

遮熱性舗装の開発

パーフェクトクール

岩 間 将 彦

昨今、気候変動に代表される地球温暖化問題は深刻化し、環境問題に対する関心が世界各国で高まっている。我が国でも、熱中症により病院搬送される患者数は年々増加の一途を辿り、夏期の気温上昇は今や社会的な問題となってきている。一方、都市部ではヒートアイランド現象が顕在化しており、歩行者の熱環境だけでなく舗装の耐久性にも影響を及ぼしている。遮熱性舗装は、舗装の耐久性向上と都市の熱環境改善が期待できる環境技術であり、その施工面積は年々増加している。本稿では、遮熱性舗装のメカニズムや路面温度低減効果、環境への効果、適用事例など最近の動向を含めて紹介したい。

キーワード：地球温暖化、ヒートアイランド現象、遮熱性舗装、路面温度上昇抑制、熱環境

1. はじめに

アスファルト舗装は日射を吸収しやすい材料でできている。夏の日中には日射をほぼ垂直に受け止めるため、路面の最高温度が60℃を超えることも珍しくない。高温化した路面は、大気を暖めるとともに遠赤外線の放射量が増して道路空間の熱環境を悪化させるほか、熱可塑性のアスファルトをバインダとする舗装自体の耐流動性に影響を及ぼし、わだち掘れなど耐久性を低下させる原因にもなる。また、道路舗装は都市部で15%程度の面積を占めており、熱環境の改善を図る上では公共用地に展開する道路舗装の対策が速効性があり、重要となる。

そこで開発されたのが遮熱性舗装であり、日射に含まれる近赤外線のみを高反射する特殊な反射特性を持っていて、見た目には従来の舗装に似た色に仕上げながら日射の熱吸収を抑えることができる。この技術が初めて発表されたのは2001年であり¹⁾、市場の拡大とともに技術の完成度は高まってきている。

2. 遮熱性舗装とは

(1) 遮熱性舗装のメカニズム

遮熱性舗装は、熱反射性顔料や中空微粒子などを配合した遮熱コート材を舗装路面に塗布することで路面温度の低減効果が得られる。見た目は黒くても熱くなりにくい、すなわち色を表現する可視光はそのままに、目に見えない近赤外線だけを高反射して熱吸収を防ぐ

というユニークな反射特性を持つ。光として人が認識しない近赤外線を舗装表面で高反射して熱吸収を防止するため、日射による蓄熱を防いで路面の高温化を防止できる。

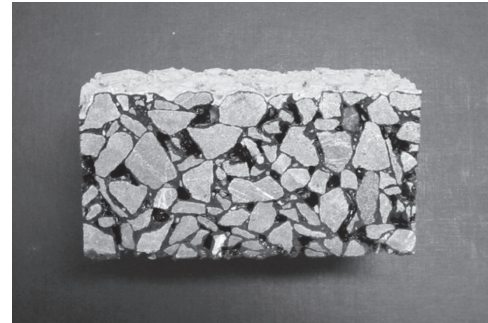


写真-1 遮熱性舗装の断面例 (上が遮熱コート材)

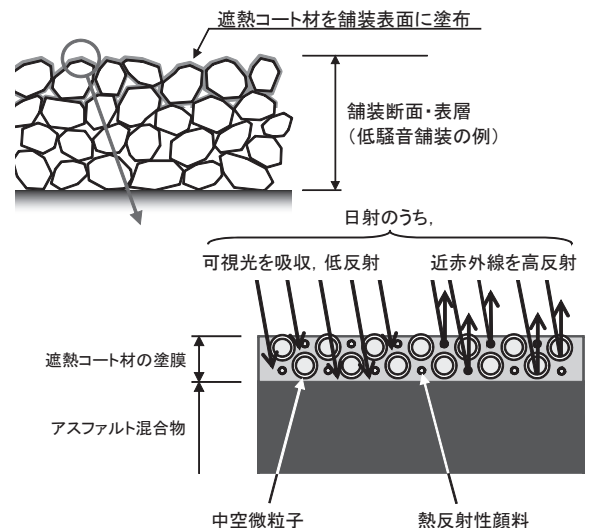


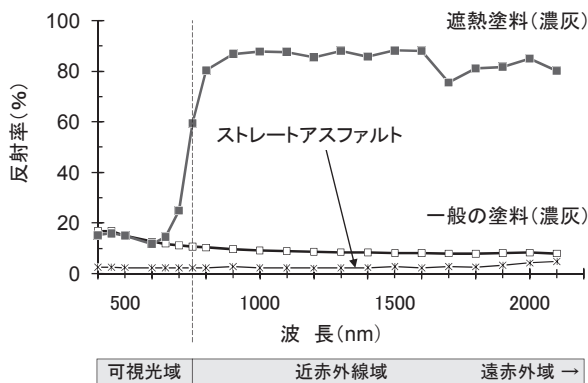
図-1 遮熱性舗装のメカニズム

遮熱性舗装の表面には、アスファルト舗装面に直接日射が当たらないように遮熱コート材を塗布している(写真—1)。薄膜の遮熱コート層には熱反射性顔料や中空微粒子などを含有していて、これらの働きによって、日射に含まれる可視光線と近赤外線に対する特徴的な日射反射特性を付与している。図—1に、温度低減効果が得られる遮熱性舗装のメカニズムを示す。

