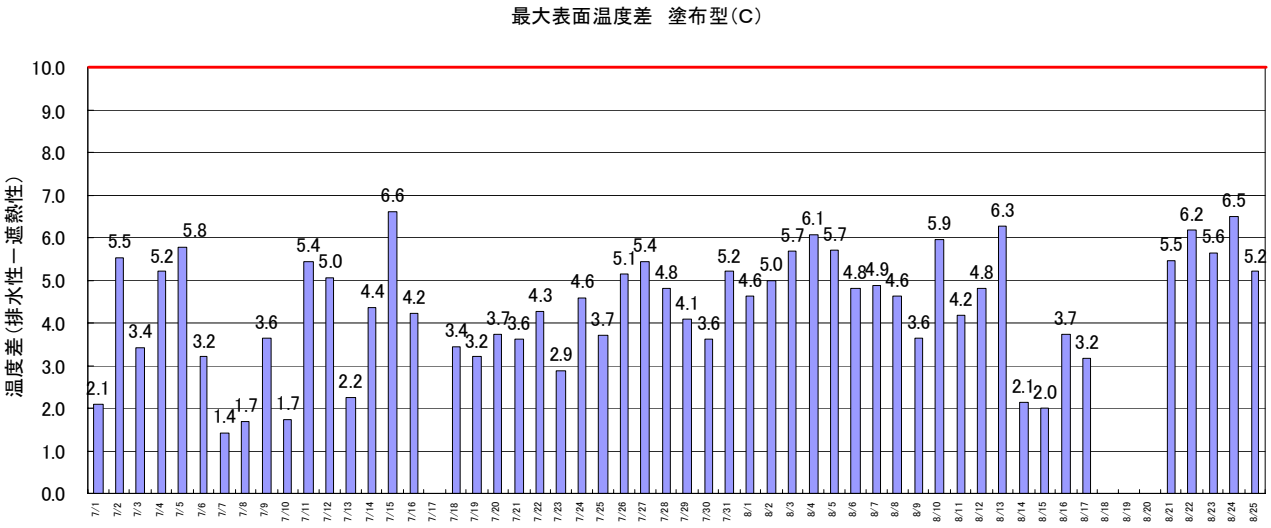
5） H15 混合物型(B－①)



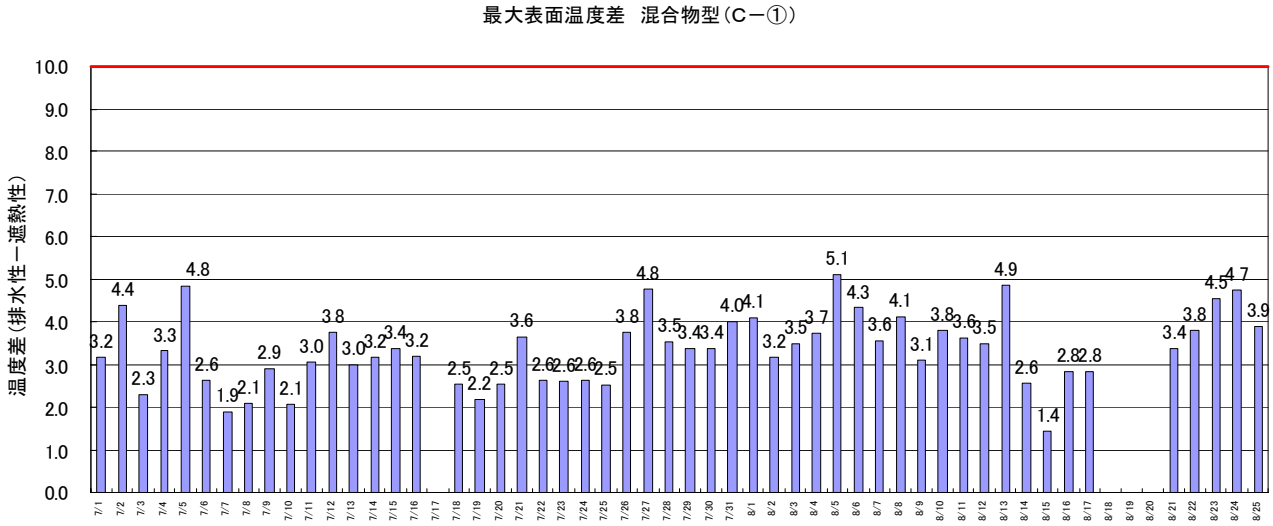
6） H15 混合物型(B－②)



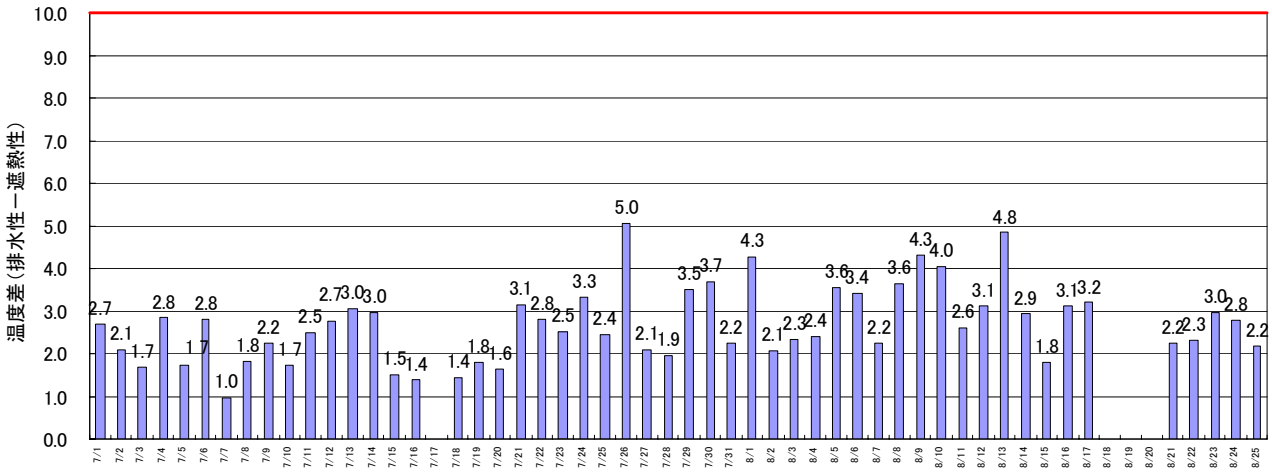
7） H15 塗布型(C)



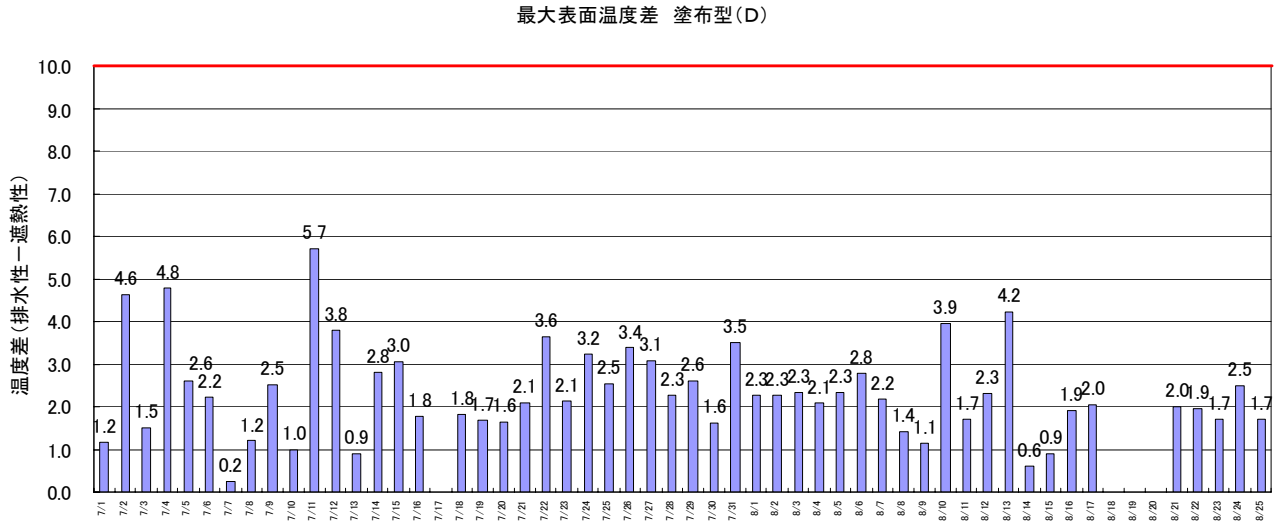
8） H15 混合物型(C－①)



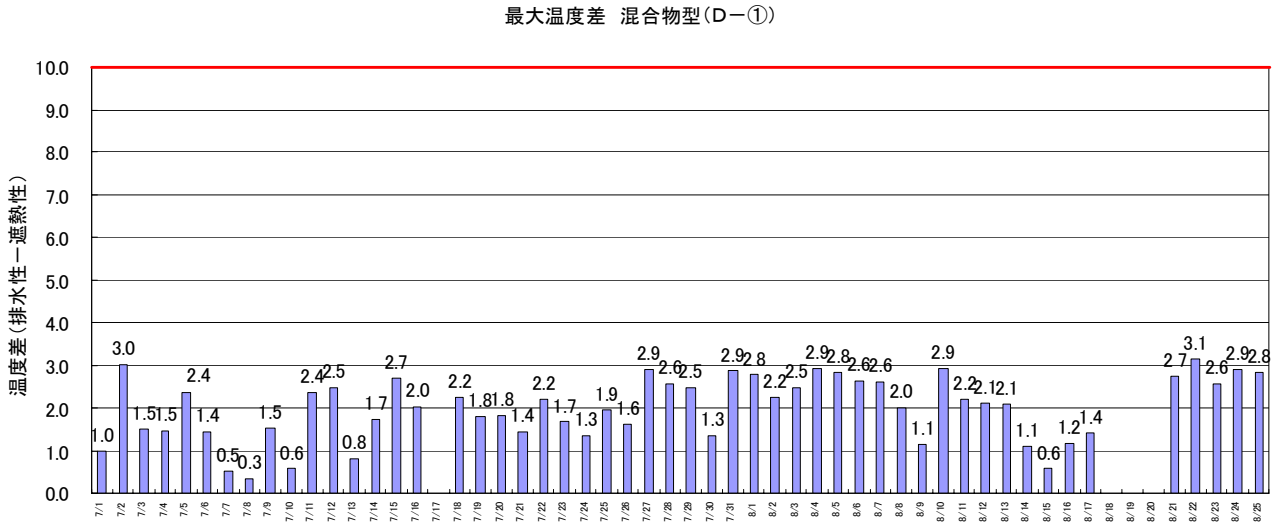
9） H15 混合物型(C－②)



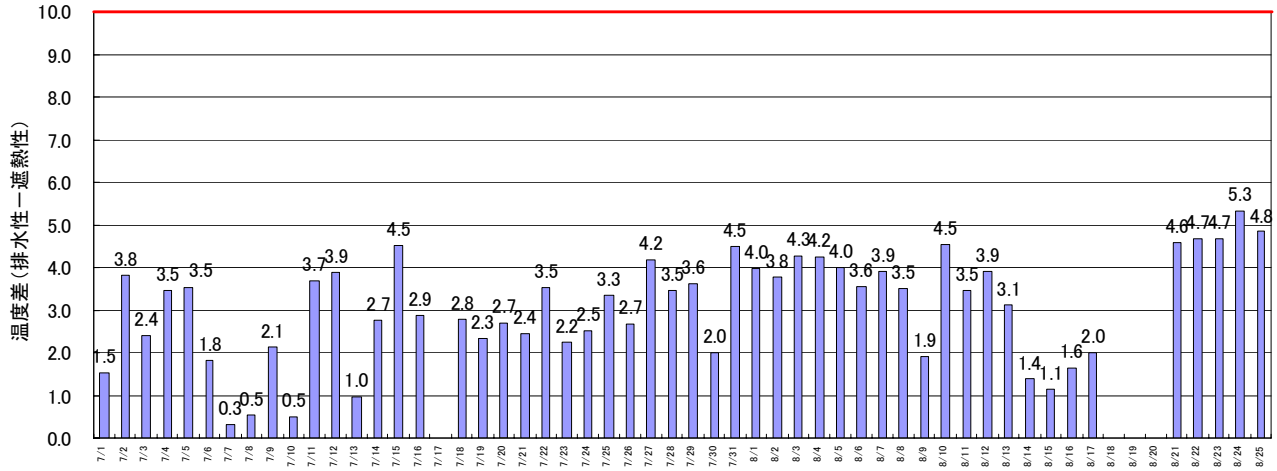
10） H15 塗布型(D)



11） H15 混合物型(D－①)

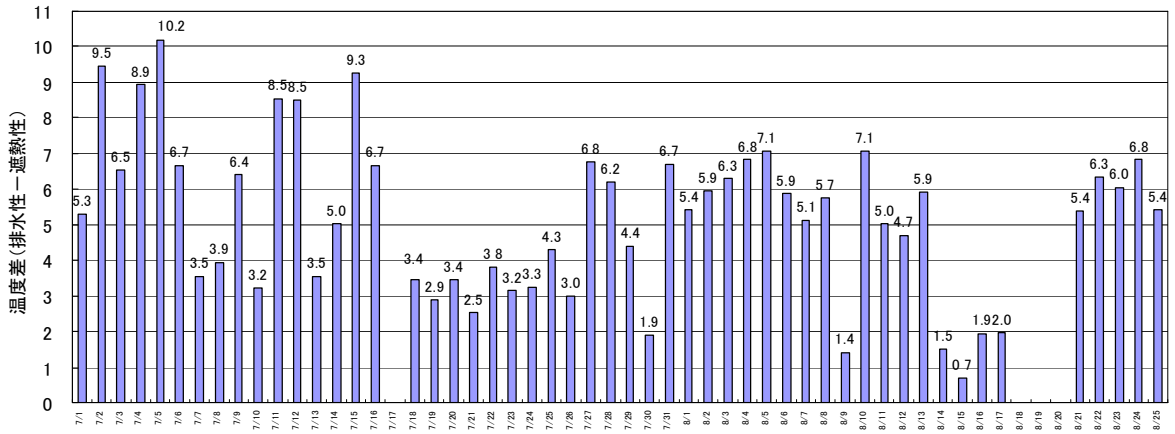


12） H15 混合物型(D－②)

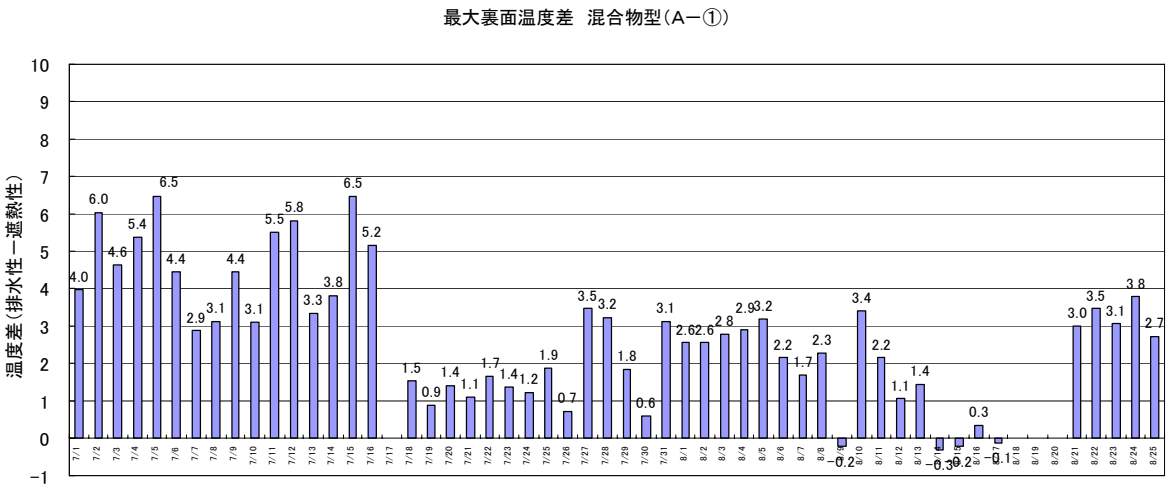


（2） 平成15年度　4m×4m供試体内部温度

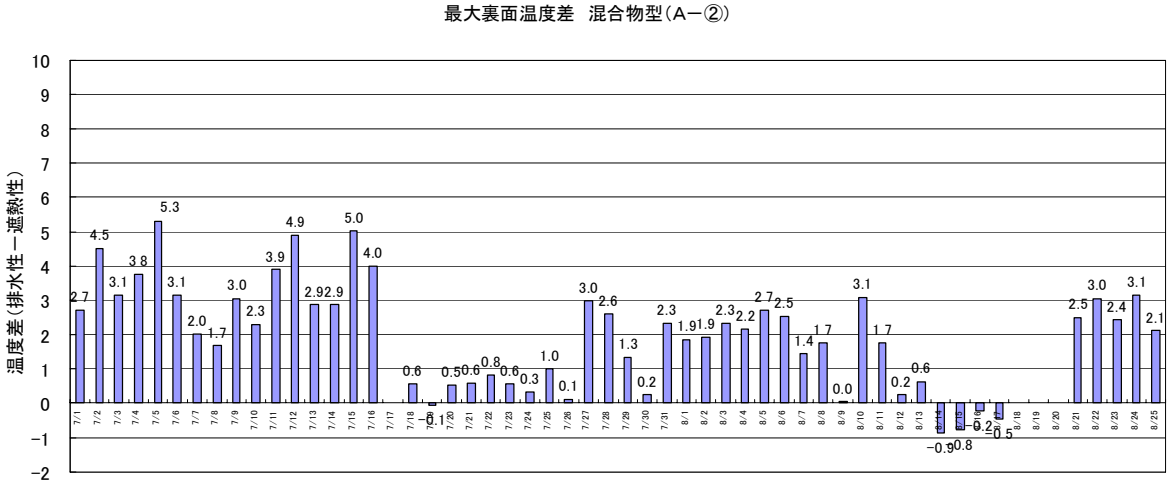
1） H15 塗布型（A）



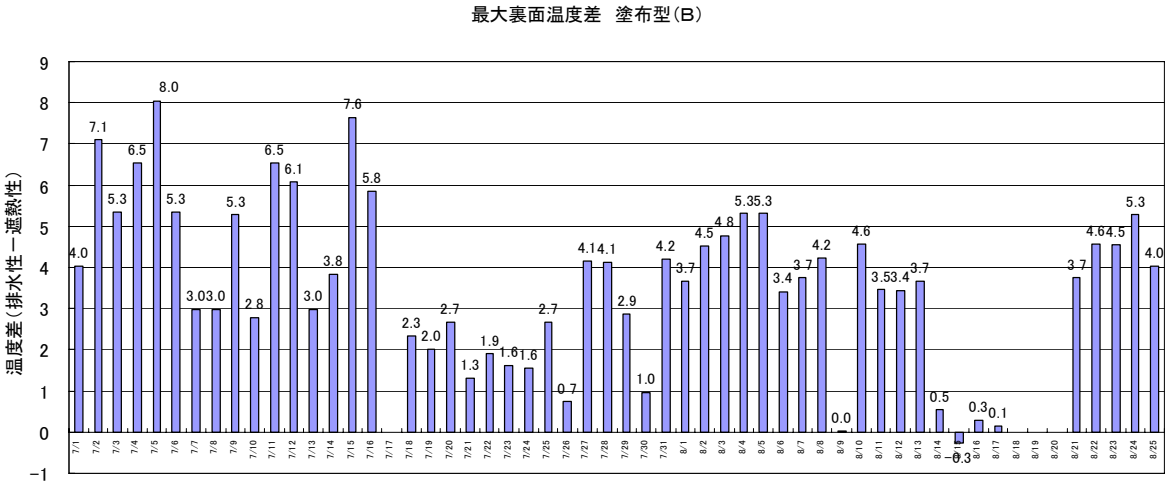
2） H15 混合物型（A－①）



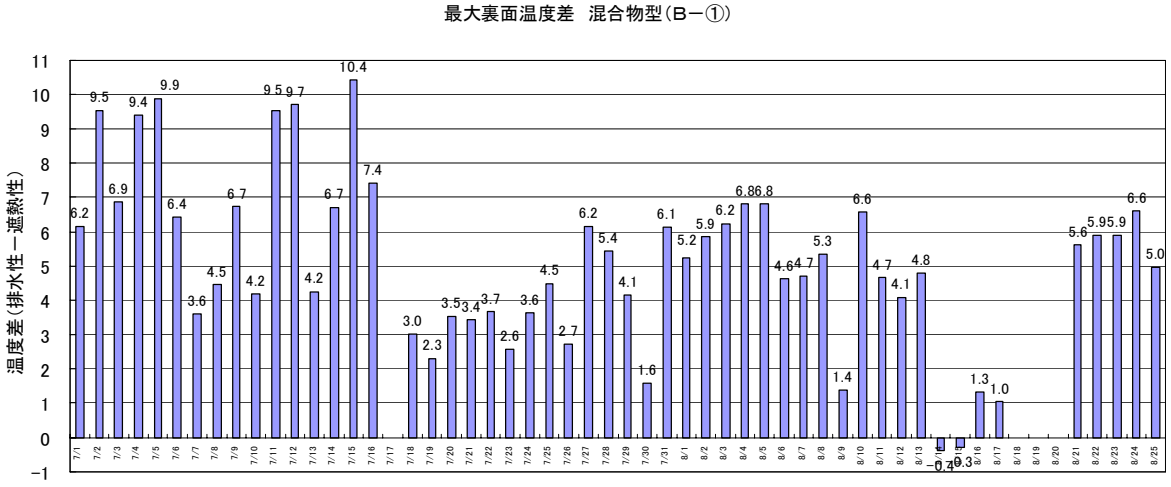
3） H15 混合物型（A－②）



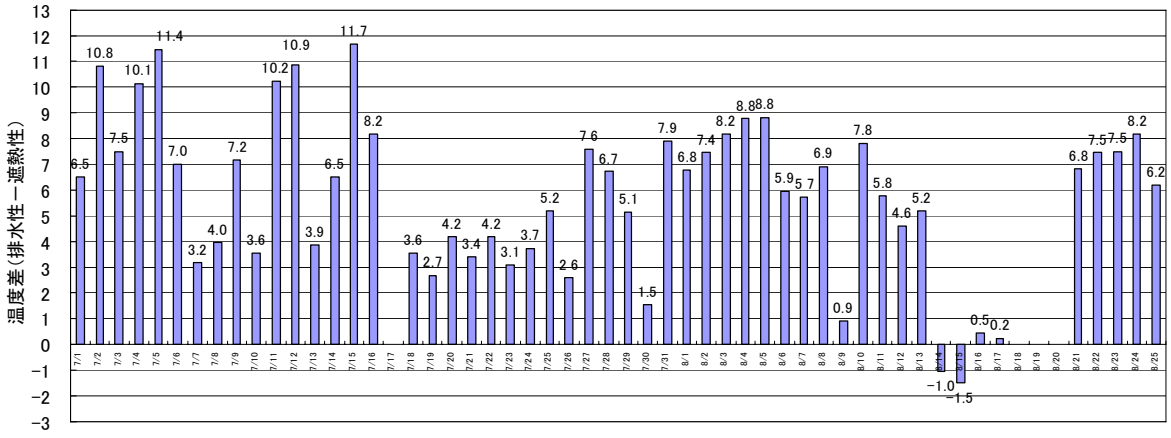
4） H15 塗布型(B)



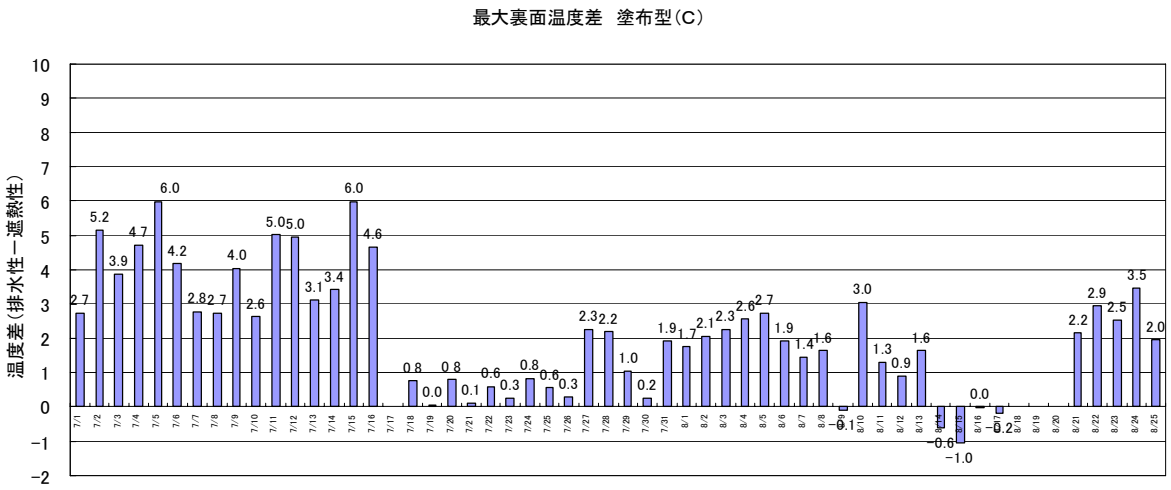
5） H15 混合物型(B－①)



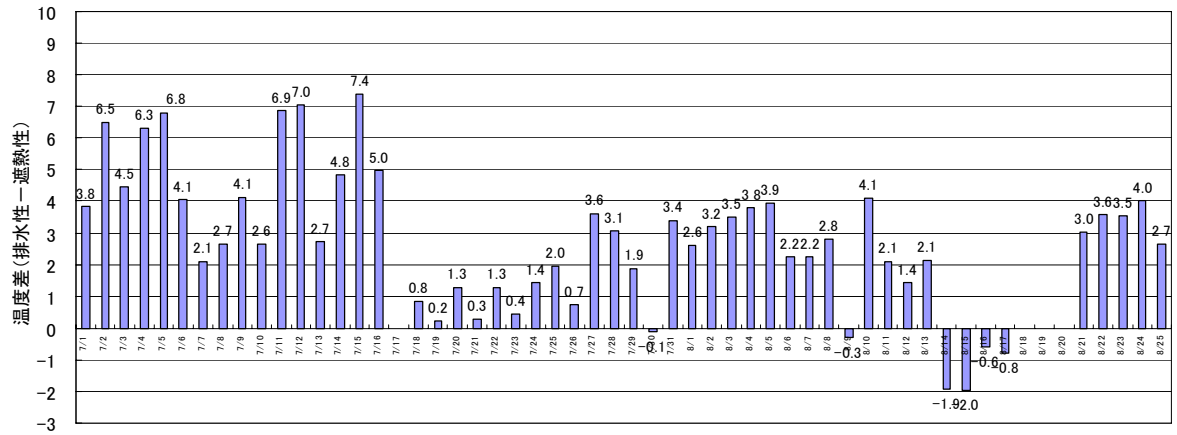
6） H15 混合物(B－②)



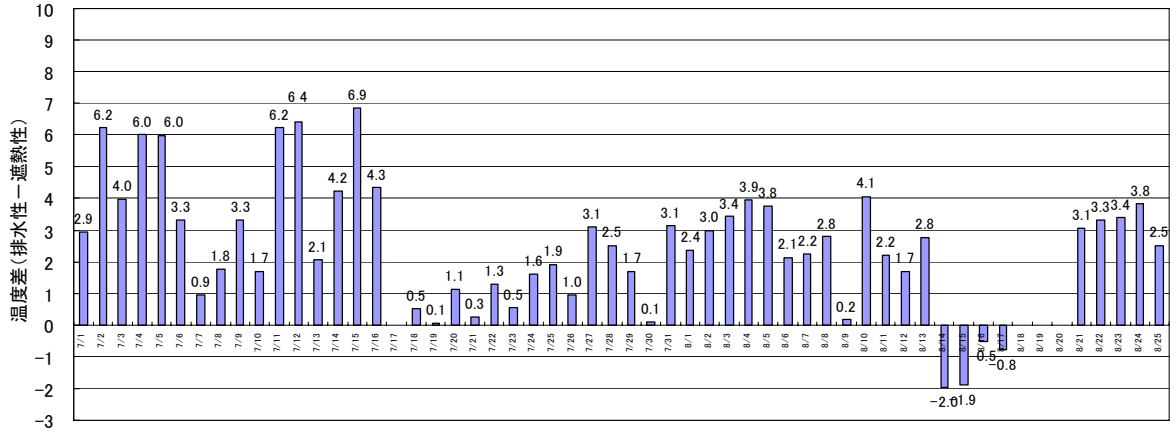
7） H15 塗布型(C)



8） H15 混合物型(C－①)

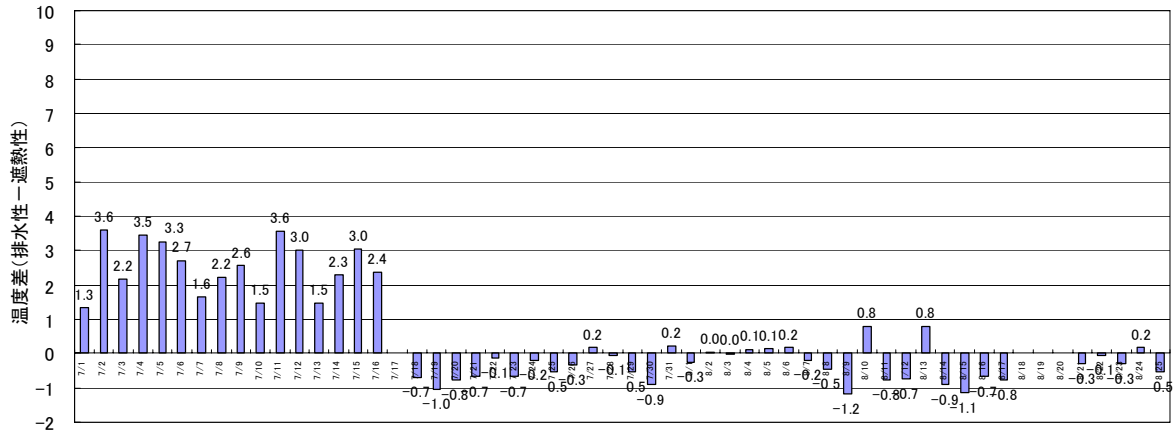


9） H15 混合物型(C－②)



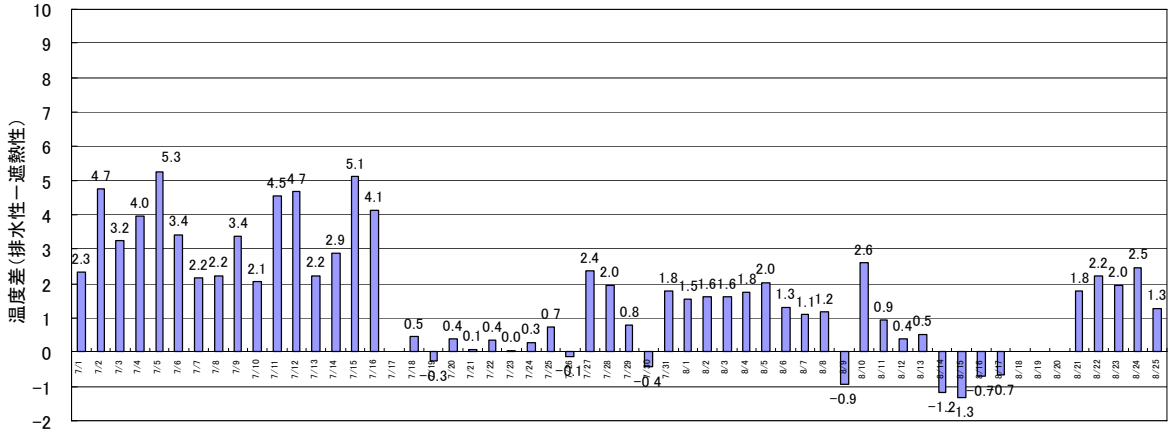
10） H15 塗布型(D)

最大裏面温度差　塗布型(D)



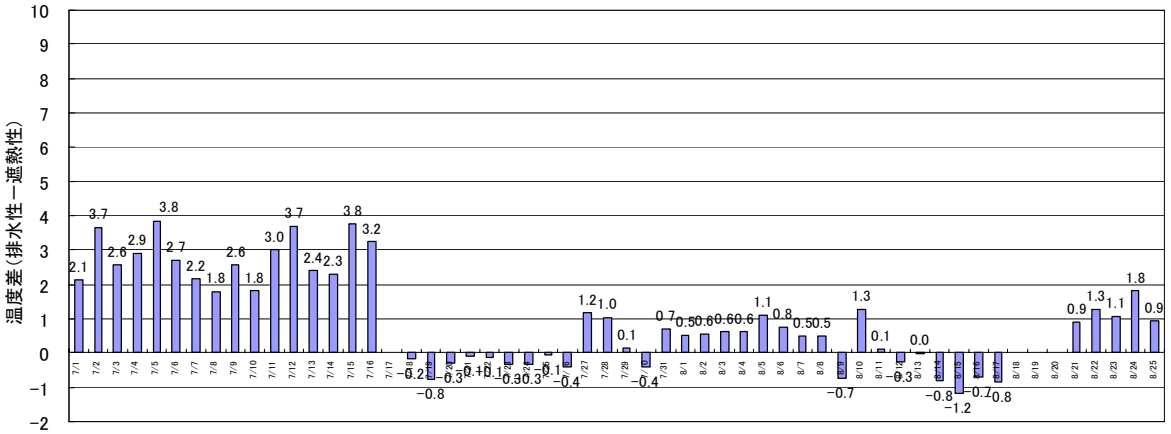
11） H15 混合物型(D－①)

最大裏面温度差　混合物型(D－①)



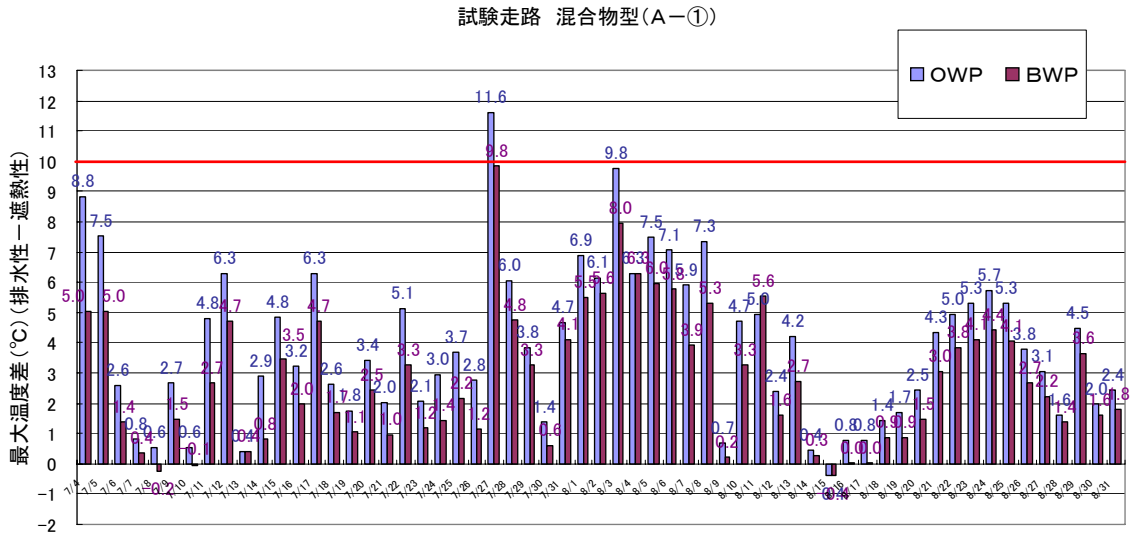
12） H15 混合物型(D－②)

最大裏面温度差　混合物型(D－②)

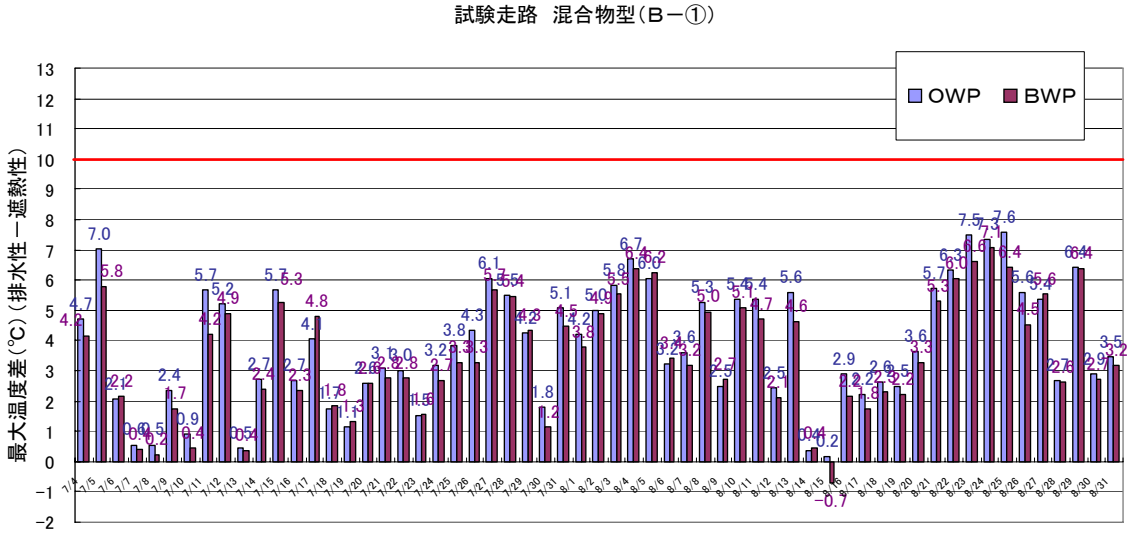


（3） 平成15年度　舗装走行実験場試験走路

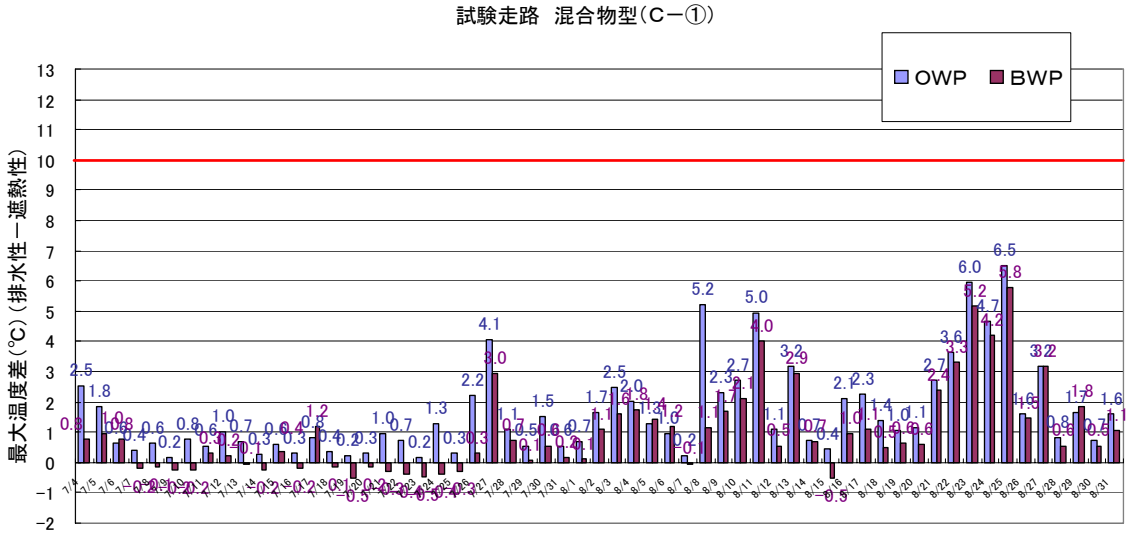
1） H15 混合物型（A－①）



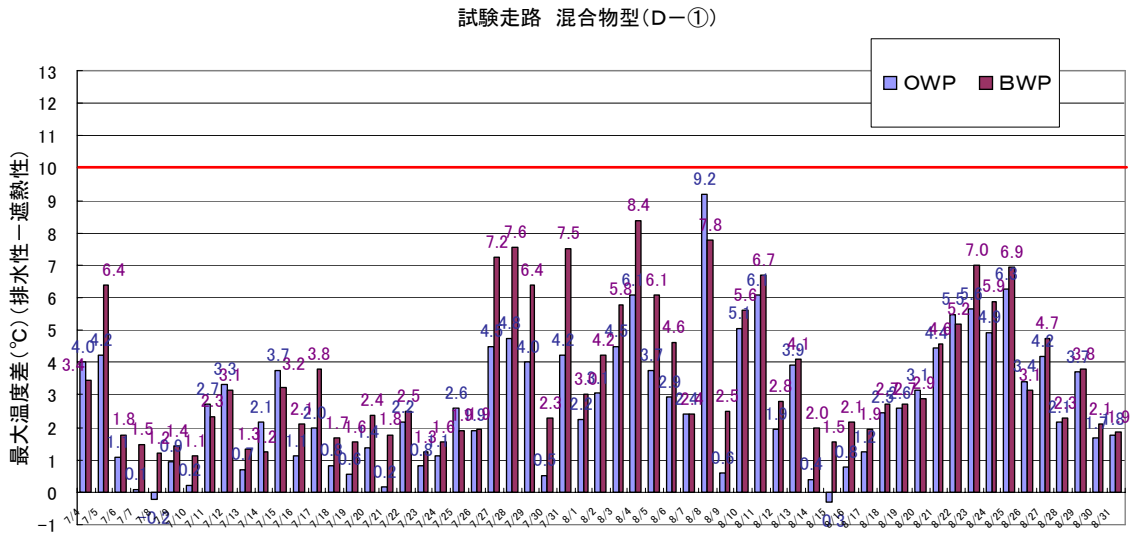
2） H15 混合物型（B－①）



3） H15 混合物型（C－①）

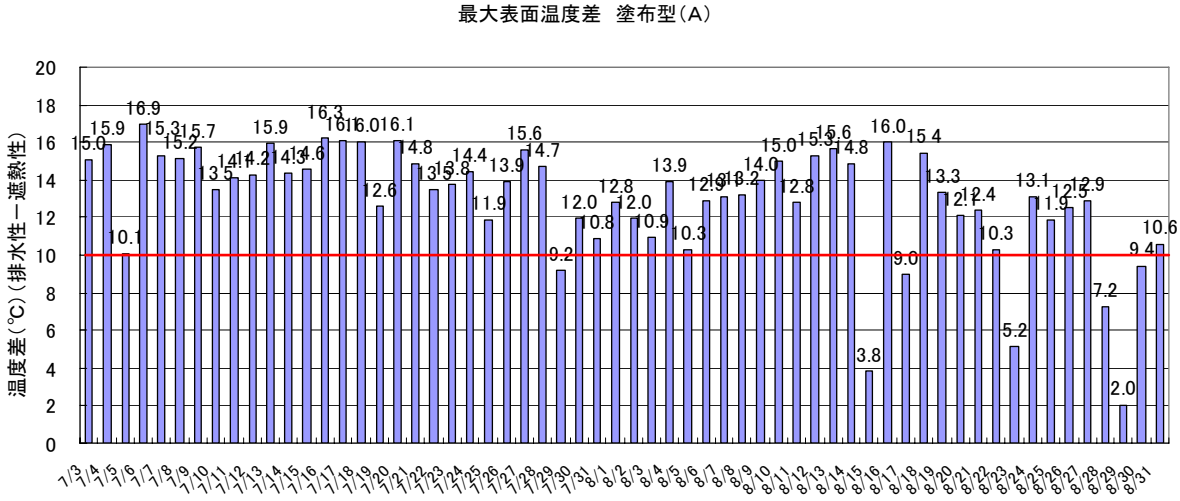


4） H15 混合物型(D－①)

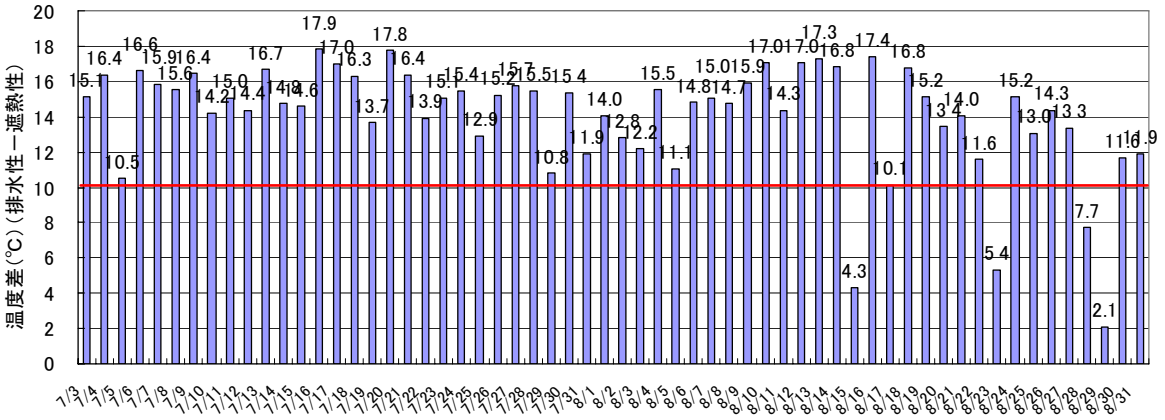


（4） 平成16年度 4m×4m供試体（表面温度）

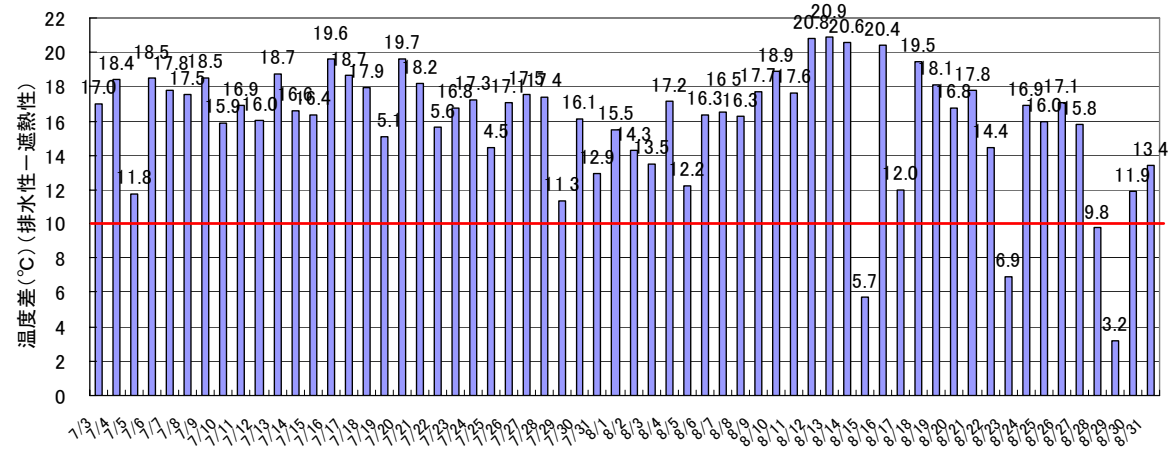
1） H16 塗布型（A）



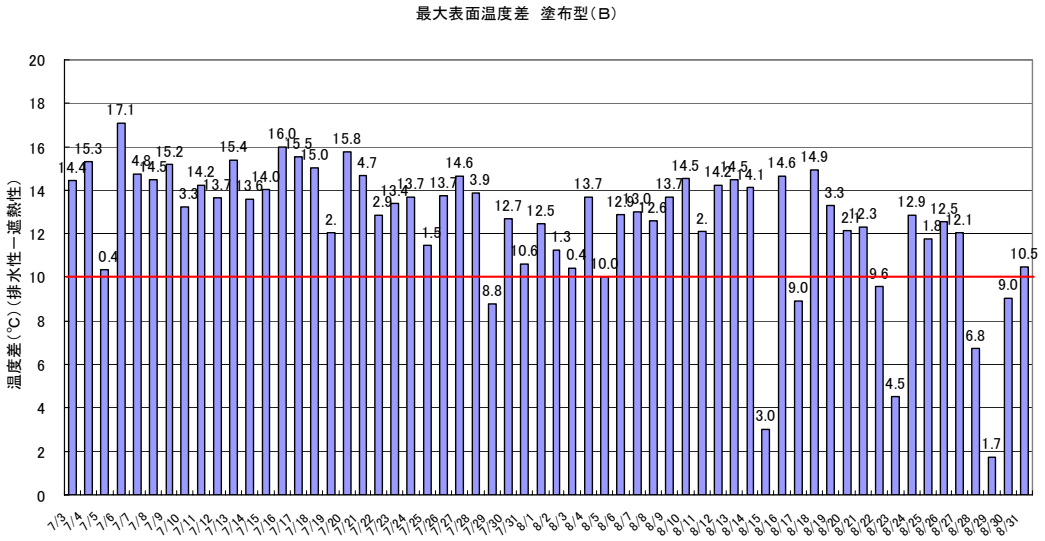
2） H16 混合物型（A－①）



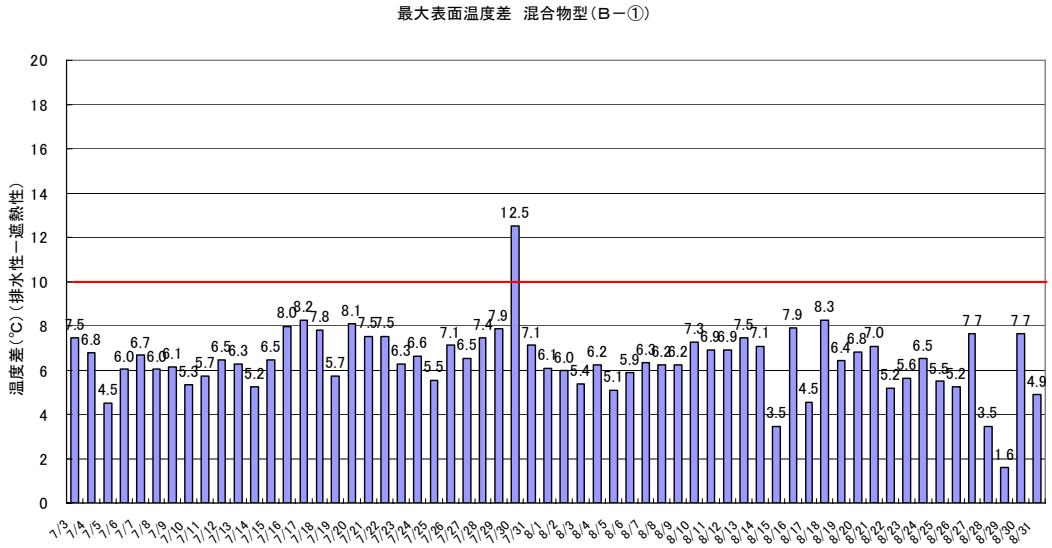
3） H16 混合物型（A－②）



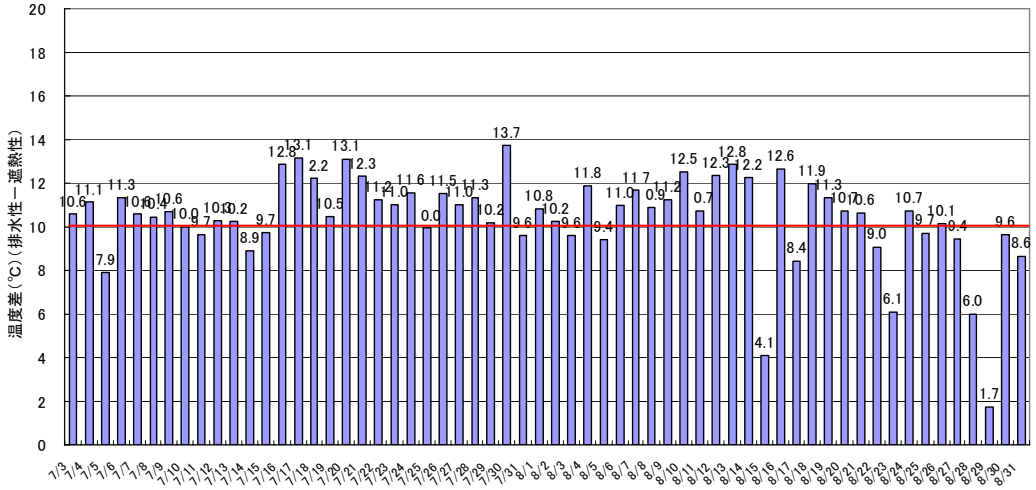
4） H16 塗布型(B)



