

路面温度上昇抑制型インターロッキングブロックの認定制度の確立

からさわ 唐澤 あきひこ 明彦* たけうち 竹内 やすし 康** なかむら 中村 としゆき 俊行***

(社)インターロッキングブロック舗装技術協会(JIPEA)では、2015年に路面温度上昇抑制型インターロッキングブロックに対する「クールブロックペイプ®」認定制度を制定した。JIPEAでは、この認定制度を広く普及させていくにあたり、どのようにすれば室内試験で実際の現地の路面温度上昇抑制効果を再現できるかについて検討を進めてきた。本文では現地の路面温度上昇抑制効果を高い精度で再現できる試験方法と温度上昇抑制効果を司る要因について述べる。

キーワード：ヒートアイランド、クールブロックペイプ、路面温度上昇抑制効果、室内実験

はじめに

わが国では、ヒートアイランド現象によって、都市部の熱環境が悪化している。この熱環境を改善するため、潜熱輸送により路面温度の上昇を抑制する保水性舗装材料と太陽光を反射して熱伝導を抑制する遮熱性舗装材料の開発、導入が進んでいる。インターロッキングブロック(以下、ILブロック)においてもこれらの路面温度上昇抑制型ブロックが開発され、現在では歩道や駐車場、広場などに使用されている。(社)インターロッキングブロック舗装技術協会(JIPEA)では、2015年に路面温度上昇抑制型ILブロックに対する「クールブロックペイプ®」認定制度を制定した。この制度では、密粒度アスファルト混合物に比べて-8℃以上の温度上昇抑制効果が確認されたブロックに対し「クールブロックペイプ®」の称号を与えるものである。2017年までに「クールブロックペイプ®」認定を受けた製品は、遮熱性ILブロックで21種類(11社)、保水性ILブロックで15種類(11社)となっている。

本研究では、「クールブロックペイプ®」認定を受けたブロック施工箇所の現地調査を行い、実際の路面では認定試験結果よりも高い路面温度低減効果のあることを確認した。また、東京オリンピック・パラリンピックでの使用が期待される遮熱タイプの

認証製品を用い、以下の2点に注目して検討を行った。

- (1)どのようにすれば室内試験で実現場の状態を再現できるか?
- (2)温度上昇抑制効果を司る要因は何か?

その結果、ILブロックの含水状態を制御することで現地調査結果を高いレベルで再現できることと、ILブロックの表面明度によって温度上昇抑制効果が変化することが分かった。

1. ヒートアイランド現象と路面温度上昇抑制型ブロックの概要

ヒートアイランド現象とは、都市の気温が郊外に比べて高くなる現象である。特に夏季の気温上昇が生活の快適性を低下させるとして問題になっている。ヒートアイランド現象の原因是、図-1に示すように「地表面被覆の人工化(緑地の減少とアスファルト舗装の拡大)」「人工排熱の増加(建物や工場、自動車などの排熱)」「都市形態の高密度化(密集した建物による風通しの阻害)」が3大原因として挙げられる。

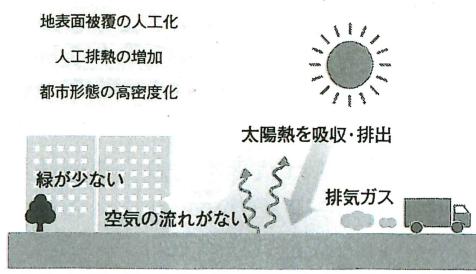


図-1 ヒートアイランド現象の原因

* (社)インターロッキングブロック舗装技術協会 技術委員会 幹事長
(エスピック(株) 製造本部 技術支援室 室長)
** (社)インターロッキングブロック舗装技術協会 技術委員会 委員長
(東京農業大学 地域環境科学部 教授 博士(工学))
*** (社)インターロッキングブロック舗装技術協会 会長
(大成ロテック(株) 顧問)