(2) 熱反射性顔料の効果

遮熱性舗装に使用されている熱反射性顔料は、遮熱コート材に所定の色調を与えつつ、近赤外線を高反射する材料である。熱反射性顔料を配合した遮熱コート材の反射率を分光光度計で測定すると、図—2に示すような結果が得られる。図は既設のアスファルト舗装に類似した濃灰色に設定した例であるが、人が色や明るさを覚える可視光線の波長域においては、所要の色調や明度に応じた低い反射率にとどまるが、可視光線から長波長側の視覚に影響しない近赤外線の波長域においては、非常に高い反射率を示すという特徴的な反射特性がある。図—2のように同じ濃灰色で一般塗料と比較すれば、近赤外線域の反射特性の違いは歴然としている。

このように、道路舗装用として濃灰色に設定した場合は、可視光線域の反射を抑えて道路区画線の視認性を確保し、かつ日射の近赤外線域をほとんど反射する



図—2 遮熱コート材の反射特性

ので日射の熱吸収を防止して熱くなりにくい。

(3) 塗料ベースと施工方法

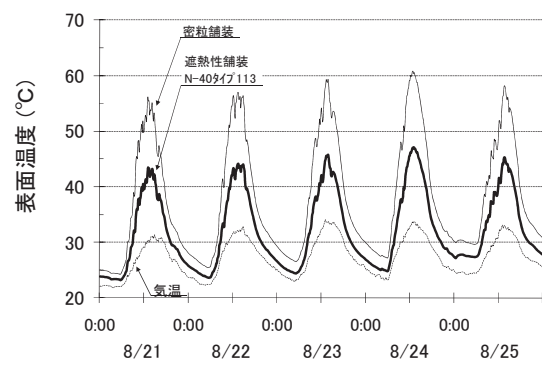
遮熱コート材のベース樹脂には主に2種類があり、主剤と硬化剤を混ぜて反応・硬化させる MMA 系の2液硬化型樹脂と、水系のアクリルエマルジョン樹脂などが使われている。2種類の遮熱コート材は適用する道路の交通量によって選択される。塗布後10分程度で硬化する速硬性と強靱な塗膜が特徴の MMA 系は交通規制を伴う車道に最適である。一方、耐摩耗性は若干劣るものの比較的成本が安く施工時の臭気が少ない水系は歩道や公園を中心に使われている。MMA 系の施工は専用のスプレーガンによる吹付けで行われ、水系は吹付けのほか自在ぼうきによる塗布で行われる(写真—2)。

3. 遮熱性舗装の性能

(1) 路面温度上昇抑制性能

開発した遮熱性舗装の性能を確認するため、屋外ヤードにて試験施工を実施し、遮熱性舗装の路面温度上昇抑制性能を検証した。

図—3は、(独)土木研究所で測定した結果である²⁾。ここでは、実道レベルの舗装厚で通常密粒度舗装と遮熱性舗装の試験舗装ヤードを構築し、舗装表面の温度



図—3 遮熱性舗装の表面温度(夏期)

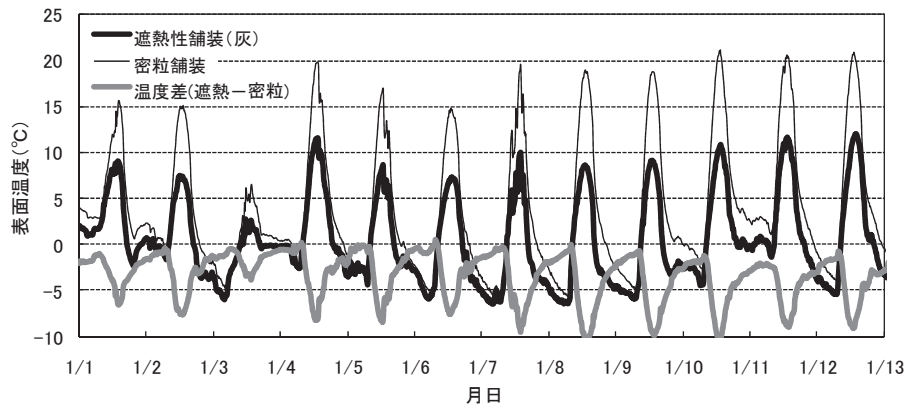


(a)



