

## 論文 路面温度低減機能を有するインターロッキングブロックに関する研究

桐山 和也<sup>\*1</sup>・服部 啓二<sup>\*2</sup>・山口 昇三<sup>\*3</sup>・梅原 秀哲<sup>\*4</sup>

要旨：近年，都市内の気温が周辺地域に比べて上昇するというヒートアイランド現象が顕在化しており，なかでも都市面積の 10～20%を占める道路舗装の影響が比較的大きいと指摘されている。本研究では夏季の舗装路面温度低減を目的に，超硬練りコンクリートを用いて即時脱型方式で製造されるインターロッキングブロックに保水性を付与するための配合について検討を行い，屋外試験施工にて効果を確認した。その結果，今回作製したブロックを用いた舗装は，アスファルト舗装に比べ最大で約 17℃，同色の透水性ブロック舗装に比べ最大で約 11℃ 路面温度が低下し，舗装周辺の熱環境の改善に対し効果があることを確認した。  
キーワード：ヒートアイランド現象，ポーラスコンクリート，保水性ブロック，微粒珪砂

### 1. はじめに

近年，社会問題化している都市特有の気候として，都市部の気温がその周辺地域に比べて上昇するというヒートアイランド現象があげられる。この現象は，等温線が都心部を中心とする島状になることから名付けられている。ヒートアイランド現象を形成する原因は，建物の高層化・高密度化，道路の舗装化，緑地や水域の減少，エネルギーの大量消費に伴う排熱の増大など，多岐に渡っている。なかでも都市面積の 10～20%を占める道路舗装は，アスファルトやコンクリートで覆われているため，蒸発散が抑制され夏季には高温化しやすく，ヒートアイランド現象に与える影響が比較的大きいといわれている。また道路舗装は，日中に大量の熱を蓄積するため，夜間になっても表面温度が気温より高くなり，外気を加熱することが指摘されている<sup>1)</sup>。したがって，都市における熱環境の悪化を緩和するには，舗装の熱的特性を改善することが有効であると考えられる。

本研究では，熱環境の悪化を緩和する舗装表層材の開発を目的に，超硬練りコンクリートを

用いて即時脱型方式で製造されているインターロッキングブロックに毛細管現象による保水性を付与するための配合について実験的検討を行い，その路面温度低減効果を確認した。

### 2. 実験概要

実験は，インターロッキングブロックに毛細管現象による保水性を付与する配合について検討を行った実験 1，ならびに実験 1 で決定した配合により作製したインターロッキングブロック(以下，保水性ブロックと呼ぶ)舗装の路面温度低減効果を検証した実験 2 である。なお実験 2 では，保水性ブロック舗装の他に透水性ブロック舗装やアスファルト舗装の試験舗装を屋外に施工し，路面温度や地中温度の測定結果から，路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した。

### 3. 配合の検討(実験 1)

#### 3.1 使用材料

使用材料を表 - 1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント，細骨材は山砂ならびに砕

\*1 矢作建設工業(株) 技術企画部 技術開発課 (正会員)

\*2 矢作建設工業(株) 技術企画部 次長 (正会員)

\*3 竹本油脂(株) 第三事業部 (正会員)

\*4 名古屋工業大学大学院教授 都市循環システム工学専攻 Ph.D (正会員)

表 - 1 使用材料

使用材料	種類	記号	物性または成分
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度:3.15g/cm <sup>3</sup> , 比表面積:3340cm <sup>2</sup> /g
細骨材	山砂(長良川水系)	S1	密度:2.57g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:1.65%, 粗粒率:2.98
	砕砂(内津産)	S2	密度:2.64g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:1.42%, 粗粒率:4.91, 最大寸法:5mm
粗骨材	砕石(内津産)	G	密度:2.63g/cm <sup>3</sup> , 吸水率:1.48%, 粗粒率:6.19, 最大寸法:13mm
混和材	微粒珪砂(瀬戸産)	K	密度:2.65g/cm <sup>3</sup> , 平均粒径:80μm, 主成分:SiO <sub>2</sub> 93.2%
混和剤	高性能減水剤	Ad	主成分:ポリカルボン酸系