このようにヒートアイランド現象の大きな原因の1つに、都市のアスファルト舗装の拡大が挙げられる。アスファルト舗装は夏季に路面温度が60℃以上にまで高くなり、歩行者や都市の居住者の快適性を低下させる。このような背景のもと、近年注目を集めているのが、路面温度をアスファルト舗装よりも大幅に低減できる路面温度上昇抑制型ILブロック舗装である。路面温度上昇抑制型ILブロック舗装は大別すると「遮熱性ILブロック舗装」と「保水性ILブロック舗装」の2種類がある。遮熱性ILブロック舗装は、ブロックの表面に太陽光の反射率が高い特殊な材料が使われており、昼間の太陽光の日射を反射して路面温度の上昇を抑制する。また、夜間の放射熱を軽減し、熱帯夜の抑制に寄与する(図-2)。一方、保水性ILブロック舗装は、雨天時にブロック内部に水を保持し、晴れたときに保持された水分が路面から蒸発し、その気化熱により路面温度の上昇を抑制する(図-3)。



図-2 遮熱性ILブロック

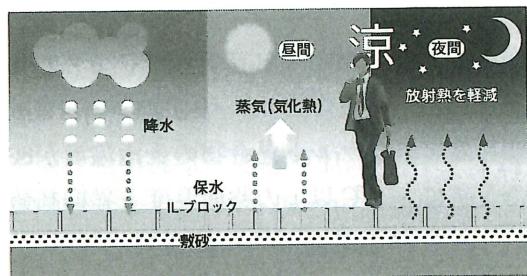


図-3 保水性ILブロック

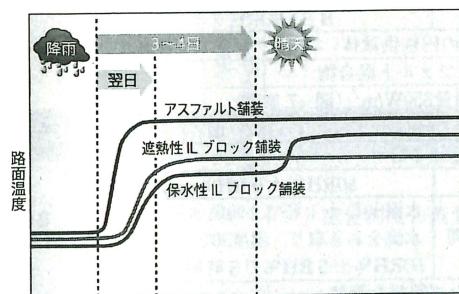


図-4 路面温度の経時変化のイメージ

路面温度の上昇を抑制する(図-3)。このように、路面温度の上昇を抑制するメカニズムが両舗装では異なる。両舗装とアスファルト舗装の路面温度の経時変化のイメージを図-4に示す。アスファルト舗装は降雨翌日から急激に路面温度が上昇し、60℃程度に達する。これに対して、保水性ILブロック舗装は、ブロック内に水を保持している3~4日間は低い路面温度を維持し、その後、一般的なILブロック舗装と同等の路面温度まで上昇する。遮熱性ILブロック舗装は、降雨翌日に保水性ILブロック舗装よりも若干高い路面温度となるが、その後、晴天が続いても同等の路面温度が長期間持続する。そのため、舗装のユーザーは長期間晴天が続いたときに人工的に散水できるなどを考慮して舗装の種類を選択することになる。

2. 路面温度上昇抑制型ブロックの熱的性状に関する品質規格

2-1 保水性ILブロックの品質規格

2000年代に入り、保水性ILブロックが普及してきたことから、JIPEAでは2005年に表-1に示す品質規格と図-5, 6に示す試験方法を制定した¹⁾。保水性ILブロック舗装の路面温度上昇抑制効果の具体的な数値目標として、降雨翌日の晴天時にアスファ

表-1 保水性ILブロックの品質規格

保水量	吸上げ率
0.15g/cm ³ 以上	試験開始30分後の吸上げ率がブロック厚さの70%以上

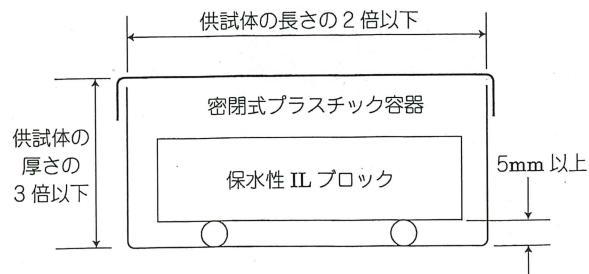


図-5 濡潤状態にする装置

5mm(定水位)