(b)

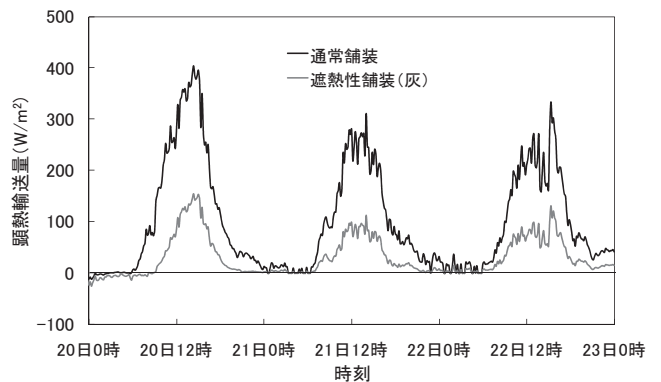
写真—2 遮熱性舗装の施工 (a) MMA系2液硬化型、(b) 水系1液型



図一四 遮熱性舗装の表面温度 (冬期)

を測定することで、遮熱性舗装の路面温度上昇抑制性能を検証した。結果より、8月の晴天日において、遮熱性舗装の最高温度は密粒度舗装よりも約15℃低下していることが分かる。また、夜間においても、日中に蓄熱を防止しているため、20時から6時までの表面温度が密粒度舗装よりも約3.0℃低減していることが分かった。

一方、図一四は同試験ヤードにおける冬期の結果である。結果より、密粒舗装と遮熱性舗装の温度差はそれほど大きくないことが分かった。



図一五 顕熱輸送量の試算結果

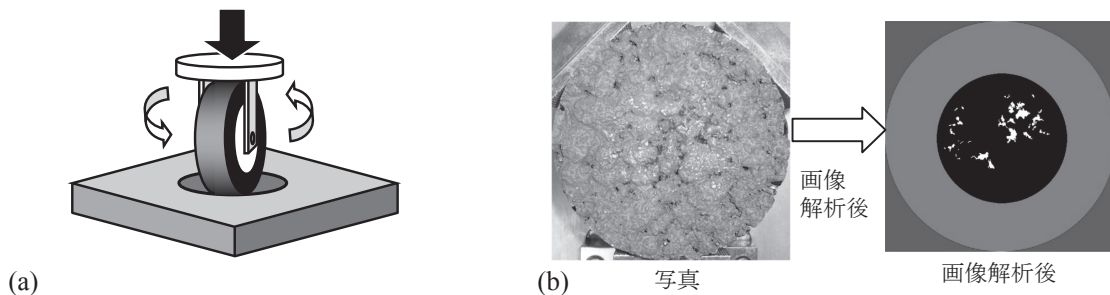
(2) 遮熱性舗装の顕熱輸送量

熱収支を考えた場合、舗装面からは大気を直接加熱する顕熱が、舗装面の温度差に応じて放出される。図一五は、試験施工ヤードから得られた結果に基づき算出した密粒舗装と遮熱性舗装の顕熱輸送量である。結果より、遮熱性舗装の顕熱輸送量は密粒舗装と比較し、日中で半分程度まで減少していることが分かった。また、顕熱輸送量のほとんど無い時間帯が、密粒舗装に比べて長いことが分かる。これは、遮熱性舗装による路面への蓄熱量を抑制した効果によるものと考えられ、熱帯夜問題解消に効果的であることが分かる。

(3) 遮熱コート層の耐久性

遮熱性舗装の温度低減効果とわだち掘れ抑制効果を長期間確保するためには、交通荷重に対して、はがれにくい丈夫な遮熱コート層が求められる。同時に、遮熱コート層には遮熱性舗装の樹脂と母体となるアスファルト舗装との良好な付着性能も求められる。昨今では、遮熱コート層の耐久性を評価するため、遮熱材のはがれ抵抗性試験を実施することで、性能用件工事で遮熱性舗装の塗膜表面の耐久性に関する性能指標を設定している自治体もある³⁾。

図一六は、遮熱材のはがれ抵抗性試験の概要である。試験は、遮熱材を塗布した円筒形供試体を専用治具に設置し、輪荷重で $686 \pm 10 \text{ N}$ を供試体に載荷させた



図一六 遮熱材のはがれ抵抗性試験
(a) 試験概要, (b) 画像解析状況

状態で左右に45度の角度で繰り返し回転させ実施する。供試体を650回転させた後、試験機から供試体を取り出し、遮熱材のはがれた箇所を画像解析により算出する³⁾。また、性能指標として運用されているはがれ面積率は、タイヤ設置面積のピクセル数に対する遮熱材のはがれた箇所のピクセル数の割合で算出する。遮熱材のはがれ抵抗性試験の測定例を表—1に示す。

