

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 6 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420440

研究課題名(和文) 歩道舗装ブロックの夏季温度低減に関する研究

研究課題名(英文) Study on Improvement of Temperature of Sidewalk Pavement Block in Summer

研究代表者

上野 敦 (UENO, Atsushi)

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：50232765

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、夏季の都市部における歩道舗装材料の温度低減および蓄熱・放熱特性の改善を目的として検討を行ったものである。歩道舗装ブロックの温度特性の把握、最高温度低減のための材料・配合、日射の再帰反射性向上のための表面形状と影響因子、土壌への放熱性向上のための裏面形状について体系的に検討を行った。

この結果、温度特性を改善するための、使用材料、配合、表面形状、裏面形状と影響の程度が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：This study investigates basic thermal properties of sidewalk pavement block to improve environment in big city during summer. The temperature history in a day is measured for various types of pavement block. Then the influence of aggregate mineralogy, mixture proportions, surface shape or texture of sunny side, surface area of bottom side on maximum temperature, temperature rise and down velocity. The quantification index for the properties are also given in this study.

The results of this study gives effective mixture proportion, surface shape and texture, and surface shape or surface area of bottom side to improve thermal properties of sidewalk pavement block in summer. The impacts of these factors are also given by the study.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：歩道舗装ブロック 最高温度 昇温速度 降温速度 表面形状 裏面表面積 再帰反射率

1. 研究開始当初の背景

現在の我が国では、都市部での日中の気温上昇と夜間の気温低下の鈍化が、人体に有害な水準まで達している。この対策の1つとして、舗装の温度を低下させる検討が行われている。

車道舗装については、高反射性の塗料を塗布して、夏季の舗装版の温度低減を目的とした研究が行われ、施工/供用されている。また、水の蒸発潜熱による舗装材料の温度低下に関する研究（保水性舗装材料に関する研究）、透水性舗装による温度低下に関する研究も行われている。

歩道舗装に関しては、上記の車道舗装に関する知見が生かされていない場合も多い。また、歩道舗装は車道舗装と比較して人に近い舗装であること、かつ、荷重が小さいため表面の形状などの自由度が高く、車道舗装よりも効果的な温度低減方法を構築できる可能性も高い。このため、本研究では、高度に都市化した箇所の歩道舗装ブロックを対象に、温度特性に着目した基礎的かつ系統的な検討を行うこととした。

2. 研究の目的

本研究では、歩道舗装ブロックを対象に、次に挙げる内容を検討することを目的とした。

- (1)歩道舗装ブロックの組織構造（密または疎）および使用材料による温度特性（最高温度、昇温速度、降温速度など）への影響
- (2)気温の低下や降雨などの降温作用が生じた場合の降温特性に対する、歩道舗装ブロックの組織構造および使用材料の影響
- (3)歩道舗装ブロックのマクロおよびミクロな表面形状が、日射反射量（再帰反射率）に及ぼす影響
- (4)歩道舗装ブロックの裏面形状が降温挙動に及ぼす影響

3. 研究の方法

(1)温度特性の把握

歩道舗装ブロックを対象に、下記の項目を実験変数（比較対象）として曝露試験を実施し、各実験変数が、最高温度、昇温速度、降温速度などに及ぼす影響を検討した。

<実験変数（実験水準）>

- ①組織構造：密実な組織構造のものとポーラス（疎）なもの
- ②材質：近赤外線高反射性塗料の有無、使用骨材の石質（カルシウム質、二酸化ケイ素質）
- ③表面の幾何形状：表面積の少ないフラットなものとの凹凸のあるもの

供試体は、八王子市の屋外に曝露し、T熱電対によるブロック温度の連続測定を実施した。ブロックの設置方法と熱電対の設置位置は図1のとおりである。

(2)再帰反射性検討のための表面形状

歩道舗装ブロック表面の形状（マクロな凹凸とミクロな凹凸）による再帰反射率への影

響を検討した。マクロおよびミクロな表面形状の実験変数は以下のとおりである。

<実験変数（実験水準）>

- ①組織構造：密実な組織構造のものとポーラス（疎）なもの（ミクロな凹凸）
- ②表面形状：平板、球状凹部配置で平面率の異なる3水準（図2参照）

反射率の測定は、入射角を変化させることのできる分光光度計を用い、BaSO<sub>4</sub>白色板の反射率を基準に数値化した。測定対象は、主たる熱源となる波長900nmの近赤外線とした。