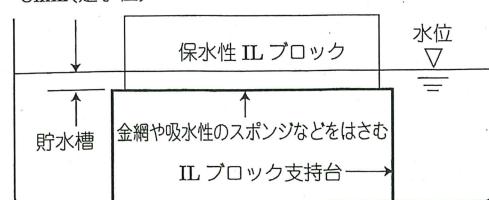


図-6 吸上げ率測定装置

ルト舗装と比べて -10°C 以上の路面温度上昇抑制効果を発揮することを設定した。このことを確認するための実験は、写真-1に示す屋外実験場にILブロック製造会社各社が製造する保水性ILブロックを施工し、 -10°C 以上の路面温度上昇抑制効果を発揮するILブロックの保水量と吸上げ率がどの程度であるかを室内実験で確認した。

$$\text{保水量}(\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{\text{湿潤質量}(\text{g}) - \text{絶乾質量}(\text{g})}{\text{ブロックの体積}(\text{cm}^3)} \quad (1)$$

$$\text{吸上げ率}(\%) = \frac{\text{吸上げ質量}(\text{g}) - \text{絶乾質量}(\text{g})}{\text{湿潤質量}(\text{g}) - \text{絶乾質量}(\text{g})} \times 100 \quad (2)$$

ここに、

湿潤質量： $15\sim25^{\circ}\text{C}$ の清水中で24時間吸水させた後、供試体を取り出して、図-5に示す密閉式のプラスチック容器に入れ、 $15\sim30^{\circ}\text{C}$ の室内で30分間水を切り、絞った濡れウエスで目に見える水膜をぬぐった後、直ちに計測したときの質量

絶乾質量：温度 $105\pm5^{\circ}\text{C}$ の乾燥器内において一定質量になるまで乾燥した後、常温まで冷却したときの質量

吸上げ質量：絶乾状態の供試体を図-6に示す吸水性試験装置に設置し、30分経過後に供試体を取り出し、水が滴り落ちない程度まで水を切り、絞った濡れウエスで目に見える水膜をぬぐった後、直ちに計測したときの質量

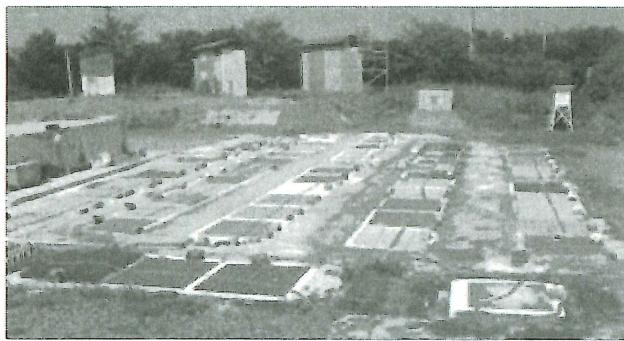


写真-1 屋外実験場における実験風景

表-2 路面温度上昇抑制型 IL ブロックの品質規格

種類	路面温度上昇抑制値	試験方法
路面温度上昇抑制型 IL ブロック	普通 IL ブロック	密粒度アスファルト混合物に対して A 法 (遮熱タイプ)
	透水性 IL ブロック	B 法 (保水タイプ)
	保水性 IL ブロック	

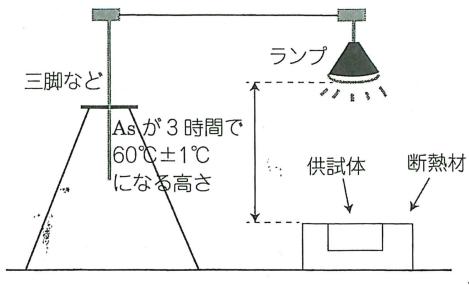


図-7 照射試験装置

2-2 路面温度上昇抑制の品質規格

遮熱性 IL ブロックは、2010年ごろから普及してきた。このため、JIPEA では2017年に、表-2 に示す路面温度上昇抑制型 IL ブロックの品質規格と表-3 および図-7 に示す試験方法を制定した²⁾。この品質規格は、これまでに規格化されていた保水性 IL ブロックと、近年普及してきた遮熱性 IL ブロックを含め、アスファルト舗装に比べて一定の路面温度上昇抑制効果が認められる IL ブロックを総合的に路面温度上昇抑制型 IL ブロックと称することとし、その規格化を図ったものである。具体的には、①普通 IL ブロックで路面温度上昇抑制効果を有するブロック、②透水性 IL ブロックで路面温度上昇抑制効果を有するブロック、③保水性 IL ブロックで路面温度上昇抑制効果を有するブロックの3種類を対象とした。品質規格は、室内でのランプ照射試験で密粒度アスファルト混合物の表面温度が 60°C になったときに -8°C 以上の路面温度上昇抑制値を示すブロックを路面温度上昇抑制型 IL ブロックと呼称することとした。ここで、路面温度上昇抑制値が

