

**投稿論文(和文)**  
**PAPERS**

# 地表面温度低減機能を有する インターロッキングブロック舗装に関する研究

伊藤幸広<sup>1</sup>・松浦誠司<sup>2</sup>・辻 正哲<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 佐賀大学助手 理工学部土木工学科 (〒840 佐賀県佐賀市本庄1)

<sup>2</sup>工修 西松建設(株)技術研究所 (〒242 神奈川県大和市下鶴間2570-4)

<sup>3</sup>正会員 工博 東京理科大学助教授 理工学部土木工学科 (〒278 千葉県野田市山崎2641)

都市の熱環境の悪化には、地表面がアスファルト舗装やコンクリート舗装によって被覆されることによる蒸発潜熱量の減少や熱容量の増加が一因となっている。本研究は、熱環境の悪化を防ぐ舗装として、地表面からの蒸発散作用を持ち、地表面温度を低減させる機能を有する舗装の開発を目的としたものである。3種類の一般的な舗装と提案する舗装のモデル舗装を屋外に施工し、地表面温度、地中温度等の測定を行い、地表面温度低減効果の確認および各舗装間の熱特性の違いについて比較検討を行った。

**Key Words:** *interlocking block pavement, surface temperature, underground temperature, latent heat, capillary action, thermal environment*

## 1. はじめに

都市化に伴い地表面の大部分はアスファルトやコンクリートによって被覆されることになるが、このことが都市の熱環境を悪化させる一因となっている。都市全体での熱環境問題としては、気温の上昇・熱帯夜日数の増加に代表されるようなヒートアイランド現象が有名である。ヒートアイランド現象の発生は、道路の舗装化による蒸発潜熱量の減少、舗装道路やコンクリート構造物の増加による都市全体の熱容量の増大の他に、石油・電気エネルギーの大量消費に伴う排熱の増大、裸地面積の減少・小規模河川の埋め立てによる蒸発散熱量の減少など、原因は多岐に渡っている。さらに舗装化による影響は、局所的な熱環境に対し直接的に作用し、生活環境を悪化させている。具体例を挙げれば、真夏の日中におけるアスファルト舗装の歩道では、地表面温度が50℃以上にも達し、路面からの激しい照り返しにより歩行者に大きな不快感を与え、これに隣接する建物の室内環境に悪影響を及ぼす。またアスファルトおよびコンクリート舗装は日中に大量の熱を蓄熱するため、夜間になっても気温より地表面温度が高く、外気を加熱し続ける。このことは室内環境に影響を及ぼすばかりでなく、冷房負荷の増加をもたらす。広域的には熱帯夜の発生を助長する大きな要因となっている。

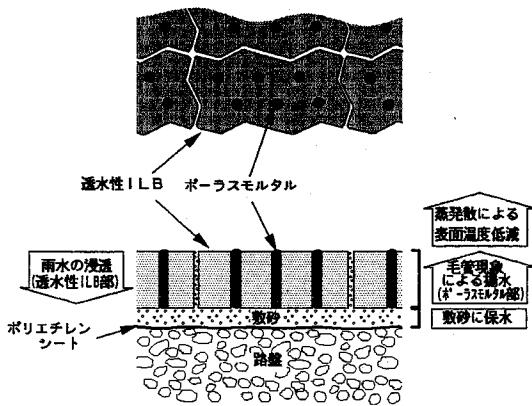
熱環境に及ぼす舗装の影響を明らかにするために、実際の都市内の舗装道路やモデル舗装の実測値を用いて各

種舗装の熱特性について調査した報告が多くみられる。

浅枝ら<sup>1)</sup>は、アスファルト舗装、コンクリート舗装、土等の地表面から放射される長波放射量を測定しており、真夏の日中のアスファルト舗装の長波放射量は600 W/m<sup>2</sup>に達し、コンクリート舗装に比べ100 W/m<sup>2</sup>程度、土に比べて150 W/m<sup>2</sup>程度大きいとし、この量は人工廃熱の数倍以上の値であるとしている。

塩月ら<sup>2),3)</sup>は、実際の地盤を掘削して作製した直径4 mの裸地、芝地、コンクリート舗装、透水性アスファルト舗装およびアスファルト舗装の試験体を用い、地表面温度、地中温度、日射量などの実測値より各舗装の地表面熱収支について検討を行っている。結果として、日射吸収率が大きく、蒸発潜熱量がきわめて少ないアスファルト舗装は、日射を受けた場合、地表面温度が非常に高くなり地中への伝導熱量も多くなるとし、裸地では逆に、蒸発潜熱量が多いため地表面温度がさほど高くないとしている。また成田ら<sup>4)</sup>も、アスファルト舗装の試験体を用い裸地との熱収支を比較しており、アスファルト舗装の地中への伝導熱量は裸地の2~2.5倍程度あり、深層に渡って昇温することから蓄熱量が多くなり、夜間においても下層からの連続的な熱の供給により、裸地よりも地表面温度が高くなるとしている。

以前より、舗装が周囲の熱環境に影響を及ぼすことは明らかとなっていたが、わが国のこれまでの舗装は車道舗装および歩行者系道路舗装とともに、経済性、施工性、強度、耐久性、走・歩行性といった機能が重視され、施



図一 地表面温度低減機能を有する舗装構造の概念図

工されてきた。しかし最近では、歩行者系道路舗装において、歩行者の快適性、景観の向上、環境の保全といった機能を付加させた舗装に注目が集まっている。なかでも透水性舗装は、降雨時の歩行性、景観向上に効果的な他、地下水の涵養、雨水の貯留による都市洪水の調節といった環境面での機能も多く合わせ持っている。さらに、雨水を保水した透水性舗装の路面からは蒸発散が行われ、地表面温度が低くなり、熱環境の改善効果も期待できることが知られている<sup>3)</sup>。しかし、この舗装では裸地のように地表面への水分の供給が常時行われないため、大幅な改善効果は期待できない。