表 - 2 コンクリートの配合

基 層 部 配 合								
配合 No	W/C (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						
		W	C	K	S1	S2	G	Ad
1	31.3	125	400	200	0	992	781	6.00
2	32.5	130	400	300	0	929	731	6.00
3	39.5	158	400	400	0	832	655	6.00
4	38.3	134	350	200	0	1002	789	5.25
5	40.0	120	300	200	0	1046	823	4.50
6	29.5	118	400	200	200	888	699	6.00
7	33.1	116	350	200	200	914	719	5.25
表 層 部 配 合								
W/C (%)	W(kg)	C(kg)	珪砂(kg)	珪砂:密度 2.50g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.75%, 粗粒率 4.00, 田粕産				
27.0	162	600	1619					

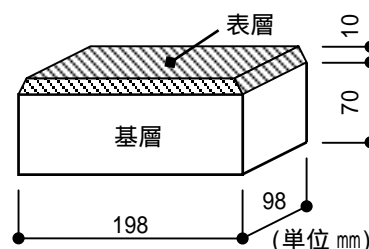


図 - 1 供試体の概略図

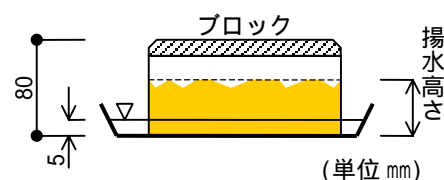


図 - 2 揚水高さ測定方法概略図

砂、粗骨材は最大寸法 13mm の砕石を用いた。混和材は微粒珪砂を用いた。微粒珪砂は愛知県瀬戸地区のガラス用製品珪砂の製造を行っている珪砂産業で発生している産業副産物であり、その平均粒径は 80~210μm 程度である<sup>2)</sup>。また、微粒珪砂は年間約 20 万トン排出されており、大半が採掘跡地にセメント処理を施し埋立て処分されている。

### 3.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表 - 2 に示す。配合は、今までの結果を考慮して決定した<sup>3)4)</sup>。各配合とも砕石と砕砂の質量比を  $G/S2 = 0.79$  一定とした。単位セメント量は、300, 350, 400 kg/m<sup>3</sup> の 3 水準とし、単位水量は即時脱型できる範囲内で適宜決定した。単位微粒珪砂量は、200, 300, 400kg/m<sup>3</sup> の 3 水準とし、一部細骨材を用いた配合(単位量 200kg/m<sup>3</sup>)も実施した。

### 3.3 供試体作製および養生方法

供試体の作製は実製品の製造ラインを用い、練混ぜ量は 0.4m<sup>3</sup>/バッチとした。作製した供試体(ブロック)の概略を図 - 1 に示す。平面寸

法は 198×98mm であり、厚さ 10mm の着色可能な表層部と 70mm の基層部にて構成される。供試体の成形は十分な剛性を持った型枠にテーブルバイプレーター(振幅 1.5mm, 振動数 90Hz)を用い、30kN/m<sup>2</sup> のプレス圧と振動(振幅 0.3 mm, 振動数 110Hz)を基層投入後 2 秒間、表層投入後 7 秒間の計 9 秒間加え、振動締固め後即時脱型を行った。養生は実製品と同一養生とし、材齢 14 日まで屋内で気中養生を行った。

### 3.4 試験項目

試験項目は、材齢 14 日における曲げ強度試験、透水試験、空隙率の測定、毛細管現象による揚水高さの測定、保水量の測定である。各試験とも 1 配合当り 3 体の同一供試体を用い、曲げ強度試験のみ異なる供試体を用いた。曲げ強度試験は、スパン 160mm の中央集中載荷方法に準拠した<sup>5)</sup>。透水試験は、水頭差 110mm の定水位方法に準拠した<sup>5)</sup>。空隙率の測定は、JCI エココンクリート研究委員会報告書のポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)を準用した<sup>6)</sup>。揚水高さの測定方法の概略図を図 - 2 に示

す。揚水高さの測定は、14 日間気中養生したブロックを深さ 5mm まで水を入れた皿の中に置き、水が上昇した高さを測定する方法とした。なお、測定時間は 3 分、10 分の 2 水準とした。保水量は、あらかじめ質量を測定した供試体を 24 時間水浸した後、気中に 30 分間放置し、その質量差により測定した。