表-3 路面温度上昇抑制型 IL ブロックの室内ランプ照射試験方法

	A 法(遮熱性タイプ)	B 法(保水性タイプ)
供試体寸法	$\phi 100\text{mm} \times 60\text{mm}$ または 80mm の円柱供試体(ブロックからコア抜き)	
比較用供試体	密粒度アスファルト混合物	
照射ランプ	キセノンランプ(照射量 $850\text{W}/\text{m}^2$) (図-7 参照)	
ランプ高さ	比較用供試体の表面温度が3時間で $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ となる高さ(図-7 参照)	
試験時の温度	$30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	
試験時の湿度	$50\text{RH} \% \pm 5\text{RH} \%$ (未調整でも可)	$50\text{RH} \% \pm 5\text{RH} \%$ (必須) 水温 $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ で1時間水浸後、表面の水滴をふき取り、温度 $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ・湿度 $50\text{RH} \% \pm 5\text{RH} \%$ で5時間
供試体の養生時間	絶乾状態の供試体を $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ で5時間	
測定時間	3時間ランプ照射を継続	
表面温度の測定頻度	熱電対とデータロガを使い、10分間隔で供試体の表面温度を測定	

-8°C以上であり、保水性ILブロックで設定した-10°C以上と差があるのは、図-4に示したように遮熱性ILブロックの路面温度上昇抑制効果は、保水性ILブロックと比較して若干低い傾向にあるためである。

なお、この品質規格が制定された後も保水性ILブロックの品質規格は残されている。これは、保水性ILブロックの保水量が普通ILブロックよりも大きく、雨水貯留の機能を有することから、路面温度上昇抑制効果が規格値以下だとしても雨水貯留機能に期待して使用する設計者や発注者がいることを考慮したためである。

3. 「クールブロックペイプ®」認定制度

JIPEAは、2015年に前述の路面温度上昇抑制型ILブロックの品質規格の原案に基づき「クールブロックペイプ®(JIPEA登録商標)」認定制度を発足させた。この認定制度は、図-8に示すように会員がJIPEAに申請し、JIPEAが指定した試験機関による測定結果が路面温度上昇抑制型ILブロックの品質規格(表-2)を満足すれば、「クールブロックペイプ®」としてJIPEAが認定証を発行する制度である。この制度により、舗装の設計者や発注者は確実に効果のある路面温度上昇抑制型ILブロックを入手しやすくなるメリットがある。また、JIPEAの会員にとっては、品質規格を満足しない路面温度上昇抑制型ILブロックが市場に出回ることを抑制できるメリットがある。

なお、2017年までに「クールブロックペイプ®」認定を受けた製品は、遮熱性ILブロックで21種類(11社)、保水性ILブロックで15種類(11社)となっている。

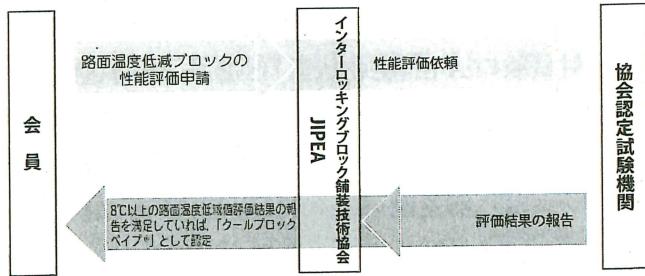


図-8 「クールブロックペイプ®」認定制度の概要

4. 路面温度上昇抑制型ILブロック品質規格の課題

室内ランプ照射試験における路面温度上昇抑制値

の測定は、実現場における路面温度上昇抑制効果を想定して両者が近似するよう室内ランプ照射試験の試験条件を決定した。「クールブロックペイプ®」の認定を受けたJIPEA会員各社が実現場で収集した路面温度データを見ると、保水性ILブロックでは室内ランプ照射試験の結果と実現場の結果が近似していることが分かった。しかしながら、遮熱性ILブロックでは室内ランプ照射試験の路面温度上昇抑制値に比べて実現場で測定した路面温度上昇抑制値のほうが大きな値となることが最近分かってきた。一例として、「クールブロックペイプ®」の認定を受けた会員の遮熱性ILブロックの室内ランプ照射試験結果を図-9に、実現場における路面温度測定結果を図-10に示す。室内ランプ照射試験の路面温度上昇抑制値は、実現場測定結果と比較よりも2.3°C、値が小さいことが分かる。すなわち、室内ランプ照射試験による路面温度上昇抑制値は、実現場における路面温度上昇抑制効果を過少に評価していることになる。