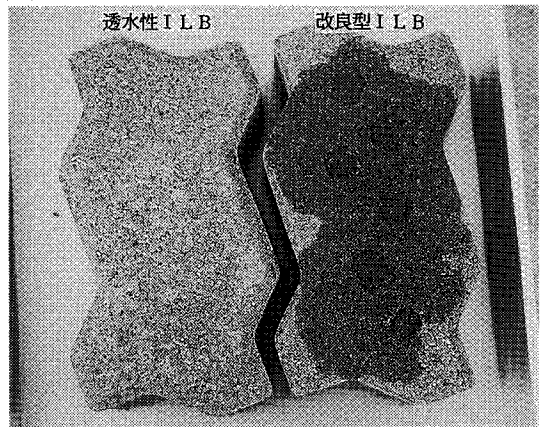
本研究は、熱環境の悪化を防ぐ舗装として、舗装自体に地表面の温度を低減させる機能を付加させた舗装を開発することを目的としたものである。提案する舗装は、裸地と同様に連続的に地表面において蒸発散を行い、地表面温度を低減させる機能を持つものである。その構造としては、従来の透水性インターロッキングブロック舗装に改良を加えたものであり、雨水を保水する保水層と毛管現象により保水層から地表面に水を揚水する機能を持つ表層部からなるものであり、主に歩道および公園等の舗装を対象としたものである。

本文は、今回提案する舗装の他に透水性インターロッキングブロック舗装、アスファルト舗装、コンクリート舗装のモデル舗装を屋外に施工し、地表面温度、地中温度の測定結果から、地表面温度低減効果の確認、各舗装間の熱特性の違いについて比較検討した結果について報告するものである。

## 2. 地表面温度低減機能を有する舗装の提案

地表面の熱収支を定式化した熱収支方程式はエネルギー保存則より導かれ、次式で表される。

$$Rin = Rout + H + LE + G \quad (1)$$



写真一 透水性ILBと改良型ILBの表面状態

ここに、 $Rin$ : 地表面における日射量 [ $W/m^2$ ]  
 $Rout$ : 地表面における長波放射量 [ $W/m^2$ ]  
 $H$ : 顕熱流束 [ $W/m^2$ ]  
 $LE$ : 潜熱流束 [ $W/m^2$ ]  
 $G$ : 地表面を対流、伝熱等により通過する地熱流束 [ $W/m^2$ ]

である。

舗装周辺の熱環境の悪化を防ぐためには、地表面での大幅な温度上昇を抑制することや蓄熱量を減少させることが重要である。地表面での温度上昇を抑制する方法としては、日射反射率の大きな材料を用いること、蒸発散作用により地表面での蒸発潜熱量を大きくすることなどが考えられる。また、蓄熱量を少なくする方法としては、日射反射率や蒸発潜熱量を大きくすることにより地中伝導熱量を小さくすること、熱伝導率や熱容量の小さな材料を用いることなどが考えられる。

図一は、上記の考え方により試作した地表面温度低減機能を有する舗装構造の概念図を示したものである。表層材は、色調が灰色の市販の透水性インターロッキングブロック（以下透水性ILB）に鉛直方向の孔をあけ、その孔に連続空隙を有するモルタル（以下ポーラスモルタル）を詰めたものである。敷砂層および路盤の材質は一般的なものであるが、雨水の保水能力を高めるために敷砂と路盤との間にポリエチレンシートを敷設した。よって、本舗装では地盤へ雨水が浸透しないため、一般の透水性舗装のような地下水の涵養といった機能はないが、雨水を貯留する構造であるため、豪雨の際の下水の負担能力を軽減できる可能性がある。なお、表層材には厚さ80mmのブロックを用いたが、これは保水能力を高めるためである。孔に詰めたポーラスモルタルは、砂セメント比を大きくし、ペースト分を少なくしたものであり、毛管現象により水分が上方に移動するような適度

な連続空隙を持つものである。写真-1は、孔にポーラスモルタルを詰めた透水性 ILB（以下改良型 ILB）と市販の透水性 ILB を底から 1 cm の高さまで水を入れたバットの中に置き、5 分経過後の表面状態を示したものである。市販の透水性 ILB の表面には変化がみられないのに対し、改良型 ILB の表面は毛管現象で吸い上げられた水により濡れた状態となっている。

この舗装構造は裸地の水収支を模したものであり、舗装面に降った雨水は本来の透水性 ILB の部分を通して敷砂に一旦保水され、その後孔に詰めたポーラスモルタルの毛管現象によりブロック表面まで揚水され、日射によって蒸発し潜熱を奪って地表面温度を低下させるものである。また、透水性 ILB 自体がポーラスであり熱伝導率が小さいため、蓄熱量が少なくなることも期待できる。

### 3. 実験概要

本研究では、まず予備実験を行いその結果をもとに屋外実験に用いる表層材の構造を決定した。予備実験で検討した項目は以下の 3 項目である。

- ① 所定の高さまで揚水できるポーラスモルタルの配合の選定
- ② 表面温度低減効果に及ぼすポーラスモルタルの直径および本数の影響
- ③ ポーラスモルタルの直径および本数が改良型 ILB の圧縮および曲げ強度に及ぼす影響

屋外実験では、裸地および実際の地盤を掘削して作製したアスファルト舗装、コンクリート舗装、透水性 ILB 舗装および改良型 ILB 舗装のモデル舗装について、地表面温度、地中温度の測定を行い、裸地および各舗装の熱特性に関して比較検討を行った。

### 4. 予備実験

#### (1) 実験方法

##### a) ポーラスモルタルの配合の選定に関する実験

##### i) 使用材料および配合

実験に用いたセメントは、普通ポルトランドセメントであり、細骨材は鬼怒川産の川砂である。細骨材の粒度分布曲線は図-2 に示すとおりである。実験で対象とした配合条件は表-1 に示す 9 種類である。

##### ii) 実験方法

毛管現象による揚水高さの測定は、図-3 に示す方法により行った。供試体は、内径 10 mm、高さ 80 mm のビニルチューブにポーラスモルタルを入れ、突き棒により突き固めて成形したものである。なお、供試体の高さは今回用いた透水性 ILB の厚さと同じとした。揚水高さの測定は、1 日間気中養生した供試体を、深さ 5 mm ま