### 3.5 実験結果および考察

全空隙率と連続空隙率の関係を図 - 3 に示す。図より全空隙率に対する連続空隙率は、概ねよい相関性を示す結果が得られた。

全空隙率と曲げ強度の関係を図 - 4 に示す。図より単位セメント量ならびに水セメント比が多岐にわたっているが、全空隙率と曲げ強度に相関性がみられた。よって、超硬練りコンクリートより作製したインターロッキングブロックでは、コンクリート中に存在する空隙が曲げ強度の支配的要因となっているのが分かる。

連続空隙率と透水係数の関係を図 - 5 に示す。図より連続空隙率と透水係数についても正の相関が認められた。また、IL ブロック舗装技術協会の透水性ブロックの規格値(透水係数  $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$  以上)を満たすには、連続空隙率が 6% 程度以上必要であるとの目安が得られた。

揚水高さ・保水量の測定結果を図 - 6 に示す。結果より、他の配合と比較して No.2, 3 のブロックが揚水機能に優れていた。保水量をみると No.3 が No.2 より 4% 程度大きい値を示しているが優劣はつけ難い。透水係数を比較すると No.2 は  $2.3 \times 10^{-2}$  (範囲  $1.9 \times 10^{-2} \sim 3.2 \times 10^{-2}$ )  $\text{cm/s}$  であったのに対し、No.3 は  $1.3 \times 10^{-2}$  (範囲  $0.9 \times 10^{-2} \sim 1.8 \times 10^{-2}$ )  $\text{cm/s}$  となり、No.2 が透水機能に優れていた。よって、透水機能が優位である No.2 を屋外実験に用いる配合として選定した。

## 4. 路面温度低減効果の検証(実験 2)

### 4.1 屋外試験概要

屋外実験として、平面形状が  $300\text{cm} \times 300\text{cm}$  のモデル舗装体を作製し温度計測を行った。モデル舗装は、今回作製した保水性ブロック舗装