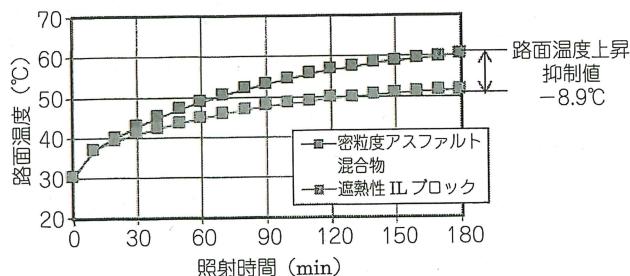


図-9 遮熱性ILブロックの室内ランプ照射試験結果

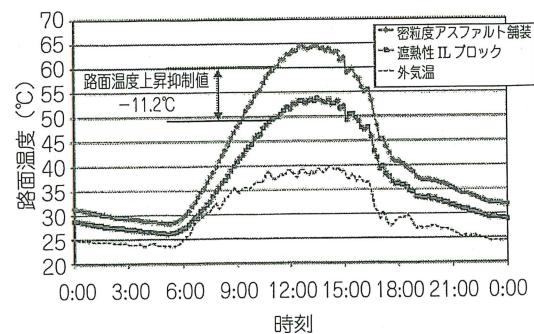


図-10 遮熱性ILブロックの実現場での路面温度測定結果

5. 品質規格の課題を解決するための検討

室内ランプ照射試験による路面温度上昇抑制値が実現場における路面温度上昇抑制効果を過少に評価している原因としては、室内ランプ照射試験時の供試体が湿潤状態にあることが考えられた。表-3に

示したように遮熱性 IL ブロックの室内ランプ照射試験方法では、供試体を絶乾状態にして試験を行う。確かに遮熱性 IL ブロックの路面温度上昇抑制のメカニズムは、図-2 に示したとおり太陽光の日射を反射して路面温度上昇抑制を図るものであり、日射反射の効果を確認するためには供試体を絶乾状態にして試験を行うのが適切な方法である。しかしながら、IL ブロックは振動加圧即時脱型方法により製造されるコンクリートブロックであり、密粒度アスファルト混合物と比べると水分を保持しやすい材料であるため、実現場で遮熱性 IL ブロックが絶乾状態に近づく条件としては、夏季に晴天が長期間続いた場合に限られると考える。実現場ではそのような状態にならない限り、常にある程度の水分を保持した状態が持続されるとすれば、太陽光の日射反射の効果だけでなく、保水性 IL ブロックと同様に水分蒸発に伴う気化熱による路面温度上昇抑制効果も期待できると考えられる。そこで、JIPEA ではこの仮説を実験的に検証した。

5-1 屋外検証実験

まず、遮熱性 IL ブロックは実現場において水分が蒸発しているのか否かの実験を屋外実験で確認した³⁾。実験では、図-11 および図-12 に示す歩道の舗装構造を構築し、表層に遮熱性 IL ブロックと保水性 IL ブロック、密粒度アスファルト混合物を施工した。そして、夏季の降雨(日降雨量16mm)翌日の晴天時において路面からの水分蒸発量を水分蒸発量測定器(日機装ワイエスアイ社製)で経時的に測定した。この結果を図-13 に示す。密粒度アスファルト舗装は終日にわたって路面から水分が蒸発していない