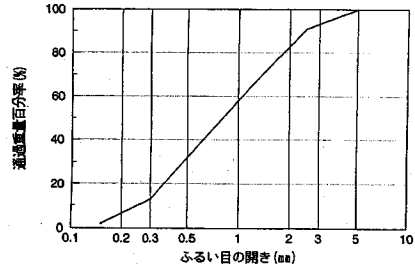


図-2 細骨材の粒度分布曲線

表-1 ポーラスモルタルの配合に関する実験の要因と水準

要因	水準
水セメント比 (%)	25, 30, 35
砂セメント比	2.5, 3.0, 3.5

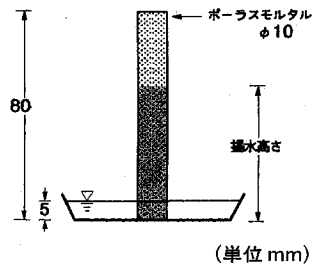


図-3 揚水高さの測定方法

で水を入れた皿の中に立て、1 時間後に水が上昇した高さを測定する方法とした。

##### b) 表面温度低減効果に及ぼすポーラスモルタルの直径および本数の影響に関する実験

##### i) 実験条件

ポーラスモルタルの直径が表面温度低減効果に及ぼす影響を調べる実験では、ポーラスモルタルの直径を  $\phi 10$ ,  $\phi 12$ ,  $\phi 14.5$  mm の 3 通りに変化させた場合について検討した。ブロック 1 個当りのポーラスモルタルの本数は、直径が  $\phi 10$  mm の場合 20 本、 $\phi 12$  mm の場合 14 本、 $\phi 14.5$  mm の場合 10 本とし、ブロック表面に占めるポーラスモルタル部の総面積をほぼ一定とした。

ポーラスモルタルの本数が表面温度低減効果に及ぼす影響を調べる実験では、ポーラスモルタルの直径が  $\phi 14.5$  mm のものについて、本数を 6, 8 および 10 本の 3 通りに変化させ検討を行った。

##### ii) 実験装置および方法

実験は室内において、図-4 に示すような赤外線照射器を用いた装置により行った。測定では同時に 4 台の装置を用い、その内の 3 台には改良型 ILB を表層材に配置した試験体（以下改良型 ILB 試験体）を、残りの 1 台にはアスファルトコンクリートを表層材に配置した試験体（以下アスファルト試験体）をセットし実験を行った。ア

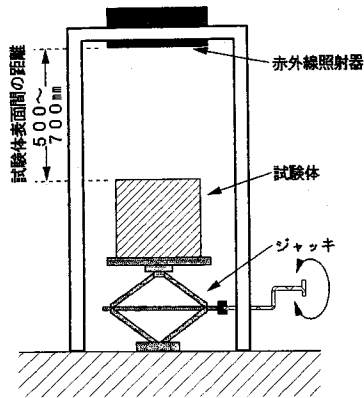


図-4 室内実験装置

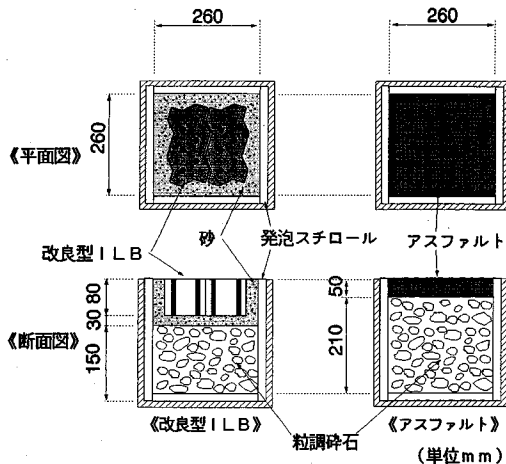


図-5 試験体の形状

スファルト試験体は、赤外線照射器で実際の日射の状態を再現するための照射量管理用の試験体として用いた。照射量の管理方法としては、夏季に観測した大学周辺のアスファルト舗装道路の地表面温度の経時変化と一致するように、アスファルト試験体表面から赤外線照射器までの距離を調節する方法とした。改良型ILB試験体の照射量は、アスファルト試験体と赤外線照射器との距離と一致させることにより管理した。今回の実験では、赤外線照射器の照射を連続6時間行ったのちに照射を止め6時間放置するというサイクルを1サイクルとし、連続で3サイクル行った。なお、第1サイクルの照射を始める前に降水量10mmに相当する量の水を試験体上面より散布した。