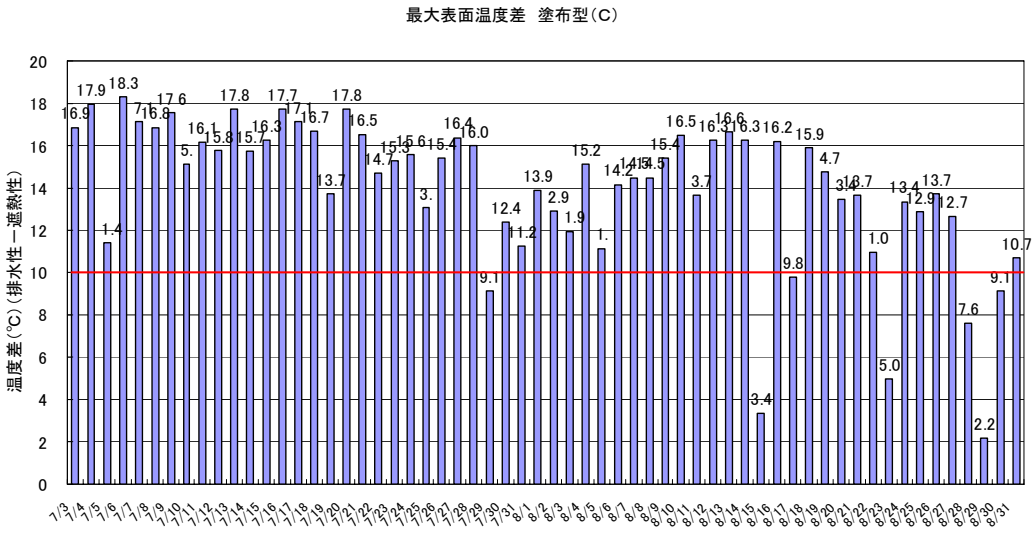
5） H16 混合物型(B－①)



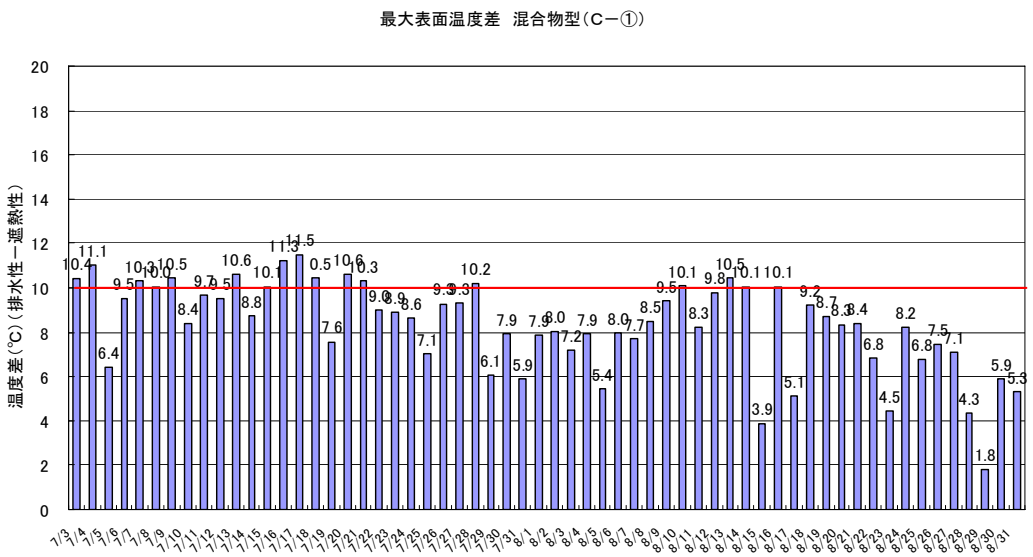
6） H16 混合物型(B－②)



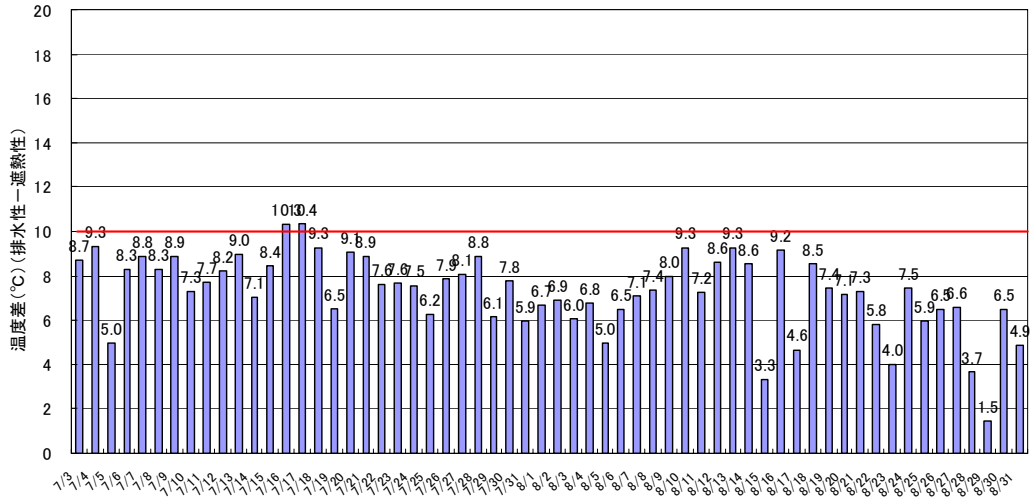
7） H16 塗布型(C)



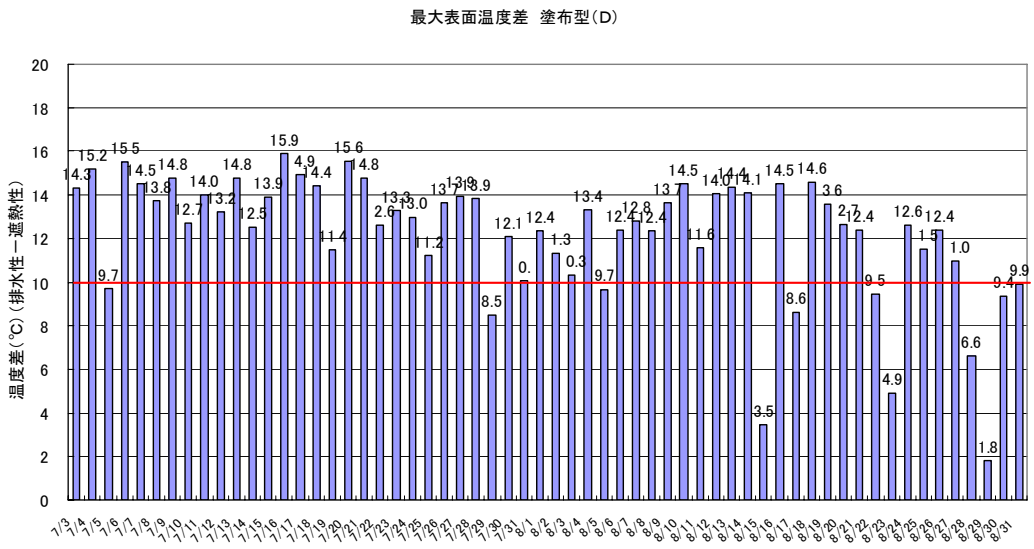
8） H16 混合物型(C－①)



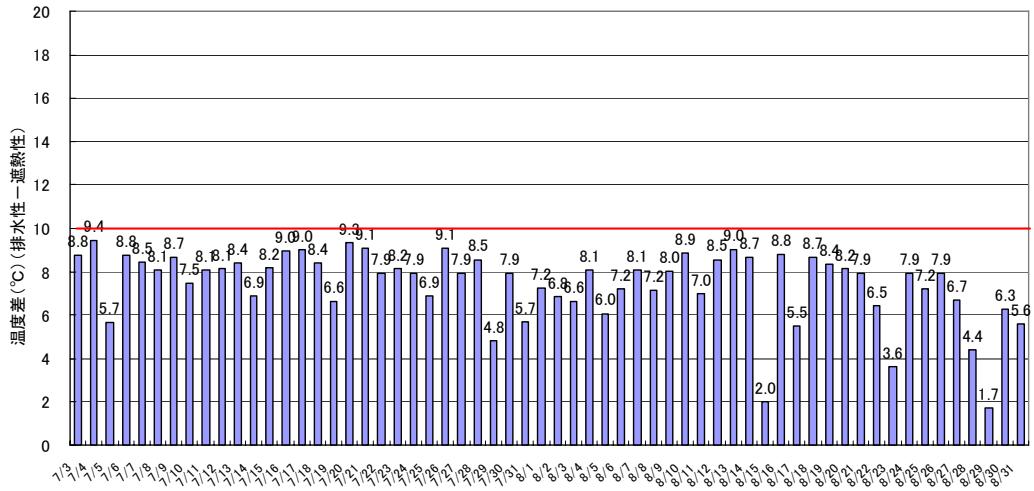
9） H16 混合物型(C－②)



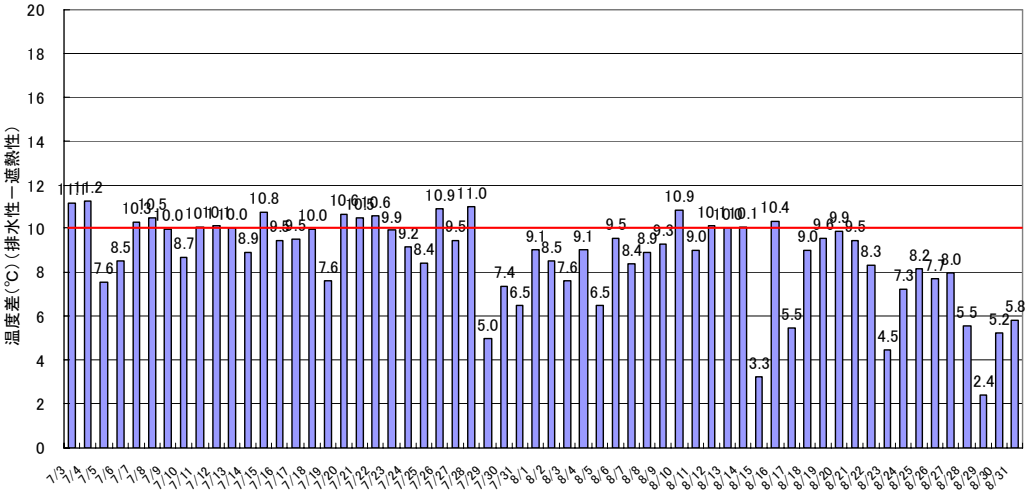
10） H16 塗布型(D)



11） H16 混合物型(D－①)

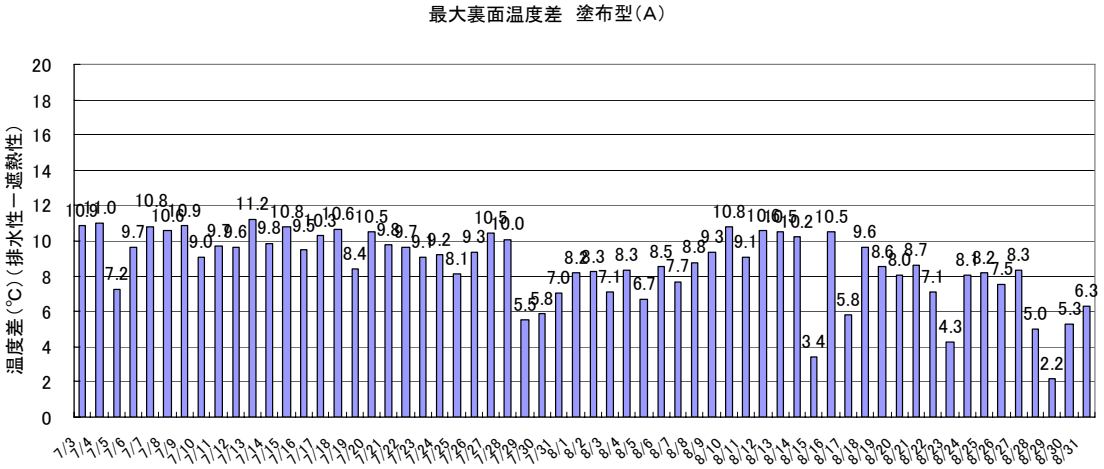


3） H16 混合物型(D－②)

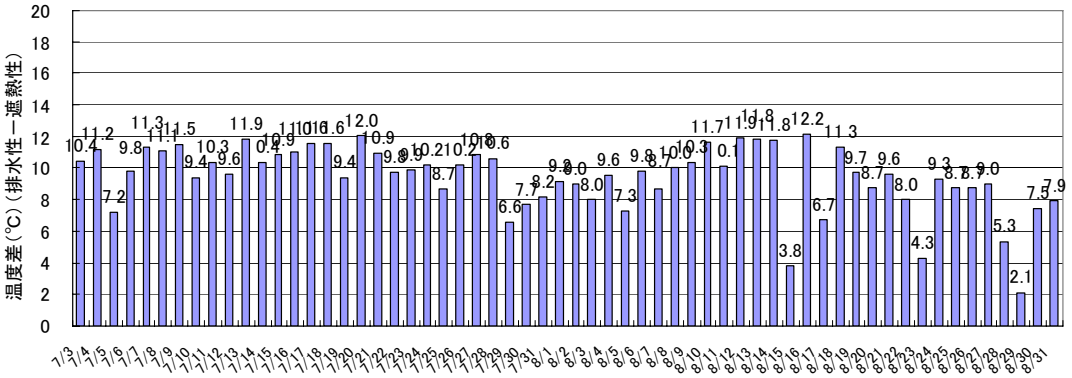


（5） 平成16年度 4m×4m供試体（内部温度）

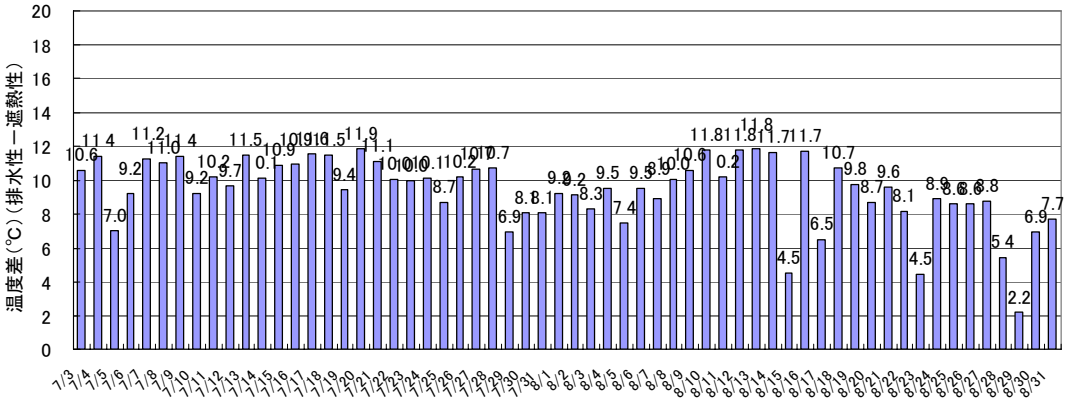
1） H16 塗布型（A）



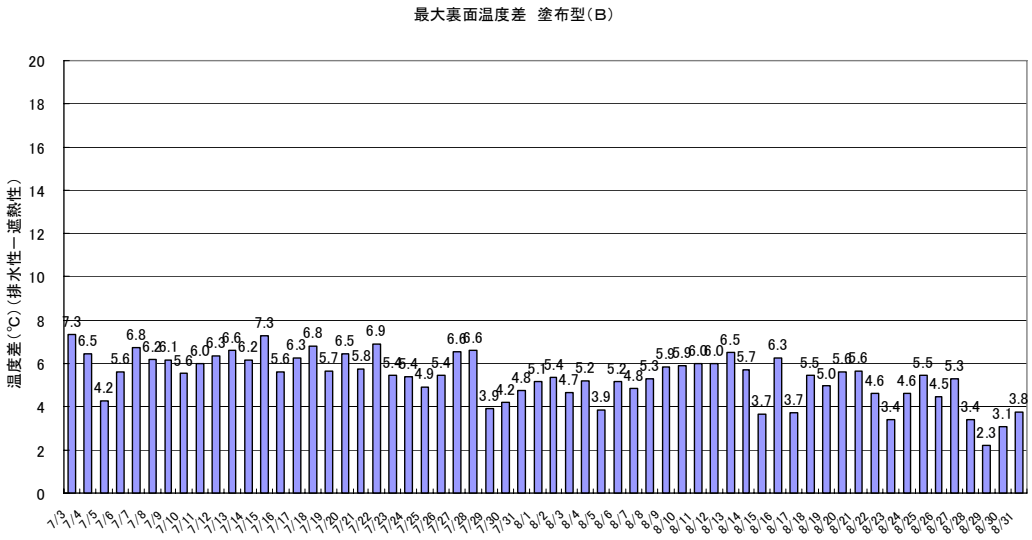
2） H16 混合物（A－①）



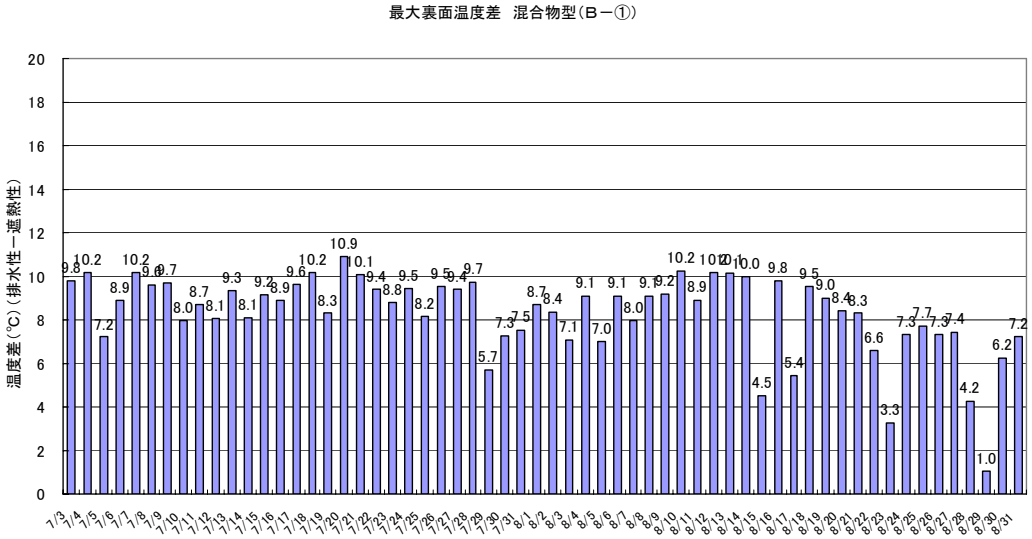
3） H16 混合物（A－②）



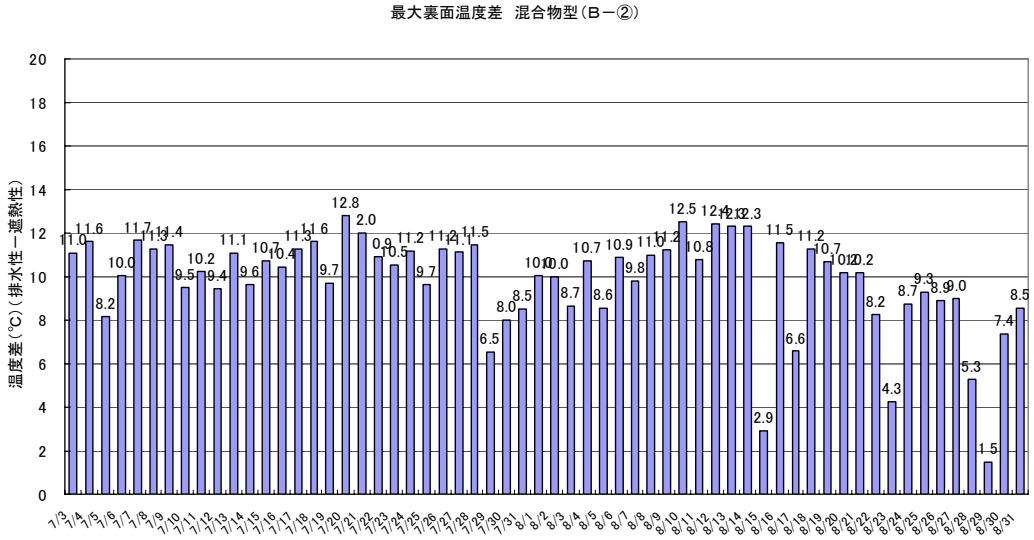
4） H16 塗布型(B)



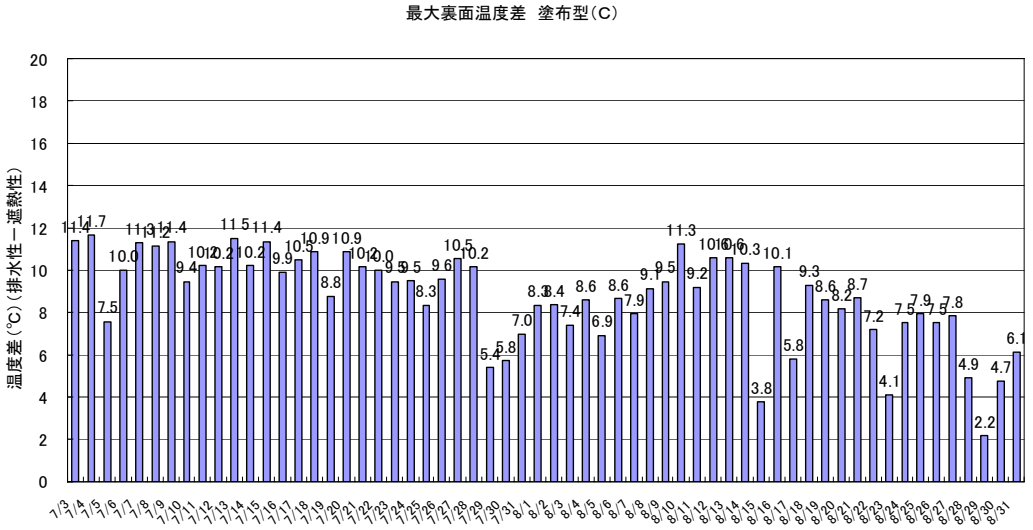
5） H16 混合物(B－①)



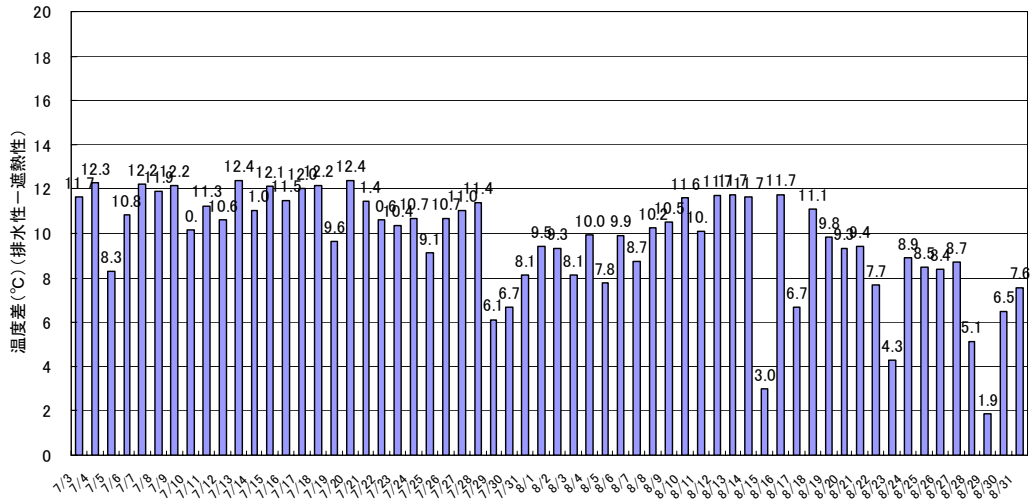
6） H16 混合物(B－②)



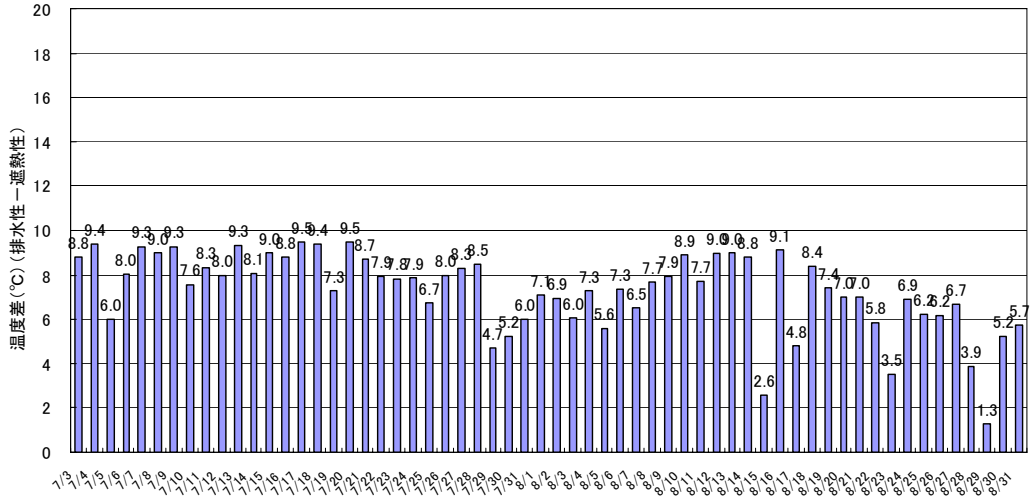
7） H16 塗布型(C)



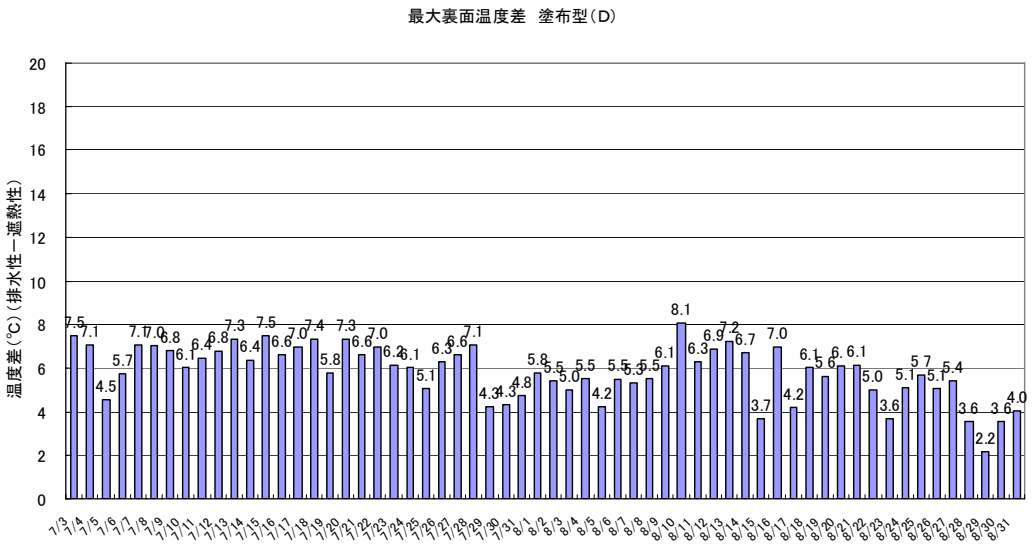
8） H16 混合物(C－①)



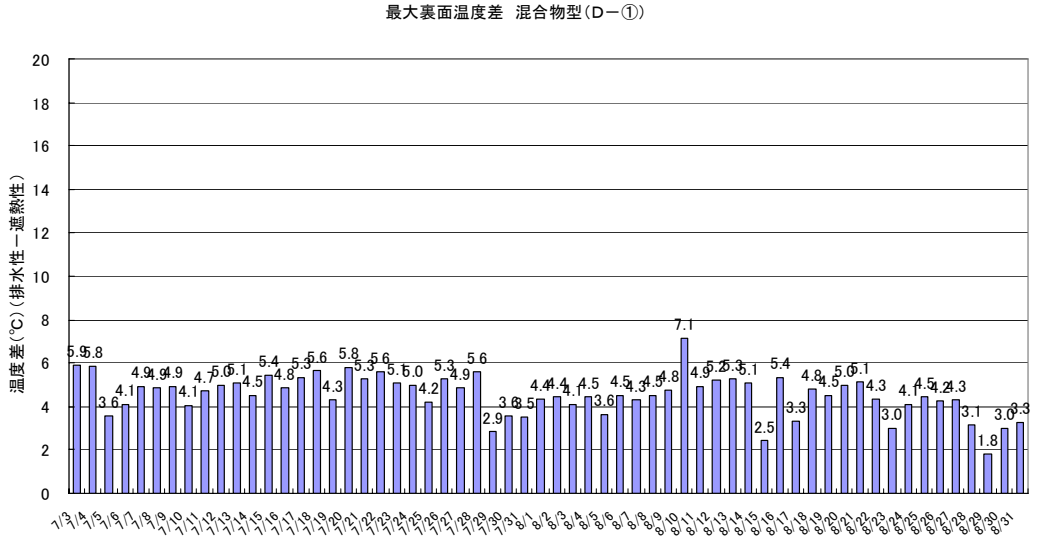
9） H16 混合物(C－②)



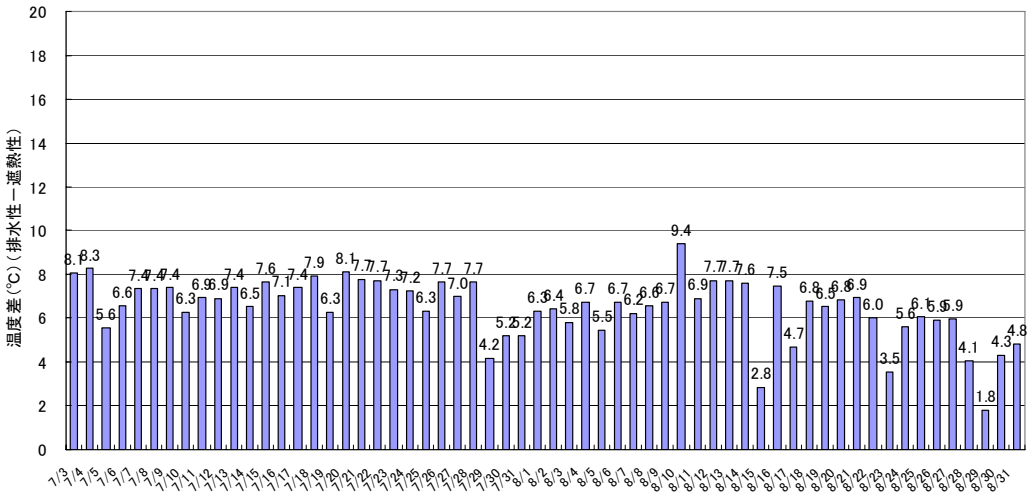
10） H16 塗布型(D)



11） H16 混合物(D－①)

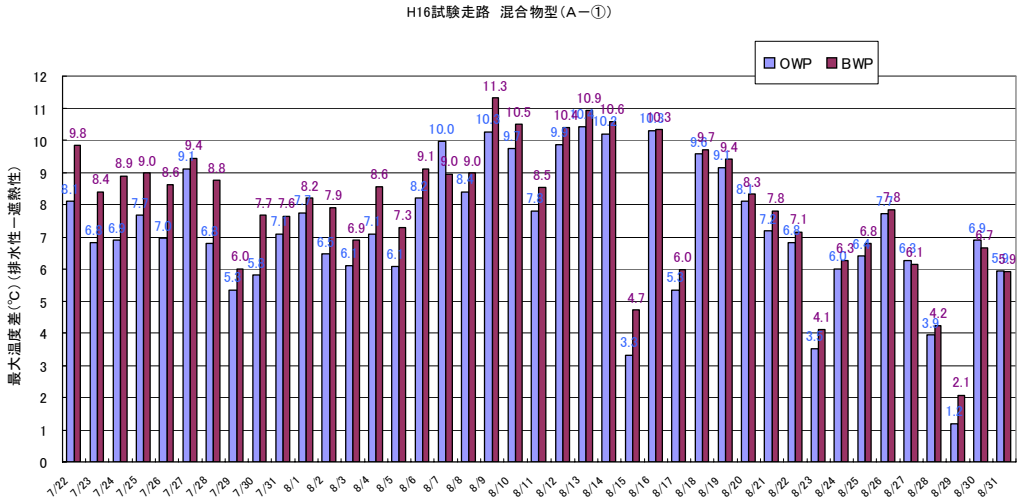


12） H16 混合物(D－②)

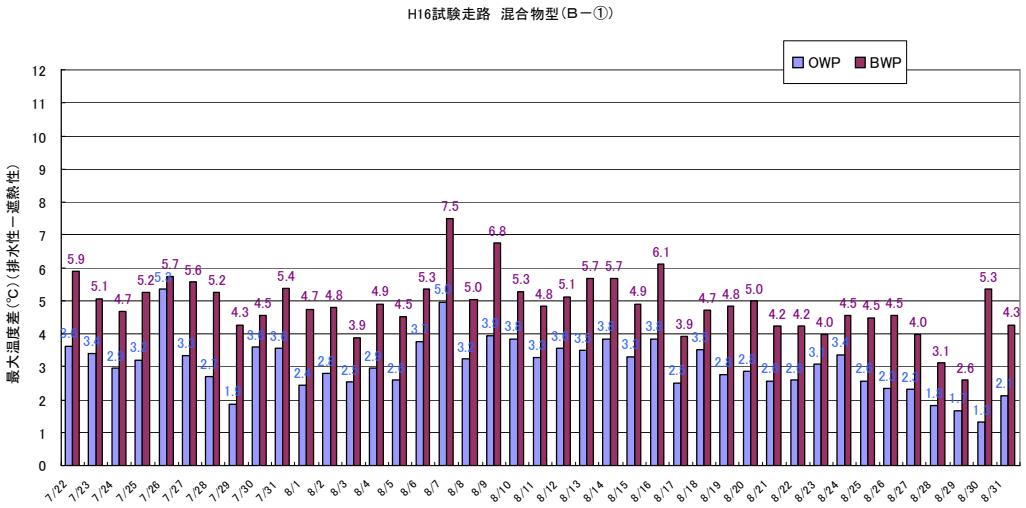


（6） 平成16年度　舗装走行実験場試験走路

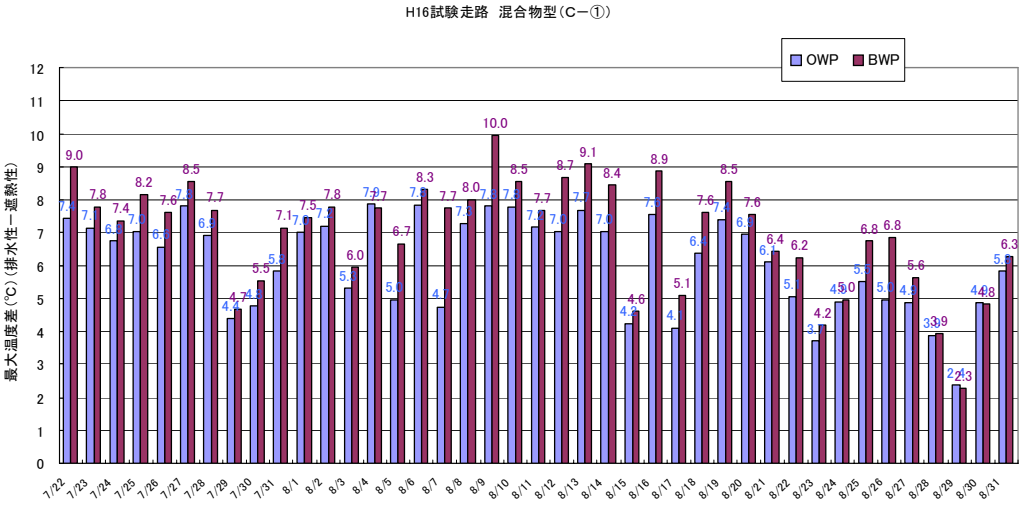
1） H16 混合物型（A－①）



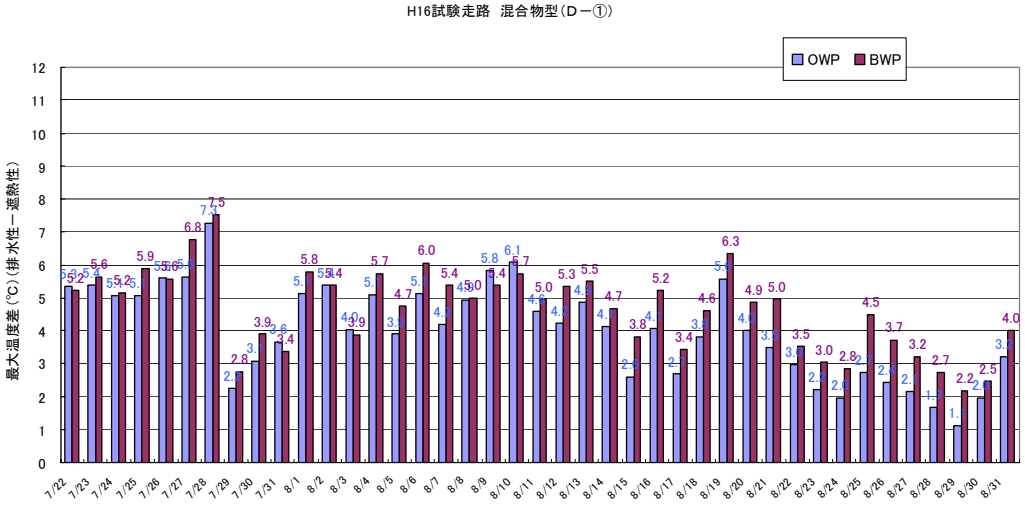
2） H16 混合物型（B－①）



3） H16 混合物型（C－①）



4） H16 混合物型(D－①)


H16試験走路　混合物型(D－①)
OWP
BWP
最大温度差(℃)(排水性－遮熱性)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
7/22
7/23
7/24
7/25
7/26
7/27
7/28
7/29
7/30
7/31
8/1
8/2
8/3
8/4
8/5
8/6
8/7
8/8
8/9
8/10
8/11
8/12
8/13
8/14
8/15
8/16
8/17
8/18
8/19
8/20
8/21
8/22
8/23
8/24
8/25
8/26
8/27
8/28
8/29
8/30
8/31

参考資料－２ アルベド測定方法の検討

舗装のアルベドの測定方法については確定したものがない。このため、アルベドの測定方法について以下の通り検討を行った。

１． アルベド計の設置高さについて

舗装のアルベドの測定高さにつては、舗装の供試体は、大きさに制限があることから、アルベド計を高くすればするほど供試体以外からの反射光の影響を受けると考えられる。

このため、舗装のアルベドを正確に計るためにはどの程度の大きさの供試体が必要なのか検討を行った。図-1 は、本共同研究以外において土木研究所構内で既設のアスファルト舗装面上に高反射のアルミ材を敷き並べ、アルミ材により囲まれた舗装のアルベドが、サイズを変えることによりどの程度アルベドが変化するかを検討したものである。このときのアルベド計の設置高さは 20cm とした。

結果、供試体サイズが 1.0m 角以上の大きさの場合、アルベドの変化はほとんどみられなかった。

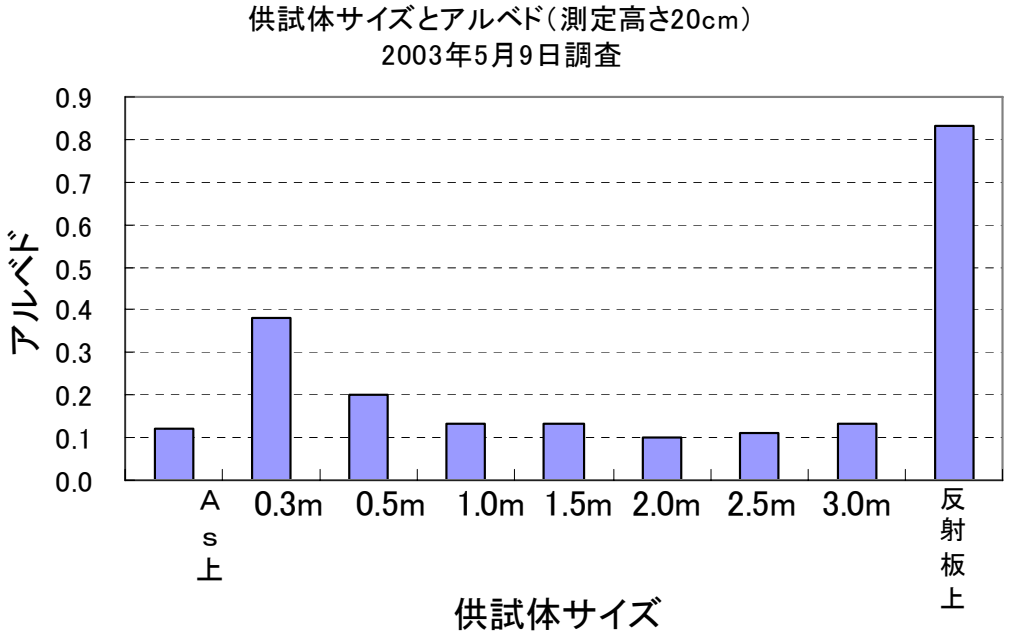


図-1 供試体サイズとアルベド （測定高さ 20cm）

2. アルベド計の設置高さの検討

図-2 は、平成 15 年度に試験施工を行った 4m×4m 供試体上の高さ 20cm と 50cm において、アルベドの比較を行ったものである。その結果、高さ 20cm と 50cm によるアルベドの相違はほとんどみられなかった。

本研究では、試験走路におけるタイヤ走行部、非走行部のアルベドについても測定するため、アルベドの高さについては 20cm に設定することとした。

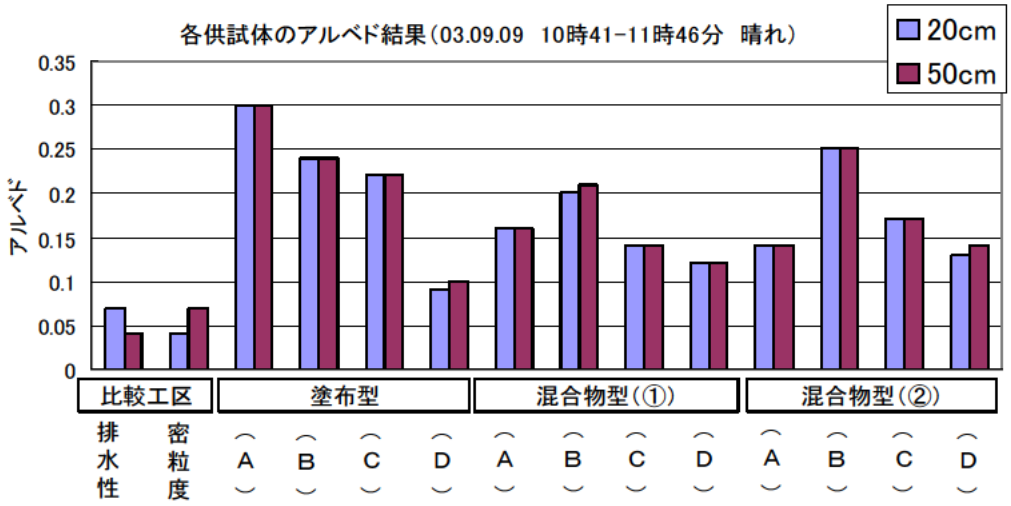


図-2 アルベド計 20cm と 50cm 高さにおける各供試体のアルベド結果

また、アルベド計の高さ測定位置については、図-3 の通りとした。

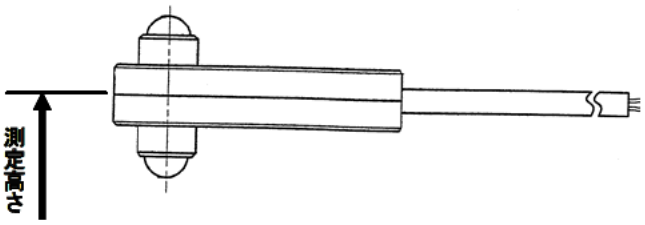


図-3 アルベド計の測定高さ位置

3. アルベドの設置位置

アルベド測定位置については、４ｍ各供試体は舗装中心部、試験走路についてはタイヤ走行部（外側・内側)、タイヤ非走行部（中心部）で測定を行った。測定はそれぞれの瞬間値をデータロガーにより３回記録し、平均値により求めた。各供試体のアルベドは、同時刻における各舗装表面の日射反射量を日射量で除して求めた。

アルベドの測定状況を図-4 に示す(4m×4m 供試体)。



図-4 アルベド測定状況（4ｍ×4ｍ供試体）

4. アルベド測定の時間帯

アルベドは、太陽の高さにより変化するため、アルベドの測定時刻について検討を行った。図-5 は九州技術事務所構内において夏期において測定されたアルベドの変化を示したものである。この図より、アルベドが比較的安定している 10 時～15 時の間に測定を行うこととした。