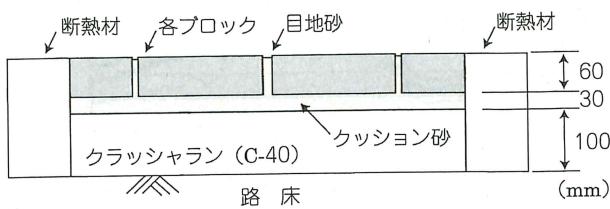


図-11 遮熱性普通 IL ブロック舗装と保水性 IL ブロック舗装の舗装構造

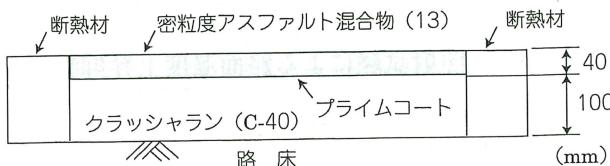


図-12 密粒度アスファルト舗装の舗装構造

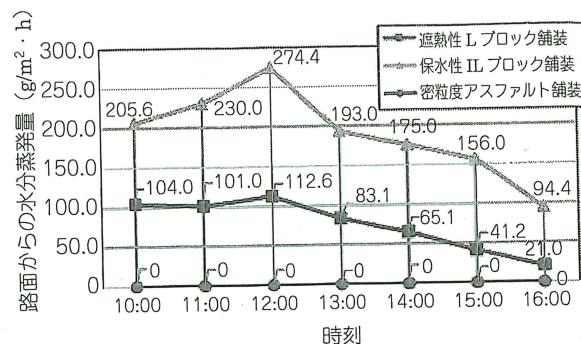


図-13 各種舗装の路面からの水分蒸発量測定結果

いことが分かった。これに対して保水性 IL ブロック舗装は、気温や湿度や風速に応じて水分が路面から蒸発していることが分かった。そして、遮熱性 IL ブロック舗装は、保水性 IL ブロック舗装の 50～20% 程度の水分が路面から蒸発していることが分かった。このことから遮熱性 IL ブロック舗装は、太陽光の日射反射の効果だけでなく、保水性 IL ブロックと同様に水分蒸発に伴う気化熱による路面温度上昇抑制効果も期待できることが検証できた。

なお、この実験で保水性 IL ブロック舗装の 24 時間当たりの水分蒸発量は、 $2,000 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ であった。保水性 IL ブロックの保水量が規格値の $0.15 \text{g}/\text{cm}^3$ であるとすれば、60mm 厚ブロックの保水量は $9,000 \text{g}/\text{m}^2$ となる。したがって、夏季に晴天が続いた場合に保水性 IL ブロック舗装の水分蒸発による路面温度上昇抑制効果が期待できる日数は、 $9,000/2,000 = 4.5$ 日となる。東京都を例に挙げると近年、夏季には夕立や集中豪雨が多く、4.5 日も雨が降らず晴天が続く頻度はそれほど高くはない。このため、保水性 IL ブロック舗装は一般的に夏季の期間を通じて路面温度上昇抑制効果を期待できる可能性が高いと言える。

5-2 室内検証実験

次に、同じ遮熱性 IL ブロックにおいて室内ランプ照射試験の A 法(絶乾状態)と B 法(湿潤状態)で試験を行った場合、路面温度上昇抑制値の関係がどのようになるかを確認した。対象とした遮熱性 IL ブロックは、前述図-9, 10 に示した S 社の遮熱性 IL ブロックを含めた 3 社 3 種類の遮熱性 IL ブロックを用いた。結果を図-14 に示す。すべての遮熱性 IL ブロックで路面温度上昇抑制値は、A 法(絶乾状態)よりも B 法(湿潤状態)のほうが大きい結果であった。そして、S 社の遮熱性 IL ブロックにおい

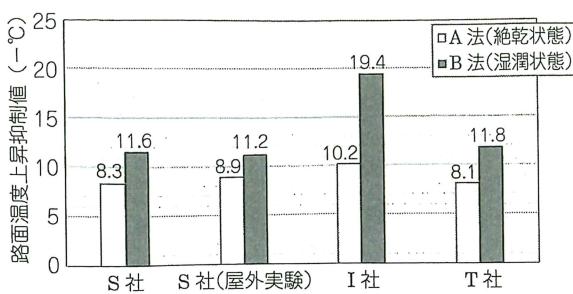


図-14 室内実証実験結果

ては室内ランプ照射試験のA法(絶乾状態)の結果は「クールブロックペイブ®」の認定を受けた際の路面温度上昇抑制値が-8.3°Cだったのに対して室内検証実験の結果は-8.9°Cであり、室内ランプ照射試験の再現性の高さが確認できた。また、S社の室内ランプ照射試験のB法(湿潤状態)の結果は-11.6°Cだったのに対して、実現場での結果は-11.2°C(図-10)であり、B法(湿潤状態)における路面温度上昇抑制値は実現場における路面温度上昇抑制値を高い精度で再現していることが分かった。