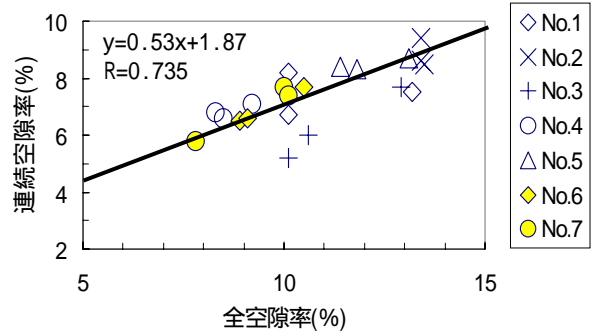


図 - 3 全空隙率と連続空隙率の関係

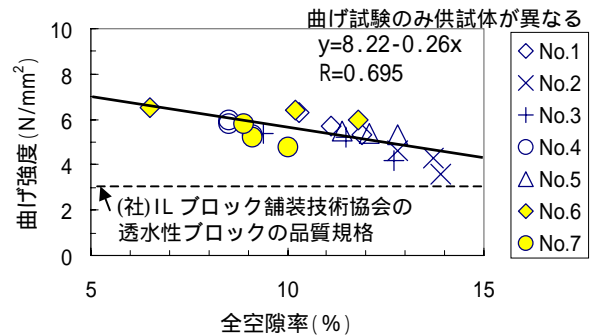


図 - 4 全空隙率と曲げ強度の関係

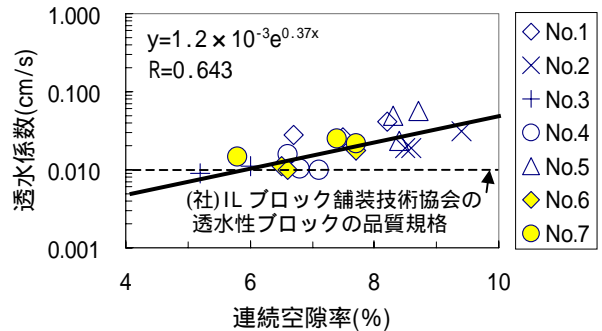


図 - 5 連続空隙率と透水係数の関係

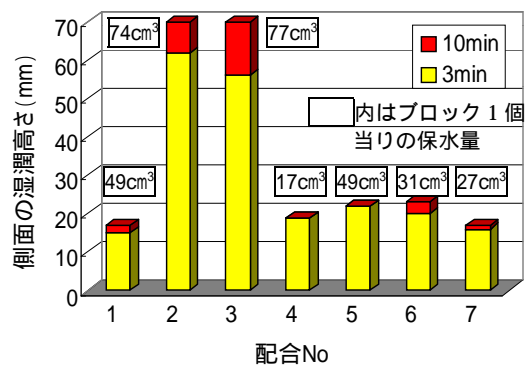


図 - 6 揚水高さ・保水量の測定結果

(表 - 2 配合 No.2)の他に潜熱による路面温度低減効果を検証するための比較対象として、市販されている透水性インターロッキングブロックの舗装、さらに一般的な比較対象として密粒度アスファルト舗装ならびに透水性アスファルト舗装の合計 4 種類の舗装体を作製した。また、

表 - 3 舗装材料の特性値

種類	材料特性値
保水性ブロック	透水係数: $2.9 \times 10^{-2}$ cm/s, 全空隙率:13.4%, 連続空隙率:8.8%, 色調:グレー
透水性ブロック	透水係数: $1.2 \times 10^{-1}$ cm/s, 全空隙率:18.2%, 連続空隙率:13.4%, 色調:グレー
密粒度アスファルト	非透水, 色調:ブラック
透水性アスファルト	透水係数: $4.9 \times 10^{-2}$ cm/s, 全空隙率:14.9%, 連続空隙率:12.2%, 色調:ブラック

実験場内の現地盤についても測定を行った。モデル舗装に使用した舗装材料の特性値を表 - 3 に示す。今回の実験では舗装材の色調による影響を少なくするために、ブロック系舗装は顔料によりグレーに着色した<sup>1)</sup>。モデル舗装の断面形状を図 - 7 に示す。

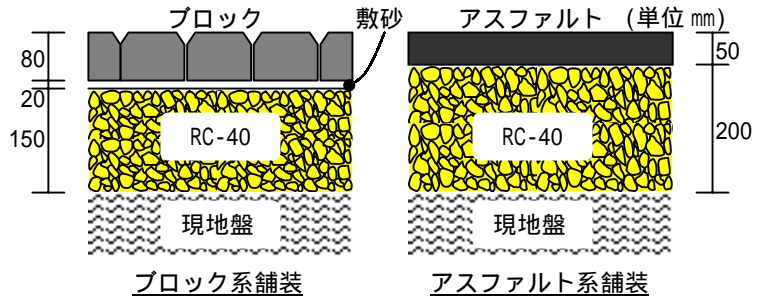


図 - 7 モデル舗装の断面形状

#### 4.2 測定項目

測定項目は、舗装体の温度測定ならびに実験場の気温、湿度、降水量である。舗装の温度測定は、埋設した熱電対により行った。熱電対は舗装表面から深さ 0.5cm, 10cm, 20cm の3点に設置し、1時間ごとに観測を行った。気温ならびに湿度は、モデル舗装から約 20m 離れた緑地内に百葉箱を設置し、1時間ごとに観測を

行った。降水量は、試験舗装から約 5m 離れた場所に雨量計を設置し観測を行った。

#### 4.3 実験結果および考察

モデル舗装での路面温度(深さ 0.5cm)の一例として、8月22日~30日の測定結果を図 - 8 に示す。測定期間における気象条件として、気温を図 - 8 に、降水量と相対湿度を図 - 9 に示