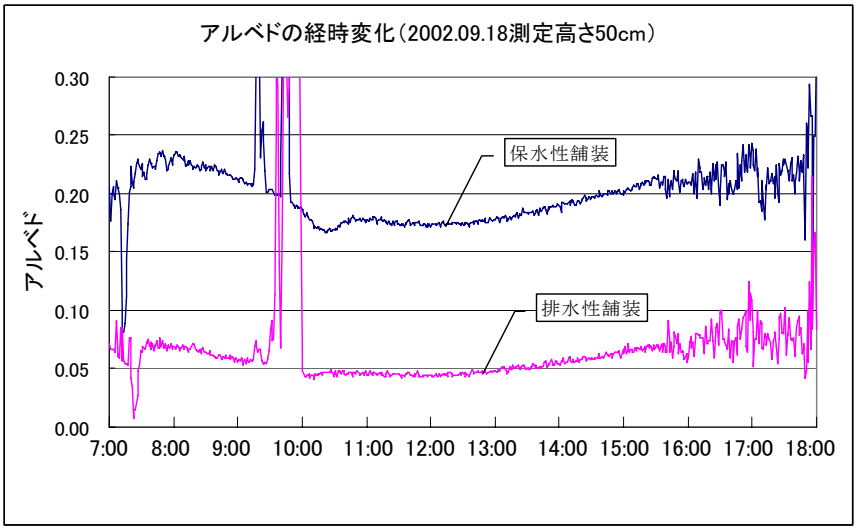


図-5 アルベドの経時変化

参考資料－３　明度･色調の目標値及び測定方法の検討

１．　目標とする明度、色調

舗装の明度、色調については規定値がない。このため、今回の共同研究において試験施工で行う舗装の明度、色調については、委員会により決定した。

目標とする明度を設定するにあたって図-1 を参考としたが、最終的に 4m×4m 供試体①については日本塗料工業会の N-50 以下とし、4m×4m 供試体②については自由明度とした。

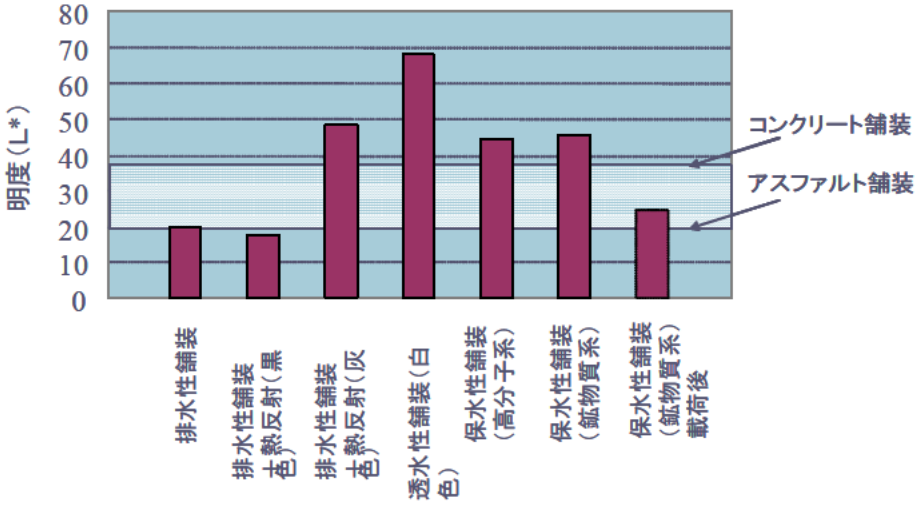


図-1　舗装の明度測定結果（参考）

色調については、平成 15 年度は濃灰色～灰色の無彩色、平成 16 年度は温度低減性能の向上、都市景観を考慮して有彩色・無彩色とした。表-1 に委員会により決定した明度、色調を示す。

表-1　明度･色調

	平成 15 年度	平成 16 年度
舗装表面の明度	①(社) 日本塗料工業会 N-50 以下	①(社) 日本塗料工業会 N-50 以下
	②自由	②自由
舗装表面の色調	濃灰色～灰色	有彩色・無彩色

２．　明度の測定方法

舗装の明度の測定方法については、決められた測定方法がない。このため色見本帳による方法、色彩色差計による方法について検討を行った。

定方法について検討を行った。

（1）　調査方法

平成 15 年度に試験施工を行った 4m×4m 供試体、試験走路において、各グループ（合計５グループ）が、色見本帳による調査、色彩色差計による調査を行った。

（2） 色見本帳による調査結果

表-2 に色見本帳による明度調査結果一覧、図-2 に明度調査結果を示す。

色見本帳による明度は、各グループ間において 5～25 程度の差がみられ、大きくなった。また、平均的な変動係数も 14.5 と大きくなった。

表-2 色見本帳による明度調査結果

		Aグループ	Bグループ	Cグループ	Dグループ	土研	最大明度差	平均値	標準偏差	変動係数
4m×4m 供試体	排水性	20	15	20	25	20	10	20	3.5	17.7
	密粒度	20	20	30	30	30	10	26	5.5	21.1
	塗布型(A)	50	60	60	65	50	15	57	6.7	11.8
	塗布型(B)	55	55	65	65	55	10	59	5.5	9.3
	塗布型(C)	50	50	55	50	55	5	52	2.7	5.3
	塗布型(D)	40	40	40	40	50	10	42	4.5	10.6
	(A-①)	50	60	40	50	50	20	50	7.1	14.1
	(B-①)	55	60	60	70	70	15	63	6.7	10.6
	(C-①)	40	60	50	60	50	20	52	8.4	16.1
	(D-①)	60	70	50	60	60	20	60	7.1	11.8
	(A-②)	40	60	40	40	50	20	46	8.9	19.4
	(B-②)	70	65	80	80	80	15	75	7.1	9.4
	(C-②)	40	55	50	60	50	20	51	7.4	14.5
	(D-②)	30	40	40	50	40	20	40	7.1	17.7
試験走路	排水性	20	10	20	25	20	15	19	5.5	28.8
	(A-①)	50	60	50	60	55	10	55	5.0	9.1
	(B-①)	55	55	70	80	75	25	67	11.5	17.2
	(C-①)	40	40	50	65	55	25	50	10.6	21.2
	(D-①)	50	60	50	60	50	10	54	5.5	10.1
平均	―	―	―	―	―	―	―	―	―	14.5

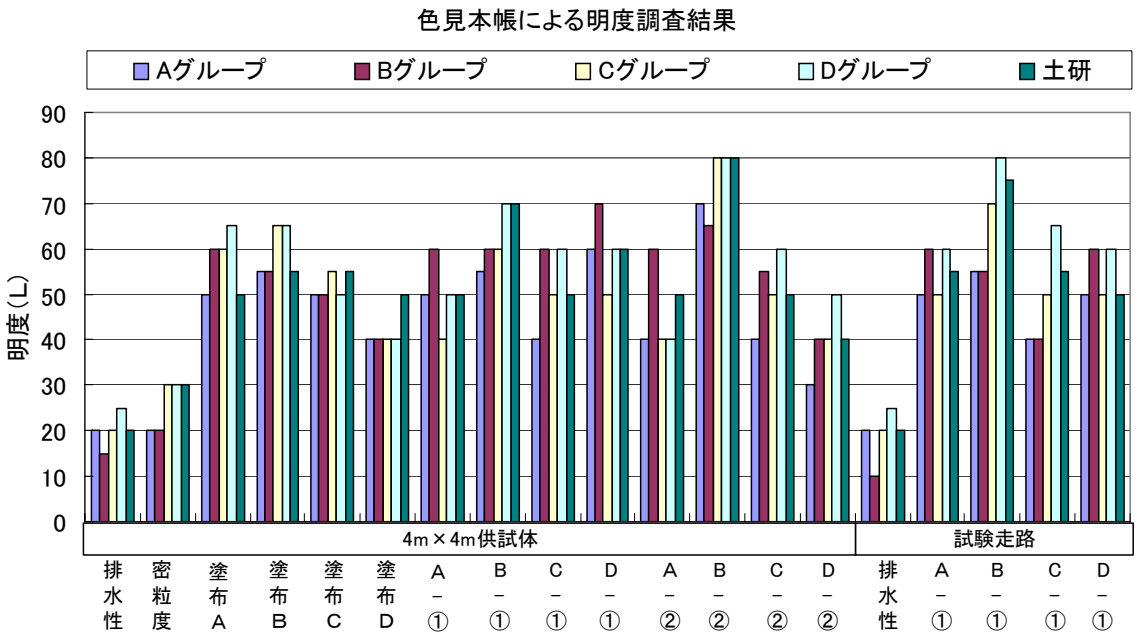


図-2 色見本帳による明度調査結果

（3） 色彩色差計による調査結果

表-3 に色彩色差計による明度調査結果一覧、図-3 に色彩色差計による明度調査結果を示す。

色彩色差計による調査結果は、0.4～15.2 と色見本帳による場合に比べ小さくなった。また、平均的な変動係数も 5.4 と、色見本帳に比べて小さくなった。

表-3 色彩色差計による明度調査結果

		Aグループ	Bグループ	Cグループ	土研	最大明度差	平均値	標準偏差	変動係数
4m×4m 供試体	排水性	14.8	22.0	24.0	18.9	9.2	19.9	4.0	20.1
	密粒度	22.4	25.4	27.3	24.2	4.9	24.8	2.1	8.3
	塗布型(A)	49.3	34.0	45.4	47.1	15.2	47.2	6.8	14.4
	塗布型(B)	47.7	45.9	47.3	48.0	2.1	47.2	0.9	2.0
	塗布型(C)	42.1	41.6	42.2	40.1	2.1	41.5	1.0	2.4
	塗布型(D)	37.8	36.2	36.9	33.8	4.0	36.2	1.7	4.8
	(A-①)	36.6	37.0	38.2	36.5	1.7	37.1	0.8	2.1
	(B-①)	50.0	50.2	51.2	51.5	1.5	50.7	0.7	1.4
	(C-①)	34.9	35.6	36.1	33.6	2.5	35.1	1.1	3.1
	(D-①)	39.4	40.7	40.8	39.1	1.7	40.0	0.9	2.1
	(A-②)	33.0	34.4	34.2	32.4	2.1	33.5	1.0	2.9
	(B-②)	59.8	59.3	58.8	59.4	1.1	59.3	0.4	0.7
	(C-②)	38.4	36.9	37.8	35.9	2.5	37.3	1.1	2.9
	(D-②)	33.4	30.3	32.2	26.0	7.4	30.4	3.2	10.7
試験走路	排水性	21.2	22.8	22.5	16.9	5.9	20.8	2.7	13.0
	(A-①)	39.6	38.0	38.4	38.2	1.6	38.6	0.7	1.9
	(B-①)	50.7	50.4	50.5	50.5	0.4	50.5	0.2	0.3
	(C-①)	34.8	35.4	36.0	34.3	1.7	35.1	0.7	2.1
	(D-①)	41.4	39.6	40.0	38.8	2.6	39.9	1.1	2.7
平均		―	―	―	―	―	―	―	5.1

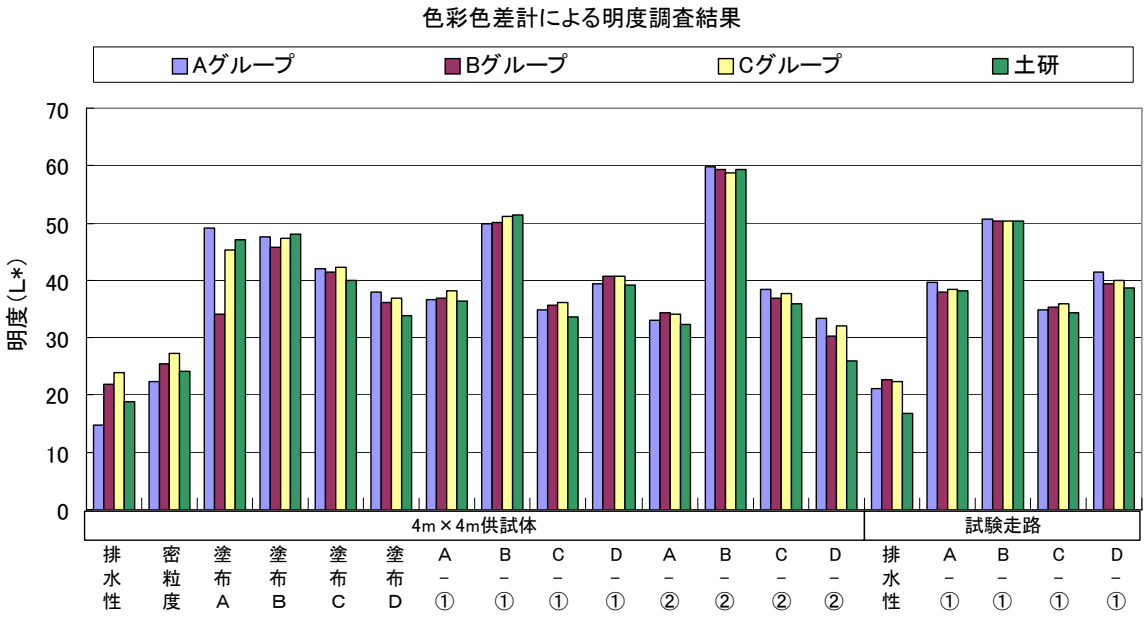


図-3 色彩色差計による明度調査結果

図-4 は、色見本帳と色彩色差計による場合のグループ間における明度の差の最大値を示したものである。色見本帳による場合、人により個人差が大きく明度に大きな差がでることがわかった。また、色彩色差計の場合、色見本帳より差が小さくなった。

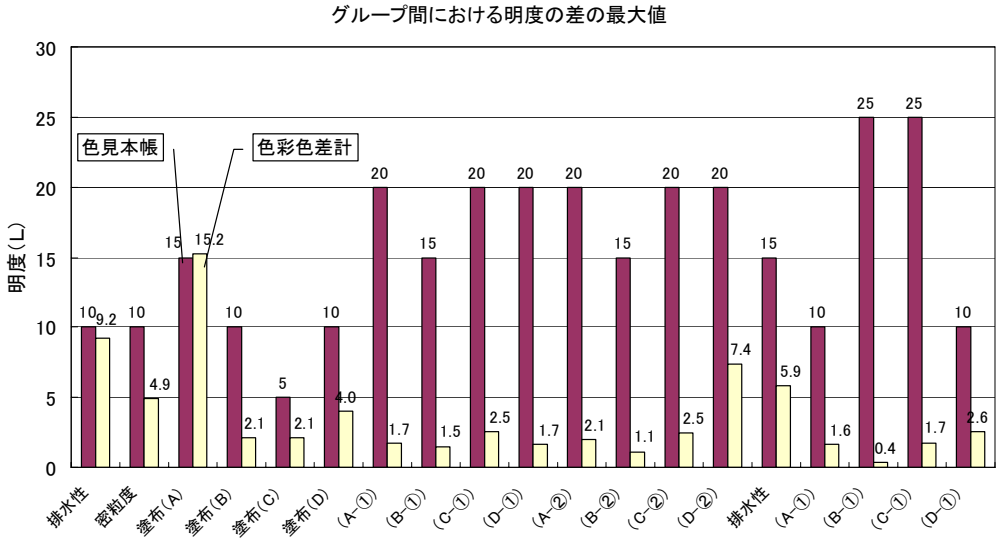


図-4 グループ間における明度の差の最大値

図-5 は、色見本帳と色彩色差計による場合の平気値を示したものである。色見本帳よりも色彩色差計の方が、全体的に明度の値が低くなる傾向がみられた。

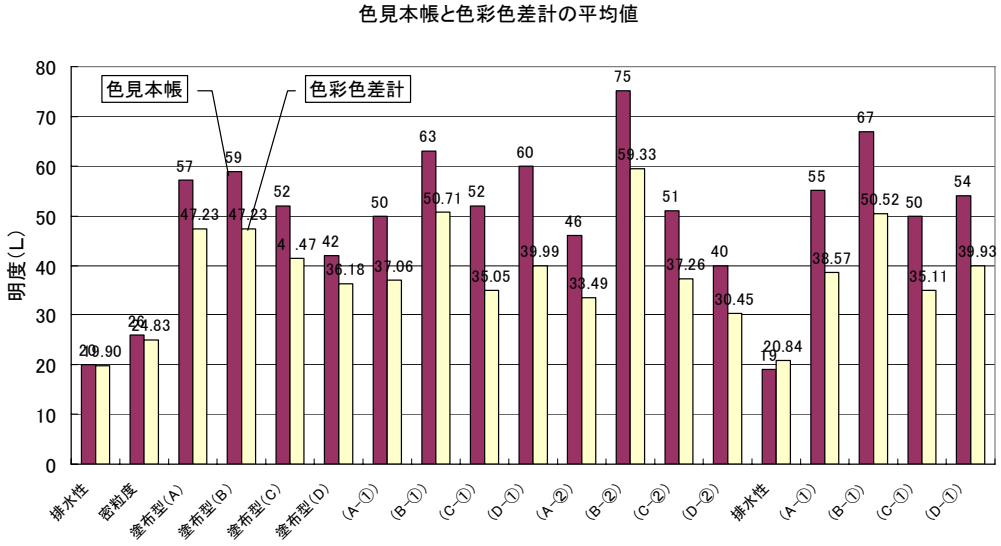


図-5 色見本帳と色彩色差計の平均値

以上の調査結果から、色見本を使った明度調査は、人により個人差が大きくなるため、色彩色差計により測定を行った方がよいと考えられた。

参考資料－４　アルベド･明度と温度低減効果の関係

１．　アルベドと表面温度低減効果

図-1、2 は、平成 15 年度～16 年度に行った 4m×4m 供試体について、アルベド結果と表面温度差の関係について示したものである。

平成 15 年度は R^2=0.7665、平成 16 年度は R^2=0.6986 と、アルベドと舗装表面温度の温度低減効果について高い相関がみられた。

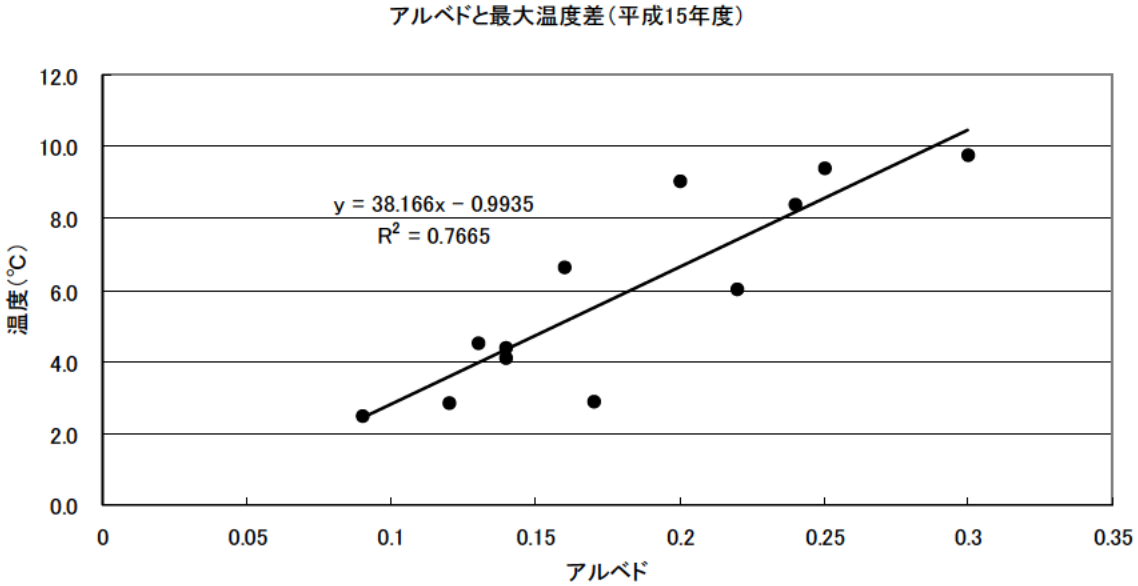


図-1　アルベドと最大温度差　（平成１５年度）

※温度：8/3、8/4、8/5、8/10、8/22、8/24 最大温度差の平均値、アルベド施工直後値

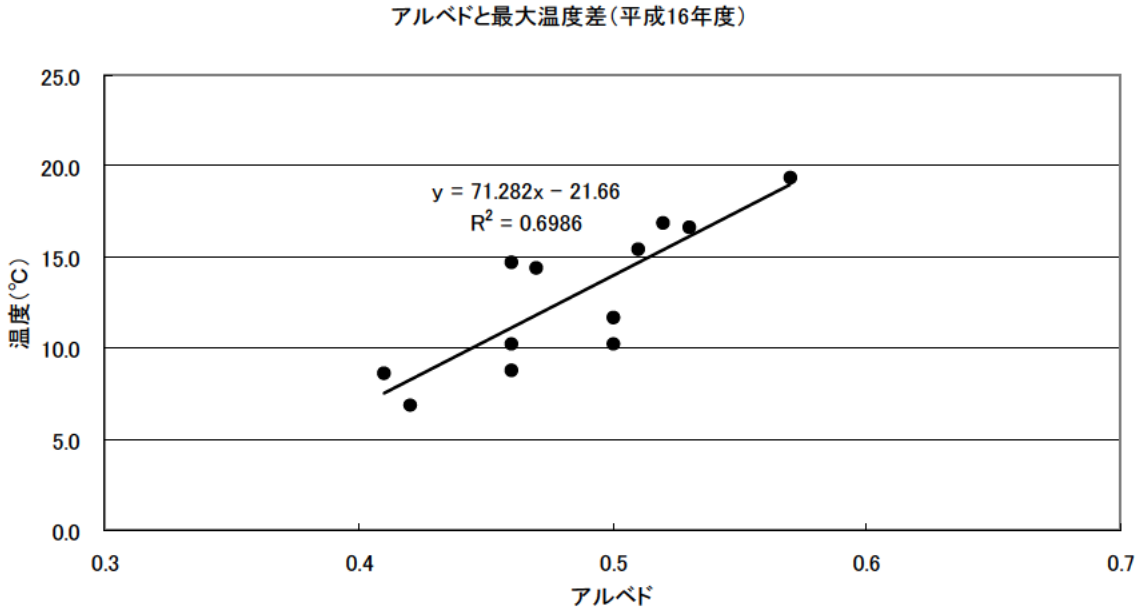


図-2　アルベドと最大温度差　（平成１６年度）

※温度：7/7、7/8、7/9、7/20、8/12、8/13、8/14 最大温度差の平均値、アルベド施工直後値

2. 明度と舗装表面温度低減効果

図-3、4 は、平成 15 年度～16 年度に行った 4m×4m 供試体について、明度と表面温度差の関係について示したものである。

平成 15 年度は R^2=0.6381 と高い相関がみられたものの、平成 16 年度は R^2=0.0605 と低く、相関はみられなかった。

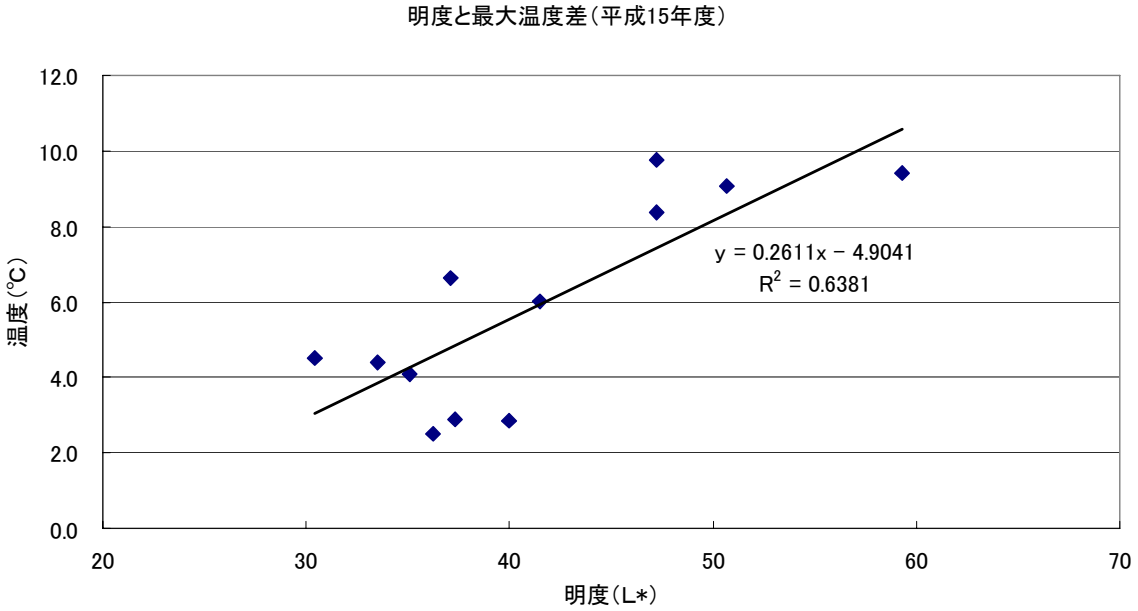


図-3 明度と最大温度差 （平成15年度）

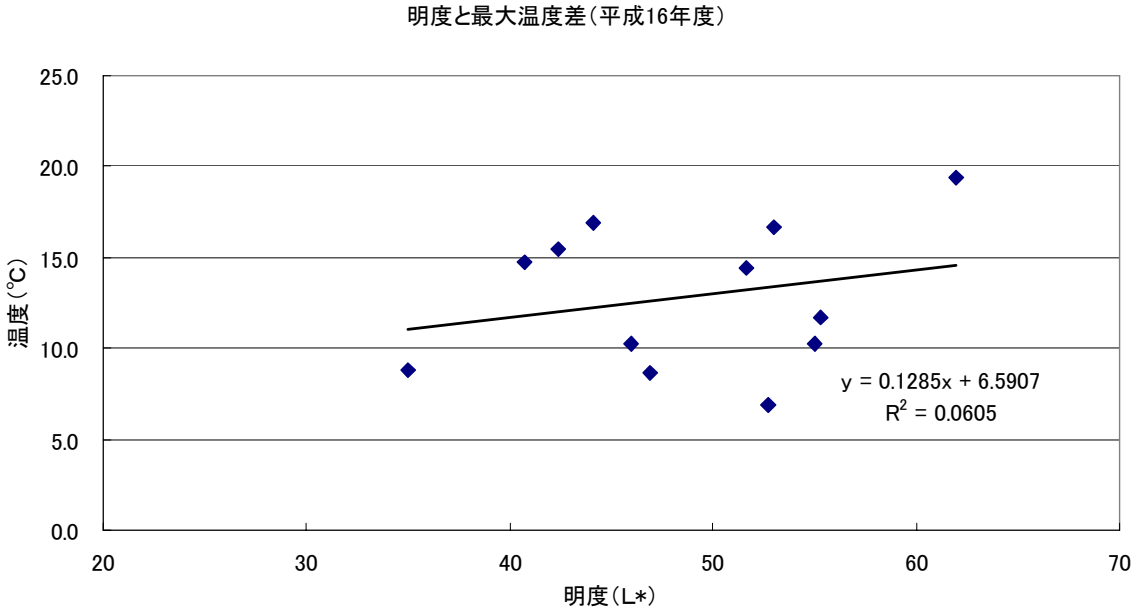


図-4 明度と最大温度差 （平成16年度）

付　録－１　委員会議事録

共同研究「路面温度の上昇を抑制する舗装用混合物に関する分野」
第１回委員会
議　事　録

１．日　時　：　平成１５年５月１４日（水）１０：００～１２：００
２．場　所　：　独立行政法人土木研究所　別館７階７３０会議室
３．出席者　：　資料１－１による

討議１．室内における温度低減型舗装材料の評価方法の開発についての考え方について

・　今は１年のうち夏場しか評価できないため、室内で屋外の評価が出来るようにしたい。（土研）
・　室内で性能評価が可能なスタンダードな方法ができれば良いと思う。（土研）
・　日射反射率は温度とかなりの相関があり、屋根に塗布した塗装の性能評価は日射反射率で評価している。舗装の場合骨材に凹凸があるため難しいと思われる。（長島）
・　最終的に性能評価は何度下げるのかということで、室内との相関が分かれば良い。（前田）
・　すべてのデータをとれば、評価方法も確立していくと思う。室内と屋外の評価にはいろいろな要因（風の影響など）が考えられ難しいと思う。（世東）
・　とにかくデータをとってからの検討になると思う。（世東）
・　室内評価を重きにおいている、冬場の検査などで室内評価ができたらよいと思う。（前田）
・　計算により評価する方法もあるかもしれないが､実験してみないと分からない。（土研）
・　室内評価用機材を屋外へ持っていき評価する必要もある。（土研）
・　ホイールトラッキングなど室内で屋外の評価を行っており、室内評価をどうするか検討が必要。（土研）

結論：室内の評価方法については目的などについて再整理を行い今後検討する。

討議２．社会的効果の評価について（今回の共同研究の中で社会的な効果について検討項目を追加するかどうか）

・　例えば、東京２３区でどれ位施工したら何度気温が下がるのかといった評価は当社で行うのは無理。（日鋪）
・　反射した熱はどこへ行くのかなどの熱収支を考えないといけない。（日道）
・　施工面積が大きくないといけない、今回の試験施工では難しい。（前田）

結論：第１回委員会では決まらないため、今後の委員会、幹事会での検討事項とする。

討議３．舗装表面の色、明度について

・　供試体については塗布タイプの色と同色にしないと比較ができない。（日鋪）

・ 色見本を利用した場合、人により結果が異なるため難しい。（前田）
・ 色見本の４０と６０では容易に違いが判別可能（長島）
・ 色差計は舗装表面に凹凸があり光が入るため正確に評価できない。（前田）
・ 明度４０と６０では温度差が５～６℃ある。（日鋪）

結論：今回は最初に作成する供試体の表面の色、明度の検討であり、最終的に定める舗装表面の色、明度の適用範囲については別項目（適用範囲の検討）の中で検討を行う。
次回の会議までに供試体表面の色、明度を決める予定。

その他
・ 温度測定方法については水工Ｇで検討した経緯があるため土研で確認する。
・ データロガー、熱電対については土研で用意を行う。
・ 舗装走行実験場中ループでの試験施工については４グループとも行う事で決定。
７月前（６月下旬）までに施工を完了する。（１グループ当たり延長１５ｍ予定）
・ 次回打ち合わせは、５月２１日（水）１３時３０分から（場所：土研）、５月２９日１０時から（場所：日本鋪道本社）で行う。

共同研究「路面温度の上昇を抑制する舗装用混合物に関する分野」
第２回委員会
議　事　録

１．日　時　：　平成１５年１１月１７日（月）１５：３０～１８：３０
２．場　所　：　独立行政法人土木研究所　別館５階５２６会議室
３．出席者　：　資料2－0による

討議１．実験結果について

・ NIPPO･長島工区のひび割れについては破損箇所を除いたデータも記載する。（土研）
・ 実験結果等データの取り扱いには注意すること。（土研）
・ アルベドと路面温度の相関はあるが明度と路面温度の相関はあまりないと考えられる。（長島）

討議２．室内における温度低減効果評価試験方法について

○ランプの種類

・ ランプの種類は、太陽光ランプと赤外線ランプがあるが、太陽光ランプの方が、屋外のデータの傾向に近いと思われる。（土研）
・ ランプも問題だが、雰囲気温度も問題である。（NIPPO）
・ 遮熱性舗装研究会では、雰囲気温度40℃として検討しているようだが、もしも60℃の舗装を30℃低減させるような技術ができたら評価ができないので本当に良いかどうか。（土研）
・ ランプは、使いやすいものが選ばれているのか？（NIPPO）
・ 太陽光ランプも赤外線ランプも100V電源で使えるものである。（土研）
・ ランプは、２つとも使うと試験が２倍になる。また、遮熱研究会では赤外線ランプ、土研では太陽光ランプと異なっている。今回は、決定できないので、ランプの種類の選定については今回ペンディングにする。（土研）

○屋外温度の予測

・ 明度は、温度低減効果との相関性は低いと以前から考えており、今回の結果も妥当だと思う。（長島）
・ 各要因毎に相関係数を出して、寄与率が高いものから独立変数として選ぶ方がいい。（前田）
・ 独立変数は、予測精度が良いものを選ぶが、それが一つなのか、二つなのか、予測精度によって異なると思う。簡易には一つで、高い精度が必要なときは二つ使うなどの使い分けもあると思う。（土研）
・ 回帰式については、もっと説明を分かりやすいものに作り直す。（土研）
・ 今回遮熱性舗装では、室内と屋外の関係が整理できたが、保水性舗装の室内評価はこの相関みたいにうまくいかない。（土研）
・ 保水性舗装の室内試験については、保水状態や表面処理など、独自の試験条件を設定する必要があるものと考える。特に、供試体作製面と供用を開始した路面とではセメントミルクの付着状況が全く異なるため、供用時を再現した表面処理が必要である。（NIPPO）

・ 保水性舗装は、供用開始後の早期に表面のセメントミルクが剥奪し、色相が大きく変化する。このため、アルベドを評価式に組み込んでおくことが必要と考える。（NIPPO）

○供試体の大きさ、深さについて

・ 遮熱性舗装技術研究会では、夏季の屋外で実測した温度低減効果を室内で簡便に再現する試験方法として、表層一層で行う方法を検討している。（NIPPO）
・ データで示したように、一層で試験を行うと、比較混合物との間に直線的な関係が得られない。従って、直線的な関係が見られる三層あるいは二層のものがいいと考える。（土研）
・ 最高温度付近での効果を判断するのであれば、温度上昇途中の直線性が得られなくても比較供試体60℃での予測が可能であればよいのではないか。従って、一層でもよいのでは。（NIPPO）
・ 一層の場合、図のように温度の上昇が早くなり、実験時間の短縮につながる可能性もある。（前田）
・ 一層の場合、Ｓ字を描いている。この場合、ちょっとしたことでズレる可能性もあり、60℃の時の温度予測精度が劣る可能性もある。直線の場合はそれが少ないので、二層以上が良いと思う。（土研）
・ （供試体の舗装構造にとらわれるのではなく）室内試験でどの程度まで求めるのかが問題。最終的に得られるものが同じならそれでよいのでは。（NIPPO）
・ 塗布型の遮熱性舗装では、舗装内部の物性が同じなので、一層でも良いと考えていたが、今回は混合物タイプということもあり、混合物自体の物性が異なる。層として低温機能があるものも出てくるかもしれないので、供試体の舗装構造は図-2.1の場合２層がいいと考える。（前田）
・ 供試体を３層構造にするといっても、最初の供試体だけが手間どるだけで、二回目以降は表層の供試体を付け替えるだけである。作業に著しい違いはない。（土研）

○熱電対の設置位置

・ 資料に示された空隙部の温度データは、風の影響を受けていないか。通常、空隙部といっても空隙に差し込むだけでなく、粗骨材面に接着処理するような方法としているので、ここまで温度差が生じるとは考えにくい。（NIPPO）
・ 空隙内だと熱電対設置位置が空隙内であったり、骨材の表面であったりするため、位置が定まりにくい。しかし、骨材内であれば、骨材内での位置は変わらないため、ねらったところの温度が取ることができる。この点で、骨材内で温度を取る方がメリットがある。（日道）
・ 土木研究所構内の試験舗装で実施する熱電対設置方法ということで考えれば、正確性を重視して、削孔して骨材内部に設置するのがよいのではないか。（NIPPO）
・ 供試体の面積によって夜間早朝の表面温度が異なることについては、断熱材を設置した深さが表面から10cmまでであり、周囲との熱移動による影響を受けたのではないかと考えられる。１日を通して温度が安定する深さは表面から約50cm下としている論文もあり、最高温度付近だけでなく早朝深夜も含めて評価するのであれば、断熱材をもう少し深くまで設置すれば30cm角でも評価できる可能性がある。供試体の周囲が土壌の場合と、舗装体で囲まれている場合とでは、断熱材下部の10cm下程度で周囲の温度分布が異なることが考えられる。（NIPPO）

・ いくら深く断熱材をしても３０ｃｍ供試体では深さ方向への影響は小さいため、今回のように温度低下が早い結果となると思う。（土研）
・ 温度低減効果というものを最高温度の低減として捉えるなら、30cmの供試体でも表現できていると思う。しかし、低減効果を温度の下がり方などで評価するならば、ある程度大きい供試体で評価しなければならないと考えられる。（土研）

討議３．夏季の温度低減効果を他の季節の結果で予測する手法の検討

・ 予測式はただデータをもう一度再現しているだけでは？（前田）
・ 同じデータから同じデータを再現しているのではなく、路面温度の低い時期の温度データから路面温度の高い時期を予測している。（土研）
・ 例えば冬場での温度差がどの位だと、夏場に温度差が10℃になるのか、などに使えるものである。（土研）
・ 冬場の寒くなった時期での性能範囲を示せると冬場の工事の検査に有効である。(NIPPO)
・ 図－１は全データで解析をおこなうのは良くない。遮熱との差が出ている時間帯で評価を行うべきではないか。（土研）
・ 解析の中身がわかりにくいので、もう少し分かりやすい資料に直す。（土研）

討議４．今後の課題について

・ 資料２－５の１の表はヒートアイランド対策で舗装からどのように対応しなければならないかを体系化したものである。（土研）
・ この中に上がっているものは、共同研究で取り扱うもの、扱わないもの両方が入っている。ヒートアイランド対策として全体の整理は必要であるので、追加修正などご意見を頂きたい。また、共同研究の中で行っていく必要のあるものについてもご意見いただきたい。（土研）

※今回の課題及び次回への確認事項

・ 室内評価試験等については、幹事会を実施し、遮熱性舗装研究会の室内評価試験方法案等との比較も行い、対案形式により、今年度行う室内試験方法を決める。
・ 次回委員会は、２月を予定。室内試験の結果と今年度のまとめを予定している。

共同研究「路面温度の上昇を抑制する舗装用混合物に関する分野」
第３回委員会
議　事　録

１．日　時　：　平成１６年３月１６日（火）１５：３０～１７：３０
２．場　所　：　NIPPOコーポレーション本社会議室
３．出席者　：　資料３－１による

１．資料３－３「平成１５年度のまとめについて」

・　舗装表面の明度については供用によって変化していくが、どの時点での明度を対象とするか？
・　コンクリートでも色が変わることがある。（開発は）温度低減を目的としている。安全面は走行後の調査により改善の検討を行う。今後改善するかどうかは検討していない。（NIPPO）
・　明度とｱﾙﾍﾞﾄﾞを追跡調査して欲しい。（長島）
・　通常の舗装の明度も調査したほうがいい。（土研）
・　明度、アルベドの追跡調査を行う。また、通常舗装の明度の変化の調査も行う。
・　排水のわだち、平坦性が異常では？（土研）
・　土研でチェックする。推計の線も入れる。（土研）
・　資料３－４「車両走行による温度低減特性の変化」について解析のプロセスを含めて各社で検討を行う。（土研）
・　すべり抵抗としてどの程度を求めたいか。問題となるレベルかどうか。目安を考えてはどうか。（土研）

２．資料3-5-1～3　遮熱性舗装の温度低減効果評価試験方法（案）について

・　温度調査で１℃程度の誤差は通常出てくるので８時間のときの推定式の精度が±１．３℃程度は許容できると思う。（NIPPO）
・　今後、この試験法が検査などに使われるとしたら基準となる排水性舗装についてキャリブレーションが必要では。（前田）
・　試験法は２通りあると思う。商品開発のための試験であれば自社で評価ができればいいので、各社間のキャリブレーションは大きな課題ではない。検査などに使う場合は、キャリブレーションは重要。（土研）
・　保水性舗装はこの場（遮熱舗装の室内評価）で議論すべきではないので別で行う。（土研）
・　湿度の影響は考慮する必要はないか。（世東）
・　日本道路（湿度コントロール無し）と、土研（湿度７０％一定）で同じ供試体で測定したが、結果と同じになった。（湿度は関係ないと考えられる）。（日道）
・　室内試験方法については、供試体の断熱材の種類により温度への影響があると予想されるため今後検討を行う。（土研）

３．資料３－６「平成１６年度試験施工について」

・　ラベリングと温度低減効果など、トレードオフの関係になっているところがあり、

施工対象箇所により配合も変わってくるのでなやんでいる。対象箇所が決まれば材料選定がしやすい。（NIPPO）
- 施工箇所の具体的な場所名を提示することはなじまない。施工対象とするターゲットをしぼる議論、目標とするコストを考える議論は今後必要。（土研）
- 重交通を目標とすると、舗装構造の問題も考えなければならず、いろいろな問題が出てくるため検討が難しい。（前田）
- （役所等での）効果の性能評価は開発会社をいれて評価されていないため、本当に正確に評価されているか疑問がある。効果の評価をこの共同研究でやれたらという気持ちはある。（NIPPO）
- この共同研究では難しいと思う。（土研）
- 資料３－６　試験走路における試験施工箇所の取り壊しについては、新工区の設置箇所を確認の上、各社と協議を行い決定する。
- Ｈ１６年度の試験施工について、①検討内容・課題　②試験施工をどのように行いたいか　③試験施工の時期について検討を行い、来週中に各社から意見をだす。
- 資料３－７「検討課題工程表」については課題をタイムテーブルなど、各社で検討する。
- 幹事会については４月上旬に行う。

※今後の課題及び次回への確認事項

１．　明度、アルベドの追跡調査を行う。また、通常舗装の明度の変化の調査も行う。
２．　資料３－４「車両走行による温度低減特性の変化」について解析のプロセスを含めて各社で検討を行う。
３．　室内試験方法については、供試体の断熱材の種類により温度への影響があると予想されるため今後検討を行う。
４．　資料３－７「検討課題工程表」については課題をタイムテーブルなど、各社で検討する。
５．　資料３－６　試験走路における試験施工箇所の取り壊しについては、新工区の設置箇所を確認の上、各社と協議を行い決定する。
６．　Ｈ１６年度の試験施工について、①検討内容・課題　②試験施工をどのように行いたいか　③試験施工の時期について検討を行い、来週中に各社から意見をだす。
７．　幹事会については４月上旬に行う。

共同研究「路面温度の上昇を抑制する舗装用混合物に関する分野」
平成１６年度第１回委員会
議　事　録

１．日　時：平成１７年1月１７日（月）１３：００～１５：００

２．場　所：独立行政法人土木研究所　別館７回７２５会議室

３．出席者：

・(独)土木研究所　基礎道路技術研究グループ(舗装) 上席研究員　伊藤 正秀
同　上　研究員　城戸　浩

・(株)NIPPO コーポレーション：吉中 保、村岡克明、
長島特殊塗料(株)：深江典之、佐藤重宣

・日本道路(株)：浜田　幸二、長谷川　淳也

・前田道路(株)：吉村啓之、山本富業、杉浦博幸

・世紀東急工業(株)：松田敏昭、小柴朋広

４．議事概要

平成 16 年度調査結果の報告と、今後の予定の確認

５．議事内容

(1)委員長挨拶

平成 16 年の夏が特に暑かったこともあり、温度低減型舗装に関する動きが大きく変化した。石原国土交通省大臣(当時)の会見にも取り上げられたことは、ご存じのとおりである。来年度は国土交通省道路局の補助事業として、全体額で 20 億円(国が 10 億円を補助)を予算化する予定。この補助事業は、温度低減型舗装の効果を明らかにするための大規模な試験施工として位置付けられる。

このような大きな流れの中で、本共同研究は今後益々注目されることになる。そこで、本研究においては、今までの遮熱性舗装の材料的な研究開発から、今後は温度性能をどう評価していくかに力点が移っていく。共同研究は平成 17 年 3 月をもって終了するが、今後も委員各位には協力をお願いしたい。

(2)平成 16 年度調査結果について（資料 1-1）

城戸研究員より調査結果を報告、質疑応答。

①路面温度差の各社傾向が、表面、裏面などで異なっている。各供試体には複数の熱電対が設置してあり、測定値の範囲などを確認したい。

②基準となる排水性舗装工区の路面を見ると、横断凹凸の状況が一様ではない。横断凹凸量が 10㎜程度での比較であり、有意差があると判断しても良いか？(資料 1-1 p.13)

→平成 17 年の夏季も、継続して調査を行う。

→横断凹凸量の比較として、密粒舗装をシミュレートする。

③アルベドと温度差との関係の他に、明度と温度差や、明度とアルベドの関係を示せないか。

④遮熱混合物の材料開発(改良)を進めてきているが、再施工することは可能か？

→塑性変形抵抗からの効果について期待している。これまでの結果からは、まだ明確に効果

があるとは言えない状況にあるので、現状の試験施工ヤードを継続して調査したい。

→30㎝供試体を２月末までに土研に持ち込み、各社が試験すれば、温度性能などを盛り込むことはできる。

⑤報告書は、４グループ＋土研で１冊にまとめる。

⑥室内における温度低減舗装の評価結果と、屋外での評価結果の関係を整理する。

⑦アルベドは8,9月に対して11月の方が全体的に大きくなっている。

→特定の１日（1回）だけの測定ではなく、測定を１週間にするなど、複数回の測定にしてみてはどうか。

(3)共同研究成果の報告書

①報告書の全体イメージを把握しやすくするため、次回委員会までに目次案を各社で検討する。

②報告書作成後はデータを共有する。データの公表方法としては、土研＋1社、あるいは土研＋4社のいずれかが考えられる。

③走行実験路の試験舗装に関して、施工実績としての公表は特に問題なし。

(4)実道における効果の把握について（資料1-2）

温度低減型舗装の効果には、路面温度低減の他に、路面性状の耐久性向上等が期待できる。効果を明らかにするために、どのようなことを確認していけばよいかをまとめる必要がある。

また、当該舗装の評価方法として、熱電対で路面温度を測定するなど、実際に発注されて事業展開したときに発注者がどう評価すればよいかについて、留意点をまとめておく必要がある。

(5)その他（参考資料）

温度低減型舗装に関して、土研資料を別途、年度末に発刊予定である。ここでは目次概要を説明。調整事項として、「共同研究成果を入れてよいか」、「アウトカム指標として①真夏日減少②熱帯夜減少」、「都市域の全面的な使用は否定的(予算的規模の観点で)。適用個所を歩行者の多い箇所、住宅連たん地域とすることの妥当性」、「実道における調査方法」。

(6)関連特許について

大林道路による出願案件については、審査請求期限(2005年11月11日)まで特に動かないこととする。

６．まとめ

○本共同研究の試験舗装ヤードについては、平成17年度も継続調査する。

（横断凹凸量、遮熱効果の耐久性等）

○本委員会、ならびに幹事会は年度末までに再度開催する予定。

○本共同研究の報告書のイメージを、各社、次回委員会までに考えておく。

○「実道における効果の把握について」（資料1-2）に関して、各社に提案願いたい。

（「何を把握すべきか」→「どのように測定するか」の形式でまとめる）

－ 以 上 －

共同研究「路面温度の上昇を抑制する舗装用混合物に関する分野」
平成１６年度第２回委員会
議　事　録

１。日　時：平成１７年３月２３日（月）１５：００～１７：００

２。場　所：独立行政法人土木研究所　別館７階７２７会議室

３。出席者：

・(独)土木研究所　基礎道路技術研究グループ(舗装) 上席研究員　伊藤正秀
同　上　研究員　城戸　浩

・(株)NIPPO コーポレーション：吉中 保、村岡克明
長島特殊塗料(株)：佐藤重宣

・日本道路(株)：武田　雄、浜田幸二、長谷川淳也

・前田道路(株)：山本富業、杉浦博幸

・世紀東急工業(株)：松田敏昭、山崎　剛

４。議事概要

共同研究報告書の項目の検討および補助事業に関する資料の検討

５。議事内容

(1)前回の議事録（資料 2-1）および確認事項

前回の議事録は、メールにより内容確認済みであるため了承された。

大林道路（株）の特許の出願案件については、未請求の状態であるため、継続して静観する。

(2)実道における効果の把握について（資料 2-2）

資料 2-2 は、幹事会で検討した内容をまとめたものである。今後、来年度から行われる補助事業での調査・測定項目の選択するときの資料として、土研で検討する。

(3)明度の範囲の検討について（資料 2-3）

城戸委員より資料の説明があり、路面温度低減舗装の明度の適用可能範囲について議論した。主な意見は、以下のとおりである。

・遮熱性舗装は赤外線領域での効果が大きく､明度が低くても効果があるのが特長である。

・明度が低くても、前後の舗装の明度が異なると、数値以上に明るく感じる場合がある。

・輝度で評価してはどうか。

・これまでの施工箇所の色（明度）の実態調査をしてはどうか。

議論の中で、明度の適用可能範囲、特に上限の設定の必要性について確認した。

《明度を規定した方が良いという意見》

・ 警察との協議の時に説明しやすい。

《明度を規定する必要がないという意見》

・ 地域により要望される色が異なる。

・ 対象とする場所（車道、歩道）により異なる。

以上より、共同研究報告書では、明度の範囲規定自体は設けず、文献調査・実態調査を踏まえて、共同研究で対象とした明度が実道への適用上に問題がないことを記述する。

(4)アンケート調査方法について（資料 2-4）

取り扱いは、資料 2-2 と同じであり、補助事業をおこなう地域で、アンケート方法により感覚の評価をする場合の参考資料とする。内容検討に協力した共同研究の各社へは、まとめた結果を連絡する。