測定項目は試験体の表面温度であり、その測定には赤外線放射温度計を用いた。

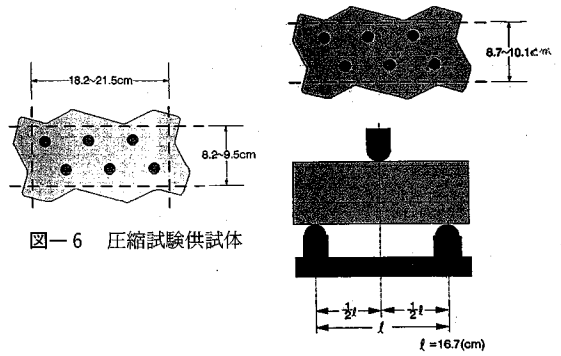


図-6 圧縮試験供試体

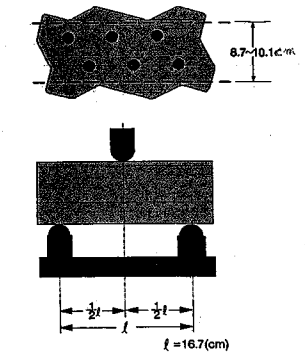


図-7 曲げ供試体・載荷方法

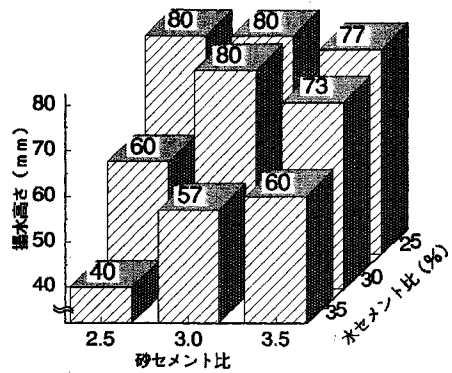


図-8 配合別揚水高さ

c) ポーラスモルタルの直径および本数が改良型ILBの圧縮および曲げ強度に及ぼす影響

i) 実験方法

圧縮強度試験は、図-6に示すように改良型ILBの端部をコンクリートカッターで切断し、表面および底面にキャッピングを施し載荷試験を行った。

曲げ強度試験は図-7に示すように端部をコンクリートカッターで切断し、スパン16.7cmの中央集中載荷により試験を行った。

(2) 実験結果

a) ポーラスモルタルの配合の選定

図-8は、ポーラスモルタルの配合別に揚水高さを示したものである。揚水高さは水セメント比が小さくなるほど大きくなる傾向がある。揚水高さが80mmとなる配合は3種類であるが、そのうち水セメント比が25%のものでは結合材としてのペースト分が不足し、ポーラスモルタルが硬化した後においても表面部の砂粒子が剥離するという現象がみられた。したがって、最適なポーラスモルタルの配合は、水セメント比30%、砂セメント比3.0のものと考えられる。

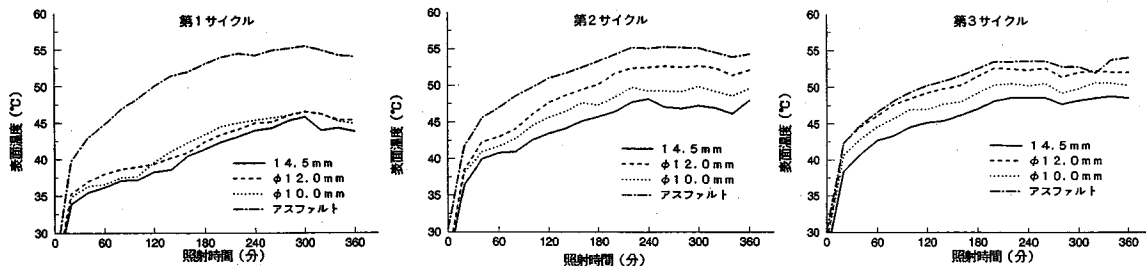


図-9 照射時間と表面温度の関係

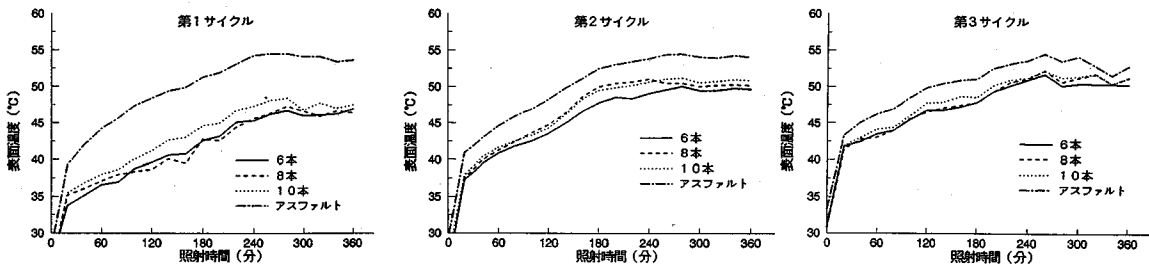


図-10 照射時間と表面温度の関係

b) 表面温度低減効果に及ぼすポーラスモルタルの直径および本数の影響

図-9は、ポーラスモルタルの直径別に照射時間と表面温度の関係を示したものである。第1サイクルでは、改良型ILB試験体は、ポーラスモルタルの直径にかかわらず同様の傾向を示し、アスファルト試験体の表面温度よりも約10℃低い値を示している。しかし、第2サイクルでは、各試験体間の差は広がりφ14.5、φ10、φ12mmの順に表面温度は低くなる。照射時間300分では、φ14.5mmとφ12mmとの間には約5℃の差が見られる。第3サイクルでは、各試験体ともアスファルトの表面温度に近くなるが、φ14.5mmの試験体が最も表面温度が低い値を示し、アスファルトより約8℃低くなっている。

図-10は、ポーラスモルタルの本数別に照射時間と表面温度の関係を示したものである。サイクル数が増えるにしたがい各試験体の表面温度はアスファルトのそれに近づくが、いずれのサイクルにおいても本数の違いによる顕著な違いは認められない。

以上の結果より、ポーラスモルタルの直径を一定とした場合にはその本数が変化しても表面温度低減効果に及ぼす影響は小さく、むしろポーラスモルタルの直径の違いによる影響の方が大きいといえる。

c) ポーラスモルタルの直径および本数が改良型ILBの圧縮および曲げ強度に及ぼす影響

表-2は、ポーラスモルタルの直径および本数の異なる改良型ILBの圧縮および曲げ強度試験の結果を示したものである。透水性ILBの圧縮および曲げ強度は、そ

表-2 強度試験結果

ポーラスモルタルの直径 (mm)	ブロック1個当りのポーラスモルタルの本数	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
透水性ILB (ポーラスモルタルなし)		62.3	458
10.0	20	35.0	372
12.0	14	33.7	303
14.5	6	63.0	377
	8	29.6	239
	10	25.6	223

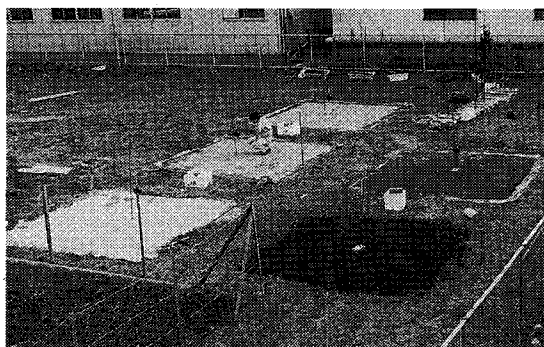


写真-2 実験場の全景

れぞれ458 kgf/cm<sup>2</sup>および62.3 kgf/cm<sup>2</sup>となっている。改良型ILBの中では、直径φ14.5mm、本数6本のものが最も強度が大きく、圧縮および曲げ強度はそれぞれ377 kgf/cm<sup>2</sup>および63.0 kgf/cm<sup>2</sup>となっており、透水性ILBに対して圧縮強度では80 kgf/cm<sup>2</sup>低下しているが曲げ強度では同等の結果が得られている。この値は実際