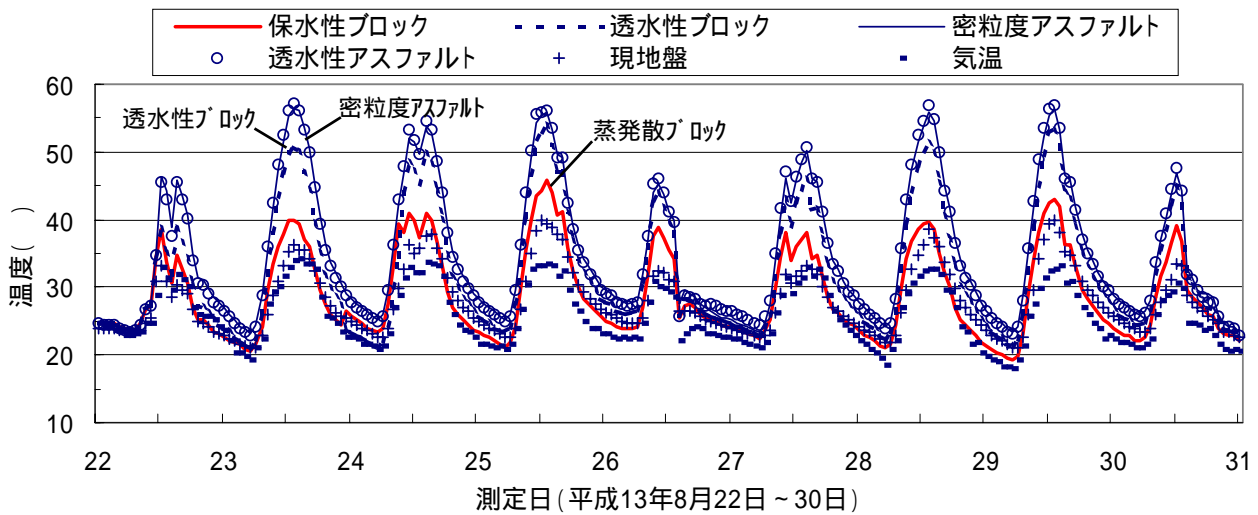


図 - 8 モデル舗装の路面温度測定結果

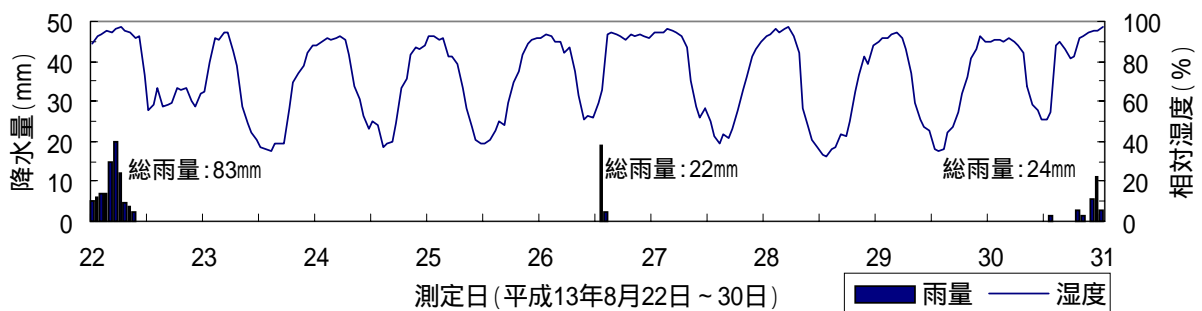


図 - 9 降水量と相対湿度

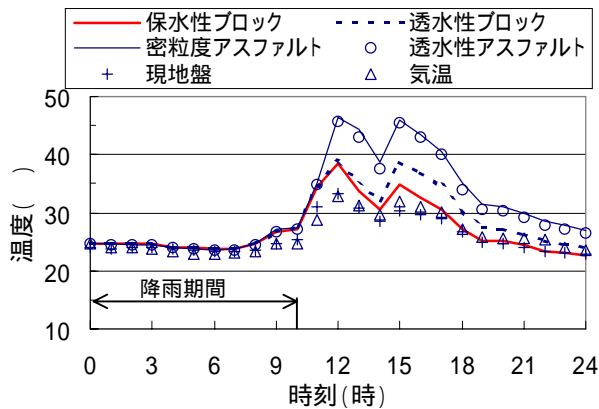


図 - 10 路面温度測定結果(22日)