(5)共同研究報告書（目次案）について（資料 2-5）

第２章から第５章までは、これまで実施した内容を整理して記述する。第５章に関しては、共同研究で対象とした舗装の全体としての評価結果を記述する。

各章における個別の意見は以下のとおりである。

・１章　混合物型遮熱性舗装の研究に取り上げた理由を明記する。
→　混合物型のメリット（一回施工による工事期間の短縮等）
→　一回施工での施工単価がどの程度下がるかを評価する。

・３章　試験、評価条件等について明記する。
→　平成１５年度と１６年度で荷重車が変わったこと。
→　比較舗装（密粒、排水性、塗布型）の内容
最終節に、平成１５年度検討した混合物の評価を入れる。

・４章　初節に、３章の結果を受けた形で、平成１６年度型の改良点を示す。

・５章　前回提示した土研資料の様式を元に、５章の内容を検討した資料を土研で作成する。

・付録　評価試験方法は、今回の共同研究の室内検討で用いた試験法として記述する。

(6)その他

・ 追跡調査について
→　３年間は行う予定で、結果は別途取りまとめて公表する。

・ 道路会議について
→　口頭発表は、土研と各社の連名で各社の開発した舗装材料とする。
→　ポスターセッションは、共同研究として土研が全体をまとめた形とする。

・ 共同研究で対象とした舗装材を各社が事業展開する場合について
→　特許ではないので、土研は対価を請求しない（社会への便益の還元と考えている）。
→　データに関しては共同研究であることを明記する（参考文献として示す等）。

６。まとめ

○補助事業に関する資料（2-2、2-4）に関しては、土研で検討した成果を共同研究者に配布する。

○報告書は目次および分担案に従い各々が作成する。ただし、５章に関しては土研で検討した概要資料をもとに、再度、共同研究者で検討する。

（概要資料の送付は１週間以内、報告書の作成期限は別途協議）

○事業展開に関する共同研究の範囲・制限等については、NIPPO ｺｰﾎﾟﾚｰｼｮﾝ（株）と土研で協議し、その後全体としての調整を図る。

以上

付　録－２　平成15年度交流研究員報告書

平成 15 年度　交流研究員研究報告書

都市環境に配慮した舗装構造に関する研究

～路面温度低減効果の評価方法の開発～

（指導期間　平成 15 年 4 月～平成 16 年 3 月）

平成１６年４月

基礎道路技術研究グループ　舗装チーム

平方　和幸

（出向元：福田道路株式会社）

目　次

第１章　研究概要

１．１．研究背景…… 1
１．２．これまでの研究成果…… 1
１．３．研究目的および研究概要…… 2～ 3

第２章　屋外の測定結果（温度・気象）

２．１．はじめに…… 4
２．２．屋外測定方法
２．２．１．温度の測定方法および測定位置…… 4
２．２．２．供試体の構造…… 5
２．２．３．表層の混合物と測定内容…… 5～ 6
２．３．測定結果
２．３．１．路面温度の測定結果…… 7～13
２．３．２．気象に関する測定結果……14～15
２．４．まとめ……15

第３章　屋外測定結果に関する検討

３．１．はじめに……16
３．２．比較舗装の選定について
３．２．１．遮熱性供試体の場合……16～17
３．２．２．保水性供試体の場合……17～18
３．２．３．明色性供試体の場合……18
３．３．供試体のサイズの影響について
３．３．１．検討内容……19
３．３．２．検討結果……20～22
３．４．測定地域の影響について
３．４．１．検討内容……23
３．４．２．検討結果……23～24
３．５．車の走行による日射量の低減について
３．５．１．計算条件……25
３．５．２．計算結果……25～26
３．６．まとめ……26

第４章　室内試験による路面温度低減効果の評価方法
４．１．はじめに……27
４．２．室内試験装置……27
４．３．遮熱性および明色性舗装に関する評価方法
４．３．１．表層の混合物……28
４．３．２．試験条件に関する検討……28～37
４．３．３．試験結果および予測式の導入……38～46
４．４．保水性舗装に関する評価方法
４．４．１．表層の混合物……47
４．４．２．試験条件に関する検討……47～51
４．４．３．試験結果および予測式の導入……52～57
４．５．まとめ……57

第５章　夏季以外の屋外測定結果による路面温度低減効果の評価方法
５．１．はじめに……58
５．２．夏季以外の路面温度から夏季の路面温度を予測する評価方法
５．２．１．供試体および測定内容……58
５．２．２．試験結果および予測式の導入……59～67
５．３．ランプを使用した屋外試験から夏季の路面温度を予測する評価方法
５．３．１．試験内容……68～69
５．３．２．試験結果……69～70
５．４．まとめ……71

第６章　結論・今後の課題
６．１．本研究の結論……72
６．２．今後の課題……72

参考文献……73

謝辞……73

第１章　研究概要

１．１．研究背景

人口の集中とエネルギー消費、緑被や水面の減少などにより、都市域の温暖化現象（ヒートアイランド現象）が進行していることが広く知られている。気象庁によると東京の年間平均気温は過去100年間で2.9℃も上昇したとされており、このまま進行するとさらなる気温の上昇が懸念されている。さらに、この現象の進行は、生活環境の悪化、健康被害、夏季電気消費量の増加、生態系への影響などを引き起こすと考えられていることから、この現象についての対策が必要とされている。

この現象の軽減・抑制に関して各方面から様々なアプローチがされている。舗装分野においても対策が進められており、その一つとして路面温度低減効果の高い舗装を用いて舗装面から大気への熱輸送量を低減する技術の開発が進められている。

上記の舗装には保水性舗装、遮熱性舗装などが挙げられる。保水性舗装は、開粒度アスファルト舗装の空隙に保水性のある特殊な材料を充てんした舗装のことで、この保水材が水分を蓄え、水分が蒸発する時路面から気化熱を奪い路面温度の上昇を防ぐ舗装である。遮熱性舗装は赤外線領域の光を反射する特殊材料を舗装表面に塗布または混合することで路面温度の上昇を抑制する舗装である。

これらの舗装は、開発されているが路面温度低減効果の検証、舗装としての耐久性の確認などさらに検討する必要性がある。

１．２．これまでの研究成果

本研究は、平成12年から15年度の「都市環境に配慮した舗装構造に関する研究」に属している。本年度まで得られた成果と課題について以下に示す。

【成 果】

① 路面性状（縦横断凹凸量・ひび割れ率・すべり抵抗）は各舗装に差が無く良好な路面性状を保持している。
② FWDによるたわみ量に関しても問題が見られない。
③ 透水性舗装は、密粒度Asとの比較で温度低減効果がほとんど見られない。
④ 透水性舗装で表面を白色のトップコートを施したものは多少の温度低減効果がある。
⑤ 保水性舗装は、密粒度Asとの比較で降雨翌日の温度差は10～15℃であった。
⑥ 遮熱性舗装の灰色の温度低減効果が優れている。
⑦ 路面温度を低減させることで対流動性の向上に期待できる。

【課 題】

① さらに路面温度低減効果の高い舗装の開発と性能の確認
② 路面温度低減効果の評価方法の開発
③ 路面温度の低下によるヒートアイランド現象の抑制効果の検証・評価

１．３．研究目的および研究概要

【研究目的】

本年度の研究目的は、温度低減型舗装（遮熱性舗装・保水性舗装）に関する路面温度低減効果の評価方法の開発である。

【研究概要】

本報告書の検討内容および各章の構成は以下の通りである。図－1.1 に研究のフローを示す。

第１章　研究概要

第２章　屋外の測定結果（路面温度・気象）

評価方法の基準となる屋外の測定結果（路面温度、気象）について示した。

第３章　屋外測定結果に関する検討

屋外試験の結果について様々な検討を行った。その内容と検討結果を示す。

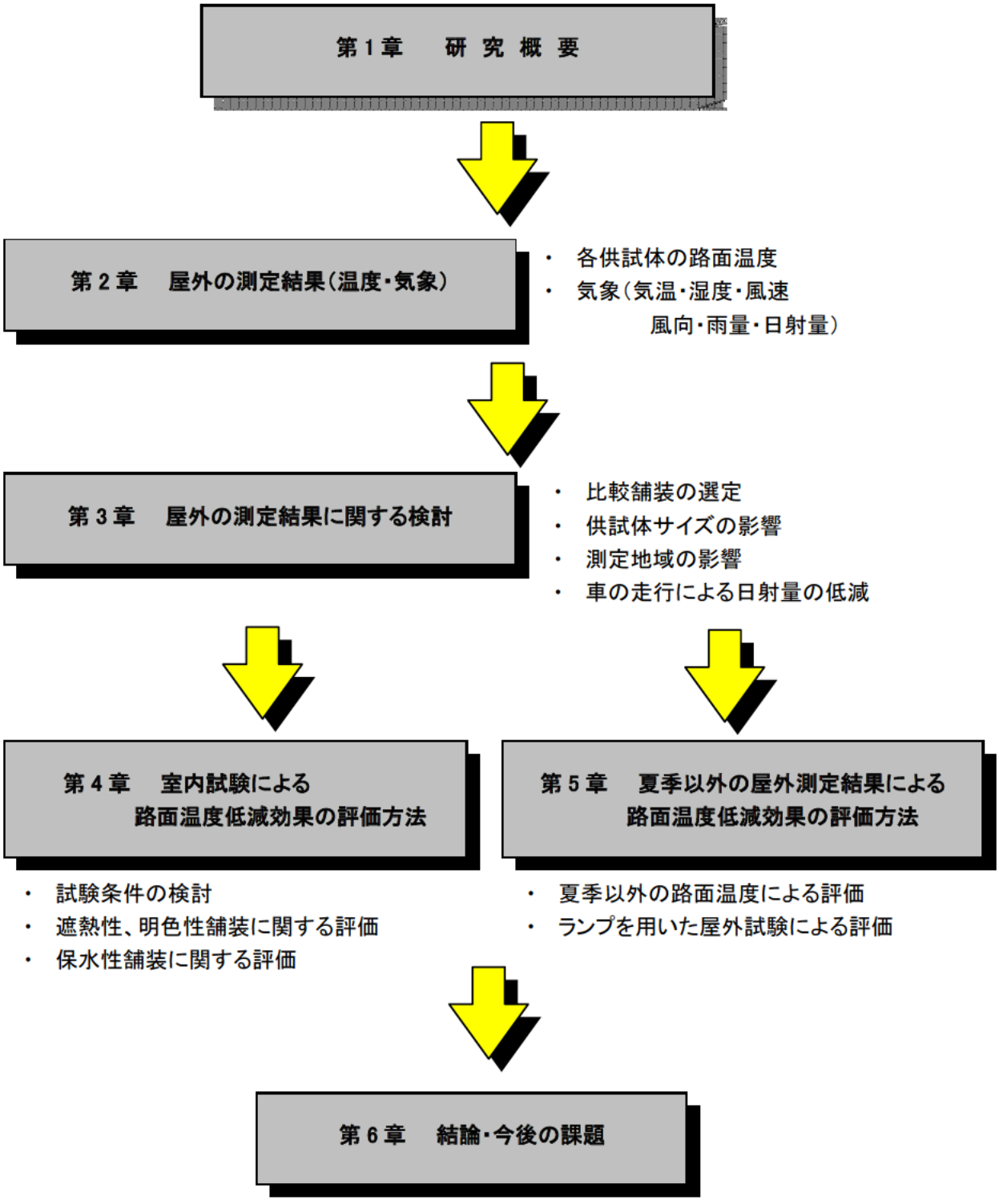
第４章　室内試験による路面温度低減効果の評価方法

評価方法の一つとして室内試験から夏季の路面温度を予測する手法について検討を行った。その検討内容と結果を示す。

第５章　夏季以外の屋外測定結果による路面温度低減効果の評価方法

評価方法の一つとして夏季以外の屋外測定結果から夏季の路面温度を予測する手法について検討を行った。その検討内容と結果を示す。

第６章　結論・今後の課題


第１章　研究概要
第２章　屋外の測定結果（温度・気象）
・各供試体の路面温度
・気象（気温・湿度・風速
風向・雨量・日射量）
第３章　屋外の測定結果に関する検討
・比較舗装の選定
・供試体サイズの影響
・測定地域の影響
・車の走行による日射量の低減
第４章　室内試験による
路面温度低減効果の評価方法
・試験条件の検討
・遮熱性、明色性舗装に関する評価
・保水性舗装に関する評価
第５章　夏季以外の屋外測定結果による
路面温度低減効果の評価方法
・夏季以外の路面温度による評価
・ランプを用いた屋外試験による評価
第６章　結論・今後の課題

図－1.1　研究のフロー

第２章　屋外の測定結果（温度・気象）

２．１．はじめに

路面温度低減効果の評価方法を開発する為には、評価対象となる屋外の測定結果が必要である。

そこで、本章において屋外の測定方法と平成 15 年度で測定した屋外の路面温度および気象データの結果について記し、傾向について分析を行った。

２．２．屋外測定方法

2．2．1．温度の測定方法および測定位置

屋外試験に用いた供試体のサイズは 30cm×30cm（以下、30cm 角供試体）とした。温度の測定方法は熱電対（T 型）にて測定するものとした。測定位置は密粒系の混合物の場合、熱電対を路面（①）と底面（②）の 2 ヶ所に設置し温度の測定を行った。（図－2.1 左）開粒系の混合物の場合は被膜させた骨材の中に熱電対を埋め込んだもの（図－2.2）を路面の骨材内（①）と底面の骨材内（③）に設置し、また、裸の熱電対を路面の空隙内（②）と底面の空隙内（④）に設置し温度の測定を行った（図－2.1 右）。また、これらの熱電対は供試体の中心から 5cm 四方の範囲内に設置した。（図－2.3）

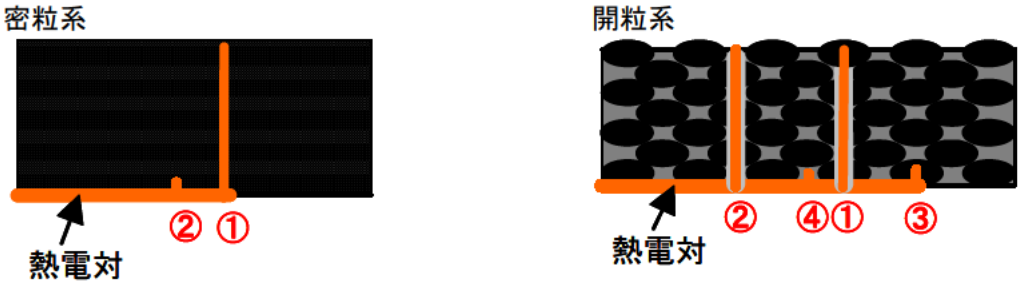


図-2.1　熱電対の設置位置（断面図）

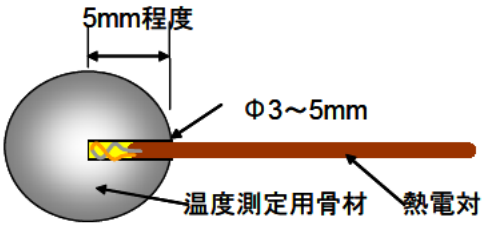


図-2.2　骨材内の熱電対の取付け位置

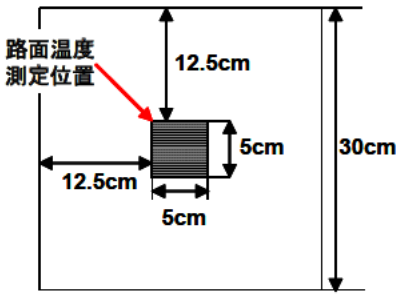
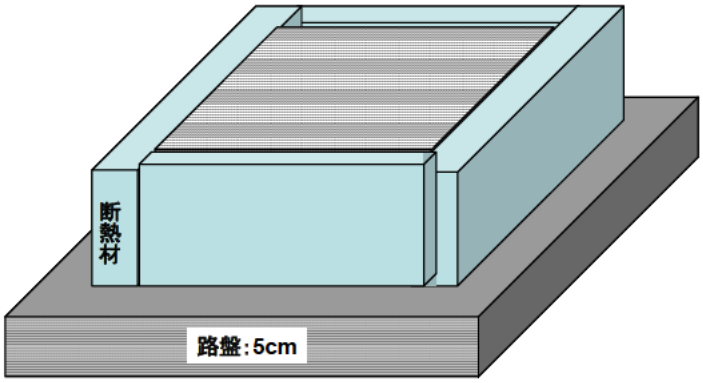


図-2.3　熱電対設置範囲（平面図）

2. 2. 2. 供試体の構造

供試体の構造は図－2.4 に示すように各層 5 ㎝の 3 層構造とし、表層および基層の周囲を断熱材で囲みさらに砕石で周囲を覆うものとした。試験状況を写真－2.1 に示す。



図－2.4　供試体の構造



写真－2.1　屋外測定状況

2. 2. 3. 表層の混合物と測定内容

表層に使用した混合物の種類を表－2.1 に示す。

表－2.1　混合物の種類（表層）

No.	名称	概要
1	密粒	13mmTop密粒度混合物
2	排水性(空隙20%)	13mmTop排水性混合物(空隙率20%)
3	排水性(空隙25%)	13mmTop排水性混合物(空隙率25%)
4	遮熱性A	No.2混合物に遮熱材料Aを塗布
5	遮熱性B	No.2混合物に遮熱材料Bを塗布
6	遮熱性C	No.2混合物に遮熱材料Cを塗布
7	遮熱性D	No.2混合物に遮熱材料Dを塗布
8	保水性F(空隙20%)	No.2混合物に保水材料Fを充填
9	保水性F(空隙25%)	No.3混合物に保水材料Fを充填
10	保水性G(空隙25%)	No.3混合物に保水材料Gを充填
11	明色性W	No.2混合物に明色材料Wを塗布
12	明色性G	No.2混合物に明色材料Gを塗布

測定内容を表－2.2 に、使用した気象観測装置およびデータロガーの写真を写真－2.2、2.3 に示す。

表－2.2　測定内容

項目	測定機器	測定間隔
温度	熱電対T型 東京測器社製(ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ:TDS－303)	30分毎
気温・湿度	キャンベル社製(温湿度センサー:CS500-L6)	10分毎
日射量	キャンベル社製(日射センサー:LI200X-L11)	
雨量	キャンベル社製(雨量センサー:TE525-L25)	
風向・風速	キャンベル社製(風向・風速センサー:03001-L11)	



写真－2.2　気象観測装置



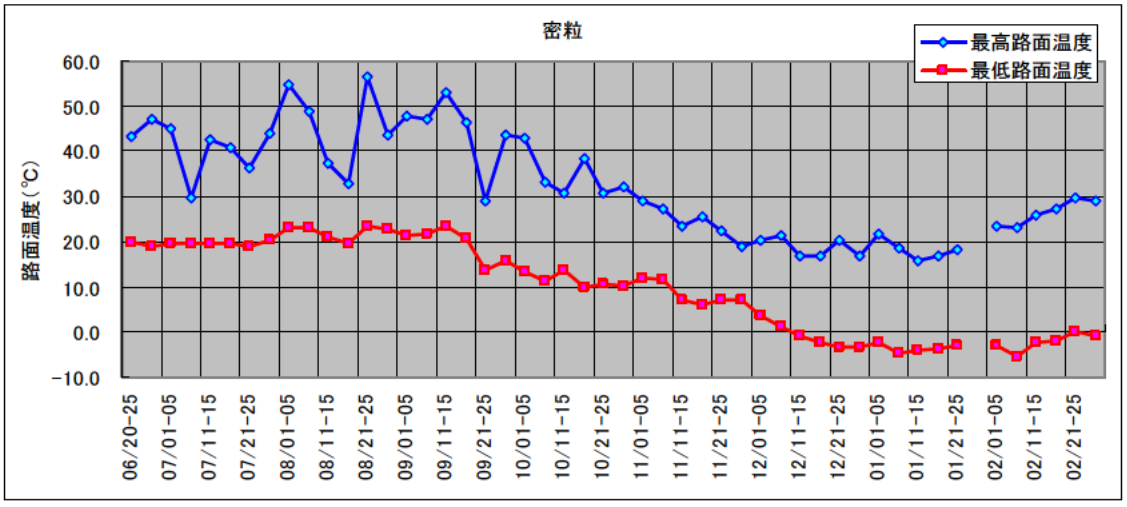
写真－2.3　データロガー

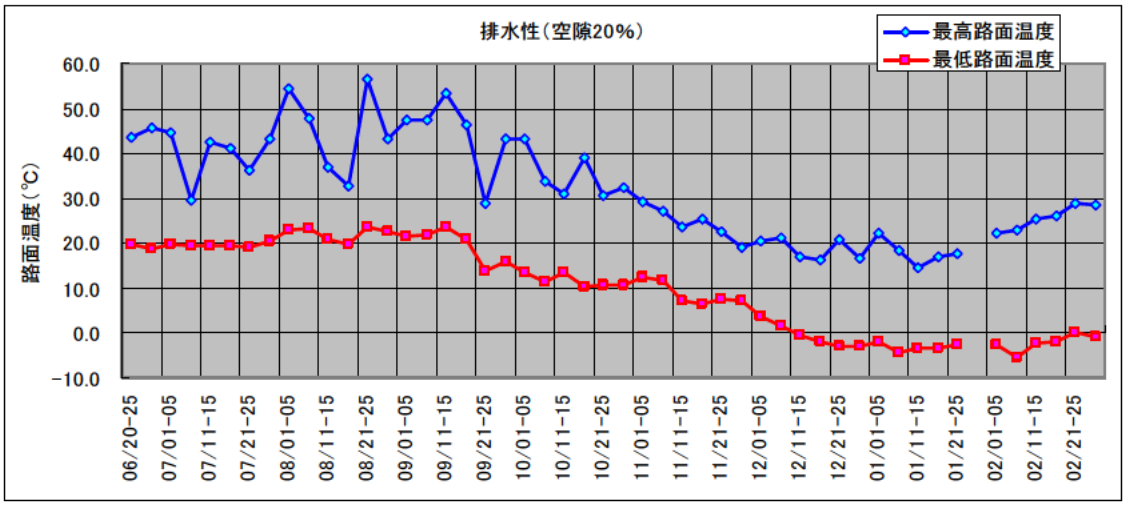
２．３．測定結果

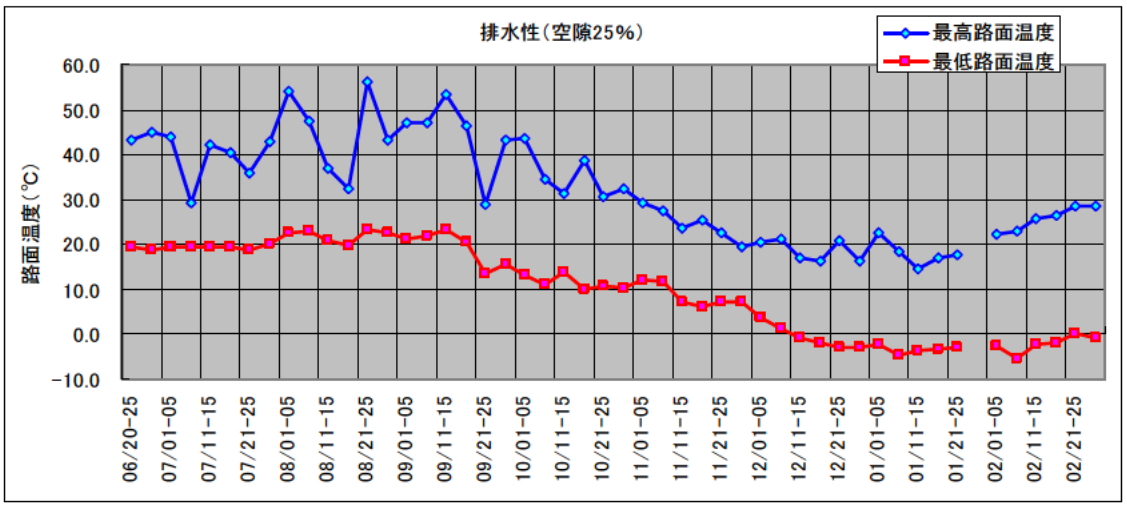
2．3．1．路面温度の測定結果

供試体ごとの最高路面温度と最低路面温度の 5 日平均移動の結果を以下に示す。なお、路面の骨材内（図－2.1 内①）の温度を路面温度とした。日々の供試体毎の経時変化はバックデータに記載する。

①比較用供試体

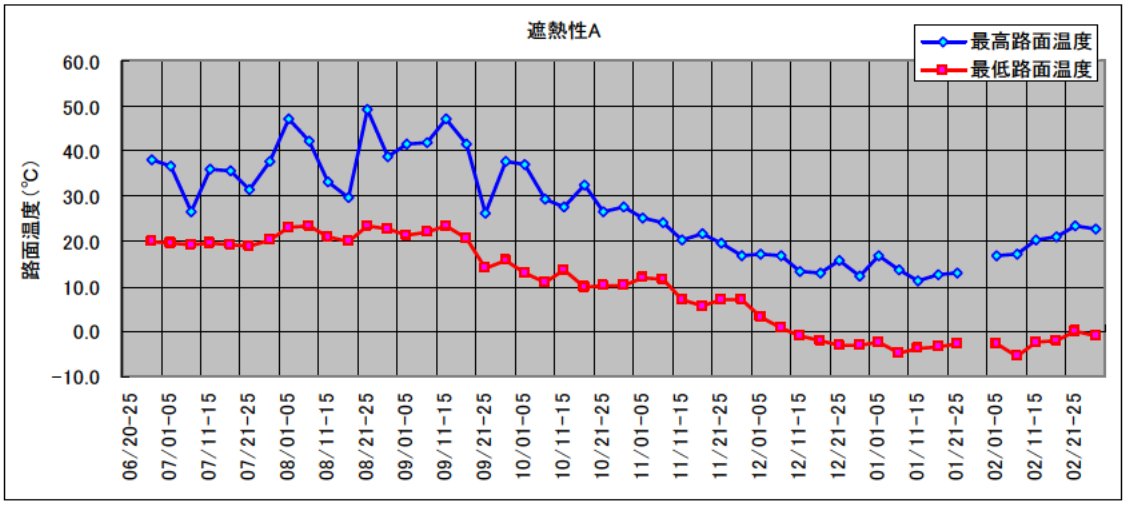


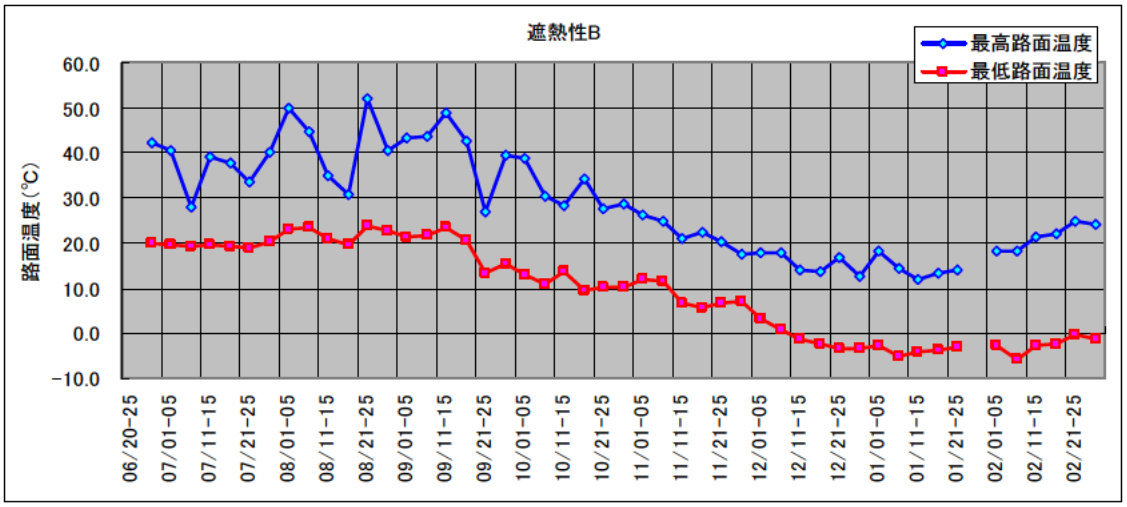


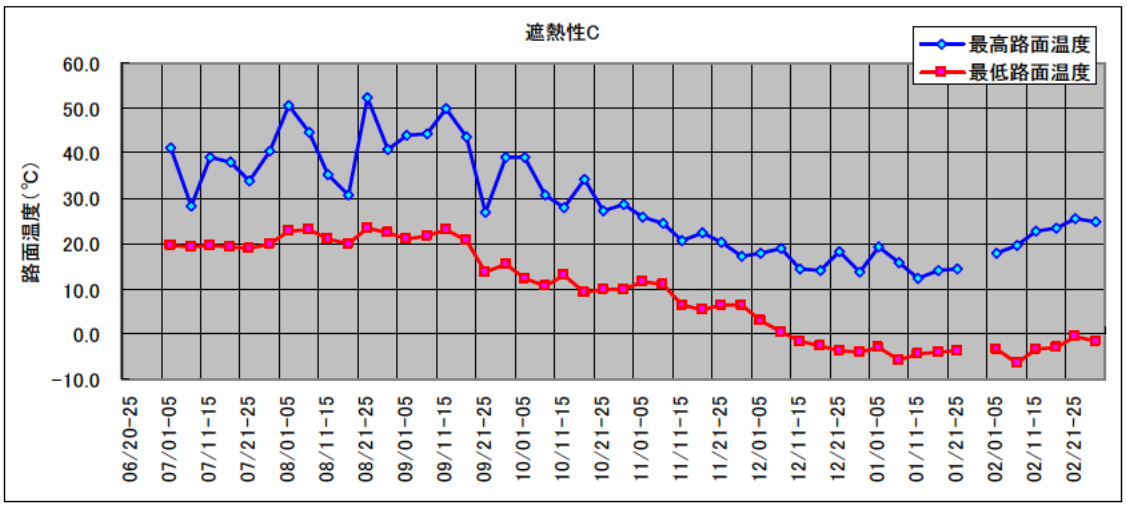


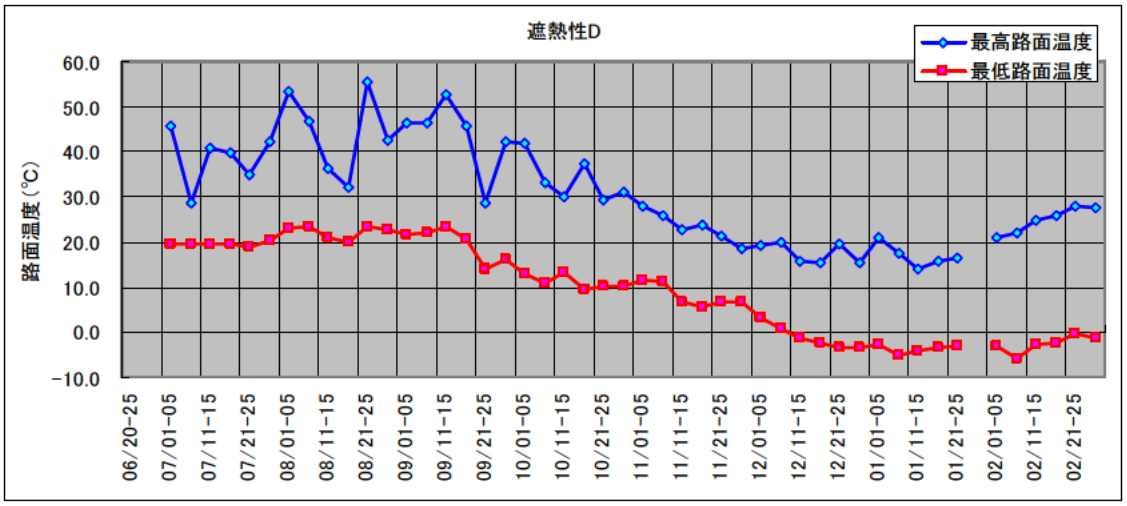
図－2.5　5 日平均移動（比較用供試体：3 種）

②遮熱性供試体



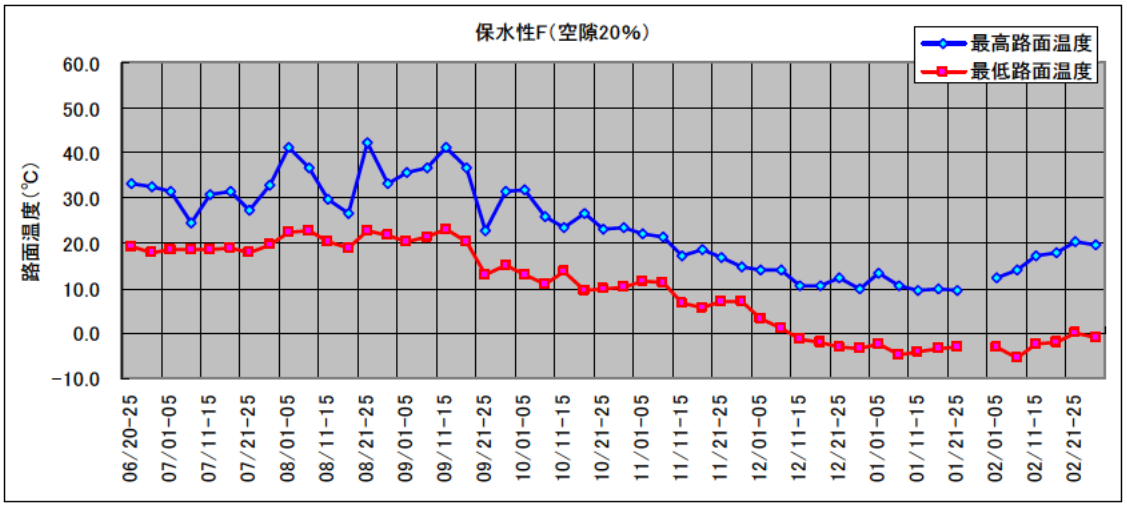


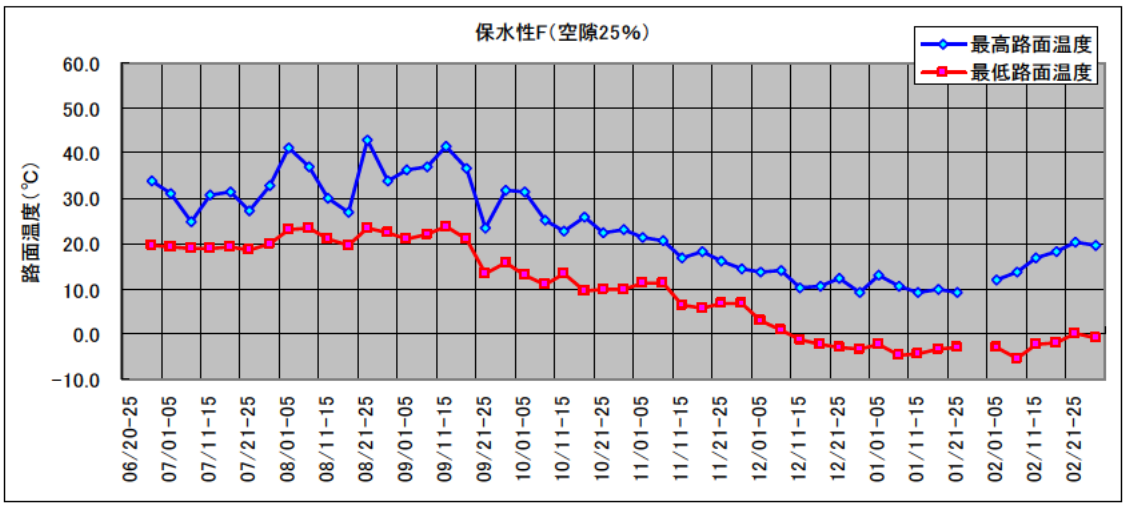


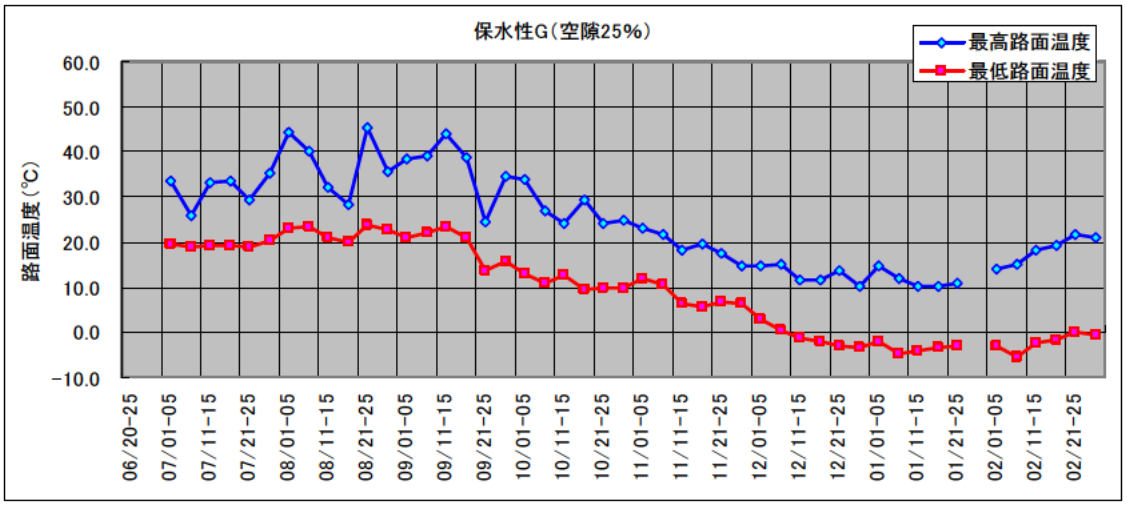


図－2.6　5 日平均移動（遮熱性供試体：4 種）

③保水性供試体

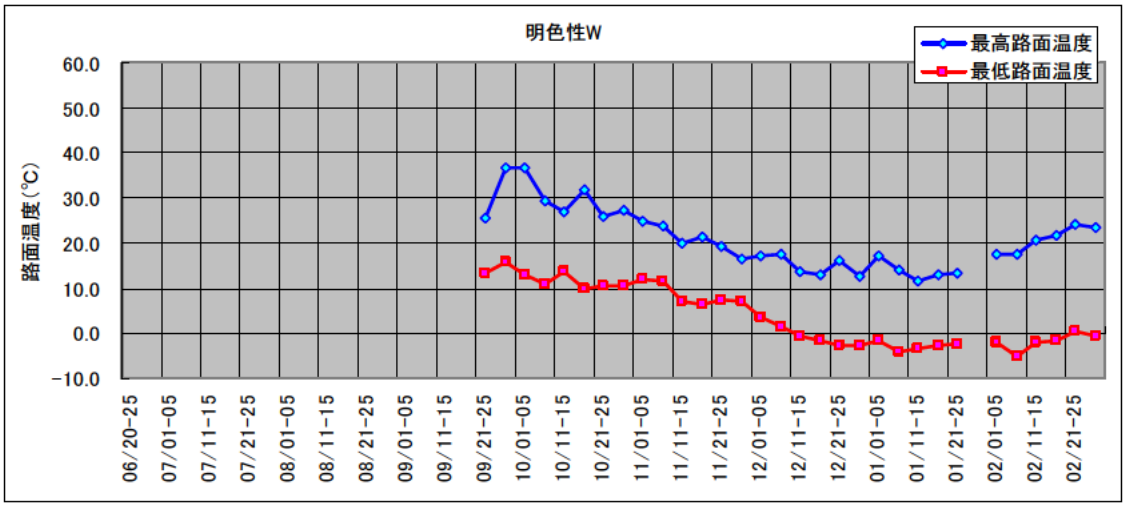


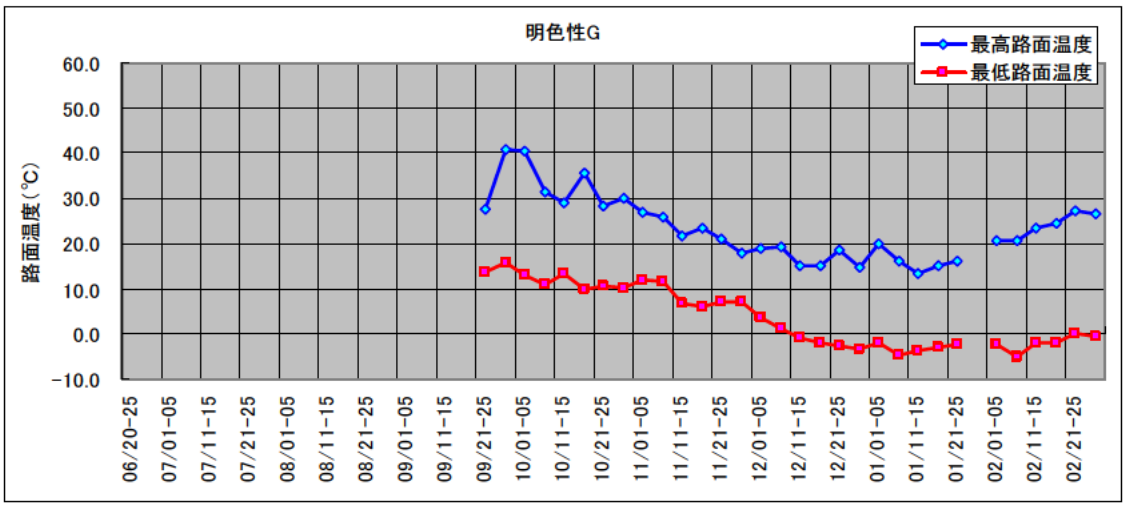




図－2.7　5 日平均移動（保水性供試体：3 種）

④明色性供試体



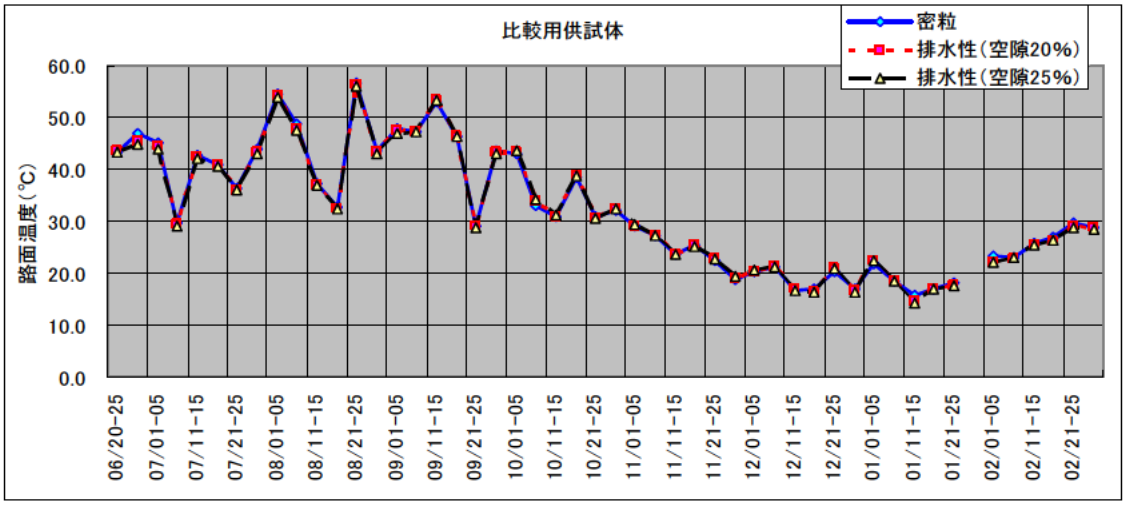


図－2.8　5 日平均移動（明色性供試体：2 種）

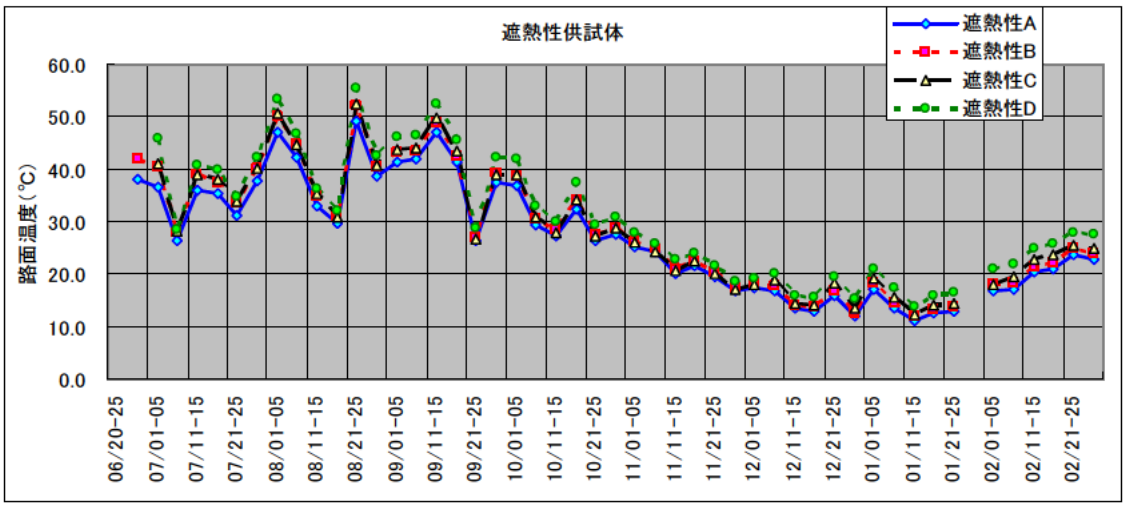
①、②、③供試体において 9 月 20 日以降から最高路面温度、最低路面温度が低下する傾向となった。また、最低路面温度に着目すると 8 月上旬、8 月中旬から 9 月中旬までは 20℃を上回っており、それ以外は 20℃以下という結果となった。