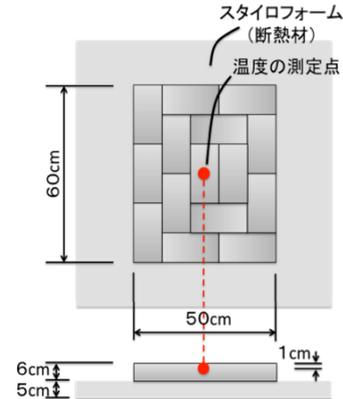


図1 (1)曝露試験時のブロック敷設状況

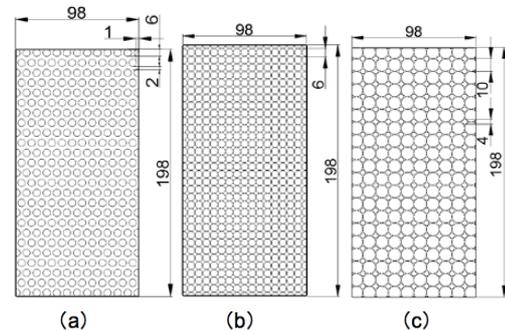


図2 (2)再帰反射検討のための表面形状

(3)放熱挙動検討のための裏面形状

歩道舗装ブロックの裏面形状による接触する砂層への放熱挙動への影響について、実験室内での検討を行った。また、表面形状も含め、裏面形状も変化させたブロックを用い、曝露試験を行った。実験変数は以下のとおりである。

<室内試験の変数（実験水準）>

- ①裏面形状（接触表面積）：砂層との接触面積が異なる5水準

試験は、20℃の恒温室内で行い、室温の約80Lの5号珪砂への熱移動について検討した。赤外線ランプにて4時間照射後に20時間放熱させてブロックの温度変化、砂層の温度変化を検討した。（図3参照）

<曝露試験の変数（実験水準）>

- ①組織構造：密実な組織構造のものとポーラス（疎）なもの
- ②裏面形状：表面積が異なる3水準（表1参

照)

曝露試験は、埼玉県熊谷市で実施した。曝露状況は図4のとおりである。曝露試験では、ブロック温度、土壌温度、気温の連続測定を行なった。

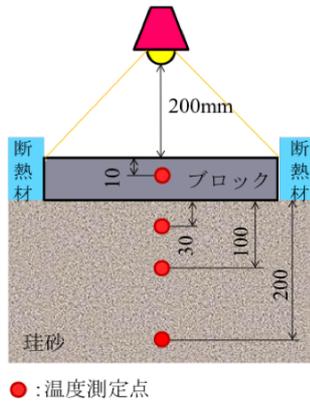


図3 砂層への熱移動実験（室内試験）

表1 曝露試験での裏面形状

	平板	星型	ダイヤ型
概略図			
1単位の凹部			
凹部断面図			
表面積	19404 mm <sup>2</sup>	47310.4 mm <sup>2</sup>	29642.6 mm <sup>2</sup>



図4 曝露状況（熊谷市）

#### 4. 研究成果

##### (1) 各種の歩道舗装ブロックの温度特性

夏季の1日での歩道舗装ブロックの最高温度の差を、比較要因ごとに整理すると、図5のとおりとなる。比熱の大きい石灰石骨材を用いた場合、珪石と比較して最高温度が低下することがわかるが、その差は小さく、部材寸法が小さいことによる影響が確認された。組織構造の面では、疎な構造の透水性ブロックと密な構造のブロックを比較しても、最高温度の差は非常に小さいことがわかった。そして、近赤外線の高反射性塗料の有無による最高温度への影響が最も大きいことがわかる。

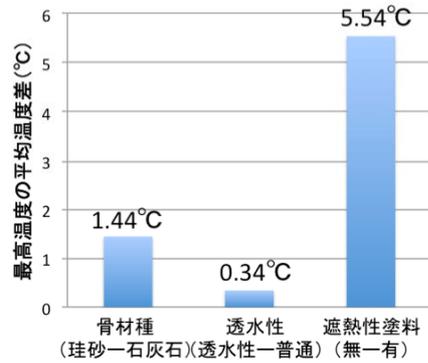


図5 各種要因による最高温度への影響

##### (2) 表面形状による再帰反射率への影響

ブロック表面の形状を数値化するため、平面率を定義した。平面率は、ブロック表面の投影面積に対する平面部分の面積の割合である。平面率と再帰反射率の関係を整理すると、図6のとおりとなる。平面率の減少に伴い、再帰反射率が直線的に増加することがわかる。そして、ブロックの組織が疎なもの（図中Porous）の方が、密なもの（Dense）よりも再帰反射率が高いことがわかる。材質の疎密によって生まれるマイクロな凹部によって再帰反射率が変化していることが明示された。このため、マイクロな凹部の影響について検討するため、画像解析を行った。画像解析の結果は、表2のとおりであり、マイクロな凹部の数は両者で同等であるが、疎なものの場合、凹凸の口径の範囲が、径が大きい側に広いことがわかった。すなわち、マイクロな凹部の中でも、比較的大きな凹部が再帰反射率に影響していることがわかった。