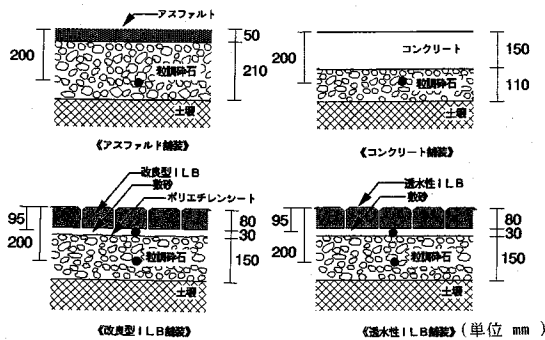


図-11 モデル舗装の断面形状 (●温度測定点)

の施工に用いた場合でも、問題のない値であると考えられる。

## 5. 屋外実験

### (1) 実験方法

#### i) モデル舗装

屋外実験としては、千葉県野田市にある東京理科大学構内において、平面形状が300×300 cmのモデル舗装を作製して測定を行った。モデル舗装としては、改良型ILB舗装の他に潜熱による地表面温度低減効果を検証するための比較対象として透水性ILB舗装、さらに一般的な比較対象としてアスファルト舗装およびコンクリート舗装の合計4種類の舗装を作製した。また、実験場内の地盤(裸地)についても測定を行った。同じ材質の表層材でも、顔料等の添加により表面の色調が異なりと日射反射率は大きく異なり、それによって舗装の熱特性も大きく変化するため、今回の実験では、各モデル舗装とも着色されていない素材の色のままの表層材を用いた。モデル舗装の断面図は図-11に示すとおりである。なお、モデル舗装と現地盤との間で水平方向に水分が移動するのを防ぐために、境界部分にはポリエチレンシートを配置した。改良型ILB舗装の表層材には予備実験の結果をもとに、水セメント比30%、砂セメント比3.0のポーラスモルタルを直径φ14.5 mmで本数6本配置したものをを用いた。

#### ii) 測定項目

測定項目は、裸地および各舗装の地表面温度、地中温度、実験場での気温、湿度、降水量である。それぞれの測定に使用した機器は表-3に示すとおりである。地中温度の測定位置は図-11に黒丸で示すように、裸地および各舗装とも地表面から深さ20 cmの位置であり、特に透水性ILB舗装および改良型ILB舗装では敷砂層の中間位置での温度についても測定した。

#### iii) 実験方法

屋外実験では、降水量の違いが各舗装の熱特性に及ぼ

表-3 測定機器

項目	測定装置
地表面温度	赤外線放射温度計
地中温度	熱電対

表-4 屋外実験の実験条件と測定期間

	実験条件	測定期間
ケース-1	降雨なし	平成4年 8月18日～21日
ケース-2	降水量：20mm	平成4年 8月25日～29日
ケース-3	降水量：10mm	平成4年 9月1日～3日

す影響を調べるため、3つのケースを設定して検討を行った。ケース1は降雨がない状態、すなわち各舗装とも蒸発散作用がほとんどない状態、ケース2は20 mmの降雨の後の状態、ケース3は10 mmの降雨の後の状態とした。降雨に関しては所定の水量を散水することにより代用し、散水作業は各ケース測定開始の前日の午後6時～8時の間に行った。なお、各ケースの実験条件と測定期間は表-4に示すとおりである。

### (2) 気象状況

測定期間中の気象状況は図-12に示すとおりであり、各気象要素は実験場から約8 km離れた位置にある気象大学校で観測されたものである。測定期間中は日射量もかなり大きく、連日最高温度が30℃を越す真夏日となっている。降雨に関しては、平成4年8月20日に7 mm程度の夕立が観測されているが、当該実験場においては測定期間中降雨は観測されていない。

### (3) 実験結果

図-13は、降雨がない状態(ケース1)での測定結果である。日中において地表面温度が最も高くなるのはアスファルト舗装であり、次いで透水性ILB舗装および改良型ILB舗装の順となっている。アスファルト舗装と透水性ILB舗装および改良型ILB舗装の間には日中の日射の強い時間帯において1～2℃程度の温度差が見られるが、その他の時間帯では温度差はなくなっている。コンクリート舗装の日中の地表面温度は他の舗装よりも6～8℃低くなるが、この主な理由としては、透水性ILB舗装および改良型ILB舗装の表面の色調が灰色であるのに対し、コンクリート表面の色調は灰色よりむしろ白色に近く、日射反射率がかなり大きいこと、および、コンクリートの熱伝導率が他の舗装の表層材に比べ、2倍以上と大きいことによると考えられる。日の出から正午にかけては裸地とコンクリート舗装の地表面温度はほぼ等しくなるが、それ以降はコンクリートの蓄熱作用により温度差が生じてくる。