④供試体においては 9 月 20 日からの測定であるが他の供試体と比べた場合の傾向が近似していることからそれ以前も同様な傾向を得るものと考えられる。

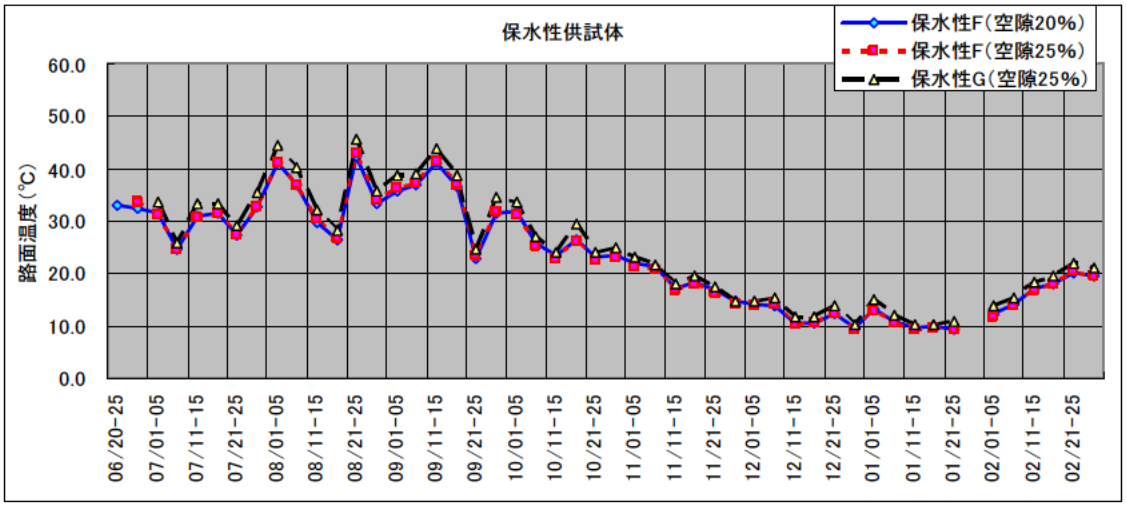
次に、供試体種類別の最高路面温度の 5 日平均移動を示す。



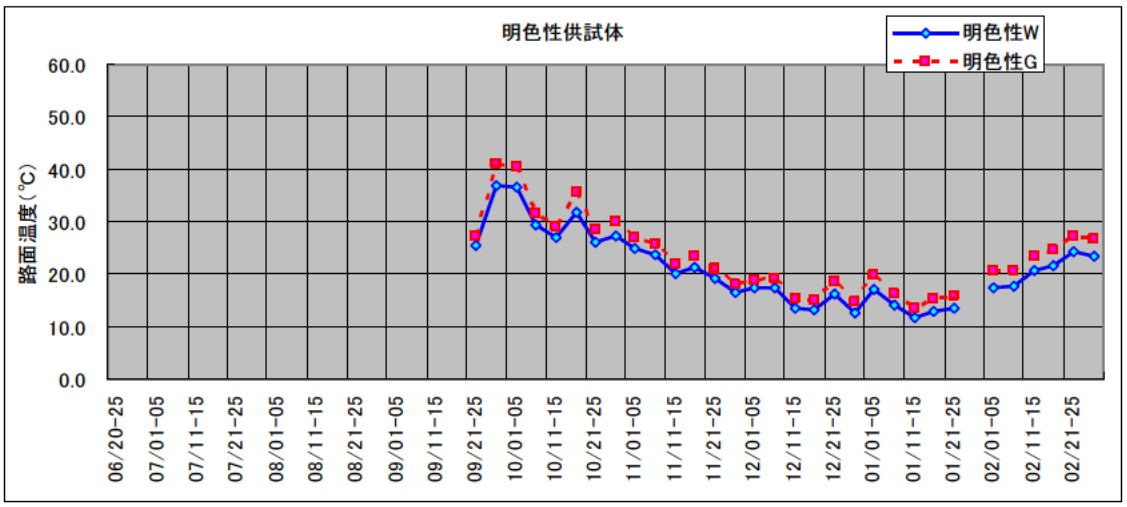
図－2.9　5 日平均移動（比較用供試体）



図－2.10　5日平均移動（遮熱性供試体）



図－2.11　5日平均移動（保水性供試体）



図－2.12　5 日平均移動（明色性供試体）

比較用供試体では、密粒と排水性の最高路面温度に大きな違いは見られなかった。また、空隙率の異なる排水性の最高路面温度においても大きな違いは見られなかった。

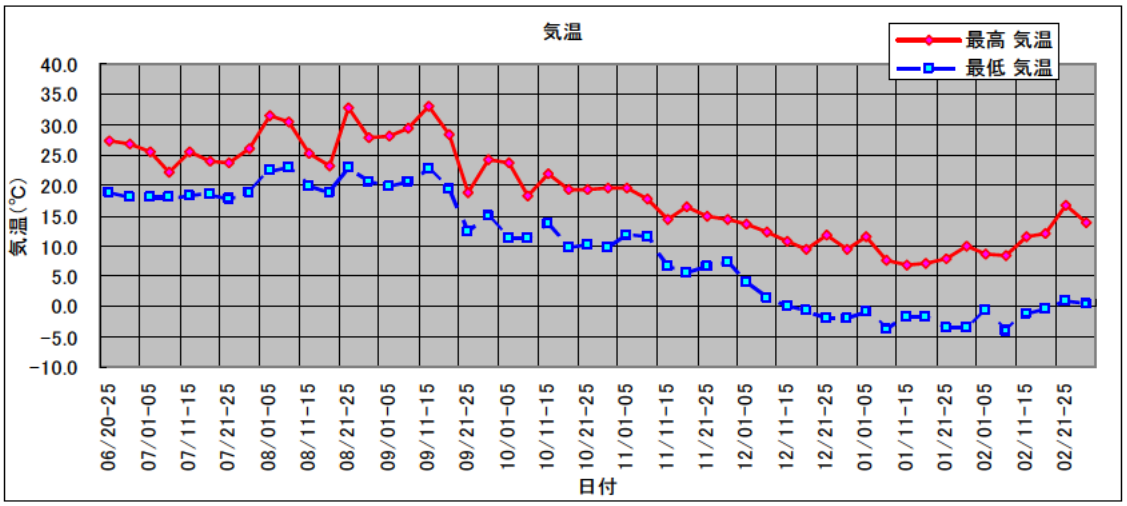
遮熱性供試体では、D＞C＞B＞A の順に 5 日平均移動の最高路面温度が低下している。最も路面温度が高かった時（8 月 21 日から 25 日）の 5 日平均移動を見ると A が 49.2℃、B が 52.1℃、C が 52.5℃、D が 55.5℃となり 6℃程度の路面温度差があることが分かった。

保水性供試体では、G25＞F20≒F25 の順に路面温度が低下している。保水性供試体においても空隙率の違いは路面温度に大きな影響は与えないことが分かった。

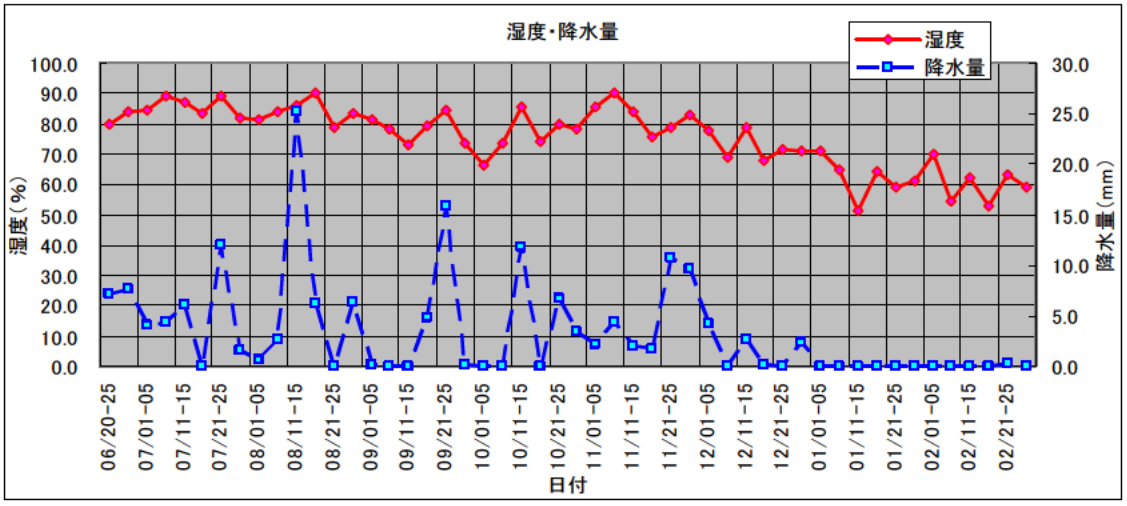
明色性供試体では、G＞W の順に路面温度が低下している。舗装面の色は、G が緑色に対して W は白色に近いグレーであることから色の違いが路面温度に影響を与えたものと考えられる。

2. 3. 2. 気象に関する測定結果

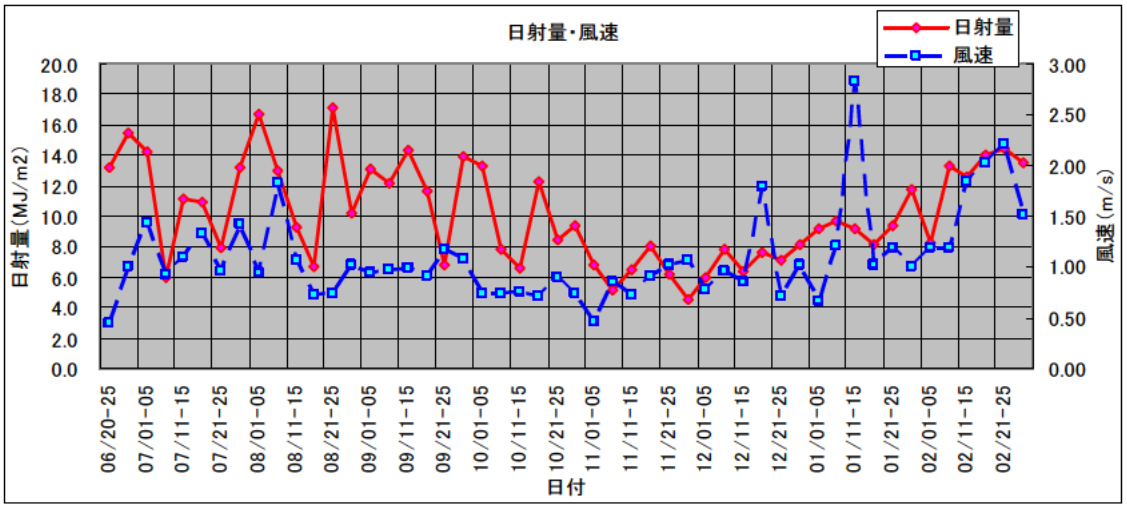
気象データ（気温、湿度、降水量、日射量、風速）の５日平均移動の結果を以下に示す。なお、気象データの経時変化はバックデータにまとめて記載する。



図－2.13　５日平均移動（気温）



図－2.14　５日平均移動（湿度・降水量）



図－2.15　5 日平均移動（日射量・風速）

最低気温においては、路面温度の傾向と同様に 8 月上旬、8 月中旬～9 月中旬に 20℃を上回っている。

気象庁の報告では土研構内（東日本太平洋側）は 7 月および 8 月中旬は旬平均気温が低く、旬降水量が多いと報告されている。本測定結果と照らし合わせるとそれらの期間は最高、最低気温ともに低く、降水量も多い期間があることから同様な傾向を示しており、これらの期間は例年とは異なる結果つまり冷夏であると判断される。

それに対して、6 月下旬から 9 月中旬までの上記以外の期間は、旬平均気温は平年並みもしくはそれ以上で旬降水量は平年並みもしくはそれ以下であるとの報告がされている。本測定結果も最高気温は 25℃を上回り、降水量も少なく同様な傾向であることからこれらの時期は例年通りであると判断される。

以上の結果より、本年度の夏季は冷夏の影響を除いた期間（6 月下旬、8 月上旬、8 月下旬から 9 月中旬）とすることが妥当と考えられる。

２．４．まとめ

これまでの結果から以下の事がまとめられる。

- すべての供試体で最高路面温度、最低路面温度ともに 9 月 20 日から低下する傾向が見られた。
- 密粒と排水性の最高路面温度には大きな違いが見られなかった。
- 排水性および保水性 F において空隙率による最高路面温度の差は見られなかった。
- 遮熱、保水、明色供試体では種類間に温度差が見られた。
- 気象観測装置データは、気象庁の報告と一致しており、冷夏の影響を除いた期間を本年度の夏季とした。

第３章　屋外測定結果に関する検討

３．１．はじめに

前章にて屋外での路面温度および気象の測定結果を示し、夏季の期間を決定した。

通常、路面温度低減効果は一般の交通に供用されている舗装（密粒舗装、排水性舗装等）の路面温度と比較し評価を行っている。しかし、比較舗装の種類によっては路面温度が異なるといった報告があることから比較舗装について検討を行う必要がある。

また、第２章の測定結果は土木研究所構内で 30cm 角供試体での結果であり実道との相関性、測定地域による影響が解明されていない。さらに、実道では車が走行しておりその影響で路面温度が上昇しにくいのではといった問題もありそれに対する検討も必要である。

そこで、本章では屋外の測定結果に対してこれらの事項について検討を行った。

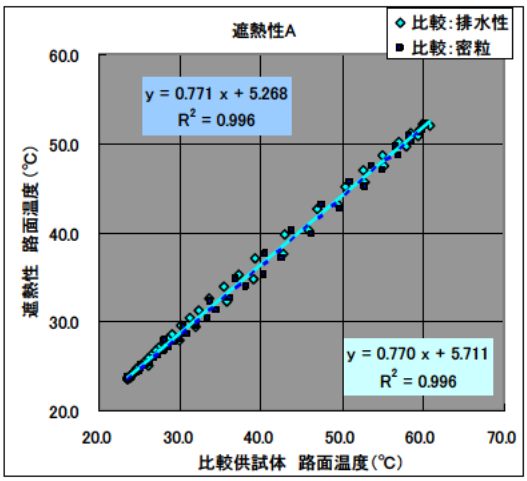
３．２．比較舗装の選定について

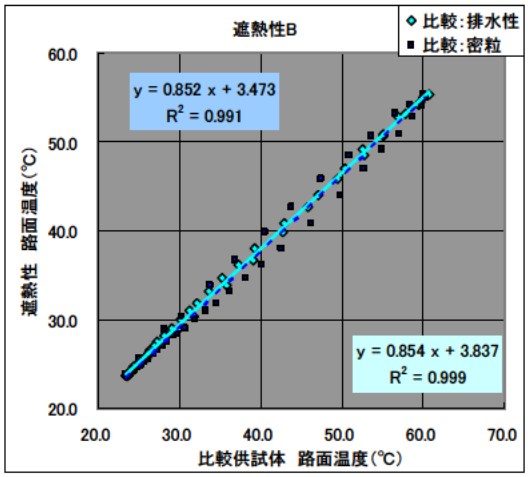
前項でも記載したが、一般の交通に供用され比較対象となる舗装には密粒度舗装や排水性舗装が挙げられる。この 2 つの舗装は舗装内の構造が大きく異なるため路面温度の変化の傾向に違いが見られる。

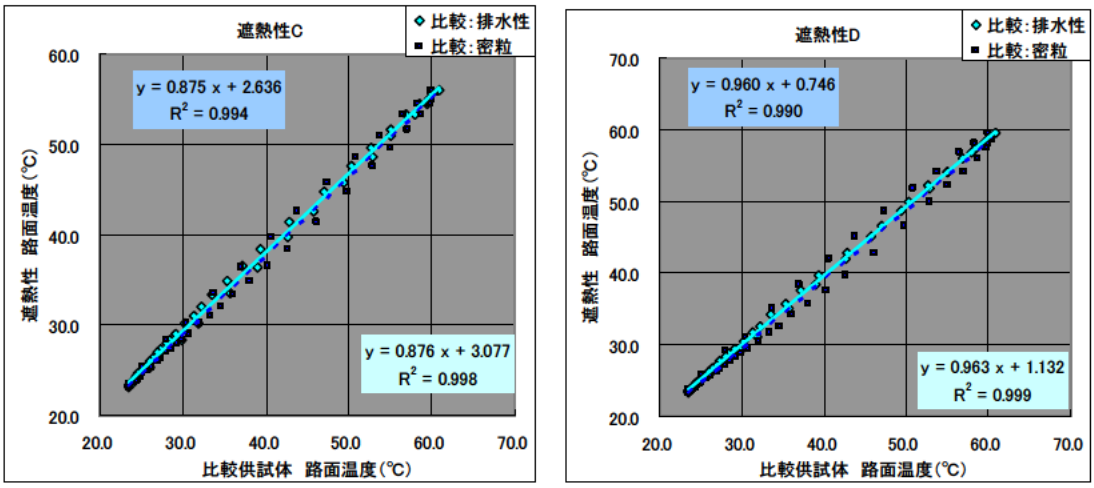
そこで、本研究に用いた、路面温度低減型舗装（遮熱性、保水性、明色性）について比較舗装の選定に対する検討を行った。なお、第 2 章の結果から比較供試体は密粒と排水性（空隙 20%）（以後、排水性）とする。

3．2．1．遮熱性供試体の場合

本研究で使用した遮熱性供試体は、母体アスコンを排水性混合物 13（空隙率 20%）としてその表面に遮熱材料を散布したものである。遮熱性 4 種と密粒または排水性の関係を以下に示す。なお、図中左上の回帰式は密粒を比較用供試体とした場合の結果であり右下の回帰式は排水性を比較用供試体とした場合の結果である。





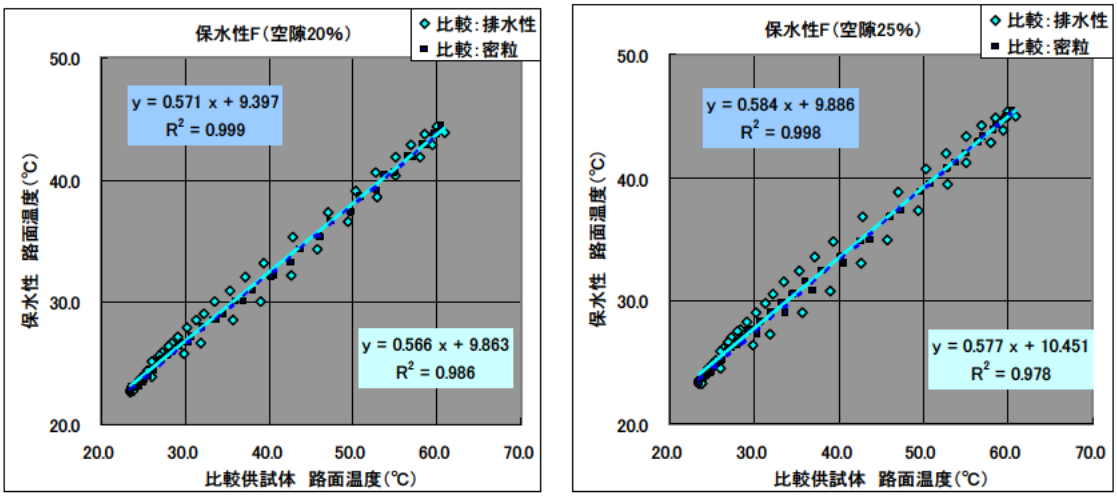


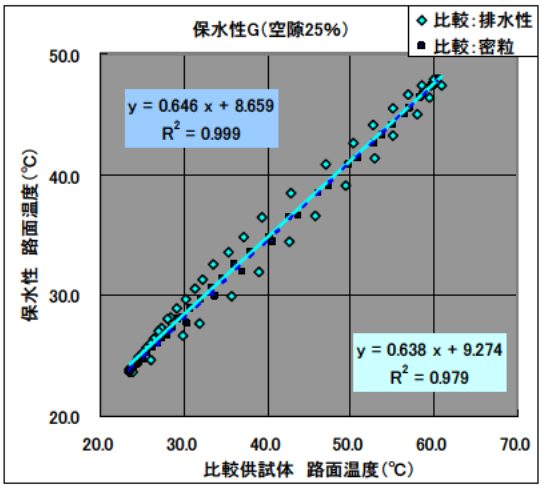
図－3.1　比較供試体と遮熱性供試体の関係（路面温度）

比較用供試体の種類に関わらず得られる回帰線はすべての遮熱性供試体に対して同一の直線を示した。しかし、プロットされている点に着目すると、排水性との関係は密粒と比べ直線的である。これは、密粒と排水性路面温度の変化に時間差が生じた為と考えられる。それに対し排水性では遮熱性との内部構造は同じであることから変化に時間差が生じずより回帰性の高い結果になったと考えられる。

3. 2. 2. 保水性供試体の場合

本研究で使用した保水性混合物は、母体アスコンを排水性混合物 13（空隙 20%または空隙 25%）として保水材を充填したものである。保水性 3 種（乾燥状態）と密粒または排水性の関係を以下に示す。



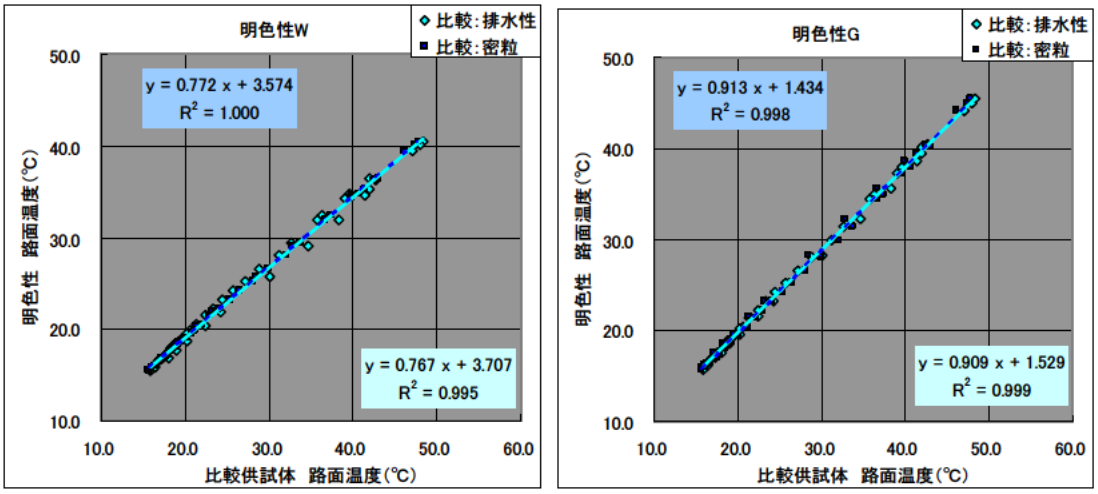


図－3.2　比較供試体と保水性供試体（乾燥状態）の関係

回帰線は遮熱性供試体と同様にすべての保水性供試体に対してほぼ同一の直線を示す結果となった。プロット点に着目すると、遮熱性供試体とは反対に密粒との関係では直線的であるのに対して排水性との関係では楕円を描いている。保水性混合物の母体アスコンと密粒とは内部構造は異なるが、母体アスコンに保水材を充填したことで構造が密粒に近似した為時間差が無くなりこのような結果になったものと考えられる。

3. 2. 3. 明色性供試体の場合

明色性供試体は、遮熱性供試体と同様に母体アスコンを作製し明色材料を塗布したものである。明色性 2 種と密粒または排水性の関係を以下に示す。なお、明色性供試体の測定は 9 月 20 日から始めたため、その後最も路面温度が上昇した 9 月 29 日の結果を示す。



図－3.3　比較供試体と明色性供試体の関係

明色性供試体は、構造が遮熱性供試体と同様であることから排水性との相関性が高いと予測したが比較用供試体に関係ない結果となった。しかし、路面温度が 8 月 24 日に比べ 10℃以上低いこと、同系の遮熱性供試体では排水性との相関がよいことから明色性供試体に関

しても排水性を比較供試体にするのが妥当と考えられる。

３．３．供試体のサイズの影響ついて

路面温度を測定する際供試体のサイズによって熱容量が異なることから得られる路面温度に影響あるのではと考えられる。そこで、屋外においてサイズの違う供試体を設置し、路面温度の違いについて検討を行った。

3．3．1．検討内容

検討に用いた供試体の種類および供試体のサイズ、構造を表－3.1、3.2 に示す。なお、4m×4m 供試体は以後 4m 角供試体と呼ぶ。

表－3.1　供試体の種類

No.	名称	概要
1	密粒	13mmTop密粒度混合物
2	排水性	13mmTop排水性混合物（空隙率20%）
3	遮熱性A	No.2混合物に遮熱材料Aを塗布
4	遮熱性B	No.2混合物に遮熱材料Bを塗布
5	遮熱性C	No.2混合物に遮熱材料Cを塗布
6	遮熱性D	No.2混合物に遮熱材料Dを塗布

表－3.2　供試体のサイズ・構造

供試体のサイズ	供試体の構造			備考
30cm角	表層：5cm	基層：5cm	路盤：5cm	2層目までの周囲を断熱材で囲む
4m角	表層：5cm	基層：5cm	路盤：10cm	2層目までの周囲を断熱材で囲む

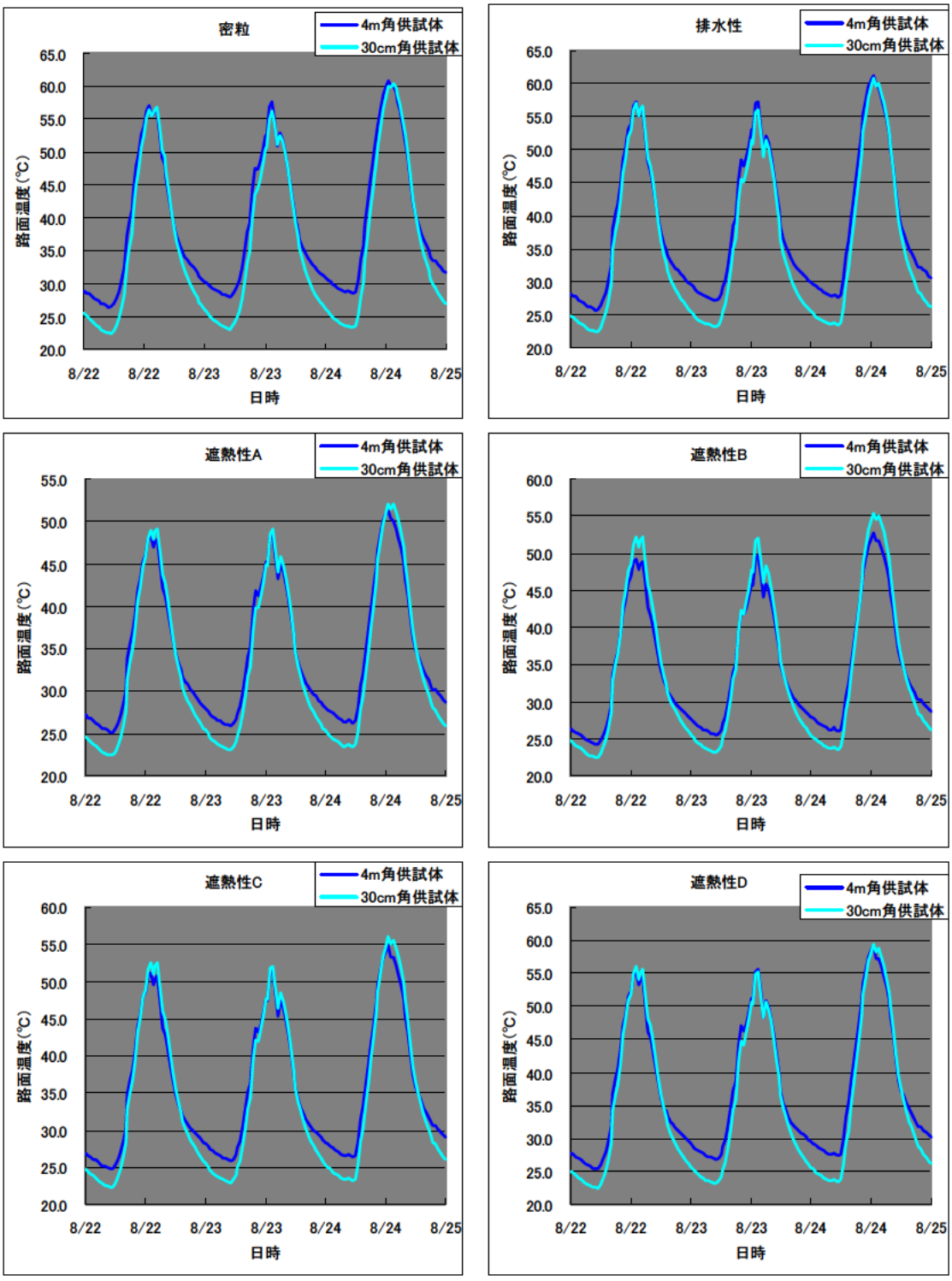
次に、測定内容について表－3.3 を示す。

表－3.3　測定内容

供試体のサイズ	測定日	測定間隔	測定点
30cm角	8月22日～24日	30分毎	1種類につき2供試体で2測点の平均値
4m角			1種類につき1供試体で3測点の平均値

3. 3. 2. 検討結果

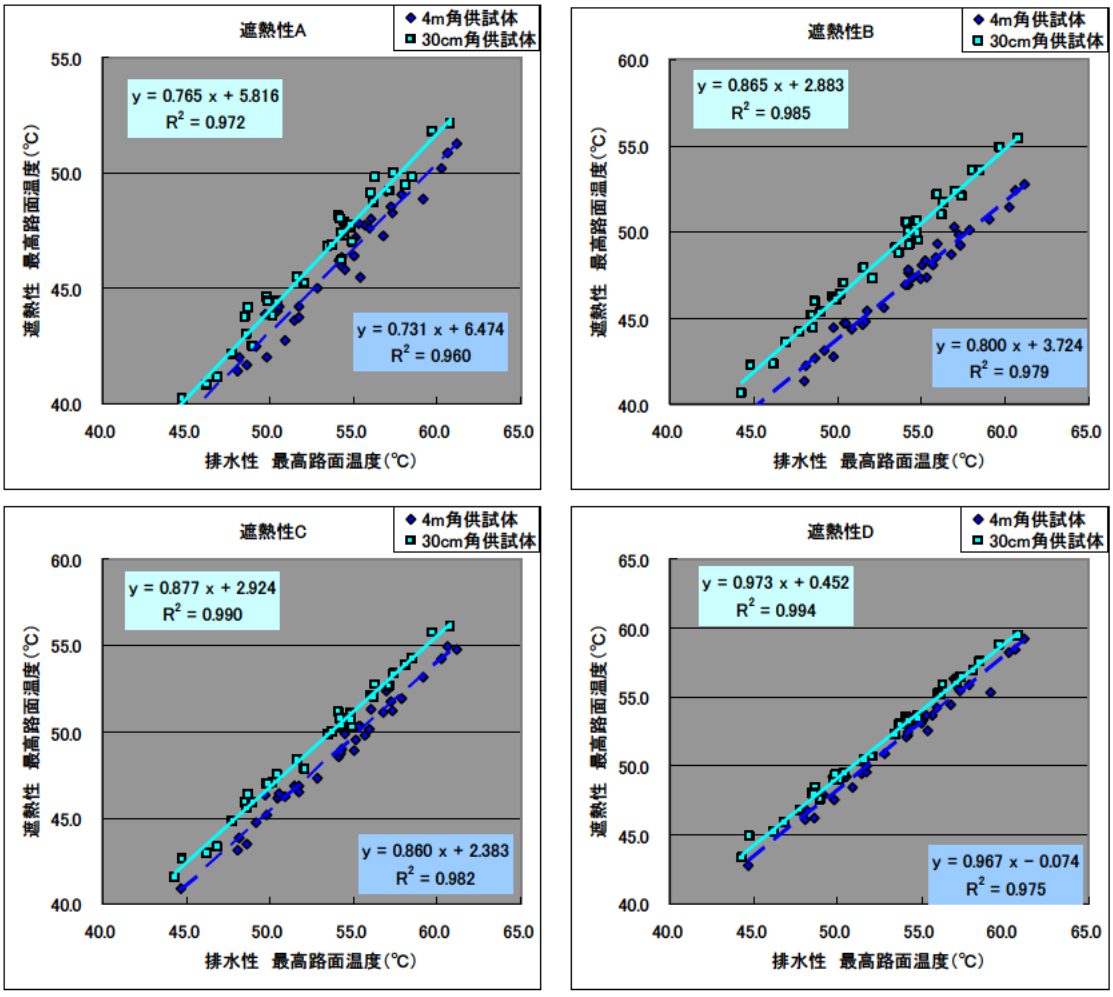
供試体サイズ別の路面温度の経時変化を以下に示す。



図－3.4　路面温度の経時変化（サイズ別）

排水性供試体、遮熱性供試体ともに 40℃以上では供試体の大きさによる温度差は小さく 30℃以下では大きくなっている。このことから、日射による加熱がある場合には、供試体の大きさの影響は小さく、供試体サイズの影響が小さいと判断される。その反対に日射が少ないと 30cm 角供試体では放熱のしやすさの影響が大きくなり温度差が大きくなったと考えられる。以上の結果より、屋外の評価対象を供試体サイズの影響が小さい最高路面温度とした。しかし、最高路面温度においても供試体のサイズの影響が見られる場合もあることから各供試体別の傾向について検証を行った。

6 月 20 日から 9 月 20 日の夏季でかつ排水性と各遮熱性の最高路面温度がともに 40℃以上になった日を抽出し、最高路面温度同士での関係を以下に示した。



図－3.5　比較用供試体（排水性）と遮熱性の関係

4m 角供試体の回帰線は 30cm 角供試体の回帰線より右下にあるが、供試体によって明らかに違いが見られる場合とそうでない場合が存在するため回帰線同士に明確な差があるとは判断できない。そこで、これらの結果に対して t 検定を行い有意差について分析を行った。その結果を表－3.4 に示す。なお、図－3.2 の 2 つの回帰式はほぼ平行であることから比較供試体の路面温度で遮熱性供試体の路面温度を除した値に変換して t 検定を行った。

表－3.4　t 検定結果

遮熱性A		
	30cm角供試体	4m角供試体
平均	85.198	87.554
分散	2.026	1.887
観測数	35	35
プールされた分散	1.956	
仮説平均との差異	0	
自由度	68	
t	**-7.047**	
P(T<=t) 片側	5.829E-10	
t 境界値 片側	1.995	
P(T<=t) 両側	1.166E-09	
t 境界値 両側	**2.292**	

遮熱性B		
	30cm角供試体	4m角供試体
平均	87.001	91.998
分散	1.020	0.969
観測数	35	35
プールされた分散	0.994	
仮説平均との差異	0	
自由度	68	
t	**-20.965**	
P(T<=t) 片側	1.080E-31	
t 境界値 片側	1.995	
P(T<=t) 両側	2.159E-31	
t 境界値 両側	**2.292**	

遮熱性C		
	4m角供試体	30cm角供試体
平均	90.449	93.255
分散	0.883	0.762
観測数	35	35
プールされた分散	0.822	
仮説平均との差異	0	
自由度	68	
t	**-12.946**	
P(T<=t) 片側	2.546E-20	
t 境界値 片側	1.995	
P(T<=t) 両側	5.092E-20	
t 境界値 両側	**2.292**	

遮熱性D		
	4m角供試体	30cm角供試体
平均	96.607	98.208
分散	1.231	0.435
観測数	35	35
仮説平均との差異	0	
自由度	55	
t	**-7.337**	
P(T<=t) 片側	5.297E-10	
t 境界値 片側	2.004	
P(T<=t) 両側	1.059E-09	
t 境界値 両側	**2.304**	

すべての供試体においてｔ値の絶対値（太字）はｔ境界値両側（太字）よりも大きく 5%の水準で有意であり、2 つの回帰線には差が存在すると判断される。

そこで、4m角供試体と 30cm 角供試体の路面温度差を求めた。図－3.2 中に示した回帰式から遮熱性の温度を算出した結果を表－3.5 に示す。

表－3.5　路面温度差

		傾き	切片	比較混合物（排水性）の路面温度（℃）						平均
				40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	
遮熱性A	①4m角供試体	0.731	6.474	35.7	39.4	43.0	46.7	50.3	54.0	0.98
	②30cm角供試体	0.765	5.816	36.4	40.2	44.0	47.9	51.7	55.5	
	①÷②		差	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	
遮熱性B	①4m角供試体	0.800	3.724	35.7	39.7	43.7	47.8	51.8	55.8	0.95
	②30cm角供試体	0.865	2.883	37.5	41.8	46.1	50.5	54.8	59.1	
	①÷②		差	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	
遮熱性C	①4m角供試体	0.860	2.383	36.8	41.1	45.4	49.7	54.0	58.3	0.97
	②30cm角供試体	0.877	2.924	38.0	42.4	46.8	51.1	55.5	59.9	
	①÷②		差	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	
遮熱性D	①4m角供試体	0.967	-0.074	38.6	43.5	48.3	53.1	58.0	62.8	0.98
	②30cm角供試体	0.973	0.452	39.4	44.3	49.1	54.0	58.9	63.7	
	①÷②		差	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	

排水性舗装の路面温度が 40℃から 65℃の範囲では 30cm 角供試体を 0.97～0.98 倍することで 4m角供試体の路面温度に対応するといえる。（遮熱性舗装 B のみ 0.95）

３．４．測定地域の影響について

路面温度を測定する際に測定箇所の違いが路面温度に影響するのではと考えられる。そこで屋外試験において測定箇所に対する路面温度の違いについて検討を行った。

3．4．1．検討内容

検討に用いた供試体の種類および測定地域を表－3.6、3.7 に示す。

表－3.6　供試体の種類

No.	名称	概要
1	密粒	13mmTop密粒度混合物
2	排水性	13mmTop排水性混合物（空隙率20%）
3	遮熱性B	No.2混合物に遮熱材料Bを塗布

表－3.7　測定地域

測定地域	住所	緯度・経度
土木研究所	茨城県つくば市	北緯36度06分、東経140度04分
日本道路㈱技術研究所	東京都大田区	北緯35度33分、東経139度42分

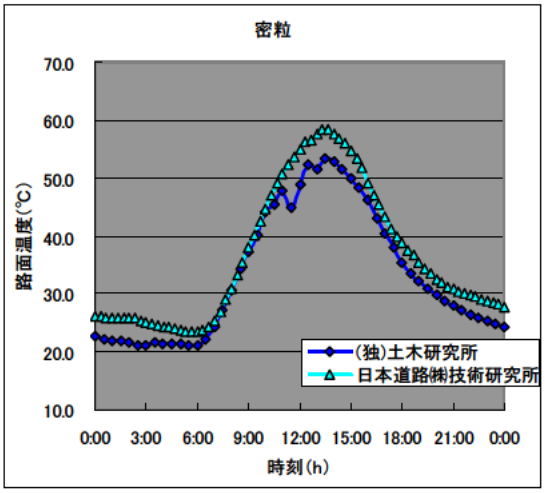
次に、測定内容について表－3.8 を示す。

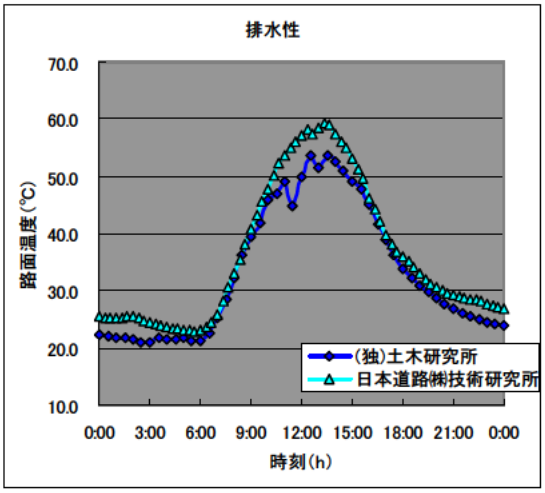
表－3.8　測定内容

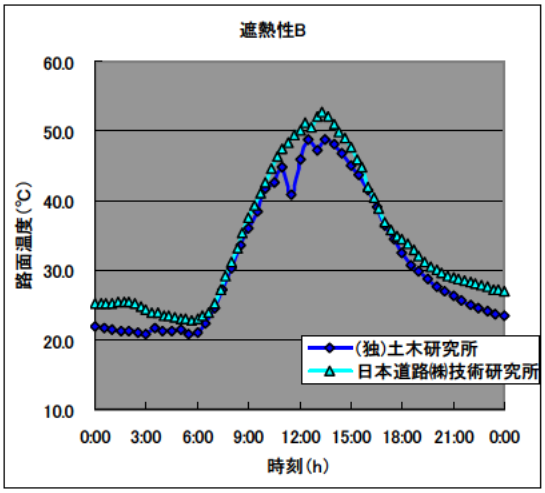
供試体のサイズ	30cm角供試体
供試体の構造	表層・基層・路盤：各5cmの3層
測定日	9月16日～10月1日
測定間隔	土研：30分毎、日道：20分毎
測定点	1種類につき1供試体で1測点の値
備考	2層目まで側面を断熱材で囲む

3．4．2．検討結果

測定期間中に最も路面温度が上昇した 9 月 17 日の結果を以下に示す



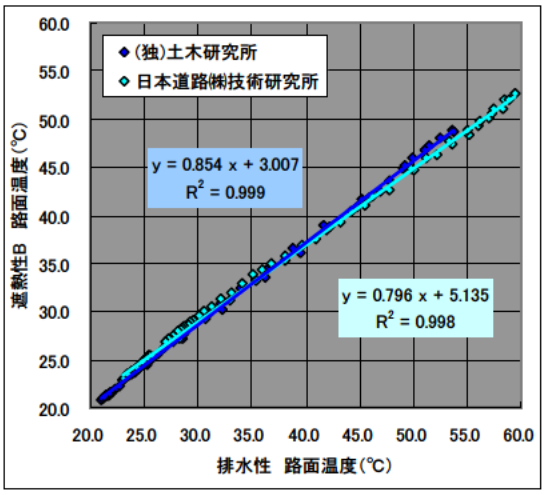




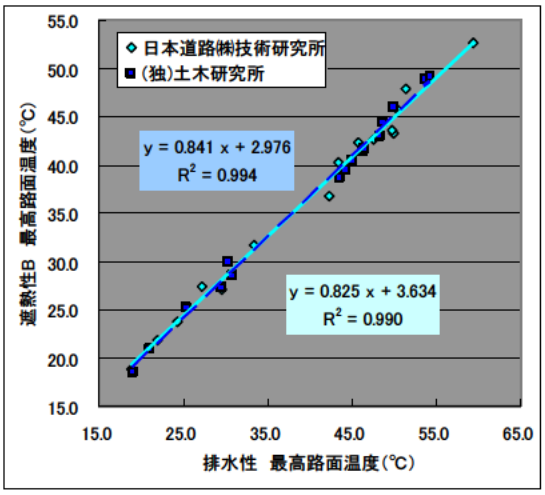
図－3.6　各供試体の 9 月 17 日の路面温度

すべての供試体で測定地域による路面温度の違いが見られ、土木研究所の路面温度の方が日本道路㈱技術研究所よりも低い結果となった。

次に、比較舗装である排水性と遮熱性 B の関係を以下に示す。



全路面温度（9 月 17 日）



最高路面温度（測定期間中）

図－3.7　比較用供試体（排水性）と遮熱性 B の関係

排水性との関係では路面温度、最高路面温度ともに測定地域に関係なくほぼ同一の回帰線を得ることが分かった。

３．５．車の走行による日射量の低減について

実道の路面温度は車の走行によって日射が遮られることから路面温度が上がらないのではと考えられる。

そこで、昼間の交通量と走行速度から遮られる日射量を算出し、その遮られた日射量をもとに路面温度の上昇傾向について検討を行った。

3. 5. 1. 計算条件

遮られる日射量を求めるための条件を以下に示す。この条件を元に遮られる日射量を算出し検討を行った。

表－3.9　計算条件

大型車混入率	40%
大型車の全長	12m
普通車の全長	4.7m
車間	5m

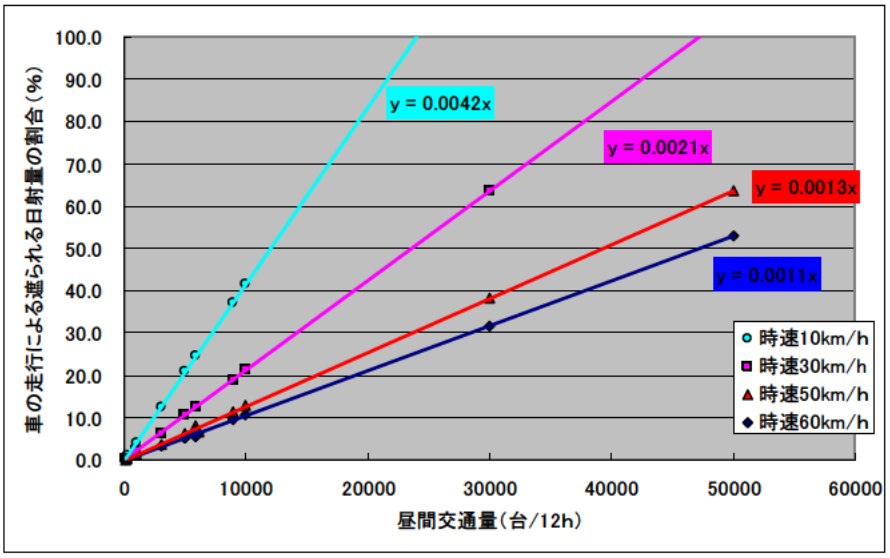
3. 5. 2. 計算結果

走行速度毎の１時間当りの遮られる日射量の割合を求めた結果を以下に示す。

表－3.10　走行速度別の１時間あたりの遮られる日射量の割合

昼間交通量	1時間当りの交通量	大型車混入率	普通車混入率	大型車延長	普通車延長	車間	10km/hで走行した時の1時間当たりに遮られる日射量の割合	30km/hで走行した時の1時間当たりに遮られる日射量の割合	50km/hで走行した時の2時間当たりに遮られる日射量の割合	60km/hで走行した時の2時間当たりに遮られる日射量の割合
台/12h	台/h	%	%	m	m	m	%	%	%	%
100	8	40	60	12	4.7	5	0.4	0.2	0.1	0.1
250	21	40	60	12	4.7	5	1.1	0.5	0.3	0.3
1000	83	40	60	12	4.7	5	4.2	2.1	1.3	1.1
3000	250	40	60	12	4.7	5	12.5	6.4	3.8	3.2
5000	417	40	60	12	4.7	5	20.9	10.6	6.4	5.3
5933	494	40	60	12	4.7	5	24.7	12.5	7.5	6.3
8932	744	40	60	12	4.7	5	37.2	18.9	11.3	9.4
10000	833	40	60	12	4.7	5	41.7	21.2	12.7	10.6
30000	2500	40	60	12	4.7	5	125.0	63.5	38.1	31.8
50000	4167	40	60	12	4.7	5	208.4	105.8	63.5	52.9

この結果をグラフにすると以下の様になる。



図－3.8　昼間交通量と遮られる日射量の割合の関係（走行速度別）

平成 11 年度の道路交通センサスによると平日昼間（12h）の交通量の全国平均は 5933 台であった。この交通量で走行速度を 30km/h としたときに遮られる日射量は 12.5%、時速 50km/h では 7.5%であった。また、関東全域の昼間の平均交通量は 8932 台でこの場合においては時速 30km/h としたときで 18.9%、50km/h としたときで 11.3%となった。日射の遮りが無い状態で路面温度が 40℃上昇する舗装の場合、日射が 10%遮られたとすると単純計算で 4℃上昇しないことになる。交通量の増大、走行速度の低下によっては遮る日射量はさらに増大することからより路面温度が上昇しにくくなると考えられる。

３．６．まとめ

これまでの結果から以下の事がまとめられる。

- 比較舗装は、内部の構造が近似した舗装を比較舗装とするのが適当である。
- 供試体のサイズの影響は日射の無いときに違いが大きく、日射のある時小さい事から最高路面温度を対象とするのが適当と考えられる。また、最高路面温度の違いは 30cm 角供試体の路面温度を 0.97 程度乗ずることで 4m 角供試体の路面温度になることがわかった。
- 測定地域の影響は、個々の供試体で比較すると存在するが、比較供試体との関係ではほぼ同一の回帰線になる。
- 車の走行による遮られる日射量は全国平均で 1 割程度、関東全域で 2 割以内であることがわかった。

第４章　室内試験による路面温度低減効果の評価方法

４．１．　はじめに

前章にて屋外試験結果に関する検討を行った。本章からはそれらの結果を踏まえて屋外の路面温度を予測するための評価方法の検討を行った。評価方法には室内試験の路面温度を用いて予測する方法と夏季以外の屋外試験の路面温度から予測する 2 つの方法が考えられる。

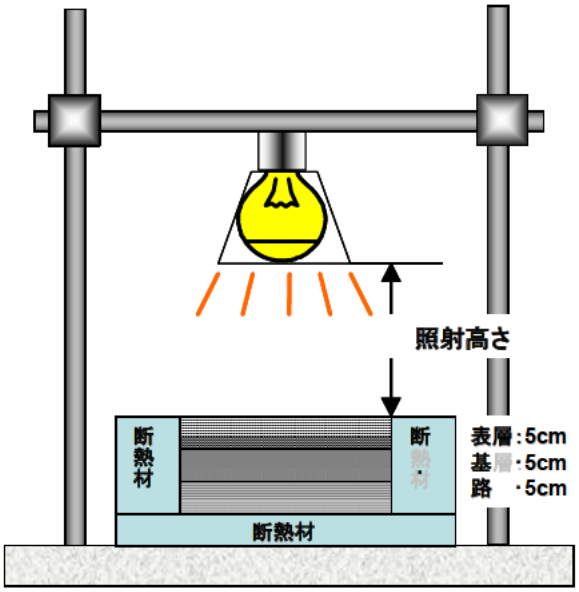
本章では、室内試験による路面温度低減効果の評価方法について遮熱性舗装および保水性舗装を対象に検討を行った。

４．２．室内試験装置

検討を行う前に本研究で用いた室内試験装置について説明する。

室内試験装置はランプを供試体の上空に垂直に光が照射される用に骨組み等を用いて設置したものである。（図－4.1、写真－4.1）

照射高さは照明に取付けたフードの底面から供試体表面までの距離とした。供試体は 30cm 角供試体で 3 層構造（各層 5cm）とし表面以外を断熱材で覆ったものとした。熱電対の測定方法および測定位置は第 2 章　2.2.1.と同一とした。



図－4.1　室内試験概要図



写真－4.1　室内試験状況

４．３．遮熱性および明色性舗装に関する評価方法

4. 3. 1. 表層の混合物

供試体の表層の混合物を以下に示す。No.2～6 の母体アスコンは 13mmTop 排水性混合物であり、その表面に遮熱材料または明色材料を塗布したものである。

表－4.1　表層に使用した混合物

No.	名称	概要
1	排水性	13mmTop排水性混合物（空隙率20%）
2	遮熱性A	No.1混合物に遮熱材料Aを塗布
3	遮熱性B	No.1混合物に遮熱材料Bを塗布
4	遮熱性C	No.1混合物に遮熱材料Cを塗布
5	遮熱性D	No.1混合物に遮熱材料Dを塗布
6	明色性G	No.1混合物に明色材料Gを塗布