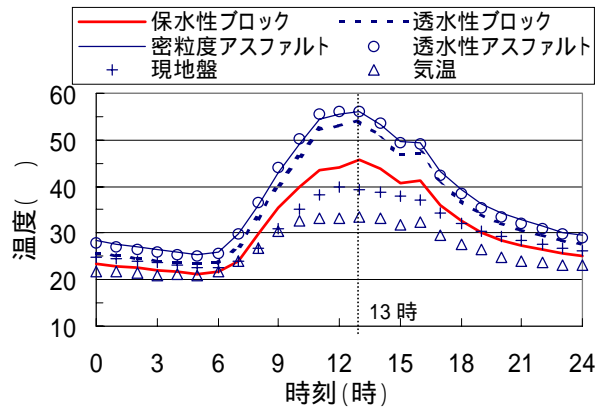


図 - 11 路面温度測定結果(25日)

す。なお、降雨は22日0時～9時に83mm、26日13時～14時に22mm、30日13時～24時に24mm観測されている。ちなみに、22日の降雨終了直後の10時における各モデル舗装の路面温度は、26～27とほぼ同様の温度を示していた。図-8より、一般的なアスファルト舗装の路面温度が50～57を示しているとき、保水性ブロック舗装は10～17低い路面温度を示した。また、このとき保水性ブロック舗装は同色の透水性ブロック舗装より8～11低い路面温度を示し、今回作製した保水性ブロックは路面温度の上昇抑制効果を有していることが確認できた。

降雨終了後の路面温度変化について、22日の路面温度の測定結果を図-10に示す。保水性ブロック舗装と透水性ブロック舗装で比較すると、降雨終了後2時間程度まではブロック舗装間に温度差はみられない。しかし、それ以降は透水性ブロック舗装が徐々に高い温度を示すようになった。これは、透水性ブロックは透水性能が大きいと連続空隙が大きく、毛細管現象によりブロック内に保持できる水量が小さかったためと考えられる。その結果、水分が短時間の内に路盤内に浸透するかあるいは蒸発してしまい、路面温度の緩和性能が保水性ブロックより小さかったと考えられる。

降雨後の日照4日目である25日の路面温度測定結果を図-11に示す。アスファルト舗装が最高温度を示した13時と比較すると、保水性ブロック舗装はアスファルト舗装に比べ約

10、透水性ブロック舗装に比べ約8低い路面温度を示し、路面温度低減効果の持続性が認められる。さらに、0時～6時ならびに19時～24時の保水性ブロック舗装の路面温度は、現地盤より低い温度を示し、日没後の舗装周辺の熱環境改善に効果的であると推測される。

25日における舗装深さ方向の温度変化を4時間ごとに整理したものを図-12に、各深さにおける最低・最高温度と温度差を整理したも

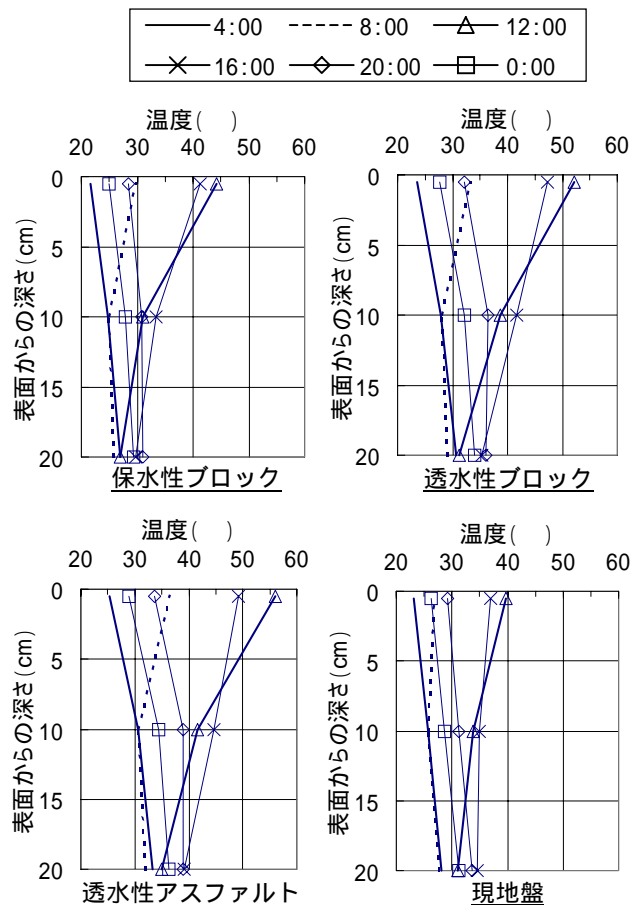


図 - 12 舗装深さ方向の温度変化(25日)