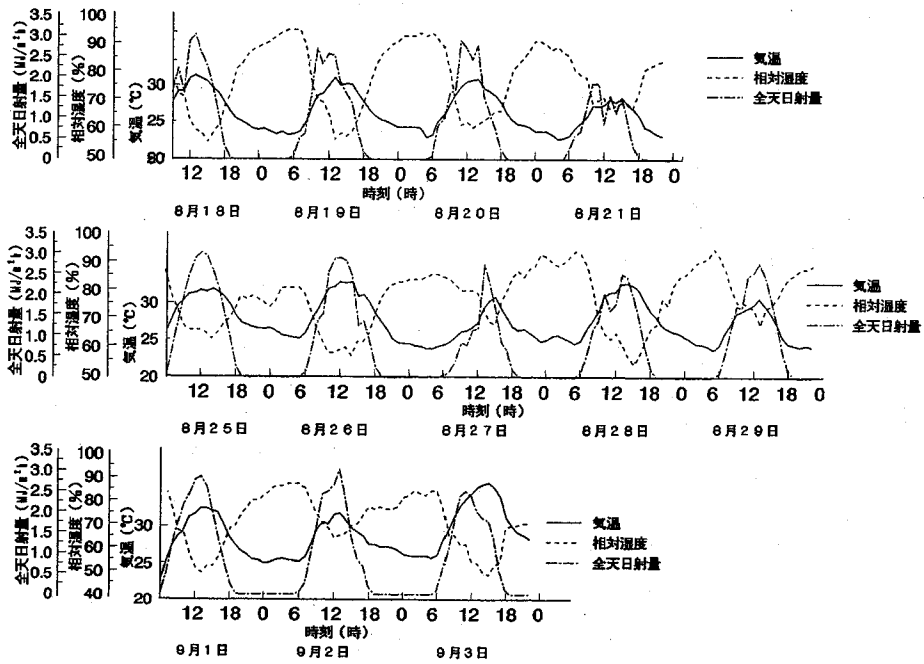


図-12 気象状況

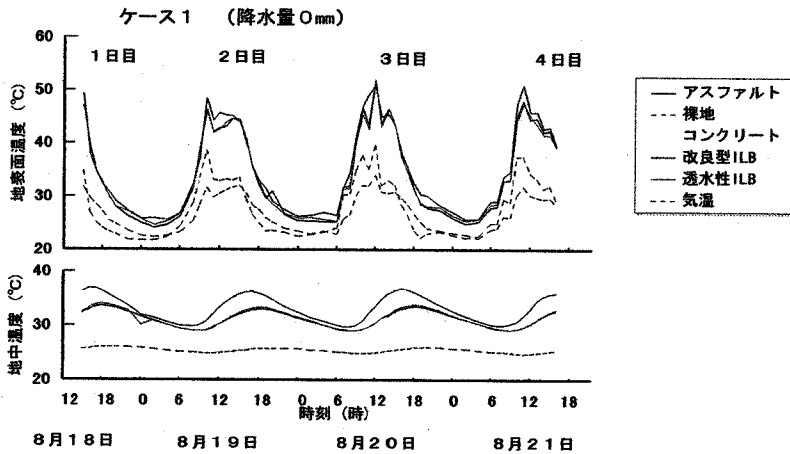


図-13 地表面温度と地中温度の測定結果

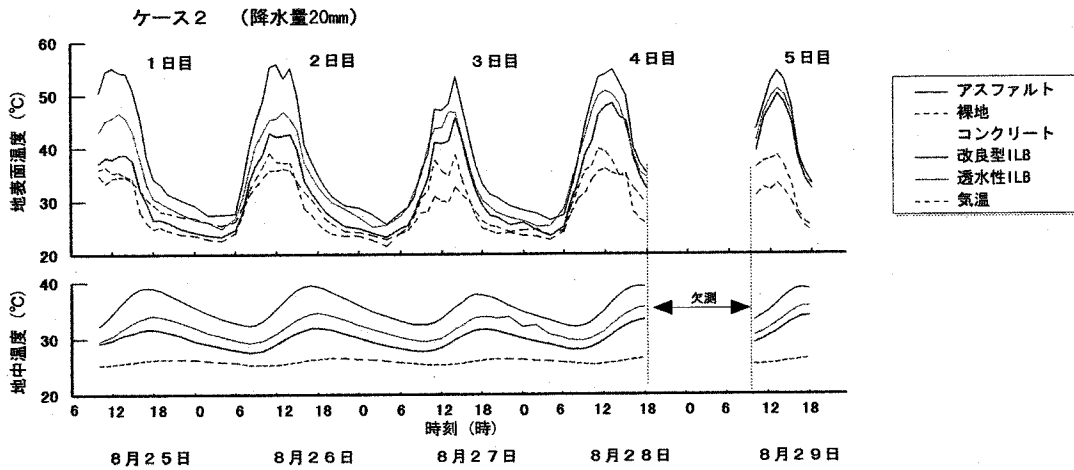
夜間において地表面温度が最も高いのはアスファルト舗装であり、逆に最も低いのは改良型 ILB 舗装である。しかし、その差はわずかである。日中でのコンクリート舗装と他の舗装との温度差の大きさに比べ、夜間での温度差が小さいのは、コンクリートの熱容量が他の舗装に比べ大きいことによる。なお、実験でとりあげた舗装は全て、夜間においても地表面温度が外気温よりも高く、外気へ熱を放出し続けている。

地表面温度の日較差は、アスファルト舗装、透水性 ILB 舗装、改良型 ILB 舗装が大きく 20°C 以上あり、コン

クリート舗装が最も小さく約 15°C 程度である。

地表面から深さ 20 cm の位置における地中温度は、地表面温度と同様にアスファルト舗装が最も高く、次いで透水性 ILB 舗装および改良型 ILB 舗装の順となっている。日中において、透水性 ILB 舗装と改良型 ILB 舗装の地表面温度がアスファルト舗装のそれとさほど差がないにもかかわらず、地中温度では約 2~4°C 程度の差が生じるのは、表層材である透水性インターロッキングブロックの熱伝導率が小さいことによるものと考えられる。また同様の理由から、アスファルト舗装と透水性