4. 3. 2. 試験条件に関する検討

４．２．で試験装置について説明を行ったが試験条件については検討を行っていない。そこで、本項において試験条件に関して検討を行った。

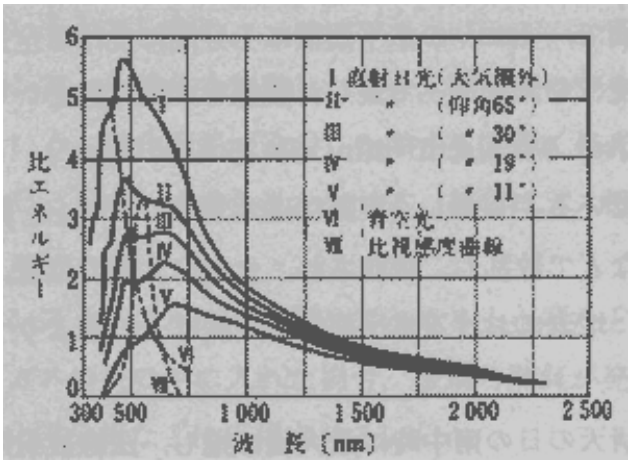
具体的には、①評価用ランプ、②室内温度、③供試体の構造、④試験（照射）時間の 4 項目について検討を行った。

①評価用ランプの選定について

室内試験方法にあたり、最も重要な要因は使用するランプであると考えられる。特に遮熱性舗装に関しては、赤外線領域の光を反射する事で路面温度の上昇を抑制するものであることから使用するランプによって路面温度の傾向が異なることが予測される。

太陽光の分光分布は赤から青紫まで光のエネルギーが連続しており、500nm 前後の比エネルギーが最も高く（図－4.2 参照)、朝日から日中、夕日で分光分布が変化することが知られている。一般に市販されているランプの中には可視領域の範囲で日中の太陽光に近似したランプはあるが、屋外の状態をすべて再現するランプは存在しない。

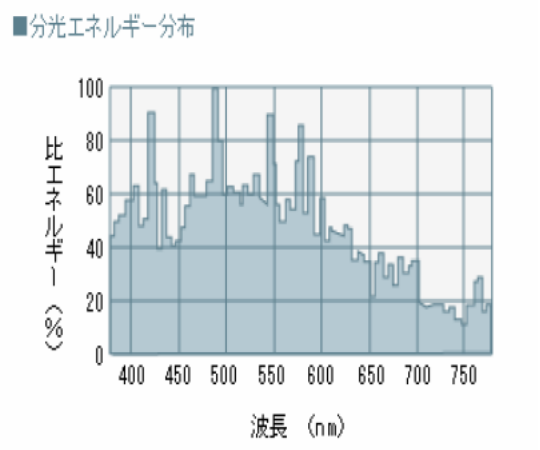
そこで、本項では評価用のランプの選定について検討を行った。検討に用いたランプは照射する波長が大きく異なる 2 種類のランプとした。主な特徴を表－4.2、分光分布を図－4.3 に示す。

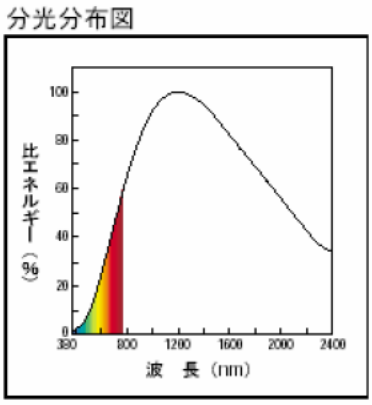


図－4.2　太陽光の分光分布

表－4.2　ランプの特徴

商品名	製造会社	消費電力（W）	個数（個）	照射波長特性
アイクリーンエース	岩崎電気(株)	400	1	500nm前後の比エネルギー(%)が高い 可視領域の波長が太陽光に近似している
赤外線家畜用電球	(株)東芝ライテック	150	4	1200nm前後の比エネルギーが(%)高い 赤外線領域の波長を多く照射





アイクリーンエース　　赤外線家畜用電球

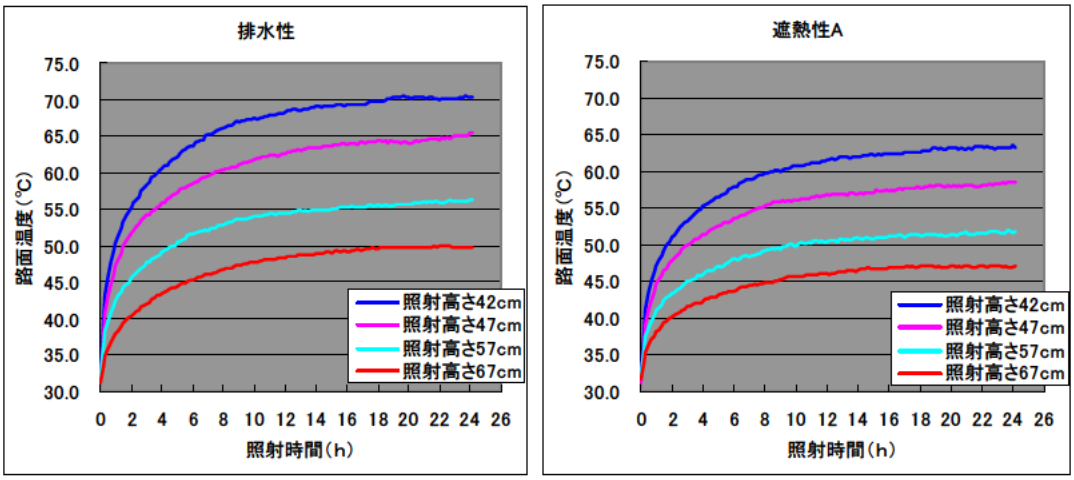
図－4.3　ランプの分光分布図

・照射高さの影響

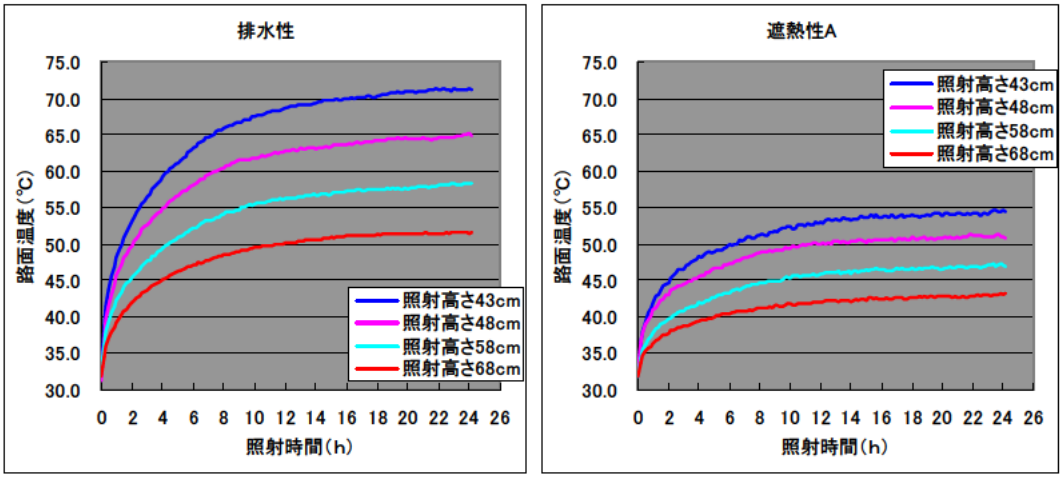
ランプの照射高さを変えると、照度・光度が変わるため路面温度の傾向が異なると考えられる。

そこで、照射高さを変えて路面温度を測定し供試体別の傾向について検討を行った。表－4.1 で示した供試体の中から排水性（比較舗装）と遮熱性 A を対象として検討を行った。

以下に、照射高さ毎の路面温度の測定結果を示す。なお、室内温度は理科年表の結果を元に東京の夏季の気温を想定した 30℃として試験を行った。



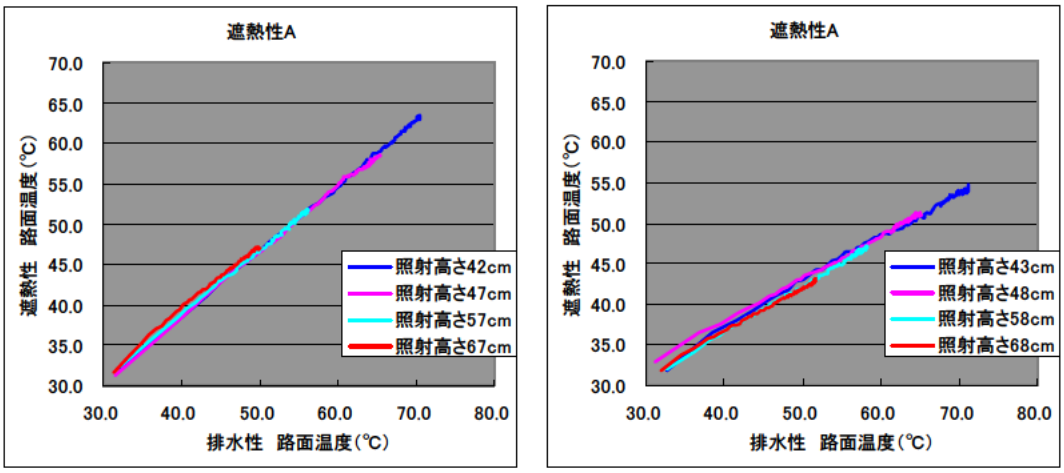
図－4.4　照射高さ別の路面温度（アイクリーンエース）



図－4.5　照射高さ別の路面温度（赤外線家畜用電球）

排水性、遮熱性 A ともに照射高さを近づけると路面温度が上昇する。また経時変化は両者に大きな違いが見られずランプの違いによる傾向の差も見られない。

次に、排水性を X 軸、遮熱性 A を Y 軸とした相関図を示す。



図－4.6　照射高さ別の路面温度の相関図

排水性と遮熱性 A の相関図は照射高さを変えても一本の直線上にプロットされることがわかった。なお、他の遮熱性供試体、明色性供試体についても同様な結果を得た。

以上より、1 回の試験から排水性と各遮熱性の関係を導くことは可能と考えられる。しかし、1 回の試験では測定ミスを防ぐことが出来ないことから、測定ミスを防ぎより正確な結果を得るために試験回数を 3 回以上とし、かつ照射高さを変えて試験を行うことが必要と考えられる。

・各ランプの試験結果と屋外試験結果の比較

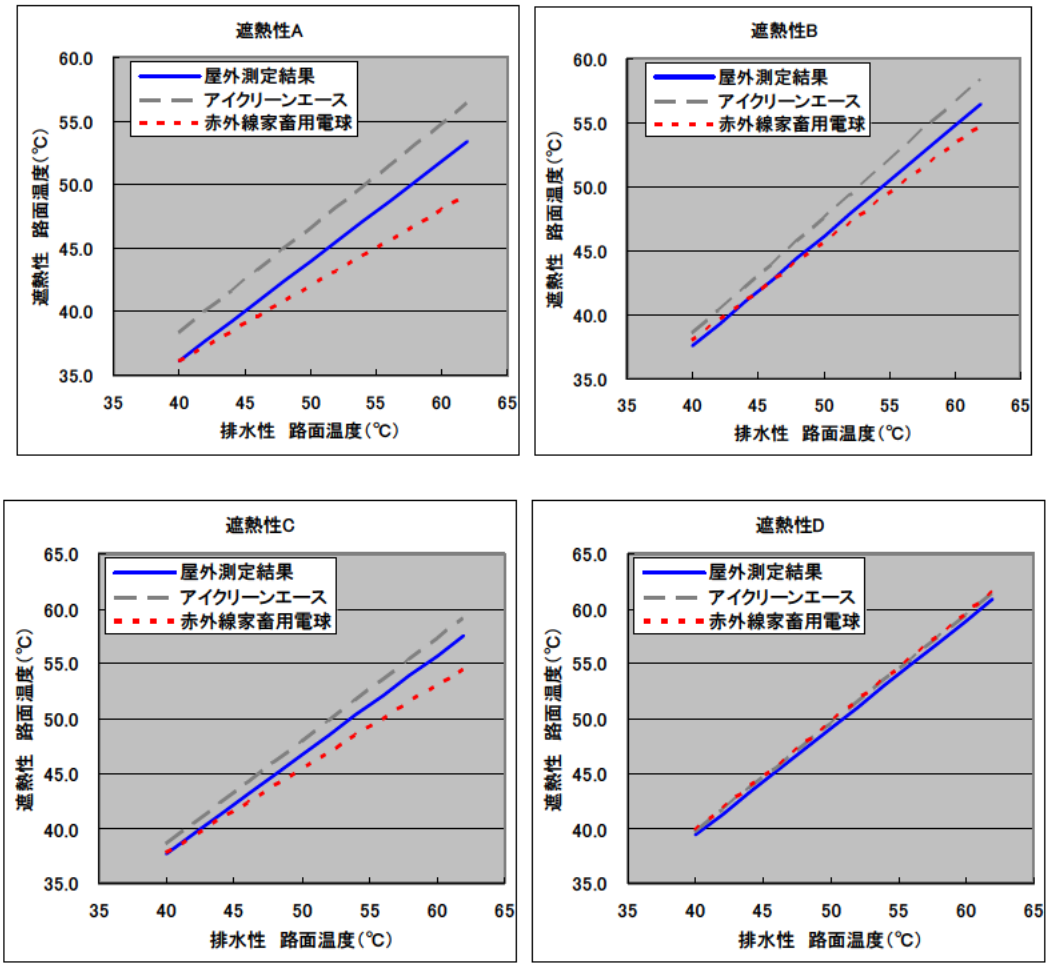
上記の傾向を踏まえて各ランプの試験結果と屋外試験結果の比較を行った。

屋外の結果は第 3 章の検討より最高路面温度を用いることとした。また、室内の結果は高さ別の平衡温度（照射 24 時間後）の路面温度を使用することとした。それぞれの結果から排水性に対する回帰式を求めた。以下に、求めた回帰式の結果と遮熱性毎の回帰式の関係を示す。

表－4.3　傾きと切片

		傾き	切片
遮熱性A	屋外測定結果	0.783	4.849
	アイクリーンエース	0.818	5.676
	赤外線家畜用電球	0.595	12.263
遮熱性B	屋外測定結果	0.863	2.999
	アイクリーンエース	0.901	2.482
	赤外線家畜用電球	0.765	7.378
遮熱性C	屋外測定結果	0.901	1.632
	アイクリーンエース	0.929	1.508
	赤外線家畜用電球	0.760	7.426
遮熱性D	屋外測定結果	0.975	0.389
	アイクリーンエース	0.985	0.301
	赤外線家畜用電球	0.985	0.424

これらの回帰式を図に示すと以下の様になる。



図－4.7　屋外と各ランプの関係

屋外の測定結果と比べるとアイクリーンエースの場合、切片は異なるものの傾きはすべての供試体でほぼ同程度であった。しかし、赤外線家畜用電球については路面温度の低減効果が高い供試体ほど屋外との傾きは異なる結果となった。以上より切片は異なるものの傾きがほぼ等しいアイクリーンエースを評価用ランプとするのが妥当と考えられる。

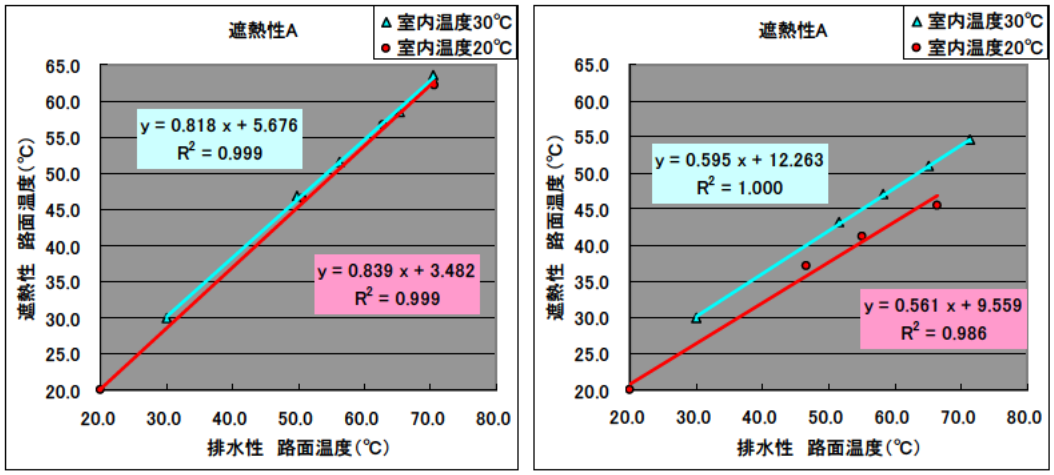
②室内温度が与える影響

①の検討では理科年表のデータをもとに室内温度を 30℃にて試験を行った。しかし、室内温度が変われば路面温度の傾向が変わる可能性が考えられることから室内温度について検討を行う必要がある。

室内温度は夏季の気温を考慮して 20℃と 30℃の 2 種類に対して検討を行った。

供試体は①の検討と同様に排水性と遮熱性 A とし、室内の結果は高さ別の平衡温度（照射 24 時間後）の路面温度を対象としてランプはこれまでの 2 種類とした。

室内温度別の排水性と遮熱性の路面温度の相関図を以下に示す。



アイクリーンエース　　赤外線家畜用電球

図－4.8　試験温度の違い

アイクリーンエースでは　室内温度によって得られる回帰線に大きな違いは見られないが、赤外線家畜用電球では、室内温度が異なると回帰線が異なる結果となった。これは、室内温度を 20℃にすることで排水性の路面温度を 60℃にするためランプを近づけることとなった。その為、赤外線の反射効果の高い遮熱性 A ではより赤外線を多く反射し路面温度が抑制されたため回帰線が変わったものと考えられる。

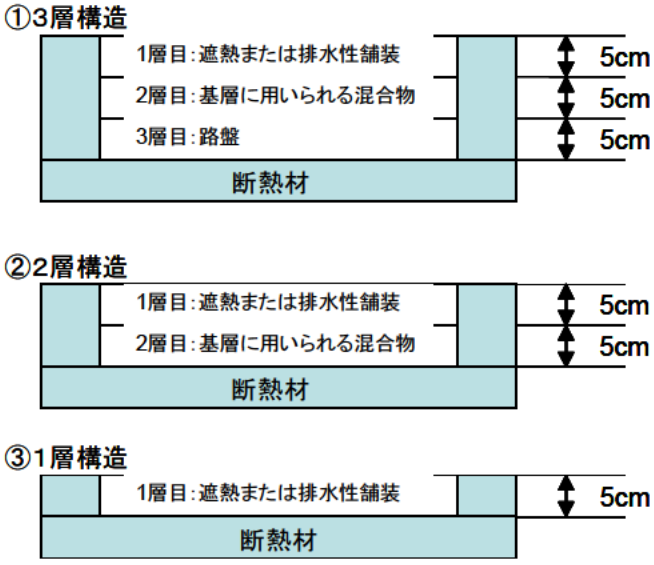
以上の結果より、評価用ランプとしたアイクリーンエースでは室内温度に関係無く同程度の回帰線を示すことが分かった。

③供試体の構造が与える影響

室内試験では供試体の構造によって熱容量および熱の伝導に違いあると考えられる事から路面温度に違いが見られるものと予測される。供試体の構造を薄くすることは試験の簡便化につながることから供試体の構造について検討を行った。

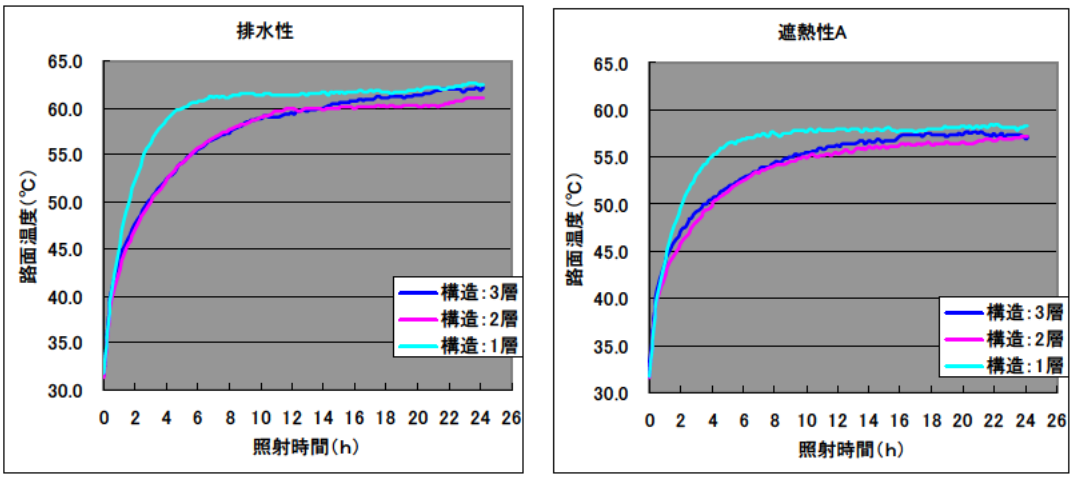
以下に供試体の構造を示す。

供試体は、排水性・遮熱性 A の 2 種を対象とし、試験温度は 30℃、ランプはこれまでの 2 種として試験を行った。また、評価温度は照射高さ別の平衡温度（照射 24 時間後）の路面温度とした。

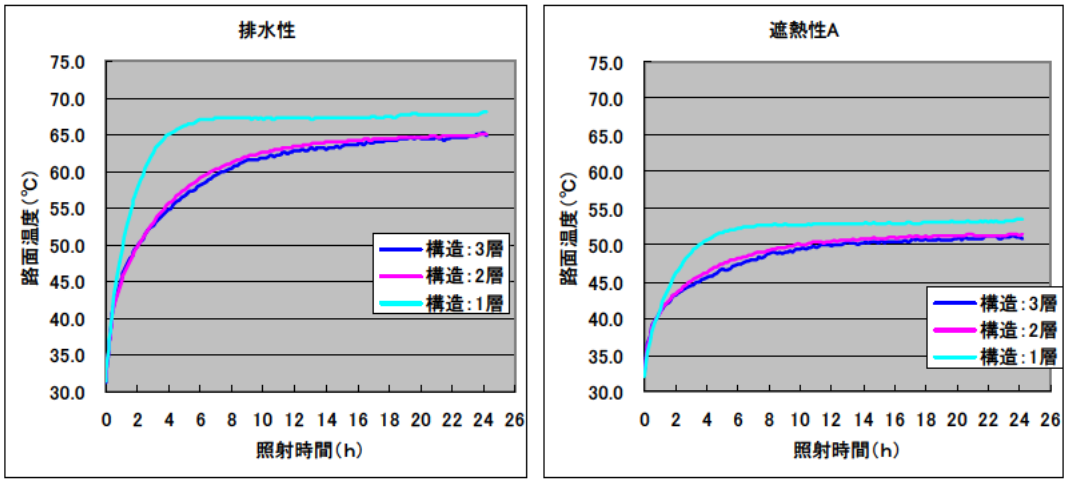


図－4.9　供試体の構造

構造別の路面温度の関係を以下に示す。



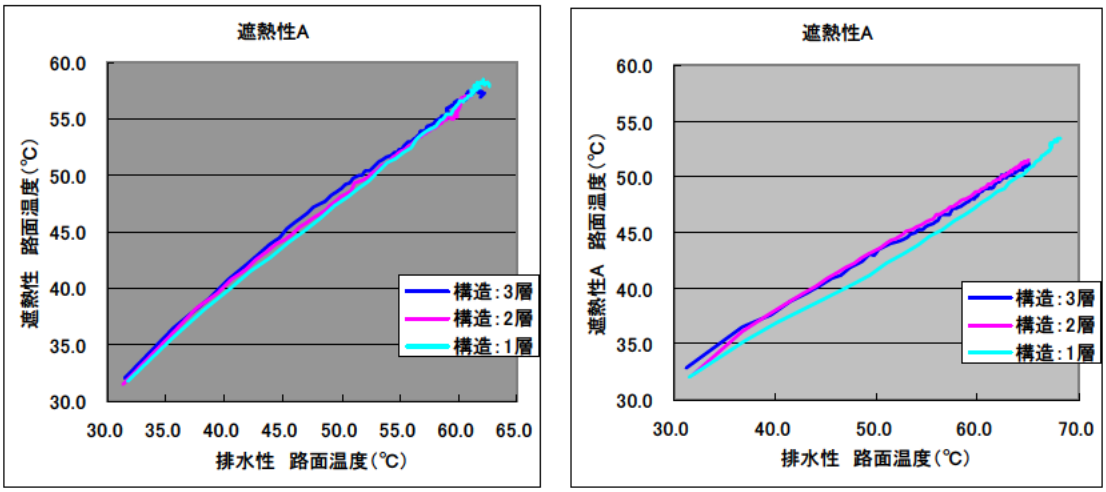
図－4.10　構造別の路面温度の経時変化（アイクリーンエース）



図－4.11　構造別の路面温度の経時変化（赤外線家畜用電球）

2 層構造と 3 層構造には路面温度の経過に大きな違いは見られないが、1 層構造はそれらと比べて路面温度の変化の傾向が大きく異なる結果を得た。これは、1 層構造は熱伝導が無く供試体に蓄熱されやすく路面温度が急激に上昇したためと考えられる。

次に、排水性を X 軸とした相関図で示すと以下の様になる。



アイクリーンエース　　赤外線家畜用電球

図－4.12　排水性との関係

アイクリーンエースでは構造に関係なくの一本の直線になることが分かった。ちなみに赤外線家畜用電球で行った場合は、一層構造が湾曲する結果となった。これは、ランプから照射される赤外線によって急激に路面温度が上昇する排水性と赤外線を反射し路面温度の上昇を抑制する遮熱性 A の路面温度の上昇速度がずれたためにこのような結果になったものと考えられる。それに対して、アイクリーンエースは赤外領域の照射が赤外線家畜用電球に比べ少なく上昇速度にずれが生じなかった為一本の直線になったと考えられる。

本研究では評価用ランプをアイクリーンエースとしたが、ランプによっては赤外線家畜用電球のような路面温度の傾向になる可能性があることから 1 層で行うよりも 2 層ないし 3

層構造にて試験を行う事が望ましいと考えられる。

④試験（照射）時間の影響について

室内試験では精度を確保しながら試験時間を短くするのが望ましいと考えられる。そこで、試験時間の短縮について検討を行った。

試験（照射）時間は 2、4、8、24 時間の 4 パターンを対象とした。

表－4.1 の遮熱性供試体 4 種の結果を用いて、ランプはアイクリーンエース、試験温度を 30℃、供試体の構造を 3 層構造での室内試験を行った。

比較方法は以下の方法で行った。

・屋外と室内のそれぞれの結果に対して、排水性（比較舗装）に対する回帰式を求める。
・屋外、室内それぞれについて排水性の路面温度が 60℃の時の路面温度を算出する。
・算出した結果を用いて室内試験の結果から屋外の路面温度を予測する回帰分析を行う。
・回帰分析結果の標準偏差と 95%信頼区間から得られる最大の路面温度の幅をそれぞれ縦軸とし横軸を試験（照射）時間として検討を行う。

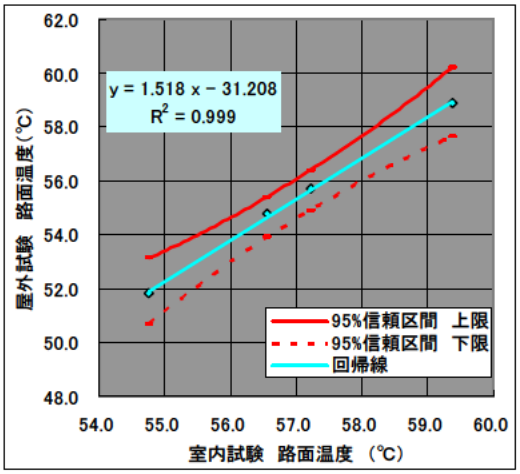
・試験結果および検討結果

排水性が 60℃の時の試験（照射）時間 2、4、8、24 時間別の室内試験結果と屋外測定結果を示す。

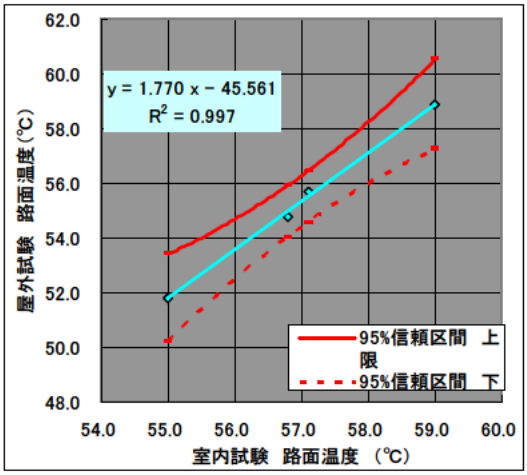
表－4.4　照射時間別の室内試験結果と屋外試験結果（排水性：60℃の場合）

	屋外	照射時間(h)			
	Y	2	4	8	24
遮熱性A	51.8	55.0	54.9	55.0	54.8
遮熱性B	54.8	56.9	56.6	56.8	56.6
遮熱性C	55.7	56.4	56.7	57.1	57.2
遮熱性D	58.9	58.3	58.7	59.0	59.4

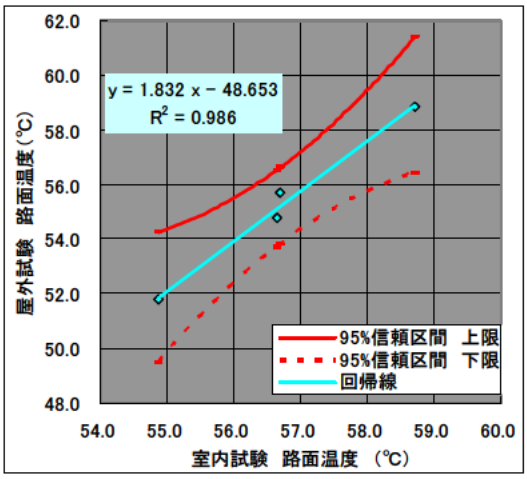
室内と屋外の関係は以下のようになる。

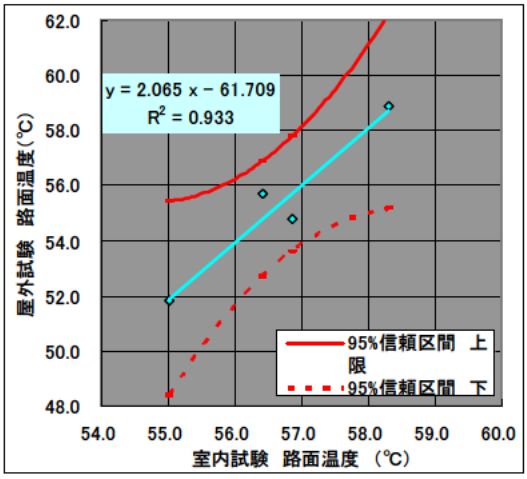


照射時間：24 時間



照射時間：8 時間





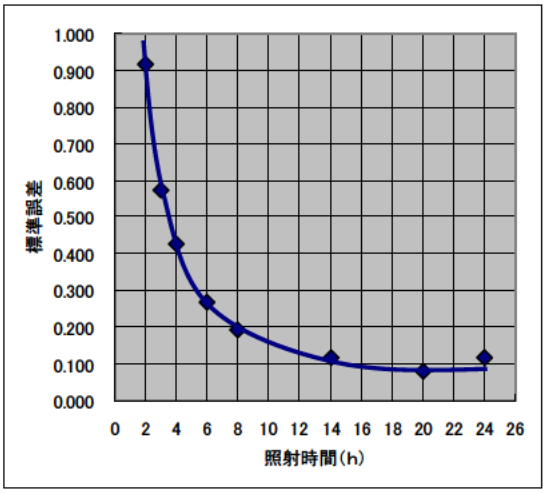
照射時間：4 時間　　照射時間：2 時間

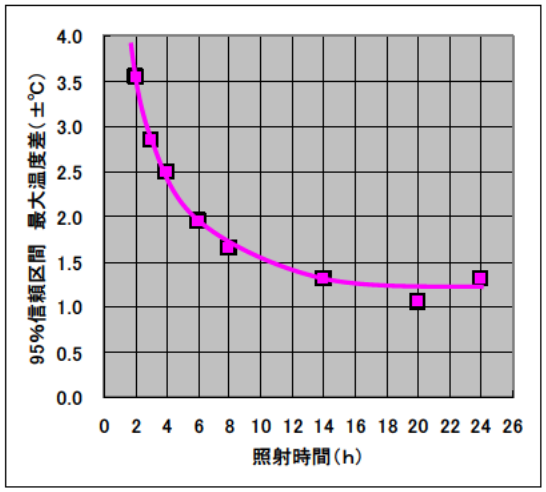
図－4.13　室内試験結果と屋外試験結果の関係

これらの結果から、回帰値に対する 95%信頼区間の温度差（最大）と標準誤差を算出しまとめると以下の様になる。

表－4.5　照射時間別の温度差（最大）と標準誤差

照射時間 (h)	温度差 (±℃)	標準誤差
24	1.3	0.116
20	1.1	0.081
14	1.3	0.116
8	1.7	0.191
6	2.0	0.269
4	2.5	0.426
3	2.9	0.572
2	3.6	0.917





標準誤差と照射時間の関係　　温度差と照射時間の関係

図－4.14　照射時間に対する関係

図－4.14 より照射時間が長くなるほど標準誤差は減少し、温度差も小さくなること結果となった。8 時間程度まではこれらの値は小さいが、2 時間、4 時間ではこれらの値は大きくなる結果となった。これは、24 時間ではすべての供試体が平衡温度になり供試体間での温度差が明確であるのに対し、2 時間、4 時間では路面温度が平衡状態ではなく供試体間の路面温度さが明確でない為、その結果、回帰性が失われこのような結果になったものと考えられる。

以上より、照射時間は 8 時間程度であれば短縮しても結果に大きな違いが見られず短縮可能と判断される。

以上、4 つの検討より試験条件を以下の様にした。

・試験は照射高さを変え、3 回以上行うものとする。
・評価用ランプはアイクリーンエースとする。
・供試体の構造は 3 層とする。(2 層でも可)
・試験温度は 30℃とする。(アイクリーンエースを使用する場合 20℃でも可)
・試験（照射）8 時間後の結果を用いて予測式の評価を行う。

4. 3. 3. 試験結果および予測式の導入

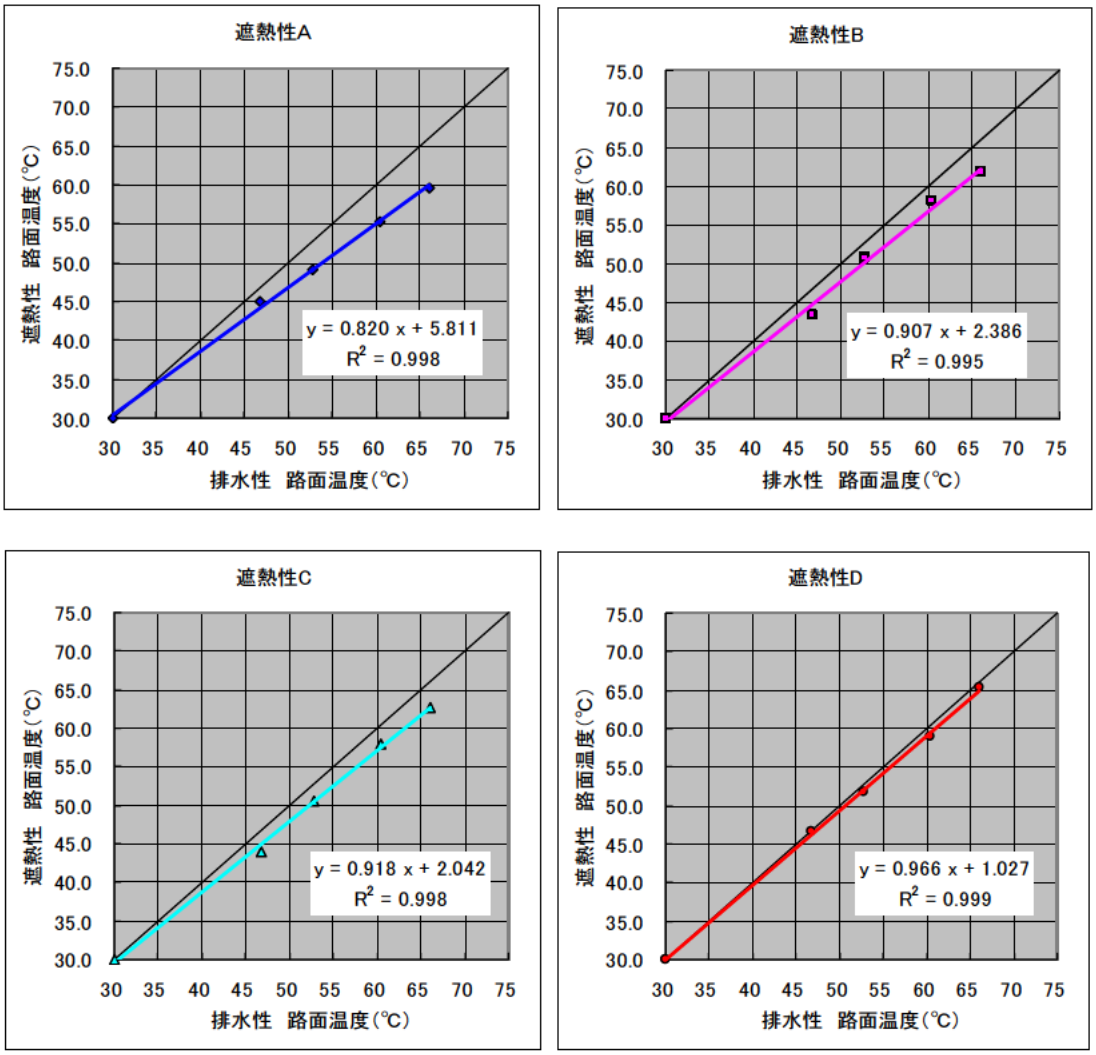
①室内試験結果

試験（照射）８時間後の室内試験結果を以下に示す。

表－4.6　試験（照射）８時間後の室内試験結果

	排水性	遮熱性A	遮熱性B	遮熱性C	遮熱性D	明色性G
	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
42cm	66.0	59.7	61.8	62.7	65.3	62.9
47cm	60.4	55.2	58.1	58.0	58.9	57.6
57cm	52.9	49.2	50.8	50.6	51.8	51.0
67cm	46.7	44.9	43.4	44.0	46.6	44.5

この結果について排水性と各供試体の関係を求めると以下のようになる。



図－4.15　比較供試体との関係

回帰式から排水性の路面温度が 60℃の時の路面温度を算出した結果を以下に示す。

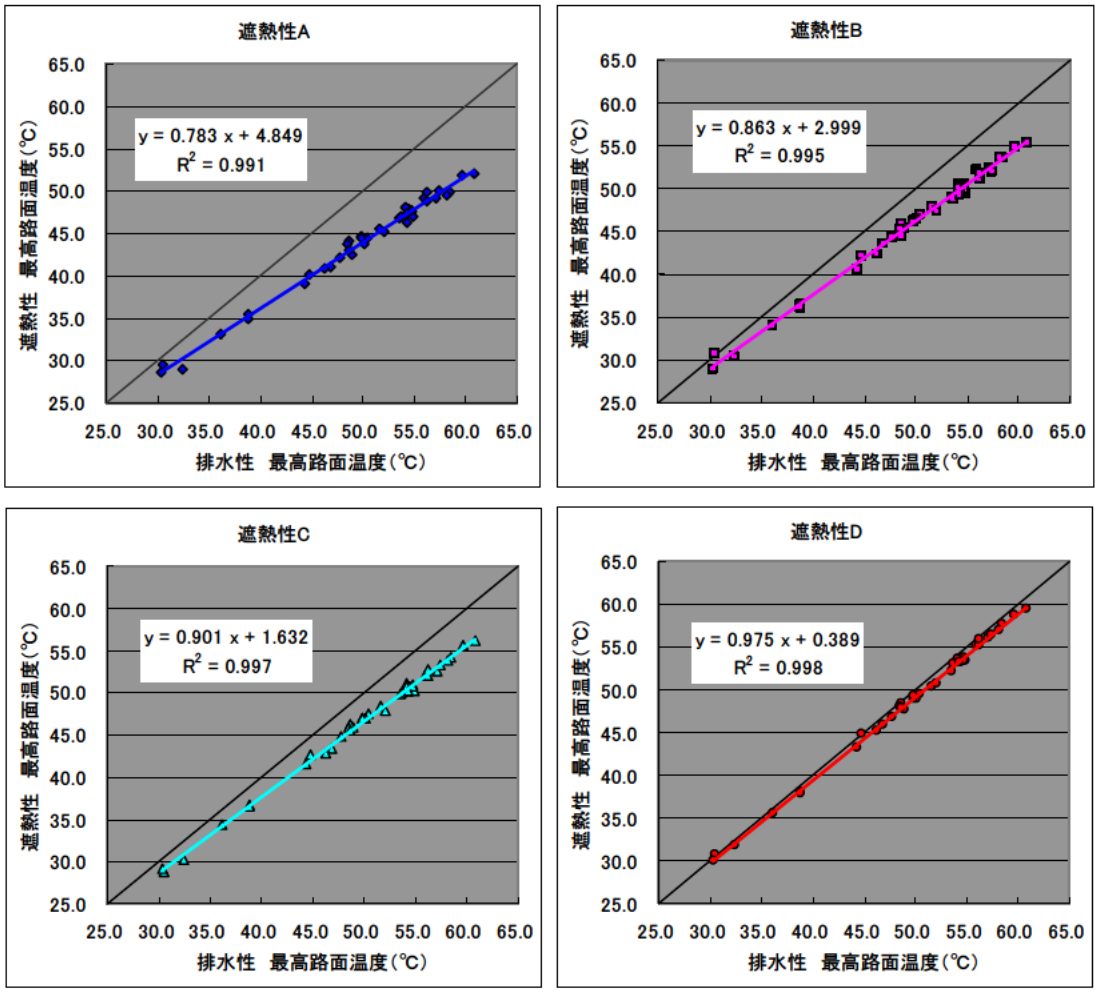
表－4.7　回帰式からの算出結果

	回帰式		排水性の路面温度が
	傾き	切片	60℃の時の路面温度
遮熱性A	0.820	5.811	55.0
遮熱性B	0.907	2.386	56.8
遮熱性C	0.918	2.042	57.1
遮熱性D	0.966	1.027	59.0
明色性G	0.915	2.314	57.2

②屋外試験結果

平成 15 年度の夏季は 2 章の結果から 6 月下旬、8 月上旬、8 月下旬～9 月中旬とした。

屋外の測定結果の排水性と各遮熱性の関係と排水性が 60℃の時の路面温度を以下に示す。



図－4.16　比較供試体との関係（屋外：夏季）

室内試験の結果と同様に排水性の路面温度が 60℃のときの各供試体の路面温度を求めると以下のようになる。

表－4.8　回帰式からの算出結果

	回帰式		排水性の路面温度が60℃の時の路面温度
	傾き	切片	
遮熱性A	0.783	4.849	51.8
遮熱性B	0.863	2.999	54.8
遮熱性C	0.901	1.632	55.7
遮熱性D	0.975	0.389	58.9

③明色性 G の夏季の路面温度の予測

第 2 章　2．3．1にて明色性供試体の屋外での路面温度測定結果を示した。明色性供試体の試験は 9 月 20 日から実施しており夏季の路面温度が測定されていない。そこで、以下の方法で夏季の明色性供試体の路面温度を予測した。

Ⅰ：9 月 20 日～10 月 20 日の結果から排水性が 45℃の時の各遮熱性の路面温度を求める

↓

Ⅱ：9 月 20 日～10 月 20 日の結果から排水性が 45℃の時の明色性 G の路面温度を求める

↓

Ⅲ：夏季の結果から排水性が 45℃の時の各遮熱性の路面温度を求める

↓

Ⅳ：夏季の結果から排水性が 60℃の時の各遮熱性の路面温度を求める

↓

Ⅴ：ⅠとⅢの回帰式にⅡの結果を代入し明色性 G の路面温度を求める

↓

Ⅵ：ⅢとⅣの回帰式にⅤの結果を代入し明色性 G の路面温度を求める

図－4.17　夏季の明色性 G の路面温度予測フロー

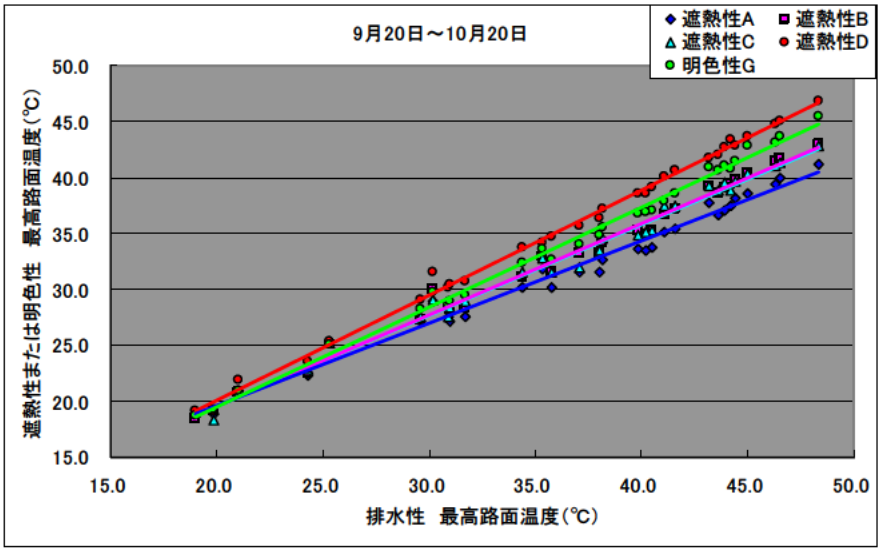
・ⅠおよびⅡの結果

9 月 20 日～10 月 20 日までの最高路面温度を以下に示す。

表－4.8　最高路面温度

	排水性	遮熱性A	遮熱性B	遮熱性C	遮熱性D	明色性G
9月20日	25.3	25.3	25.1	25.2	25.3	25.1
9月21日	19.0	18.8	18.5	19.0	19.1	18.7
9月22日	30.9	27.5	28.5	27.6	30.2	28.6
9月23日	44.2	37.4	39.4	38.8	43.4	40.8
9月24日	29.6	27.1	27.3	27.6	29.0	28.2
9月25日	21.0	20.9	20.8	20.9	21.9	20.9
9月26日	30.2	28.9	30.0	29.1	31.6	29.8
9月27日	46.3	39.4	41.4	41.1	44.8	43.1
9月28日	46.5	39.9	41.7	41.3	45.1	43.6
9月29日	48.3	41.2	43.0	42.9	46.8	45.4
9月30日	45.0	38.6	40.4	40.3	43.7	42.9
10月1日	43.6	36.6	38.6	38.9	42.0	40.6
10月2日	43.2	37.7	39.2	39.3	41.8	40.9
10月3日	44.4	38.1	39.8	39.7	42.8	41.5
10月4日	41.6	35.4	37.2	37.4	40.6	38.6
10月5日	43.9	37.1	39.1	39.5	42.7	41.0
10月6日	24.3	22.3	22.5	22.9	23.6	22.9
10月7日	34.4	30.1	31.1	31.5	33.7	32.4
10月8日	31.0	27.1	28.2	28.3	30.5	28.9
10月9日	38.2	32.7	34.1	34.5	37.2	35.6
10月10日	41.1	35.1	36.7	37.4	40.1	37.9
10月11日	31.7	27.6	28.4	28.9	30.7	29.5
10月12日	―	―	―	―	―	―
10月13日	35.3	31.8	32.9	32.8	34.1	33.6
10月14日	19.9	18.9	19.1	18.3	19.2	19.3
10月15日	37.1	31.5	33.2	32.0	35.7	34.0
10月16日	39.8	33.6	35.3	34.9	38.5	36.8
10月17日	40.5	33.7	35.3	35.2	39.1	37.1
10月18日	35.8	30.1	31.6	31.6	34.7	32.7
10月19日	40.2	33.4	34.9	35.1	38.5	36.9
10月20日	38.0	31.6	33.2	33.5	36.4	34.8

排水性を X 軸とする各供試体の関係を示すと以下の様になる。



図－4.18　各供試体の排水性との関係

それぞれの回帰式を求め、そこから排水性が 45℃の時の各供試体の路面温度を求めた。その結果を以下に示す。

表－4.10　回帰式からの計算結果

9月20日～10月20日				
	回帰式		排水性の路面温度が	備考
	傾き	切片	45℃の時の路面温度	
遮熱性A	0.737	4.864	38.0	結果Ⅰ
遮熱性B	0.817	3.210	40.0	
遮熱性C	0.815	3.233	39.9	
遮熱性D	0.938	1.322	43.6	