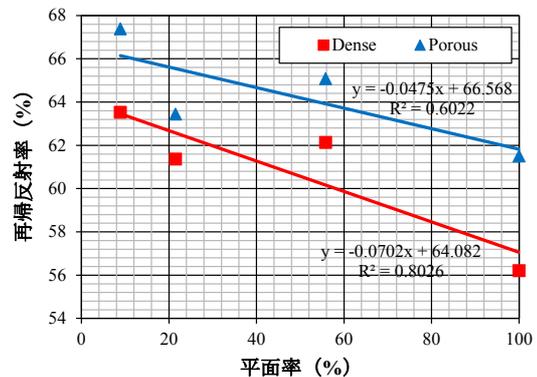


図6 ブロック表面の平面率と再帰反射率

##### (3) 裏面形状による放熱特性への影響

室内試験でブロックの温度を60°C程度まで上昇させ、その後放熱させた時の温度変化の例(表1の星型)を図7に示す。敷砂深さ30mm、100mmとなるほど遅れて最高温度を記録し、ブロック裏面から敷砂へと順次熱伝達していることがわかる。さらに、敷砂深さ別の最高温度の関係は、図8のとおりであり、一定温度である最深部の敷砂の温度に近づくのは、敷砂深さ225mm程度とわかる。すなわち、この程度の深さまで、厚さ60mmのブロックに蓄え

表2 ミクロな凹部の画像解析結果

材質		Porous	Dense
高さ	(mm)	30.08	30.08
幅	(mm)	27.70	27.70
投影面積	(mm <sup>2</sup> )	833.216	833.216
凹部	総面積	170.848	105.180
	個数	412	491
	最大面積	17.267	4.631
	楕円近似の長軸	5.333	3.730
	短軸	4.122	1.581
	最小面積	0.029	0.030
	楕円近似の長軸	0.192	0.196
	短軸	0.192	0.196
	平均面積	0.415	0.214
	平均長軸	0.699	0.584
平均短軸	0.374	0.337	
平面率	(%)	79.5	87.4

られた熱が伝わるのがわかる。

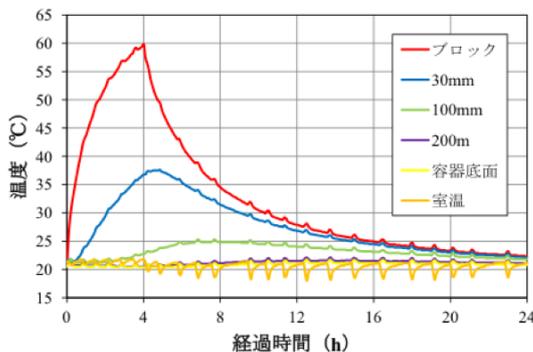


図7 ブロックと砂層の温度変化 (室内試験)

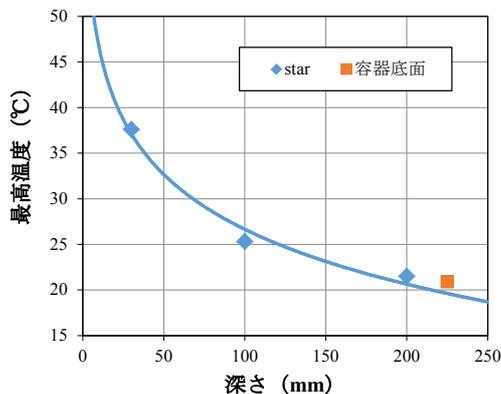


図8 砂層の深さと温度 (室内)

ブロックの裏面表面積と昇温温度の関係を、図9に示す。裏面表面積の増加に伴い、昇温温度が低下することがわかる。これは、昇温過程で連続的に砂層へ熱移動しており、この効率が表面積が大きいものほど高いことを示している。

ブロックの裏面表面積と温度が55°Cから35°Cまで低下する時の降温速度の関係は、図10のとおりとなる。概ね、裏面表面積の増加に伴い、降温速度が直線的に増加することがわかる。

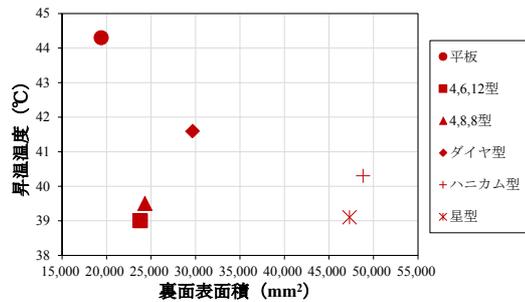


図9 裏面表面積と昇温温度 (室内)