表 - 4 最小・最大温度と温度差(25日)

深さ	温度 ( )							
	保水 B <sup>*</sup>		透水 B <sup>*</sup>		透水 A <sup>*</sup>		現地盤	
0.5 cm	22	44	24	53	25	56	23	40
	差:22		差:29		差:31		差:17	
10 cm	25	33	28	42	31	45	26	35
	差:8		差:14		差:14		差:9	
20 cm	26	31	29	36	32	40	28	34
	差:5		差:7		差:8		差:6	

\*:Bはブロック, Aはアスファルトを示す

のを表 - 4 に示す。図表より, 保水性ブロック舗装と透水性ブロック舗装を比較すると, 保水性ブロック舗装は同一深さにおける温度が低く, 温度変動幅が小さい。これは, 保水性ブロック舗装の地中への蓄熱量が低く抑えられたためであると考えられる。保水性ブロックは透水性ブロックに比べ, 連続空隙率が低いいため形成される空隙が小さく, 毛細管現象により生じる水柱が切れづらい。このため, 保水性ブロック舗装では, 舗装表面の水分が蒸発により失われても毛管作用により深部から水分が供給される。その結果, 日射によるエネルギーが蒸発に消費され, 低い温度が形成されていると考えることができる。

## 5. まとめ

本研究の範囲内で得られた結果は次のとおりである。

- (1) インターロッキングブロックの透水係数の規格値( $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ )を満たすには, 連続空隙率を 6%以上確保する必要がある。
- (2) 透水係数の規格値を満たす揚水性能を有するブロックの作製に最適となる配合は, 水セメント比 32.5%, 単位セメント量  $400 \text{kg/m}^3$ , 単位微粒珪砂量  $300 \text{kg/m}^3$  である。
- (3) 今回作製した保水性ブロック舗装の夏季における路面温度は, アスファルト舗装に比べ最大で約 17 , 同色のブロック舗装に比べ最大で約 11 低くなり, 舗装周辺の熱環境の改善に効果的である。
- (4) 保水性ブロック舗装は, 同色のブロック舗装ならびにアスファルト舗装に比べ地中同

一深さにおける温度が低く, 温度の変動幅が小さく, 熱帯夜の要因となる地中蓄熱量の低減に効果がある。

## 謝辞

実験の遂行にあたり, 日本コンクリート(株), ヤハギ道路(株)ならびに愛知県珪砂鉅業協同組合に多大なご協力を得た。また, 本実験は微粒珪砂活用研究会の活動の一環として実施したものであり, 実験計画に際し(株)サンフローパリック小林至氏, 住友大阪セメント(株)浅野文男氏, 日本コンクリート(株)井上勝利氏, 丸栄コンクリート工業(株)森信夫氏にご協力を得た。ここに記し深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 土木学会: ポーラス舗装の熱環境特性に関する調査結果報告書, 舗装工学研究小委員会報告書, 2000.6
- 2) 桐山和也, 山口昇三, 井上勝利, 梅原秀哲: 粒度分布の異なる微粒珪砂の高流動コンクリートへの活用に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.979-984, 2001.7
- 3) 桐山和也, 服部啓二, 森嶋和博, 梅原秀哲: 微粒珪砂副産物のインターロッキングブロックへの活用に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.1, pp.187-192, 1999.7
- 4) 井上勝利, 森嶋和博, 桐山和也, 服部啓二, 梅原秀哲: 微粒珪砂を混入した透水性インターロッキングブロックの配合に関する検討, 土木学会中部支部平成 11 年度研究発表会講演概要集, 2000.3
- 5) インターロッキングブロック舗装技術協会: インターロッキングブロック舗装設計施工要領, pp.160-164, 2000.7
- 6) 日本コンクリート工学協会: エココンクリート研究委員会報告書, pp.54-56, 1995.11