・ⅢおよびⅣの結果

ⅢおよびⅣの結果は夏季の最高路面温度から求めた。結果を以下に示す。

表－4.11　回帰式からの算出結果

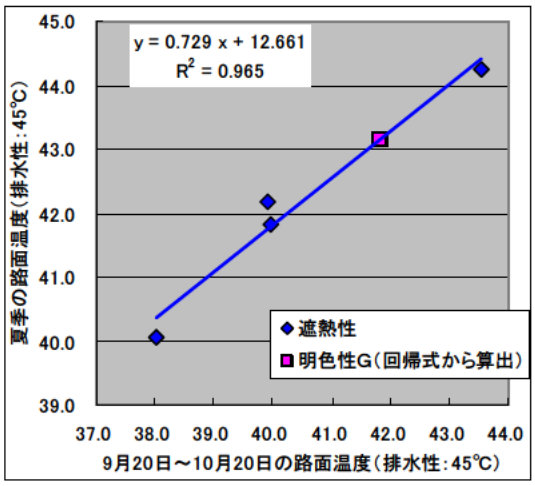
夏季				
	回帰式		結果Ⅲ	結果Ⅳ
			排水性の路面温度が	排水性の路面温度が
	傾き	切片	45℃の時の路面温度	60℃の時の路面温度
遮熱性A	0.783	4.849	40.1	51.8
遮熱性B	0.863	2.999	41.8	54.8
遮熱性C	0.901	1.632	42.2	55.7
遮熱性D	0.975	0.389	44.2	58.9

・Ⅴの結果

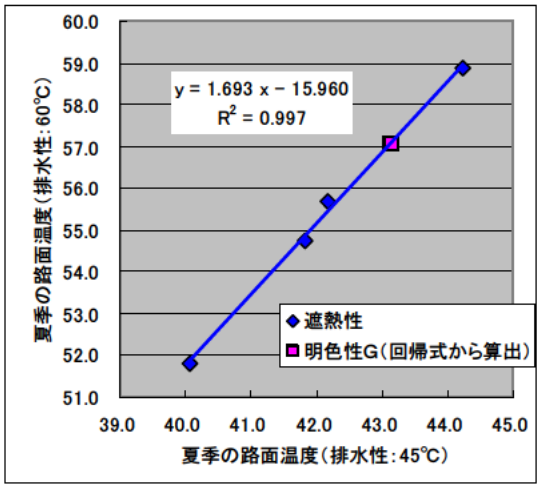
ⅠとⅢの結果で回帰式を求めると図－4.19 の様になる。得られた回帰式にⅡの結果を代入すると表－4.12 の様になる。

・Ⅵの結果

ⅢとⅣの結果で回帰式を求めると図－4.20 の様になる。得られた回帰式にⅤの結果を代入すると表－4.13 の様になる。



図－4.19　ⅠとⅢの関係



図－4.20　ⅢとⅣの関係

表－4.12　明色性G路面温度（結果Ⅴ）

	排水性が45℃での路面温度(℃)
明色性G	43.1

表－4.13　明色性路面温度（結果Ⅵ）

	排水性が60℃での路面温度(℃)
明色性G	57.1

以上より排水性の路面温度が 60℃の時の各舗装の路面温度をまとめたものを示す。

表－4.14　屋外の路面温度

	回帰式		排水性の路面温度が60℃の時の路面温度
	傾き	切片	
遮熱性A	0.783	4.849	51.8
遮熱性B	0.863	2.999	54.8
遮熱性C	0.901	1.632	55.7
遮熱性D	0.975	0.389	58.9
明色性G	－	－	57.1

④アルベド・明度測定結果

路面温度に影響を与える要因にアルベド、明度が挙げられる。アルベドとは入射光量に対する反射光量の割合のことで遮熱性供試体においては路面温度の上昇に影響を与える要因であると考えられる。明度とは明るさの度合いで白に近づくほど明度が高く、黒に近づくほど明度が低いとされておりこれもまた路面温度の上昇に影響を与える要因であると考えられる。

そこで、本項においてアルベドおよび明度について測定した結果を下記に示す。なお、アルベドは短波放射計（英弘精機社製　MR-40S）を用いて路面からの距離を 20cm として 4m 角供試体で測定を行った。明度は色彩色差計（ミノルタ社製　CR-300）を用いて平成 15 年 11 月に 30cm 角供試体で室内にて測定を行った。

表－4.15　アルベド測定結果（平成 16 年 3 月）

	日射量	日射反射量	アルベド
	平均(V)	平均(V)	(%)
排水性	5.624	0.278	4.94
遮熱性A	5.662	1.732	30.60
遮熱性B	5.690	1.520	26.72
遮熱性C	5.662	1.278	22.57
遮熱性D	5.496	0.539	9.81
明色性G	5.128	1.065	20.76

表－4.16　明度測定結果（平成 15 年 11 月）

	明度				
	1	2	3	4	平均
排水性	12.80	12.42	11.21	18.19	**13.66**
遮熱性A	42.91	33.33	40.94	38.92	**39.03**
遮熱性B	41.33	47.35	37.86	47.00	**43.39**
遮熱性C	37.41	33.20	36.39	30.71	**34.43**
遮熱性D	33.18	36.06	32.06	29.18	**32.62**
明色性G	32.24	27.76	33.50	44.43	**34.48**

⑤予測式の導入

室内試験結果（表－4.7）と屋外試験結果（表－4.14)、アルベド（表－4.15)、明度（表－4.16）の結果、をまとめると以下の様になる。

表－4.17　各測定結果のまとめ

	比較:60℃での路面温度(℃)		アルベド	明度
	屋外	室内		
	(Y)	アイクリーンエース (X1)	(X2)	(X3)
遮熱性A	51.8	55.0	30.6	39.03
遮熱性B	54.8	56.8	26.7	43.39
遮熱性C	55.7	57.1	22.6	34.43
遮熱性D	58.9	59.0	9.8	32.62
明色性G	57.1	57.2	20.8	34.48

表－4.17 の結果から屋外の結果を予測する回帰式を求める。
まず、はじめに屋外の結果をそれ以外の結果で単回帰分析を行った結果を以下に示す。

表－4.18　単回帰分析結果

		YとX1	YとX2	YとX3
相関係数	R	0.973	0.942	0.675
決定係数	R2	0.947	0.887	0.456
有意性	5%水準	0.005	0.017	0.211
回帰式	切片	-47.254	62.632	70.587
	傾き	1.804	-0.317	-0.406

また、屋外の予測値と残差は以下に通りとなった。

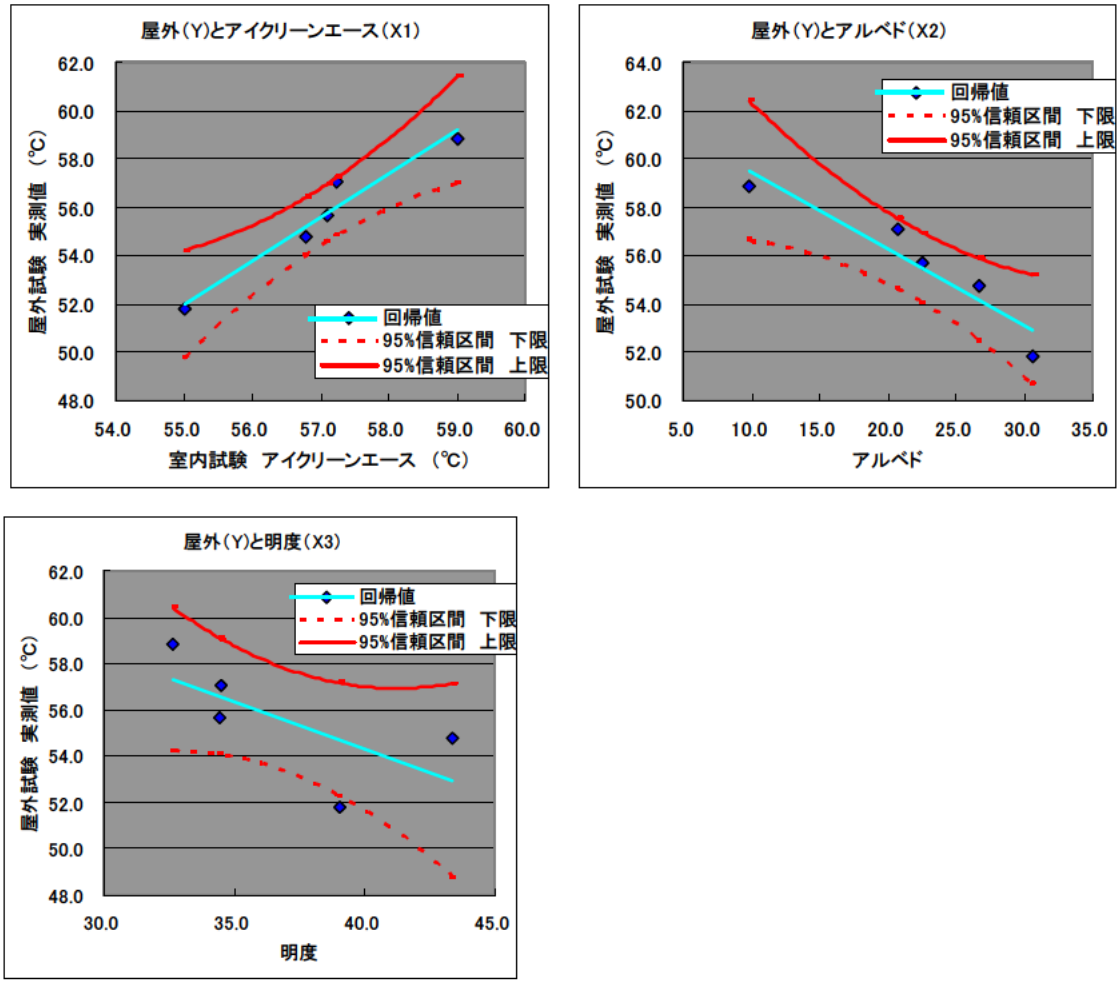
表－4.19　予測値と残差

	Y	回帰分析(X1)		95%信頼区間		
		予測値	残差	上限値	下限値	上限-下限
遮熱性A	51.8	52.0	-0.2	54.2	49.8	4.5
遮熱性B	54.8	55.2	-0.4	56.4	54.0	2.4
遮熱性C	55.7	55.8	-0.1	57.0	54.6	2.4
遮熱性D	58.9	59.2	-0.3	61.4	57.0	4.4
明色性G	57.1	56.0	1.1	57.2	54.8	2.4

	Y	回帰分析(X2)		95%信頼区間		
		予測値	残差	上限値	下限値	上限-下限
遮熱性A	51.8	52.9	-1.1	55.2	50.7	4.5
遮熱性B	54.8	54.2	0.6	55.9	52.5	3.5
遮熱性C	55.7	55.5	0.2	56.9	54.0	2.9
遮熱性D	58.9	59.5	-0.6	62.4	56.6	5.8
明色性G	57.1	56.1	1.0	57.5	54.6	2.9

	Y	回帰分析(X3)		95%信頼区間		
		予測値	残差	上限値	下限値	上限-下限
遮熱性A	51.8	54.7	−2.9	57.2	52.3	−4.9
遮熱性B	54.8	53.0	1.8	57.1	48.8	−8.4
遮熱性C	55.7	56.6	−0.9	59.1	54.1	−5.0
遮熱性D	58.9	57.3	1.6	60.5	54.2	−6.2
明色性G	57.1	56.6	0.5	59.1	54.1	−5.0

実測値と予測値の関係を示すと以下の様になる。なおグラフには 95%信頼区間も示す。



図－4. 21　実測値と予測値の関係

決定係数はアイクリーンエースおよびアルベドでは極めて高く、有意性も 5%（0.05）以下であった。95%信頼区間の最大の温度幅はアイクリーンエースで±2.2℃、アルベドで±2.9℃であり屋外の実測値の幅（7.1℃）に比べて小さく、実用性の精度のある予測式と考えられる。しかし、明度の場合有意性が 5%以上で有意ではなく重相関係数も他より低いことから屋外の結果との回帰性は薄いと考えられる。

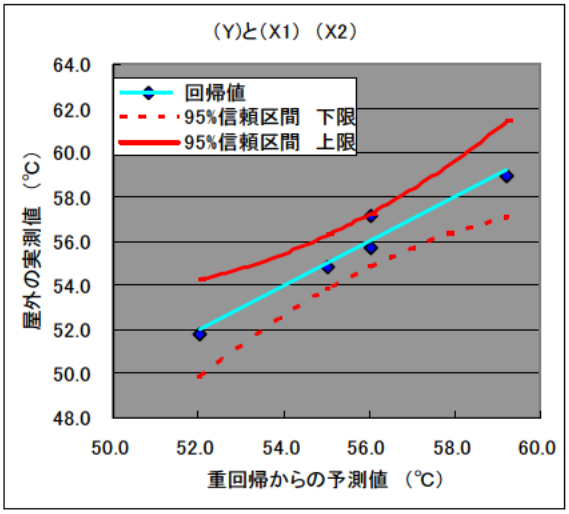
そこで、次に決定係数の高い X1 と X2 の結果から屋外の結果を予測する重回帰分析を行った。その結果を表－4.20、4.21、図－4.22 に示す。

表－4.20　重回帰分析結果

		YとX1、X2
相関係数	R	0.974
決定係数	R2	0.948
有意性	5%水準	0.052
回帰式	切片	-35.036
	傾き1	1.605
	傾き2	-0.038

表－4.21　予測値と 95%信頼区間

	Y	重回帰分析(X1・X2)		95%信頼区間		
		予測値	残差	上限値	下限値	上限-下限
遮熱性A	51.8	52.1	-0.3	54.2	49.8	4.4
遮熱性B	54.8	55.1	-0.3	56.3	53.8	2.5
遮熱性C	55.7	55.7	0.0	57.2	54.8	2.4
遮熱性D	58.9	59.3	-0.4	61.4	57.0	4.4
明色性G	57.1	56.0	1.1	57.2	54.8	2.4



図－4.22　実測値と予測値の関係

有意性では屋外（Y）をアイクリーンエース（X1）とアルベド（X2）で回帰分析した結果が 5%水準を満足しない結果となった。また、アイクリーンエース（X1）での単回帰分析と比べて大きな違いが見られないことから、予測式の対象にはアイクリーンエースで十分と考えられる。

以下に屋外（Y）をアイクリーンエース（X1）で回帰した予測式を示す。

$$Y = 1.80X1 - 47.25$$

４．４．保水性舗装に関する評価方法

4．4．1．表層の混合物

供試体の表層の混合物を以下に示す。

表－4.22　表層に使用した混合物

No.	名称	概要
1	密粒	13mmTop密粒度混合物
2	保水性F（空隙20%）	13mmTop排水性混合物（空隙率20%）に保水材料Fを充填
3	保水性F（空隙25%）	13mmTop排水性混合物（空隙率25%）に保水材料Fを充填
4	保水性G（空隙25%）	13mmTop排水性混合物（空隙率25%）に保水材料Gを充填

4．4．2．試験条件に関する検討

４．２．で試験装置について説明を行ったが試験条件について検討を行う必要がある。そこで、本項において試験条件に関して様々な検討を行った。

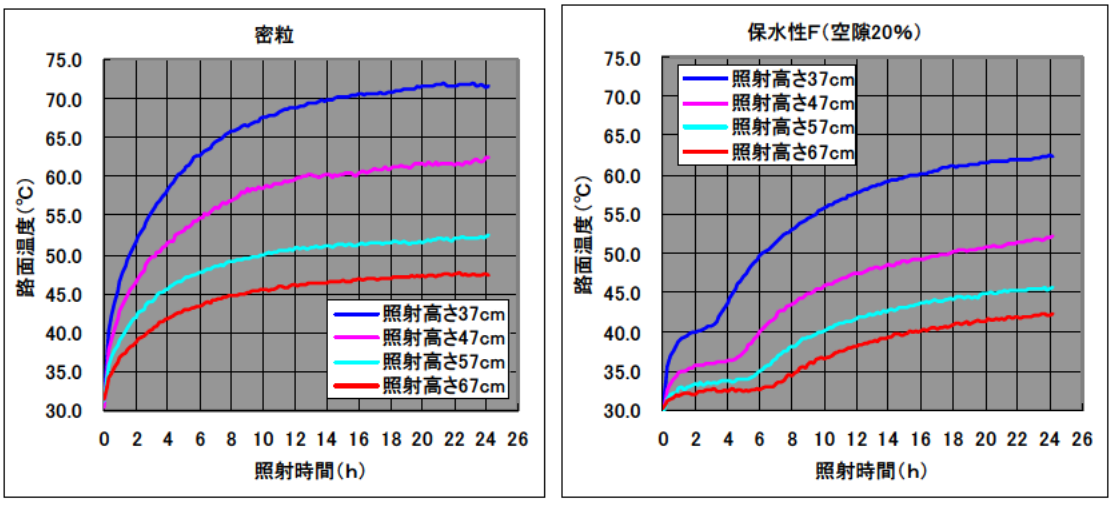
具体的には、最も路面温度低減効果の見られる湿潤状態で①評価用ランプ、②室内温度の 2 項目について検討を行った。なお、表層の保水性混合物は室内温度の水中に入れ試験直前に取り出し、表面の水を除去した後試験を行った。

①評価用ランプの選定について

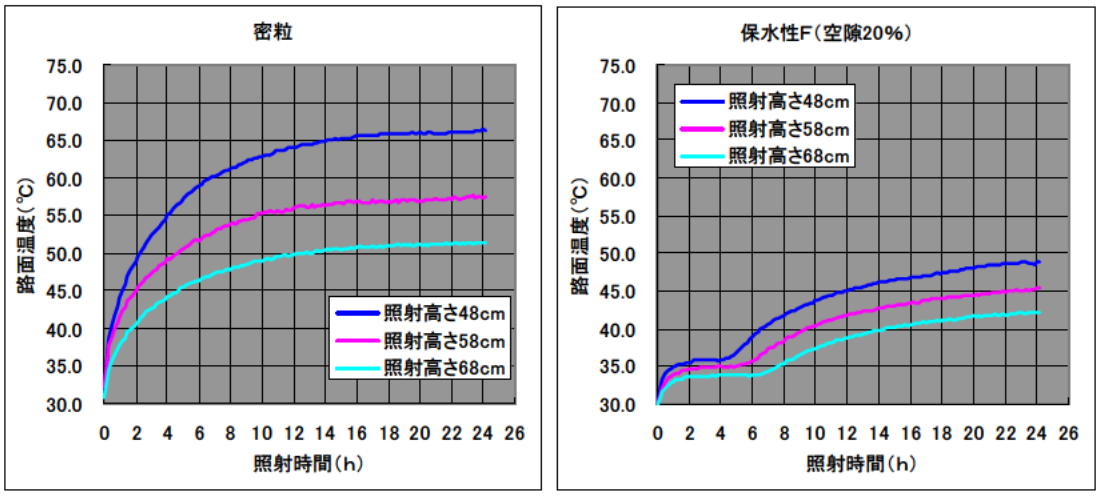
・照射高さの影響

遮熱性と同様に、照射高さを変えて路面温度を測定し供試体別の傾向を求めた。表－4.21で示した供試体の中から密粒（比較舗装）と保水性 F（空隙 20%）を対象として検討を行った。

以下に、照射高さ毎の路面温度の測定結果を示す。なお、試験温度は 30℃として試験を行った。



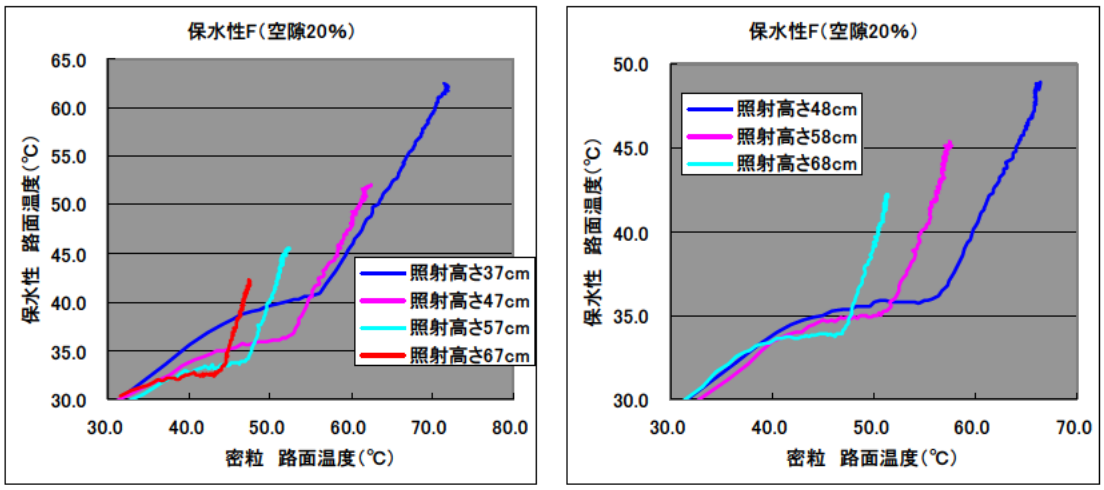
図－4.23　照射高さ別の路面温度（アイクリーンエース）



図－4.24　照射高さ別の路面温度（赤外線家畜用電球）

密粒、保水性Ｆ（空隙率 20%）ともに照射高さを近づけると路面温度が上昇する。保水性Ｆ（空隙率 20%）に関しては水分の蒸発による潜熱の効果が見られ、密粒の経時変化とは異なる傾向を示した。また、潜熱の効果は照射高さが近づく程、時間が短くなる結果となった。

次に、密粒をＸ軸、保水性Ｆ（空隙率 20%）をＹ軸とした相関関係の図を示す。

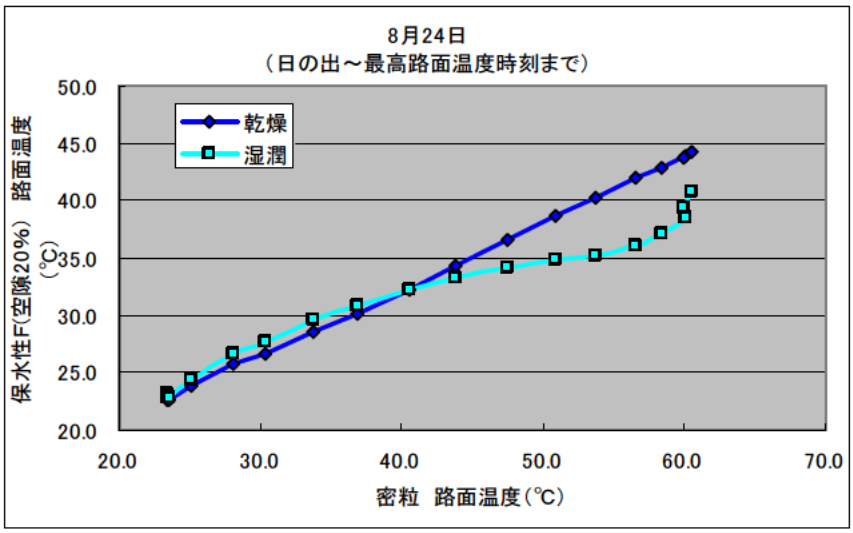


アイクリーンエース　　赤外線家畜用電球

図－4.25　照射高さ別の路面温度の相関図

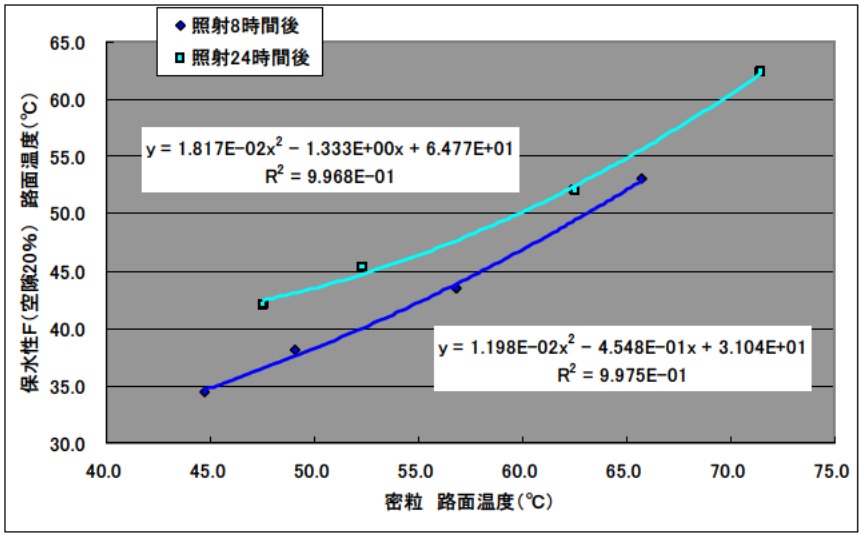
密粒と保水性Ｆ（空隙 20%）の相関図は照射高さを変えると遮熱性供試体の様に一本の線に乗らないことがわかった。なお、他の保水性供試体についても同様な結果を得た。

ここで、屋外の湿潤状態と乾燥状態（8 月 24 日）の保水性Ｆ（空隙 20%）の密粒との関係を図－4.26 に示す。



図－4.26　屋外の路面温度の経時変化

乾燥状態では直線の関係で最高路面温度になるのに対し、湿潤状態では潜熱の効果で保水性の路面温度が上昇せず横ばいになり、その後潜熱の効果が小さくなるとともに路面温度が上昇し最高路面温度になる結果となった。この結果から保水性の最高路面温度の評価は潜熱の効果が薄れていく途中の結果を対象とする必要があると考えられる。そこで、試験（照射）時間別の温度に着目し、図－4.25 結果から 8 および 24 時間照射後の路面温度測定結果を抽出し相関関係を求めた。その結果、図－4.27 のようになり 2 次の曲線で近似すると最も高い相関性が得られる事がわかった。



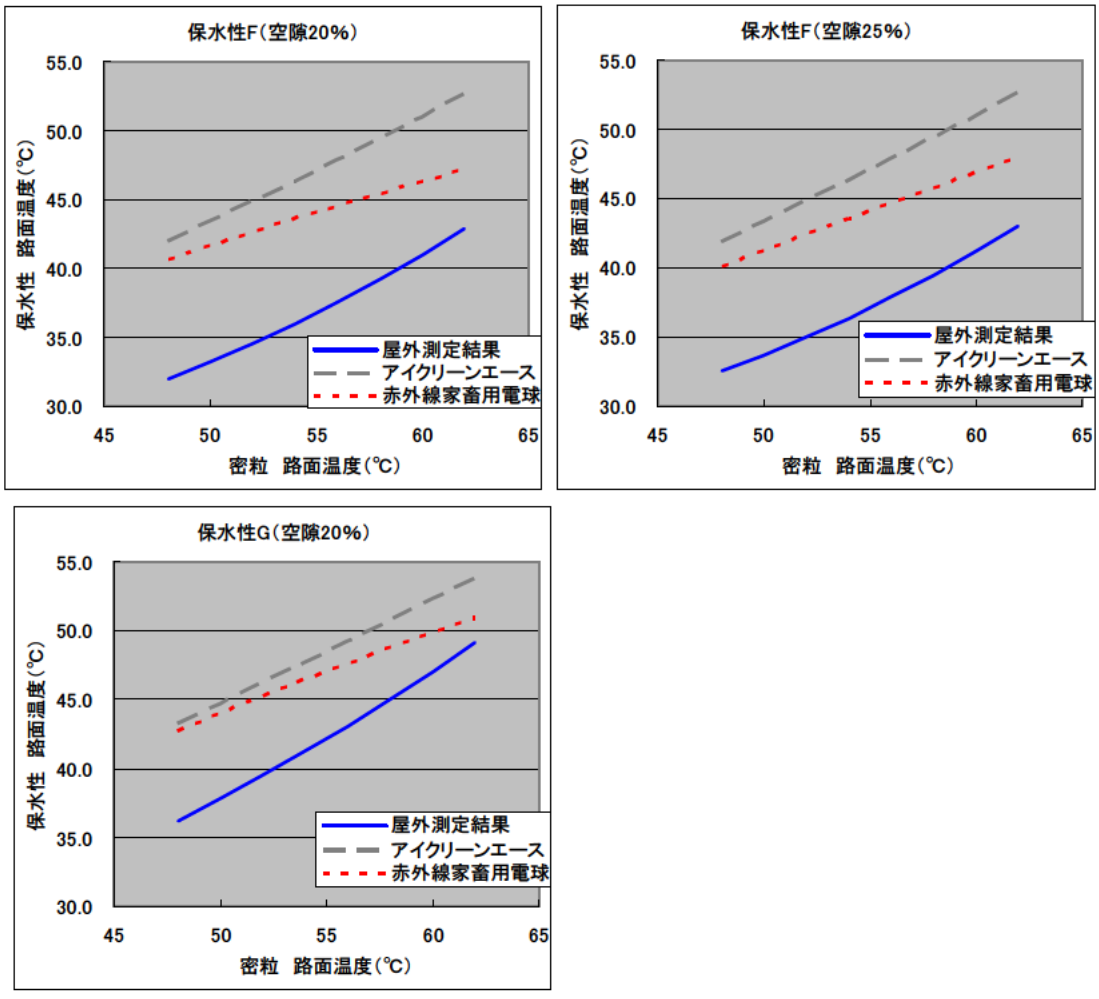
図－4.27　照射時間別の路面温度の関係（保水性Ｆ（空隙 20%））

・各ランプの試験結果と屋外試験結果の比較

保水性供試体についても遮熱性供試体と同様な方法で路面温度の関係を示した。

表－4.23　回帰式の傾きと切片

		傾き X^2	傾き X	切片
保水性F（空隙20%）	屋外測定結果	1.376E-02	-7.374E-01	3.571E+01
	アイクリーンエース	3.264E-03	4.016E-01	1.518E+01
	赤外線家畜用電球	-3.865E-03	8.937E-01	6.657E+00
保水性F（空隙25%）	屋外測定結果	1.299E-02	-6.811E-01	3.528E+01
	アイクリーンエース	3.534E-03	3.771E-01	1.567E+01
	赤外線家畜用電球	-1.739E-04	5.804E-01	1.269E+01
保水性G（空隙25%）	屋外測定結果	1.068E-02	-2.564E-01	2.395E+01
	アイクリーンエース	8.779E-04	6.599E-01	9.550E+00
	赤外線家畜用電球	-3.891E-03	1.013E+00	3.109E+00



図－4.28　屋外と各ランプの関係

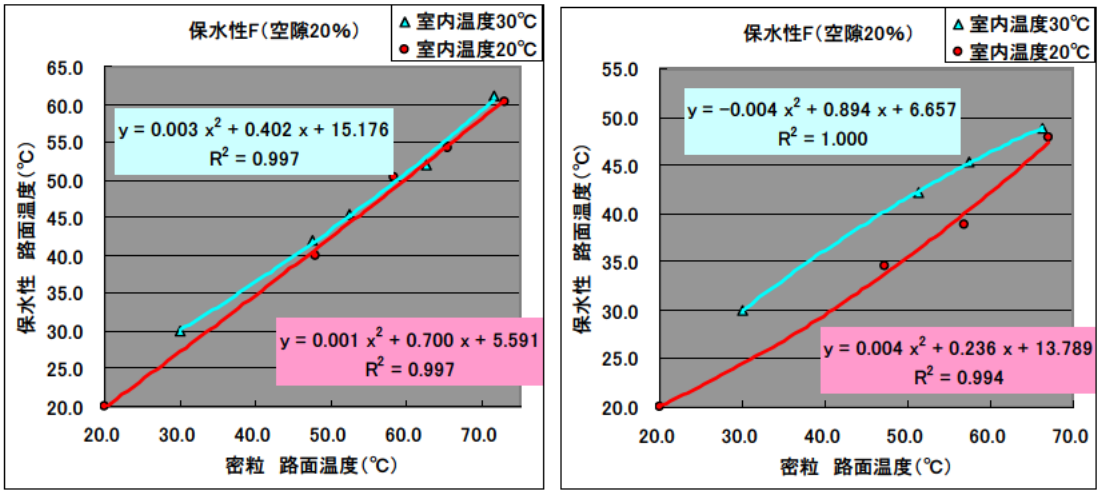
屋外の測定結果と比べるとアイクリーンエースの場合、遮熱性ほどでは無いが切片は異なるものの傾きはすべての供試体で同程度であった。しかし、赤外線家畜用電球については屋外との傾きは異なる結果となった。以上より遮熱性と同様にアイクリーンエースを評価用ランプとするのが妥当と考えられる。

②室内温度が与える影響

保水性供試体に関しても遮熱性供試体と同様に室内温度が与える影響について検討を行った。

供試体は①と同様に密粒と保水性 F（空隙 20%）とし、それ以外は遮熱性の場合と同様な条件とした。

室内温度別の排水性と遮熱性の路面温度の相関図を以下に示す。



アイクリーンエース　　赤外線家畜用電球

図－4.29　試験温度の違い

アイクリーンエースでは　試験開始温度による差は見られるが 24 時間後路面温度に大きな違いは見られない。しかし、赤外線家畜用電球では、室内温度が異なると回帰線が大きく異なる結果となった。

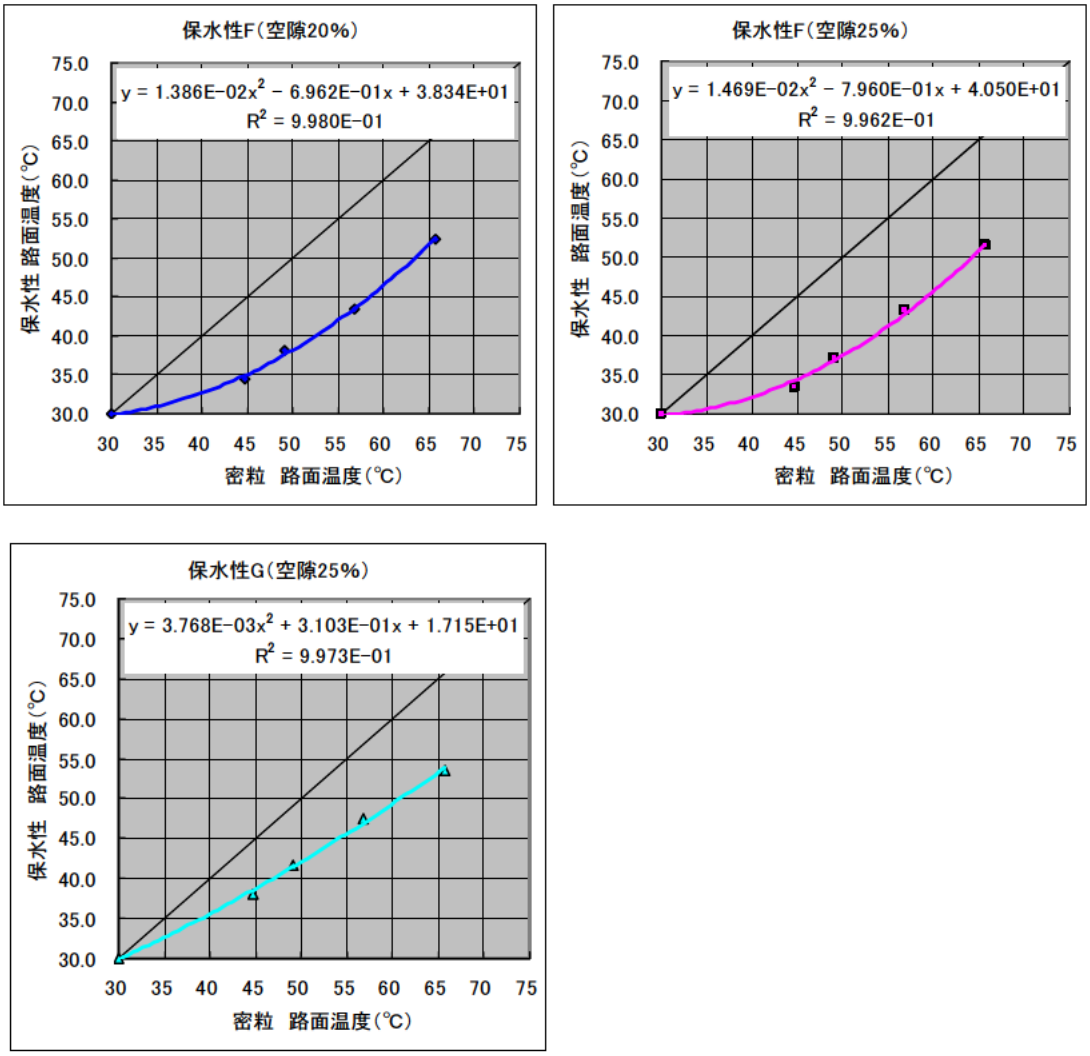
以上、2 つの検討より試験条件を以下の様にした。

・試験は照射高さを 3 回以上変えて行い、得られた結果から 2 次の回帰式を導く。
・評価用ランプはアイクリーンエースとする。
・供試体の構造は 3 層とする。
・試験温度は 30℃とする。

4. 4. 3. 試験結果および予測式の導入

①室内試験結果

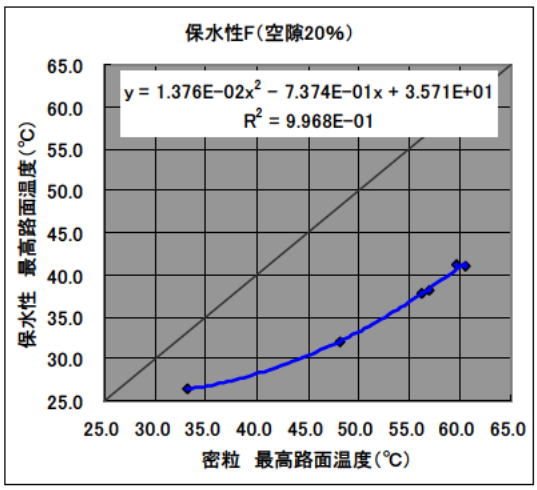
室内試験の結果から照射 8 時間後、照射 24 時間後の結果について密粒（比較舗装）との回帰式を求めた。各供試体の回帰式の傾きおよび切片そして比較供試体が 60℃の時の路面温度をまとめた結果を以下に示す。

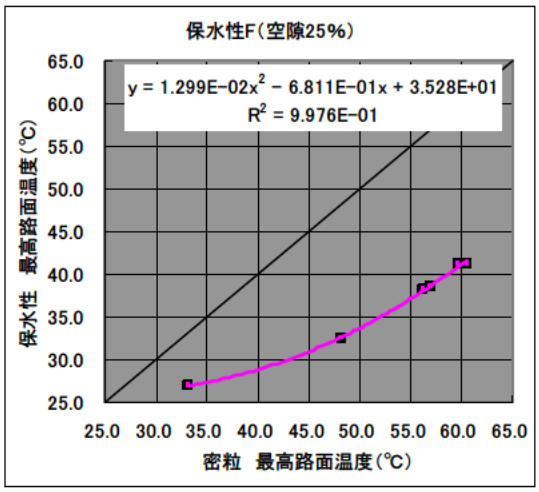


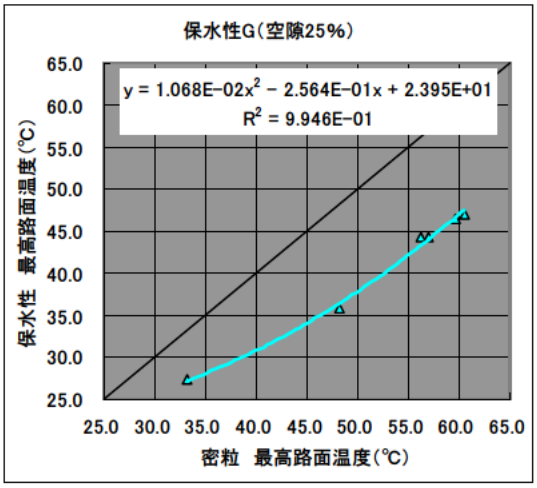
図－4.30　比較舗装との関係（照射 8 時間後）

表－4.24　回帰式からの算出結果（照射 8 時間後）

	回帰式			比較:60℃での
	傾きX^2	傾きX	切片	路面温度(℃)
保水性F(空隙20%)	1.386E-02	-6.962E-01	3.834E+01	46.5
保水性F(空隙25%)	1.469E-02	-7.960E-01	4.050E+01	45.6
保水性G(空隙25%)	3.768E-03	3.103E-01	1.715E+01	49.3







図－4.31　比較舗装との関係（照射 24 時間後）

表－4.25　回帰式からの算出結果（照射 24 時間後）

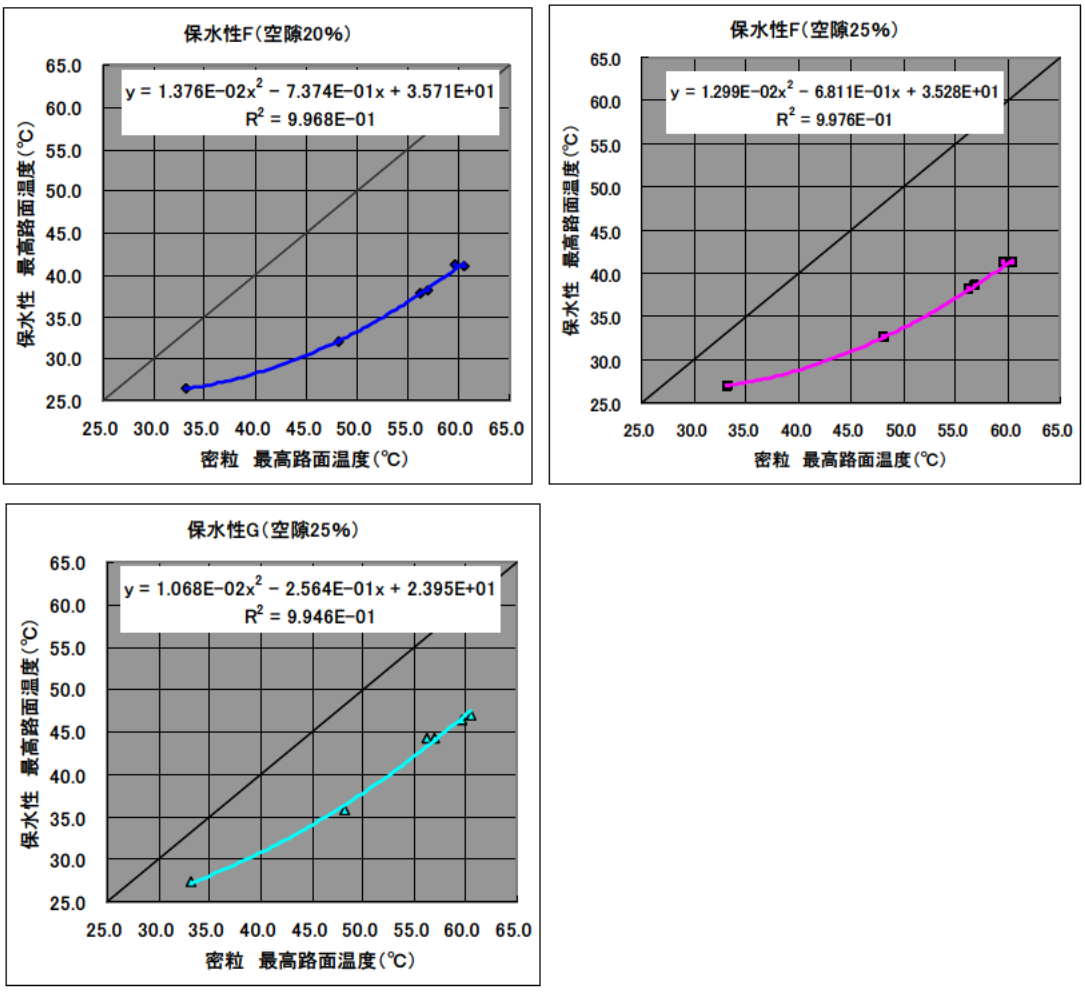
	回帰式			比較:60℃での
	傾きX^2	傾きX	切片	路面温度(℃)
保水性F(空隙20%)	3.264E-03	4.016E-01	1.518E+01	51.0
保水性F(空隙25%)	3.534E-03	3.771E-01	1.567E+01	51.0
保水性G(空隙25%)	8.779E-04	6.599E-01	9.550E+00	52.3

②屋外試験結果

屋外の測定結果から得られた夏季でかつ湿潤状態の路面温度を求めた。なお、平成 15 年度の夏季は 6 月下旬、8 月上旬、8 月下旬～9 月中旬とし、湿潤状態は日の出までに降雨がありその後晴天になった日とする。以下に夏季で湿潤状態の日の測定結果を示す。

表－4.26　平成 15 年夏季で湿潤状態の最高路面温度

	密粒	保水性F（空隙20%）	保水性F（空隙25%）	保水性G（空隙25%）
8月10日	59.6	41.2	41.2	46.4
8月22日	56.9	38.2	38.5	44.2
8月23日	56.3	37.8	38.3	44.3
8月24日	60.5	41.0	41.2	47.0
8月27日	48.2	32.1	32.5	35.8
9月1日	33.2	26.4	27.0	27.3



図－4.32　比較供試体との関係

表－4.27　回帰式からの算出結果

	回帰式			比較：60℃での
	傾きX^2	傾きX	切片	路面温度（℃）
保水性F（空隙20%）	1.376E-02	−7.374E-01	3.571E+01	41.0
保水性F（空隙25%）	1.299E-02	−6.811E-01	3.528E+01	41.2
保水性G（空隙25%）	1.068E-02	−2.564E-01	2.395E+01	47.0

③明度測定結果

遮熱性供試体では明度とアルベドの測定結果を示したが、保水性供試体では保水材に特殊材料が含まれていないことから明度による差のみが影響すると考えられる。

以下に明度について測定した結果を示す。なお、結果は平成 15 年 11 月に室内で 30cm 角供試体を用いて湿潤状態と乾燥状態の場合に分けて測定を行った。

表－4.28　明度測定結果（平成 15 年 11 月）

		明度				
		1	2	3	4	平均
密粒		20.44	19.52	21.51	24.98	**21.61**
保水性F(空隙20%)	乾燥	69.22	73.80	68.37	74.49	**71.47**
	湿潤	55.67	51.18	55.26	55.09	**54.30**
保水性F(空隙25%)	乾燥	67.16	73.11	70.27	70.54	**70.27**
	湿潤	52.04	54.10	52.99	53.68	**53.20**
保水性G(空隙25%)	乾燥	69.51	69.47	65.82	69.64	**68.61**
	湿潤	54.64	53.64	45.29	55.44	**52.25**

④予測式の検討

室内試験結果（表－4.24 および 4.25）と、屋外試験結果（表－4.27)、明度（表－4.28）の結果をまとめると以下の様になる

表－4.29　各測定結果のまとめ

	比較:60℃での路面温度(℃)			明度（湿潤）	明度（乾燥）
	屋外	室内 アイクリーンエース			
	(Y)	8時間(X1-1)	24時間(X1-2)	(X3-1)	(X3-2)
保水性F(空隙20%)	41.0	46.5	51.0	54.30	71.47
保水性F(空隙25%)	41.2	45.6	51.0	53.20	70.27
保水性G(空隙25%)	47.0	49.3	52.3	52.25	68.61

これらの結果から屋外の結果を予測する回帰式を求める。

屋外の結果をそれ以外の結果で単回帰分析を行った結果を以下に示す。

表－4.30　単回帰分析結果

		YとX1-1	YとX1-2	YとX3-1	YとX3-2
相関係数	R	0.919	0.999	0.858	0.919
決定係数	R2	0.845	0.999	0.736	0.845
有意性	5%水準	0.155	0.021	0.343	0.258
回帰式	切片	-37.330	-195.772	195.325	196.510
	傾き	1.706	4.642	-2.859	-2.188