図一14 地表面温度と地中温度の測定結果

ILB 舗装および改良型 ILB 舗装との間には、最高温度に達する時刻に 1 時間程度の差が生じている。

図一14は、降水量 20 mm に相当する水量を散水した状態（ケース 2）での測定結果である。1 日目の日中における地表面温度は、アスファルト舗装が最も高く、透水性 ILB 舗装、コンクリート舗装、改良型 ILB 舗装の順に低くなっている。改良型 ILB 舗装の地表面温度は、蒸発散作用によりアスファルト舗装に比べ 13～16°C 低くなっている。また、透水性 ILB 舗装の地表面温度もアスファルト舗装に比べ 7～9°C 低くなるが、この時目地砂からの揚水により透水性インターロッキングブロックの外周が濡れた状態となっており、この部分での蒸発散作用により温度低下したものと考えられる。透水性 ILB 舗装および改良型 ILB 舗装の地表面温度は散水後日数が経過するにつれて、すなわち敷砂中の保水量が減少し蒸発散作用が低下するに従い、徐々に高くなる傾向を示している。改良型 ILB 舗装とアスファルト舗装との地表面温度の差は、4 日目で 6～7°C、5 日目で 4～5°C となり、降水量 20 mm では、4、5 日間効果が持続するものと考えられる。なお、蒸発散作用を持たないアスファルト舗装とコンクリート舗装の地表面温度は、測定期間中を通じてほとんど変化がみられない。

屋外における人体の温熱感覚を評価する指標は、いまだ確立されていないが、地表面からの照り返しが歩行者に与える不快感は、地表面からの日射の反射と高温になった地表面からの長波放射（再放射）の影響が大きいとされている。蒸発散作用により地表面温度が低下した改良型 ILB 舗装は、アスファルト舗装に比べ長波放射成分が小さくなるため、照り返しによる歩行者の不快感は低下するものと考えられる。

夜間の地表面温度に関しては、1 日目の日没から 2 日目の早朝にかけて、改良型 ILB 舗装の地表面温度は外気

温よりも低くなり、裸地と同様に外気からの吸熱となる。しかし、2 日目の日没以降は外気温よりも高くなり、透水性 ILB 舗装の地表面温度に近づく。

地中温度は測定期間中、昼夜を問わずアスファルト舗装が最も高く、改良型 ILB 舗装が最も低くなり、その差は 4～7°C 程度である。改良型 ILB 舗装の温度が低い理由としては、蒸発潜熱量の増加による地中伝導熱量の減少によるものと考えられる。蒸発散作用の効果がほとんどなくなる 5 日目では改良型 ILB 舗装とコンクリート舗装との温度差は小さくなる。

以上のように、蒸発散作用により地表面温度が低下した改良型 ILB 舗装は、外気を暖める成分である顕熱および長波放射量が減少し、また地中における蓄熱量も他の舗装と比較して少ないことから、改良型 ILB 舗装は周辺の熱環境の改善に対し効果があるものと考えられる。

図一15は、降水量 10 mm に相当する水量を散水した状態（ケース 3）での測定結果である。アスファルト舗装が最高温度を示すのは、降水量 20 mm に相当する水量を散水したケース 2 と同様である。しかし、測定 1 日目から透水性 ILB 舗装および改良型 ILB 舗装の地表面温度がコンクリート舗装より高くなっており、アスファルト舗装との温度差は、透水性 ILB 舗装および改良型 ILB 舗装でそれぞれ 7～8°C および 9～11°C となっている。さらに 3 日目になると、改良型 ILB 舗装の地表面温度は透水性 ILB 舗装と等しくなり、蒸発散作用による効果はほとんどみられなくなる。以上のことから、散水する水量の違いにより温度低減幅および効果の持続期間が大きく異なることが明らかとなった。