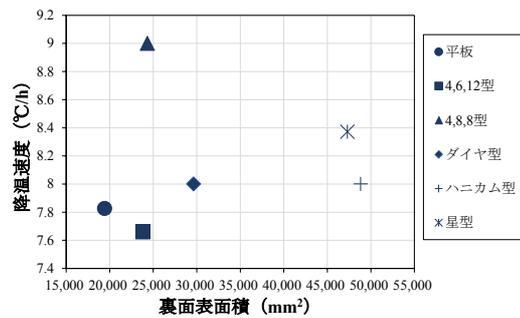


図10 裏面表面積と降温速度 (室内)

曝露試験でのブロックの裏面表面積と昇温温度の関係を図11に示す。室内試験の結果とは異なり、昇温温度に対する裏面表面積の影響は顕著とならないことがわかる。これは、ブロックと接触する砂層の温度が、日射によってブロックと同様に上昇するためである。

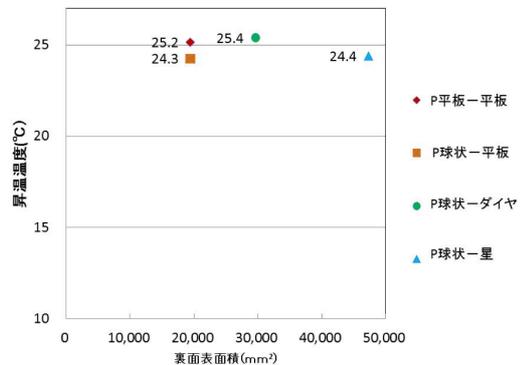


図11 裏面表面積と昇温温度 (曝露)

降雨時の組織の疎密によるブロックの温度に対する影響を、図12に示す。温度が低い水がブロック内部を通過することで、顕熱輸送によりブロック温度が効率的に低下することがわかる。(図中緑のバー)

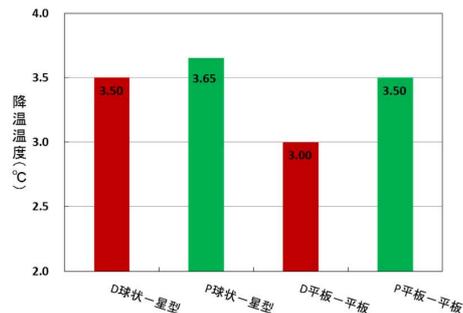


図12 降雨時の降温温度 (曝露)

曝露試験においては、室内試験と異なる温度挙動を示したが、接触する砂層の温度を低下させる方法を併用すると、室内試験と同様の温度面での効果が期待できると考えられる。

<引用文献>

- ①市川直樹、上野敦、宇治公隆、大野健太郎、歩道舗装ブロックの温度特性に関する基礎的検討、土木学会第70回年次学術講演会公演概要集、第V部、2015、469-470
- ②佐藤凜奈、上野敦、宇治公隆、大野健太郎、歩道舗装ブロックの再帰反射特性および裏面からの放熱に関する研究、コンクリート工学年次論文集、vol. 38、No. 1、2016、1761-1766
- ③張曄、上野敦、宇治公隆、大野健太郎、温度特性を考慮した歩道舗装ブロックの曝露試験時の挙動、土木学会第72回年次学術講演会公演概要集、第V部、(搭載決定)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

①張曄、上野敦、宇治公隆、大野健太郎、温度特性を考慮した歩道舗装ブロックの曝露試験時の挙動、土木学会第72回年次学術講演会講演概要集、査読無、第V部、(2017 搭載決定)

②佐藤凜奈、上野敦、宇治公隆、大野健太郎、歩道舗装ブロックの再帰反射特性および裏面からの放熱に関する研究、コンクリート工学年次論文集、査読有、vol. 38、No. 1、2016、1761-1766

③市川直樹、上野敦、宇治公隆、大野健太郎、歩道舗装ブロックの温度特性に関する基礎的検討、土木学会第70回年次学術講演会講演概要集、査読無、第V部、2015、469-470

[学会発表] (計3件)

①張曄、上野敦、宇治公隆、大野健太郎、温度特性を考慮した歩道舗装ブロックの曝露試験時の挙動、土木学会第72回年次学術講演会、2017年9月予定、九州大学伊都キャンパス(福岡県・福岡市)

②佐藤凜奈、上野敦、宇治公隆、大野健太郎、歩道舗装ブロックの再帰反射特性および裏面からの放熱に関する研究、コンクリート工学年次大会2016、2016年7月8日、福岡国際会議場(福岡県・福岡市)

③市川直樹、上野敦、宇治公隆、大野健太郎、歩道舗装ブロックの温度特性に関する基礎的検討、土木学会第70回年次学術講演会、2015年9月18日、岡山大学津島キャンパス(岡山県・岡山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上野 敦 (UENO, Atsushi)

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：50232765

(4) 研究協力者

市川 直樹 (ICHIKAWA, Naoki)

佐藤 凜奈 (SATO, Rina)

張 曄 (CHOU, You)