なお、I社とT社においても室内ランプ照射試験のB法(湿潤状態)の結果は、実現場における結果を高い精度で再現しているものであった。このことから、遮熱タイプのILブロックにおいてもA法(絶乾状態)ではなくB法(湿潤状態)を用いることで実現場における路面温度上昇抑制値を高い精度で再現できることが分かった。

6. ILブロックの表面明度と路面温度上昇抑制値の関係

6-1 屋外実験

保水性ILブロックの品質規格を制定する際に屋外実験場(写真-1)において路面温度上昇抑制型ではない普通ILブロックの表面明度($L^*a^*b^*$ 表色系における L^*)と路面温度の関係を確認している。測定は夏季に気温30°C以上の晴天が8日続いた状態で実施したものであり、ブロックの含水状態は室内ランプ照射試験のA法(絶乾状態)に近い状態になっていたと考えられる。結果を図-15に示す。ブロックの表面明度と路面温度には高い相関が認められ、表面明度が高くなるに従って路面温度がほぼ直線的に低下することが分かった。これは、普通ILブロックでも遮熱性ILブロックの路面温度上昇抑制効果のメカニズムと同様に太陽光の反射率の

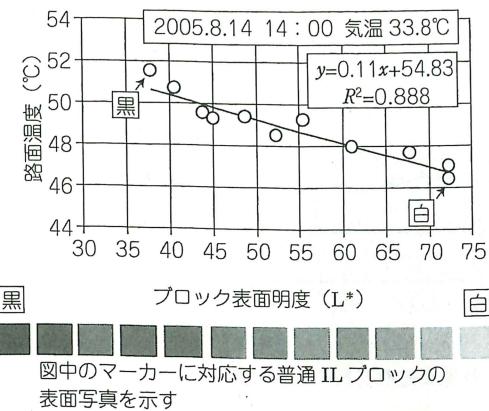


図-15 屋外実験場における普通ILブロックの表面の明度と路面温度の関係

(アルベド)は表面の明度が高くなるに従って大きくなることが関係していると考えられる。

6-2 室内実験

5-2 室内検証実験で使用したS社およびI社、T社の遮熱性ILブロックと3社が製造する路面温度上昇抑制タイプではない普通ILブロックにおいて、表面の明度($L^*a^*b^*$ 表色系における L^*)の測定と室内ランプ照射試験A法(絶乾状態)による路面温度上昇抑制値の測定を行い、その関係性について評価を行った。結果を図-16に示す。遮熱性ILブロックと普通ILブロックともに表面明度が高くなるに従って路面温度上昇抑制値が直線的に大きくなる傾向が認められた。近似直線の傾きは普通ILブロックに比べて遮熱性ILブロックのほうがなだらかである。これは、表面明度が高く白に近い色の場合は遮熱性ILブロックと普通ILブロックの路面温度上昇抑制値の差が小さいが、表面明度が低く黒に近い色になるほど遮熱性ILブロックのほうが普通ILブロックに比べて路面温度上昇抑制値が大きくなることを示している。これは、遮熱性ILブロックの表面に使われている太陽光の反射率が高い特殊な材料の熱的性質に起因するものと考えられる。