地中温度に関しては、測定期間中アスファルト舗装が最も高くなり、その他の舗装では、舗装の種類による格差はほとんど見受けられない。

図一16は、改良型 ILB 舗装と透水性 ILB 舗装の鉛直

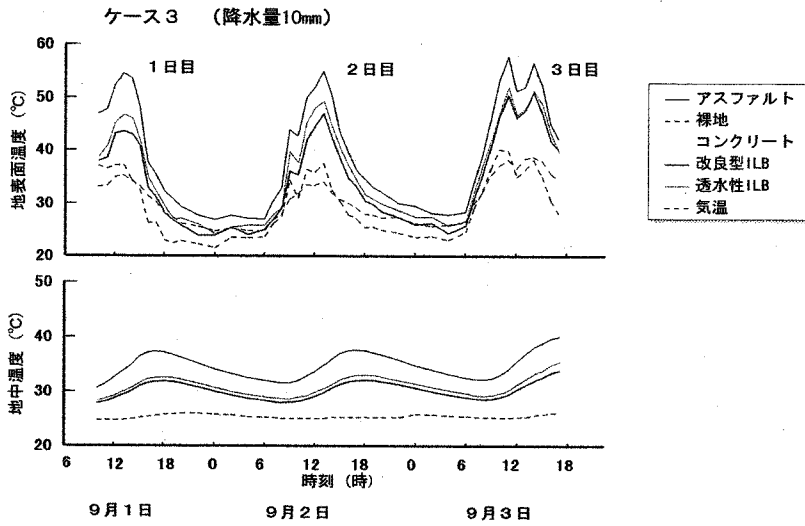


図-15 地表面温度と地中温度の測定結果

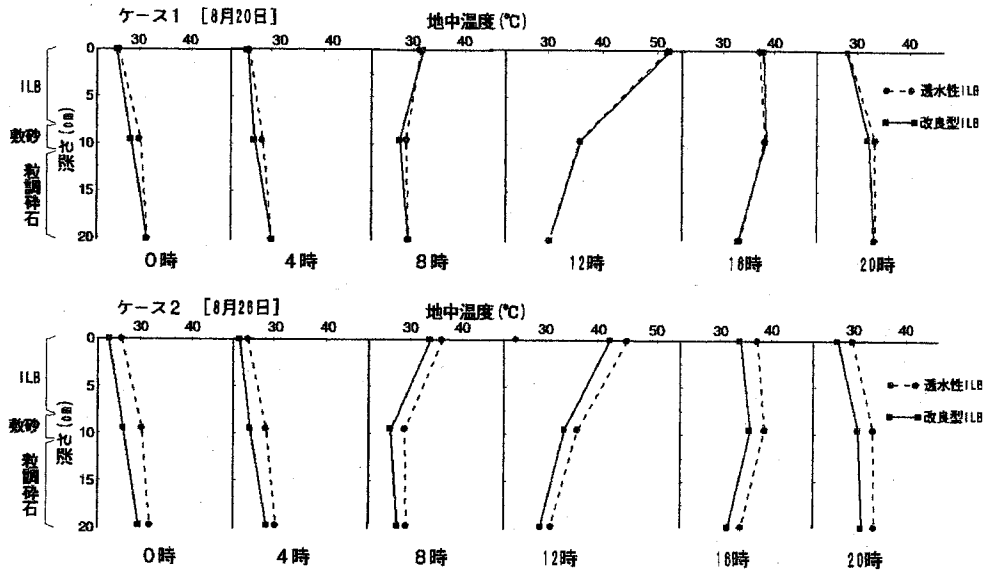


図-16 改良型ILB舗装と透水性ILB舗装の鉛直方向温度分布

方向の温度分布をケース1とケース2のそれぞれについて示したものである。日中においては、ケース1およびケース2のいずれの場合も、地表面から地中への熱流となるが、夜間においては逆の流れとなる。降雨がないケース1では、各深さにおける改良型ILB舗装と透水性ILB舗装の差異はほとんどみられない。しかし、降水量20mmに相当する水を散水したケース2では地表面における温度差が地中での温度差となって表れ、改良型ILB舗装の方が常に2~3°C程度低い値を示している。敷砂と粒調砕石との間の温度勾配はケース1およびケース2ともほぼ等しくなることから、敷砂層および路盤の熱伝

導率は今回の実験程度の散水ではさほど変化していないものと考えられる。

## 6. 結 論

本研究は、地表面温度低減機能を有する舗装の開発を目的とし室内実験を行い、さらに屋外において各種舗装のモデル舗装を作製し、それぞれの熱特性について比較検討を行ったものである。

今回提案したILB舗装は、表層材の改良、ポリエチレンシートの敷設以外は従来の透水性ILB舗装と構造上

大きな差異はなく、歩行者系道路舗装として求められる経済性、施工性、強度、耐久性および景観の向上といった機能は従来の透水性 ILB 舗装と同等であると考えられる。

本研究より得られた結果は次のとおりである。

(1) 降水量 20 mm に相当する水量を散水した状態での改良型 ILB 舗装の地表面温度は、アスファルト舗装に比べ最大で 17.3°C 低くなる。これは舗装面からの蒸発散作用によるものと考えられる。さらに、地中温度も改良型 ILB 舗装を用いると、蒸発潜熱量の増加にともない地中伝導熱量が減少することから、他の舗装に比べ最大で 7°C 程度低くなる。改良型 ILB 舗装は顕熱、長波放射量および蓄熱量が小さいことから、地表面からの照り返しや舗装周辺の熱環境の改善に対し効果があるものと考えられる。

(2) 散水する水量の違いにより地表面温度の低減幅および効果の持続期間が異なり、改良型 ILB 舗装では、降水量 20 mm に相当する水量を散水した場合で約 4 日間、降水量 10 mm に相当する水量を散水した場合で約 2 日間の温度低減効果が持続する。

(3) 降雨がない状態では、透水性 ILB 舗装と改良型 ILB 舗装の日中における地表面温度はアスファルト舗装とさほど差がない。しかし、路盤位置での地中温度はアスファルト舗装よりも最大で 4°C 程度低くなる。

(4) 降水量 20 mm に相当する水量を散水した状態での透水性 ILB 舗装の地表面温度は、目地砂からの蒸発散作用により、アスファルト舗装に比べ 7~9°C 程度低くなる。

(5) コンクリート舗装の日中における地表面温度は、他の舗装より最大で 15°C 程度低くなる。これはコンクリート舗装の表面の色調が白色に近く日射反射率が大きいためと、コンクリートの熱伝導率が大きいことによると考えられる。

(6) 改良型 ILB 舗装の地表面温度低減効果は、プロッ

ク表面に占めるポーラスモルタル部の総面積が一定ならば、ポーラスモルタルの直径が大きいほど効果は大きい。ポーラスモルタルの直径が一定ならば本数の違いによる効果の差はほとんどない。

(7) ポーラスモルタルを直径で 14.5 mm 本数 6 本配置した改良型 ILB は、従来の透水性 ILB に対し圧縮強度では 80 kgf/cm<sup>2</sup> 低下するものの、曲げ強度は同等であり実用上問題ないものと思われる。

謝辞：実験の遂行にあたり、東京理科大学土木工学科卒業生の小泉伸之君と滑川昌彦君のご協力を得た。また、気象大学の鈴木宣直先生からは貴重な気象データを提供して頂いた。ここに、深く感謝の意を表する次第である。

なお、本研究は文部省科学研究費一般研究(C)課題番号 03805039 によって行われたものである。

#### 参考文献

- 1) 浅枝隆他：道路舗装の熱環境に及ぼす影響、環境システム研究, Vol.19, 1991.8.
- 2) 塩月義隆他：地表面の温度および熱収支の長期観測(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.461-462, 1988.
- 3) 塩月義隆他：地表面の温度および熱収支の長期観測(その2)および(その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.829-832, 1989.
- 4) 成田健一他：都市地表面における日射エネルギーの変換機構に関する研究(その4)、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp.955-956, 1983.
- 5) 三浦祐二：都市環境と透水性舗装、環境研究, No. 66, pp.44-53, 1987.
- 6) 伊藤幸広他：温暖化抑制効果を有する舗装構造の開発に関する研究、セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, No.18, 1991.

(1994.2.2 受付)

## STUDY ON INTERLOCKING BLOCK PAVEMENT WHICH CAN REDUCE SURFACE TEMPERATURE

Yukihiro ITO, Seiji MATSUURA and Masanori TSUJI

The purpose of this study is to develop interlocking block pavement which can improve thermal environment in urbanized area. This pavement has permeable part and water raising part due to capillary action from underground to surface. The surface temperature of this pavement is reduced by latent heat of surface water. In this study, asphalt pavement, concrete pavement, permeable interlocking block pavement and proposed interlocking block pavement were made on field, and surface and underground temperature of each model pavement were measured.