また、屋外の予測値と残差は以下に通りとなった。

表－4.31　予測値と残差

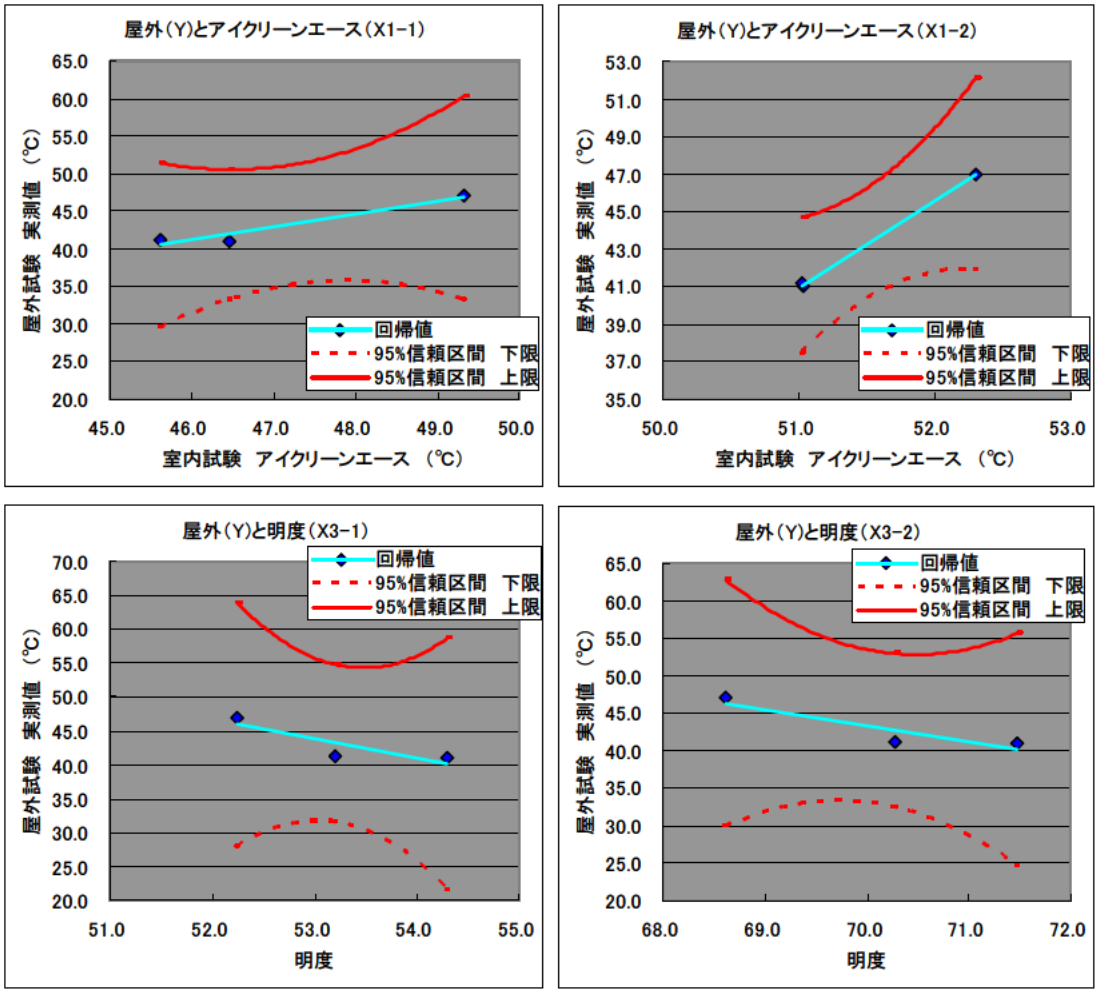
	Y	回帰分析(X1-1)		95%信頼区間		
		予測値	残差	上限値	下限値	上限-下限
保水性F(空隙20%)	41.0	41.9	-0.9	50.5	33.3	17.2
保水性F(空隙25%)	41.2	40.5	0.7	51.4	29.5	21.9
保水性G(空隙25%)	47.0	46.8	0.2	60.3	33.3	27.0

	Y	回帰分析(X1-2)		95%信頼区間		
		予測値	残差	上限値	下限値	上限-下限
保水性F(空隙20%)	41.0	41.1	-0.1	44.7	37.5	7.2
保水性F(空隙25%)	41.2	41.1	0.1	44.7	37.5	7.2
保水性G(空隙25%)	47.0	47.0	0.0	52.1	41.9	10.2

	Y	回帰分析(X3-1)		95%信頼区間		
		予測値	残差	上限値	下限値	上限-下限
保水性F(空隙20%)	41.0	40.1	0.9	58.6	21.5	37.1
保水性F(空隙25%)	41.2	43.2	-2.0	54.8	31.6	23.2
保水性G(空隙25%)	47.0	45.9	1.1	63.9	27.9	36.0

	Y	回帰分析(X3-2)		95%信頼区間		
		予測値	残差	上限値	下限値	上限-下限
保水性F(空隙20%)	41.0	40.1	0.9	55.6	24.6	30.9
保水性F(空隙25%)	41.2	42.7	-1.5	52.9	32.5	20.4
保水性G(空隙25%)	47.0	46.4	0.6	62.8	29.9	33.0

実測値と予測値の関係を示すと以下の様になる。なおグラフには95%信頼区間も示す。



図－4.33　実測値と予測値の関係

決定係数ではアイクリーンエース（X1－2）では極めて高く、有意性も 5%（0.05）以下であった。しかし、路面温度に違いが見られると予測した保水性 F（空隙 20%） と保水性 F（空隙 25%） に違いが見られずほぼ 2 点を結ぶ直線となった為、精度の面で問題を残す結果となった。遮熱性供試体においてはアイクリーンエースを用いた室内試験結果との回帰性が良いことから保水性においても供試体の種類を増やすことでより実用性のある回帰式が得られるものと推測される。

次に、試験時間が 24 時間と 8 時間を比較すると、8 時間では 95%信頼区間の最大幅が 2 倍以上となった。また、得られた回帰式の傾きも大きく異なる結果となった。保水性では試験時間を短縮すると路面温度の傾向が異なるため一定の予測式は得られずこのような結果になったと考えられる。

供試体の種類を増やし試験時間の短縮も考慮した予測式を再度検討する必要があると考えられる。

４．５．まとめ

これまでの結果から以下の事がまとめられる。

①遮熱性・明色性の室内評価方法

- 照射高さを変えた場合においても得られる回帰式は変わらない。
- 評価用ランプは、屋外の傾きと同程度なアイクリーンエースが適当と考えられる。
- 20～30℃の室内温度の範囲ではアイクリーンエースを使用した場合同一の回帰線を得ることがわかった。
- 路面温度の経時変化より供試体の構造は 2 層または 3 層構造が適当と考えられる。
- 得られる回帰式の結果から試験（照射）時間は 8 時間まで短縮が可能と考えられる。
- 上記の試験条件の結果をもとに予測式の検討を行い実用性のある回帰式を導いた。
-

②保水性の評価方法

- 照射高さを変えると路面温度の傾向が変わり、遮熱性のような傾向は示さないことがわかった。
- 照射時間毎の結果から回帰式を求めることは可能でありそのときの回帰式は 2 次式の相関性が高い。
- 評価用ランプは、屋外の傾きと同様なアイクリーンエースが適当と考えられる。
  20～30℃の室内温度の範囲ではアイクリーンエースを使用した場合同一の回帰線を得ることがわかった。
- 上記の試験条件の結果を下にした予測式の検討では、予測式が導入できたものの供試体数が足りずその精度に問題がある結果となった。
- 試験時間の短縮は試験時間によって路面温度の傾向がことなることから短縮については今後の課題とする。

第５章　夏季以外の屋外測定結果による
路面温度低減効果の評価方法

５．１．はじめに

前章にて室内試験結果から夏季の路面温度を予測する式を導いた。この方法によって施工前の路面温度低減効果の事前評価が可能となったと考えられる。しかし、評価方法には施工後の現場で行える方法も必要であることから本章にてそれらについての検討を行った。

具体的には、現場での評価時期は年度末になることが主と考えられる為、夏季以外の季節で夏季の路面温度を予測する方法を前提とし以下の２つの方法を考案し検討を行った。

①夏季以外の路面温度から夏季の路面温度を予測する評価方法

②夏季以外にランプを使用して強制的に路面温度を上昇させ、その時の路面温度から夏季の路面温度を予測する方法

５．２．夏季以外の路面温度から夏季の路面温度を予測する評価方法

5．2．1．供試体および測定内容

検討の対象とした表層の混合物について以下に示す。供試体のサイズは 4m 角供試体とし、構造は 3 層構造（表層・基層：各 5cm、路盤 10cm）である。表層および基層の側面は放熱を防ぐため断熱材で囲んだ。各供試体の表層に使用した混合物について示す。なお、表層の厚さが 5cm に満たない供試体があるが不足部分には No13 の混合物を敷き均し転圧した。

表－5.1　表層に使用した混合物

No	混合物名	層厚(mm)
1	13mmTOP遮熱性混合物(塗布型)	50
2	13mmTOP遮熱性混合物(混合型)	20
3	13mmTOP遮熱性混合物(混合型)	20
4	13mmTOP遮熱性混合物(塗布型)	50
5	5mmTOP遮熱性混合物(混合型)	20
6	5mmTOP遮熱性混合物(混合型)	20
7	13mmTOP遮熱性混合物(塗布型)	50
8	8mmTOP遮熱性混合物(混合型)	20
9	5mmTOP遮熱性混合物(混合型)	15
10	13mmTOP遮熱性混合物(塗布型)	50
11	13mmTOP遮熱性混合物(混合型)	50
12	13mmTOP遮熱性混合物(混合型)	50
13	13mmTOP排水性混合物(空隙率20%)	50

測定内容は以下の通りである。

表－5.2　測定内容

測定日	平成15年7月1日～平成16年2月29日
測定場所	土木研究所　舗装走行実験場構内
測定位置	供試体中央から半径50cmの円周上に3点
測定箇所	表面骨材内に熱電対を埋め込んで測定
測定間隔	30分毎

5. 2. 2. 試験結果および予測式の導入

①夏季の路面温度の決定

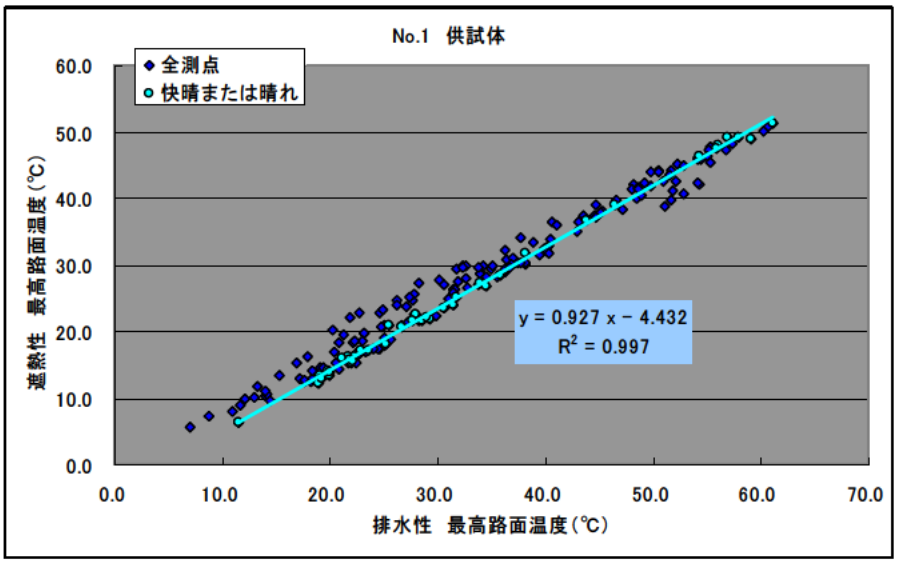
各供試体の夏季の路面温度から排水性の路面温度が 60℃の時の路面温度を求めた。求め方は室内試験の場合と同様に回帰線から算出した。その結果を以下に示す。なお、夏季は第２章の検討より８月上旬、８月下旬から９月中旬までとした。

表－5.3　夏季の路面温度の算出結果（排水性の路面温度が 60℃の時）

供試体 No.	回帰直線		排水性の路面温度が 60℃の時の路面温度
	傾き	切片	
1	0.749	5.519	50.4
2	0.834	3.344	53.4
3	0.925	1.081	56.6
4	0.795	3.999	51.7
5	0.797	3.651	51.5
6	0.802	2.929	51.1
7	0.878	1.413	54.1
8	1.022	−1.642	59.7
9	1.078	−4.068	60.6
10	0.977	−0.612	58.0
11	0.954	0.469	57.7
12	0.908	1.013	55.5

②快晴または晴れの日の最高路面温度

遮熱性舗装の場合、快晴または晴れの日は季節を問わず路面温度の低減効果が最も発揮されると考えられる。そこで、全測定結果中の快晴または晴れの日の位置を求めた。その結果を以下に示す。



図－5.1　排水性と No.1 供試体の関係

上図より、快晴または晴れの結果は直線的であり相関性も極めて高い結果となることがわかった。加えてこの回帰線は最も路面温度が低減する側に存在している。なお、この結果はその他の供試体においても同様であった。

以上の結果からこの回帰線を利用することで夏季以外の路面温度から夏季の路面温度を容易に予測できるものと考えられる。

③評価試験の対象となる測定条件の検討

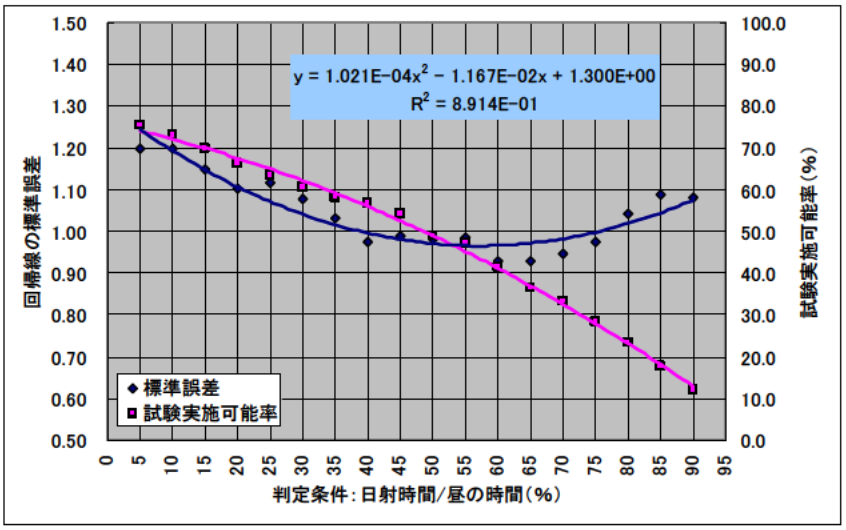
前項において回帰式から夏季の路面温度を予測すると述べたが、平成 15 年度の測定結果では全測定日数（205 日）中の快晴または晴れの日は（39 日）でその確率（以後、試験実施可能率）は 19.0%であった。これは約 5 日に 1 日の割合で試験を行えることを意味しており、非常に効率の悪い試験であると考えられる。そこで、快晴または晴れの日でなくとも評価対象となる条件について検討を行った。

遮熱性供試体の路面温度に影響える要因を考えた場合、最大の要因は日射であると考えられる。そこで、一般の気象観測所で得られる日射時間をパラメータとして測定条件について検討をおこなった。

具体的には理論的に得られる日々の昼の時間に対する日射時間の割合を判定条件とし日々の結果を選別する。判定条件を満足した結果から回帰式をもとめその標準誤差と満足した日数から得られる試験実施可能率を求めた。その結果を以下に示す。

表-5.4　計算結果

判定条件（%）	回帰分析から得られた標準誤差	条件を満足した日数	試験実施可能率（%）
90	1.080	25	12.2
85	1.087	36	17.6
80	1.042	48	23.4
75	0.976	58	28.3
70	0.947	68	33.2
65	0.928	75	36.6
60	**0.930**	**85**	**41.5**
55	0.985	97	47.3
50	0.981	100	48.8
45	0.989	111	54.1
40	0.974	116	56.6
35	1.032	119	58.0
30	1.078	124	60.5
25	1.117	130	63.4
20	1.104	136	66.3
15	1.150	143	69.8
10	1.198	150	73.2
5	1.200	155	75.6

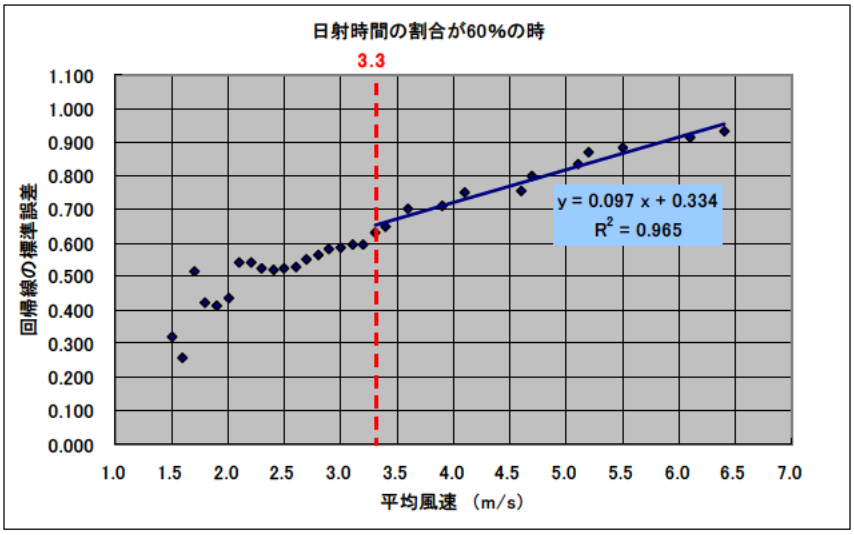


図－5.2　標準誤差および試験実施可能率の変化

標準誤差は判定条件が厳しくなるほど小さくなると考えられるが、60%を境に大きくなる結果となった。この原因として考えられるのは風速と雨量である。ここで、雨量は日射による判定で選別される可能性が高いためその影響は考えにくい。そこで標準誤差が最低点の昼の時間に対する日射時間が 60%の時に着目して平均風速に対する標準誤差を求めた。その結果を以下に示す。

表-5.5　計算結果

判定条件 (%)	回帰分析から得られた標準誤差	条件を満足した日数	試験実施可能率 (%)
1.5	0.320	3	1.5
1.6	0.259	4	2.0
1.7	0.515	6	2.9
1.8	0.422	13	6.3
1.9	0.411	19	9.3
2.0	0.435	27	13.2
2.1	0.541	33	16.1
2.2	0.541	40	19.5
2.3	0.524	47	22.9
2.4	0.521	51	24.9
2.5	0.522	55	26.8
2.6	0.529	56	27.3
2.7	0.548	59	28.8
2.8	0.563	62	30.2
2.9	0.581	64	31.2
3.0	0.586	66	32.2
3.1	0.593	67	32.7
3.2	0.596	69	33.7
3.3	**0.632**	**72**	**35.1**
3.4	0.648	74	36.1
3.6	0.700	76	37.1
3.9	0.711	77	37.6
4.1	0.748	78	38.0
4.6	0.755	79	38.5
4.7	0.798	80	39.0
5.1	0.835	81	39.5
5.2	0.868	82	40.0
5.5	0.883	83	40.5
6.1	0.913	84	41.0
6.4	0.930	85	41.5



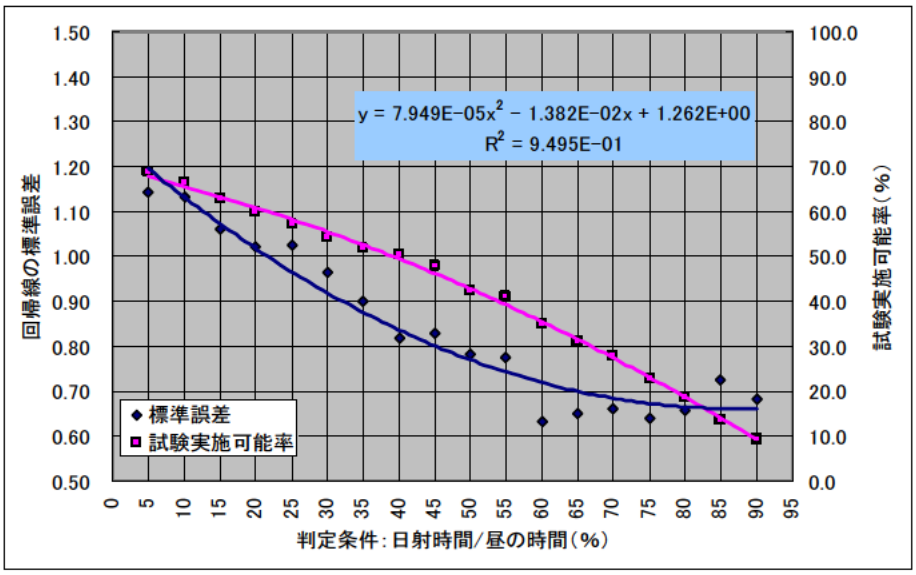
図－5.3　平均風速と標準誤差の関係

平均風速が 3.3m/s 以上は平均風速が大きくなるほど標準誤差が直線的に増加することがわかる。気象庁の風力階級表では 1.5～3.3m/s 以下の風速を「軽風」と呼び、状況を「顔に風を感じる、木の葉が動き風向計での計測が可能になる、凧揚げに適する」と定めている。平均風速と風速を同一のものとして考えることは出来ないが平均風速が軽風以下であれば標準誤差に与える影響は小さい。したがって、これを判定条件の一つとすべきと考えられる。

そこで、この条件を踏まえて判定した場合の結果を以下に示す。

表-5.6　計算結果

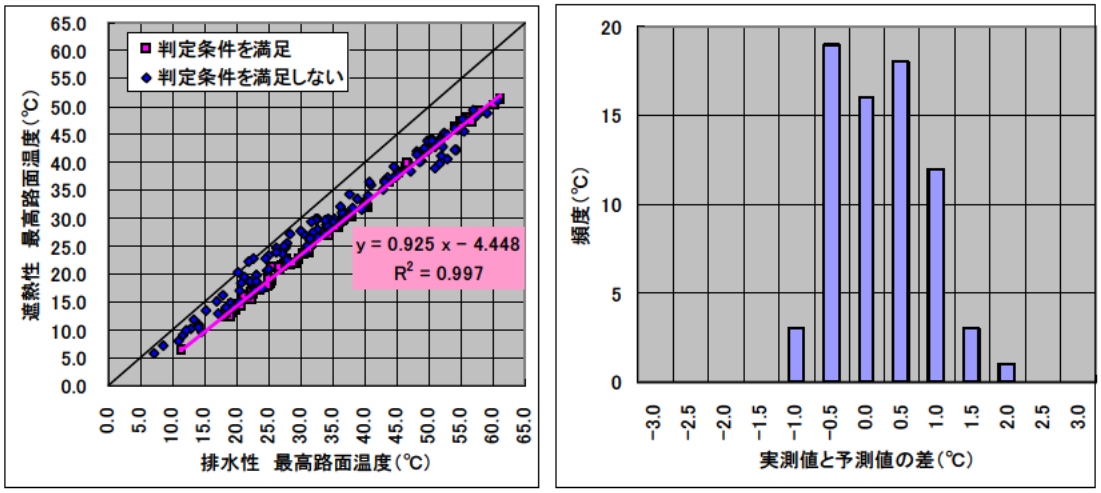
判定条件（%）	回帰分析から得られた標準誤差	条件を満足した日数	試験実施可能率（%）
90	0.683	19	9.3
85	0.726	28	13.7
80	0.659	38	18.5
75	0.638	47	22.9
70	0.660	57	27.8
65	0.650	64	31.2
60	**0.632**	**72**	**35.1**
55	0.774	84	41.0
50	0.781	87	42.4
45	0.827	98	47.8
40	0.817	103	50.2
35	0.898	106	51.7
30	0.965	111	54.1
25	1.024	117	57.1
20	1.020	123	60.0
15	1.062	129	62.9
10	1.133	136	66.3
5	1.143	141	68.8



図－5.4　標準誤差および試験実施可能率の変化

平均風速による条件を付加した結果、条件を厳しくすると標準誤差が小さくなり理論と一致する結果となった。60%以上では標準誤差がほぼ一定になることからこの値を条件にすることとした。

以上より、平均風速 3.3m/s 以下で昼の時間に対する日射時間の割合が 60%以上の日で選別した結果を示す。



最高路面温度の関係　　実測値と予測値の差

図－5.5　設定した条件での判定結果

左図は判定条件で満足した場合と満足しない場合との関係で右図は回帰分析から得られる予測値と実測値の差のヒストグラムである。ヒストグラムの結果より±１℃の差の範囲に 94.4%収まっている結果となり精度についても十分であると考えられる。試験実施可能率も 19.0%から 35.1%になり 3 日に 1 回まで確率を上げられ実施可能な試験確率となったと考えられる。

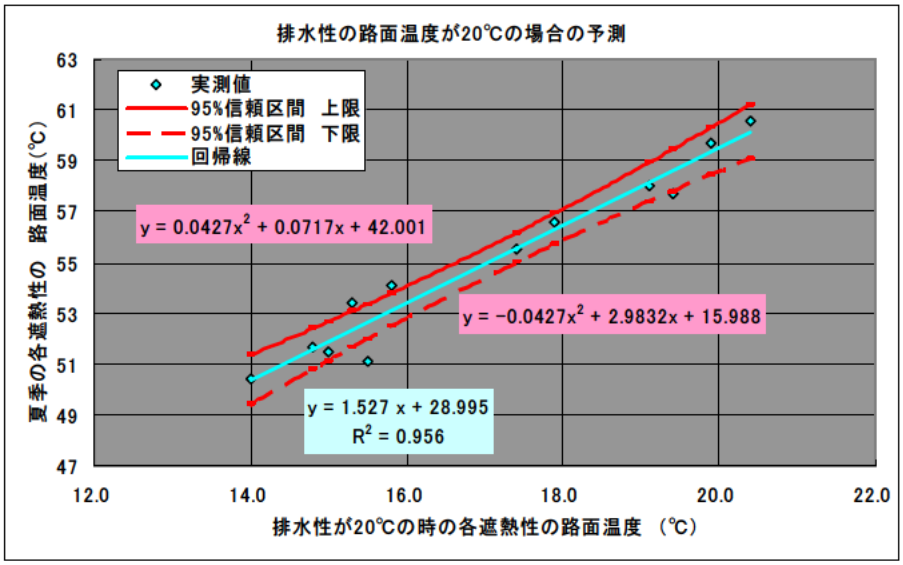
④各路面温度での回帰分析結果

③の結果から昼の時間に対する日射時間が 60%以上で平均風速が 3.3m/s 以下の場合のそれぞれの供試体に対する回帰式から排水性の路面温度に対応する各遮熱性の路面温度を算出した。その結果を以下に示す。なお、15℃以下は外挿による値である。

表－5.7　路面温度算出結果

	供試体No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
回帰線	傾き a	0.925	0.962	0.973	0.941	0.927	0.903	0.959	0.989	0.992	0.977	0.955	0.950
	切片 b	−4.448	−3.950	−1.576	−3.974	−3.530	−2.611	−3.411	0.090	0.565	−0.449	0.301	−1.593
排水性路面温度（℃）	0	−4.4	−4.0	−1.6	−4.0	−3.5	−2.6	−3.4	0.1	0.6	−0.4	0.3	−1.6
	5.0	0.2	0.9	3.3	0.7	1.1	1.9	1.4	5.0	5.5	4.4	5.1	3.2
	10.0	4.8	5.7	8.2	5.4	5.7	6.4	6.2	10.0	10.5	9.3	9.8	7.9
	15.0	9.4	10.5	13.0	10.1	10.4	10.9	11.0	14.9	15.4	14.2	14.6	12.7
	20.0	14.0	15.3	17.9	14.8	15.0	15.5	15.8	19.9	20.4	19.1	19.4	17.4
	25.0	18.7	20.1	22.8	19.6	19.6	20.0	20.6	24.8	25.4	24.0	24.2	22.2
	30.0	23.3	24.9	27.6	24.3	24.3	24.5	25.4	29.7	30.3	28.9	28.9	26.9
	35.0	27.9	29.7	32.5	29.0	28.9	29.0	30.1	34.7	35.3	33.8	33.7	31.7
	40.0	32.5	34.5	37.4	33.7	33.5	33.5	34.9	39.6	40.2	38.6	38.5	36.4
	45.0	37.2	39.3	42.2	38.4	38.2	38.0	39.7	44.6	45.2	43.5	43.3	41.2
	50.0	41.8	44.1	47.1	43.1	42.8	42.5	44.5	49.5	50.1	48.4	48.0	45.9
	55.0	46.4	48.9	52.0	47.8	47.5	47.1	49.3	54.5	55.1	53.3	52.8	50.7
	60.0	51.0	53.7	56.8	52.5	52.1	51.6	54.1	59.4	60.1	58.2	57.6	55.4

排水性が 20℃の場合の路面温度と夏季の路面温度の関係を以下に示す。

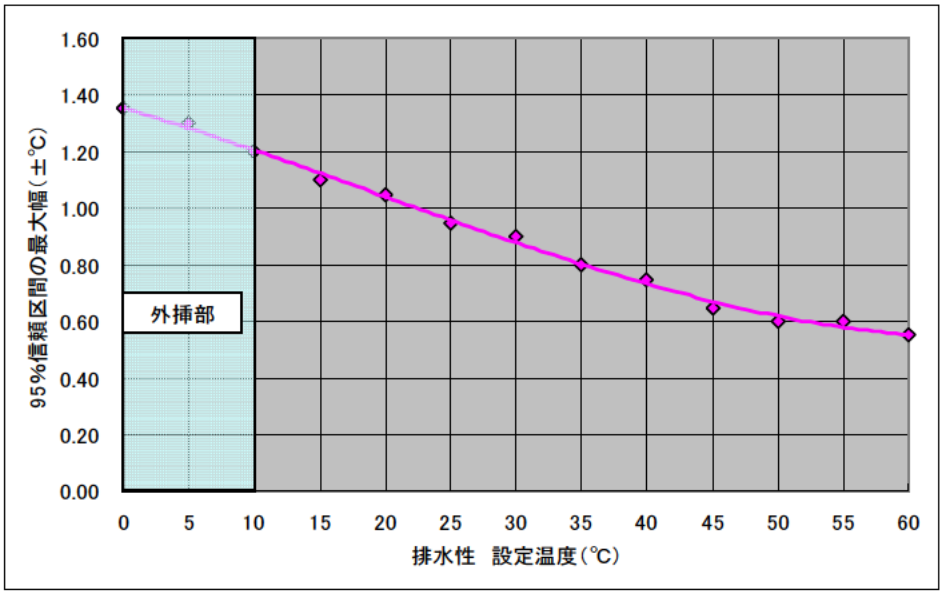


図－5.6　路面温度毎の回帰結果（路面温度 20℃の場合）

すべての路面温度で行った結果をまとめると以下の様になる。

表－5.8　路面温度毎の回帰結果

排水性	回帰線			95%信頼区間	備考
路面温度	傾き	切片	重相関	の最大幅	
℃	a	b	R2	±℃	
0	1.753	58.603	0.854	1.35	外挿部
5	1.721	50.336	0.891	1.30	外挿部
10	1.658	42.601	0.924	1.20	外挿部
15	1.603	35.376	0.942	1.10	実測部
20	1.527	28.995	0.956	1.05	実測部
25	1.472	22.881	0.969	0.95	実測部
30	1.426	17.108	0.979	0.90	実測部
35	1.352	12.643	0.985	0.80	実測部
40	1.302	8.010	0.990	0.75	実測部
45	1.250	3.900	0.994	0.65	実測部
50	1.204	0.053	0.996	0.60	実測部
55	1.155	−3.224	0.996	0.60	実測部
60	1.108	−6.137	0.997	0.55	実測部



図－5.7　路面温度毎の回帰結果（路面温度 20℃の場合）

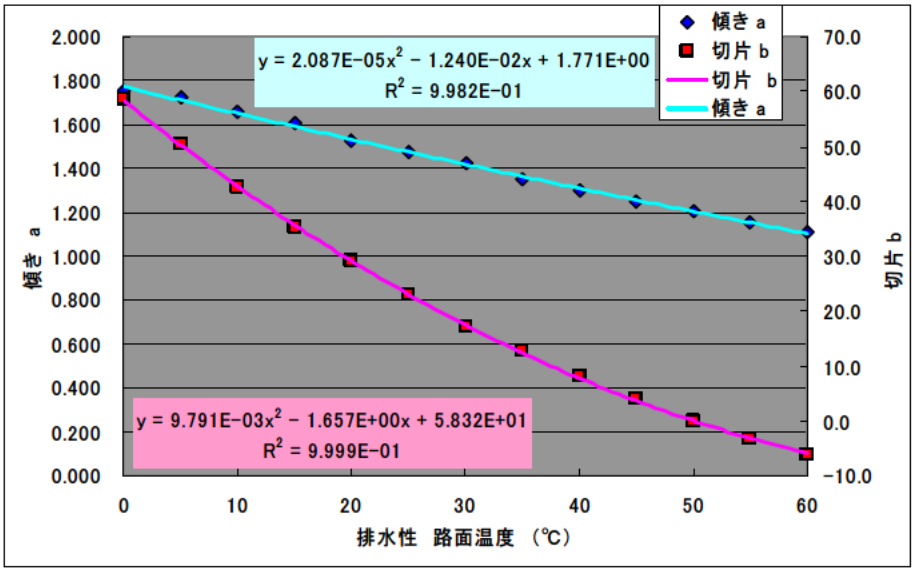
この結果から、排水性の路面温度が上昇するほど回帰値と 95%信頼性区間の温度差は小さくなり精度が上がる事が分かった。95%信頼区間の最大値を±1.0 程度にするには排水性の最高路面温度が 25℃以上にする必要がある。

⑤予測式の導入

排水性路面温度毎の回帰線およびその信頼区間は求められたが屋外での測定結果は5℃刻みに測定されない。そこであらゆる結果に対して適用できる予測式を導入する必要がある。

具体的には表－5.7の結果から排水性の路面温度(X1)と傾き（a）または切片（b）の関係を求める。それらの関係式から得られる係数を用いて回帰式を求め、その式に遮熱性の路面温度（X2）を代入し、夏季の路面温度を求める。

以下に排水性の路面温度と傾きおよび切片の関係を示す。



図－5.8　排水性の路面温度別の傾きおよび切片

この図より、排水性の路面温度(X1)に対する傾き(a)と切片(b)の関係式が導かれた。

予測式：$Y = a\,X_2 + b$

$$a=\{(2.087\times10^{-5})X_1^2+(-1.240)X_1+(1.771)\}$$

$$b=\{(9.791\times10^{-3})X_1^2+(-1.657)X_1+(5.832\times10)\}$$

ここで

Y：排水性が60℃の時の夏季の遮熱性の路面温度

X_1：排水性の最高路面温度（実測値）

X_2：遮熱性の最高路面温度（実測値）

⑥測定路面温度のズレによる影響

屋外で実測された最高路面温度が図－5.5（左図）で示した回帰線上にプロットされた場合は問題ないがプロットされていない場合、予測される路面温度が変化する。そこで路面温度のズレによる影響についての検討を行った。

検討対象は排水性の路面温度が 20.0℃で No.1 供試体が 13.8℃とした。図－5.5 より、測定される遮熱性の路面温度は排水性を固定した場合上昇する可能性はあるが低下する可能性は低い。そこで、排水性の路面温度を固定し No.1 供試体の路面温度を 1℃ずつ増加した場合の検討を行った。検討結果を以下に示す。

表-5.9　計算結果

排水性	遮熱性A塗布			
測定路面温度	測定路面温度	夏季予測値	夏季実測値	備考
X1	X2	Y	(50.4)との差	
20.0	13.8	50.2	-0.2	計算誤差
20.0	14.8	51.8	**1.4**	1℃のズレ
20.0	15.8	53.3	**2.9**	2℃のズレ
20.0	16.8	54.8	**4.4**	3℃のズレ

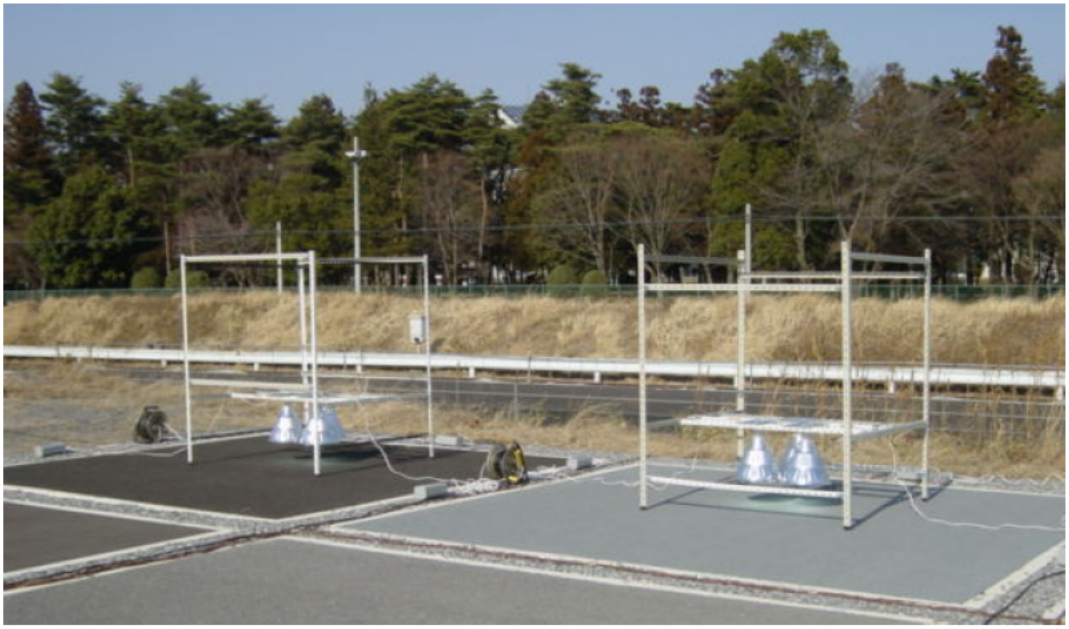
測定された路面温度が 1℃大きくなると夏季の路面温度との差は 1.4℃になる結果となった。路面温度が大きくなるほど夏季との温度差も大きくなることが分かった。今回の検討は実測部のある 20℃で行ったがさらに路面温度を低くした場合は測定された路面温度の僅かな違いが予測値に大きな影響を与えるものと考えられる。

５．３．ランプを使用した屋外試験から夏季の路面温度を予測する評価方法

5．3．1．試験内容

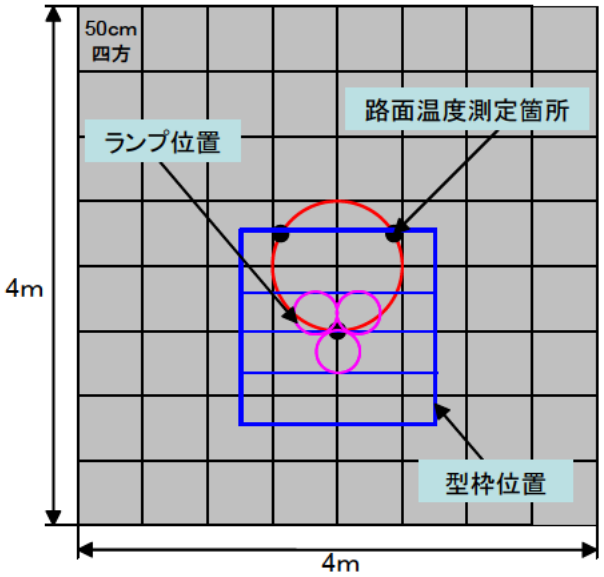
ランプを使用した屋外試験（以下、屋外ランプ試験）の試験方法の概要を示す。

屋外ランプ試験は4m角供試体上に室内試験で用いたランプを照射し強制的に路面温度を上昇させ路面温度を求める方法である。以下に試験状況を示す。



写真－5.1　屋外ランプ試験　試験状況

路面温度の測定位置は3箇所あるが（図－5.9）ランプを照射する箇所を1箇所とし路面温度を上昇させ測定を行った。供試体中の照射位置について以下に示す。



図－5.9　ランプ照射測定箇所



写真－5.2　照射位置（状況）

測定内容を以下に示す。なお、照射時間は現場での測定であることから準備、試験、片づけを考慮に入れ試験時間を 4 時間とした。

表－5.10　測定内容

測定日	平成16年2月中旬
測定場所	土木研究所　舗装走行実験場構内
照射時間	4時間
測定箇所	表面骨材内に熱電対を埋め込んで測定
測定間隔	30分毎

対象供試体は表－5.1 の排水性と No.1・4・7・10 の 4 枚を対象とした。

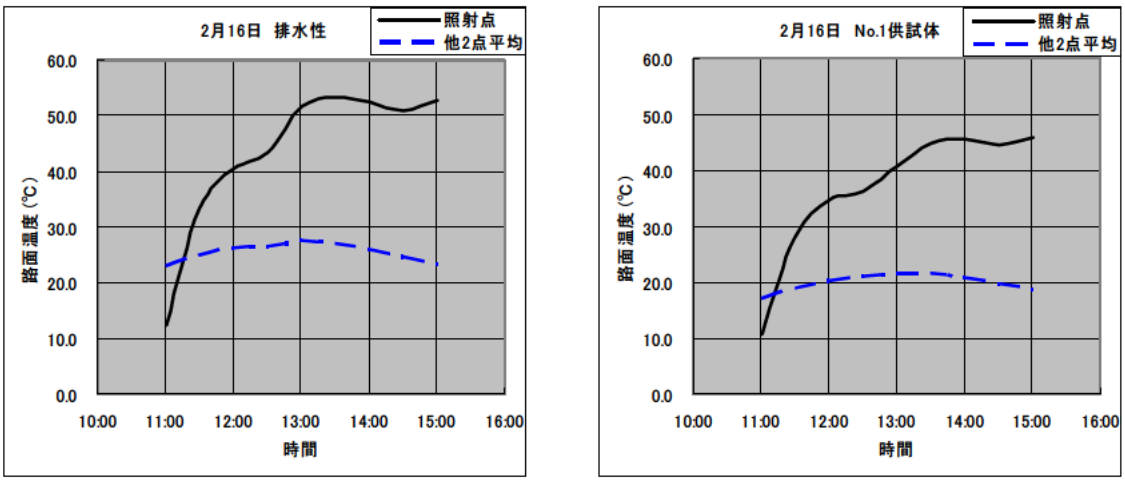
5. 3. 2. 試験結果

測定日は平成 16 年 2 月 16 日、照射時間は 11：00～15：00 までとした。
排水性と No.1 供試体の試験結果を以下に示す。

表－5.11　試験結果

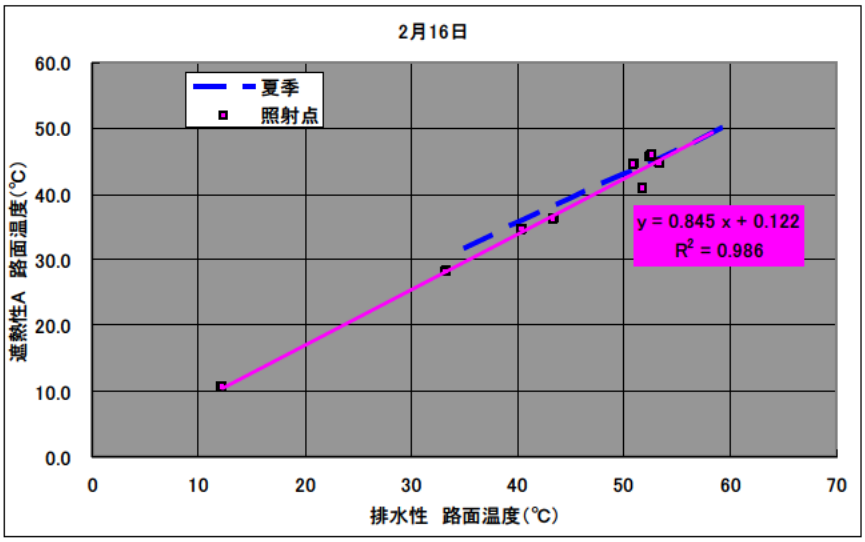
	照射点		他2点				平均		
	排水性	No.1	排水性		No.1		排水性	No.1	
11:00	12.2	10.5	21.2	25.0	18.7	15.7	23.1	17.2	照射開始
11:30	33.3	28.1	23.2	26.7	20.4	17.7	24.9	19.0	
12:00	40.4	34.7	25.0	27.8	21.6	19.2	26.4	20.4	
12:30	43.4	36.2	25.3	28.0	21.9	20.0	26.6	21.0	
13:00	51.8	40.8	26.2	29.1	22.8	20.5	27.6	21.7	
13:30	53.3	44.8	26.0	28.3	22.3	20.7	27.1	21.5	
14:00	52.6	45.7	25.2	26.9	21.5	20.1	26.1	20.8	
14:30	51.0	44.6	24.2	25.3	19.9	19.3	24.7	19.6	
15:00	52.7	46.0	23.0	23.7	18.9	18.2	23.4	18.6	照射終了

排水性および No.1 供試体の経時変化は以下の様になった。



図－5.10　各供試体の路面温度の変化

ランプを照射することで路面温度は排水性で 50℃以上に上昇した。
そこで次に相関図を見ると以下の様になる



図－5.11　各供試体の路面温度の変化

路面温度が上昇すると夏季の結果に近似していくことが分かる。この回帰線から排水性が 60℃の時の温度を求めると以下の様になる。

表－5.12　計算結果

供試体 No	排水性	回帰式		排水性が60℃の時の路面温度		温度差
	最高路面温度	傾き	切片	予測値	夏季実測値	(℃)
1	53.3	0.845	0.122	50.8	50.4	0.4
4	52.4	0.835	−0.510	51.0	51.7	−0.7
7	48.2	0.827	1.591	51.2	54.1	−2.9
10	43.1	0.922	2.361	57.7	58.0	−0.3

予測値と実測値がほぼ一致する場合とそうでない場合が見られる。この原因として予測値は回帰式の外挿部にあたる為、排水性の最高路面温度が低い場合外挿による影響を受けているものと考えられる。また、No. 10 の供試体は路面温度低減効果が小さく得られる回帰線が変わらないため実測値と予測値の差が小さくなったと考えられる。また、得られる予測値の精度は５．２．章の結果よりも格段に精度よくないことから施工後に道路を規制して評価試験を行う程のメリットは無いと考えられる。

５．４．まとめ

これまでの結果から以下の事がまとめられる。

- 日照時間が昼の時間（理論値）の 60%以上で平均風速が 3.3m/s 以下の日を測定条件とすることで夏季以外の路面温度から夏季の路面温度を求める予測式を導くことが出来た。
- 屋外ランプ試験では路面温度が上昇し夏季の路面温度に近似することが分かった。しかし、夏季以外の路面温度から予測する方法より格段の精度の向上が見込まれないことから道路を規制して試験を行うほどのメリットが無いことがわかった。

第６章　結論・今後の課題

６．１．　本研究の結論

本研究から得られた成果を以下に示す。

①屋外測定結果に関する検討

・ 屋外測定結果に関する検討から、比較舗装の選定、供試体サイズの影響、測定地域の影響、車の走行による日射量の影響について解明することが出来た

②室内試験による路面温度低減効果の評価方法（遮熱性・明色性舗装）

・ 評価用ランプの選定、供試体の構造、室内温度、試験時間について検討を行い、試験条件を決定した。
・ 上記の試験条件にて室内試験結果から屋外の路面温度を予測する式を導くことができた。

③室内試験による路面温度低減効果の評価方法（保水性舗装）

・ 評価用ランプの選定、室内温度について検討を行い、試験条件を決定した。
・ 上記の試験条件にて室内試験結果から屋外の路面温度を予測する式を導いたが、サンプル数が足りず精度のある予測式を導くことが出来なかった。
・ 試験時間の短縮は、保水状態で得られる路面温度が大きく変わることから一定の予測式は得られないこと考えられる。

④夏季以外の屋外試験による路面温度低減効果の評価方法

・ 日射時間と平均風速の関係から実施可能な測定条件を求めることができた。
・ 上記の測定条件を用いて、夏季以外の路面温度から夏季の路面温度を予測する式を導くことが出来た。
・ 屋外でランプを使用した試験で夏季の路面温度を予測したが現場で実施するほどのメリットない結果となった。

６．２．　今度の課題

・ より路面温度低減効果のある舗装に適用する予測式を導く必要がある。
・ 保水性供試体の室内評価方法の確立が必要である。
（屋外の散水条件、室内の吸水条件を踏まえた評価方法）

参考文献

１）気象庁報道発表用資料：６月の天候、７月の天候、８月の天候、９月の天候

２）福田、深沢ら：夏季自然状態での各種舗装の熱環境緩和特性に関する実験的研究
土木学会論文集、No.571/V-36　1997.8　pp149-158

３）岩井茂雄：舗装と熱環境　－熱の伝わり方と熱収支
舗装　Vol.36－9　2001　pp4-10

４）三田、菅野ら：路面温度の上昇抑制機能を有する舗装構造に関する検討（その２）
第 50 回土木学会年次学術講演会　V-269　1995　pp538 - 539

５）福田、浅枝、藤野：気象観測データを用いた舗装表面放出熱量の推定に関する研究
土木学会舗装工学論文集　第 4 巻　1999.12　2001　pp165-172

６）舗装の色調と路面温度　舗装　1988.7　pp31-34

７）城戸、新田、吉田：都市環境に配慮した歩行者系舗装に関する一検討
第 24 回日本道路会議　一般論文集（C）　9082　pp164-165

８）姫野、渡辺、勝呂：アスファルト舗装の内部温度の推定に関する研究
土木学会論文集　No.366　1986.2　pp123-132

９）理科年表　平成 14 年：丸善株式会社　2002

10）近藤純正：水環境の気象学　朝倉書店　1994.12

謝辞

本研究を行うにあたり、多大なるご指導、ご協力を頂いた基礎道路技術研究グループ舗装チームの伊藤上席研究員、新田主任研究員、城戸研究員ならびに舗装チームの皆様、また供試体の提供をして頂きました関係者各位に対し深謝の意を表します。

また、交流研究員として研究参加させて頂くために推薦、派遣して頂いた福田道路㈱技術研究所所長 帆苅氏、並びに供試体作製等で協力して頂きました技術研究所所員一同に深く感謝致します。

平成 16 年 4 月

福田道路㈱技術研究所　平方和幸