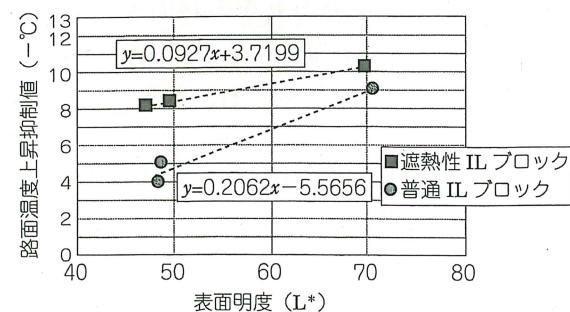


図-16 屋外実験場における遮熱性ILブロックの表面明度と路面温度の関係

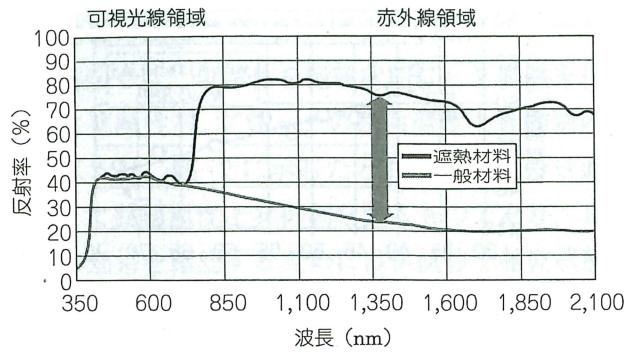


図-17 特殊な遮熱材料の太陽光波長と日射反射率の関係の一例

今回の実験に用いたS社の遮熱性ILブロックに使われている特殊な遮熱材料の太陽光波長と日射反射率の関係の一例を図-17に示す。この遮熱材料は、赤外線領域の太陽光(波長が800nm以上の太陽光)の反射率が高い性質を有している。赤外線領域の太陽光は熱量が大きいため、この領域の光を反射することによって遮熱性ILブロック舗装の路面温度は普通ILブロック舗装に比べて上昇しにくくなる。この材料は黒色のILブロックにおいても赤外線領域の太陽光の反射率を高めることができるために、白色のILブロックに近い熱的性質を有することになる。このような特殊な遮熱材料の熱的性質が図-16に示した遮熱性ILブロックと普通ILブロックの関係性に影響していると考えられる。

7. 結論

以上に述べた一連の研究から以下の知見を得た。

- ①これまでの遮熱性ILブロックの室内ランプ照射試験において用いられてきたA法(供試体を絶乾状態にする方法)では実現場の夏季の路面温度上昇抑制効果を再現することが難しかったが、これまで保水性ILブロックの室内ランプ照射試験において用いられてきたB法(供試体を湿潤状態にする方法)を遮熱性ILブロックでも用いることによって、実現場の夏季の路面温度上昇抑制効果を高い精度で再現できることができた。
- ②遮熱性ILブロックと普通ILブロックともに表面の明度が大きくなるほど(白色に近づくほど)路面温度上昇抑制効果が大きくなることが分かった。そして、表面の明度が高く白に近い色の場合は、

遮熱性ILブロックと普通ILブロックの路面温度上昇抑制値の差が小さいが、表面の明度が低く黒に近い色になるほど遮熱性ILブロックのほうが普通ILブロックに比べて路面温度上昇抑制値が大きくなることが分かった。

おわりに

JIPEAでは2017年に「インターロッキングブロック舗装設計施工要領」を改訂し、路面温度上昇抑制型ILブロックの品質規格と試験方法を規定するとともに、「クールブロックパイプ®」認定制度についての記述を盛り込み、協会の技術の大きな柱として「涼しい舗装」の推進に注力している。本文における研究では室内ランプ照射試験において供試体の含水状態を制御することによって実現場の夏季の路面温度上昇抑制効果を高い精度で再現できることができたため、次回の「設計施工要領」改訂の草案の位置付けで今後運用していくことを検討している。JIPEAではこのほかにも景観性・意匠性の検討、環境負荷を軽減するための技術の検討、ユニバーサルデザインに対応する技術の検討等を進めており、国内の道路利用者だけでなく2020年の東京オリンピック・パラリンピックをはじめとして世界からお越しいただく皆様を気持ちよくお出迎えできる道路環境を創造すべく活動を続けていく⁴⁾。

問い合わせ先

〒370-0015 群馬県高崎市島野町890-4
エスピック(株) 製造本部 技術支援室 唐澤 明彦
TEL: 027-352-4094 FAX: 027-352-4146
E-mail: a-karasawa@s-bic.co.jp

[参考文献]

- 1)(社)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(2007.3)
- 2)(社)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(2017.3)
- 3)唐澤明彦, 藤田 仁, 江角典之, 高森哲也:保水性インターロッキングブロック舗装の路面温度上昇抑制効果に関する研究, コンクリート工学, Vol.44, No.7, pp.9~16(2006.7)
- 4)(社)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だより, No.5(2018.5)