表—1 遮熱材のはがれ面積率 測定例

試験後のはがれ面積率	
性能指標例	40%以下
遮熱性舗装	9.9%

注) はがれ面積率 = (はがれた箇所のピクセル数 / タイヤ設置面積のピクセル数) × 100

結果より、試験を実施した遮熱性舗装のはがれ面積率は画像解析で約10%と算出され、性能指標例の40%を大きく下回る結果となった。そのため、使用した遮熱塗料は実道で繰り返し載荷される交通荷重に対しても強度があり、はがれ難い塗料であると判断できる。

(4) 臭気性能

遮熱塗料のベース樹脂として使用されているMMA(メタクリル酸メチル)は医療用にも使われる材料であるが、歯科治療を受ける際に似た独特な臭気があるため、世間一般には不快と認識されやすいことが分かってきた。市街地や商店街に近接した現場での施工を考慮した場合、施工時に発生する臭気は抑制することが望ましい。このような背景を踏まえ、最近ではMMA系遮熱コート材の低臭化の開発が進められており、都市部を中心に実道でも適用されてきている。

表—2は、通常型遮熱塗料と低臭型遮熱塗料の室内臭気測定結果である。結果より、低臭型遮熱塗料は通常型遮熱塗料に比べ、最大臭気値が約1/5に低減されていることが分かる。また、低臭型遮熱塗料の塗布に伴うすべり抵抗性やはがれ抵抗性等の供用性に関する性能指標も、室内試験により通常型遮熱塗料と同等であることを確認している。そのため、低臭型遮熱塗料は都市部での遮熱性舗装の施工に適した材料と考えられる。

表—2 室内臭気測定結果例

臭気タイプ	臭気レベル
性能指標例	300
低臭型遮熱塗料	177
通常型遮熱塗料	889

4. 遮熱性舗装の効果

(1) 空港誘導路での適用事例

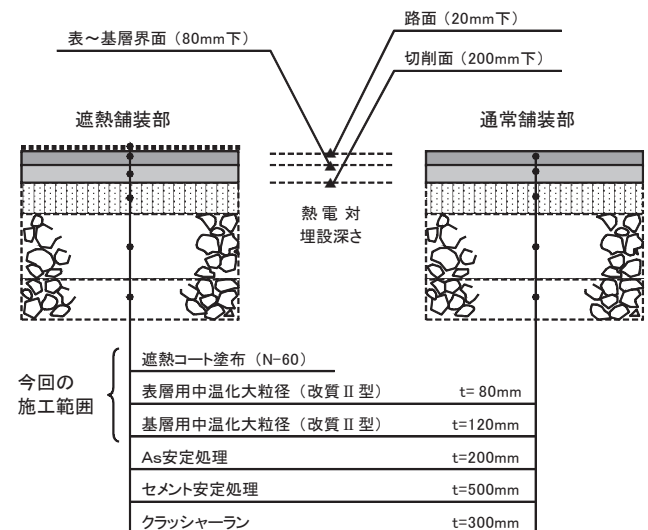
遮熱性舗装の効果を確認するため、ここでは遮熱性舗装の空港誘導路への適用を紹介する⁴⁾。周囲に建物が隣接せず、太陽高度が低い冬季も含めて日中のほぼ全ての時間帯で太陽光が当たる理想的な屋外での評価事例と言える。遮熱性舗装の本来の温度低減性能を明らかにするとともに、それに伴う舗装耐久性への効果を検証している。場所はボーイング747型機などの大型機が就航する空港誘導路で、舗装の改修時に遮熱コート材(灰色)を塗布した遮熱工区(写真—3)と塗布しない通常工区を設けて、舗装体温度と路面性状を測定した。



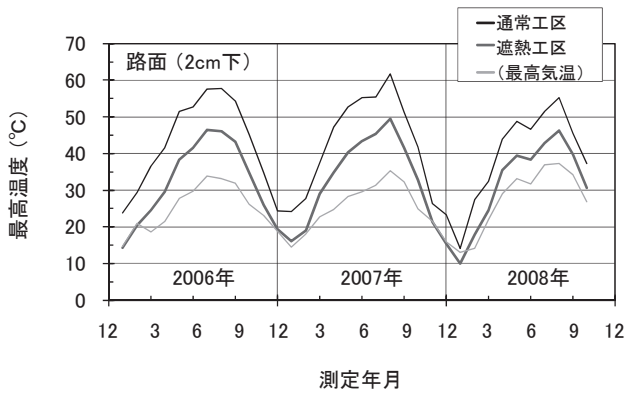
写真—3 空港誘導路での施工例(成田国際空港)

(2) 路面温度低減効果

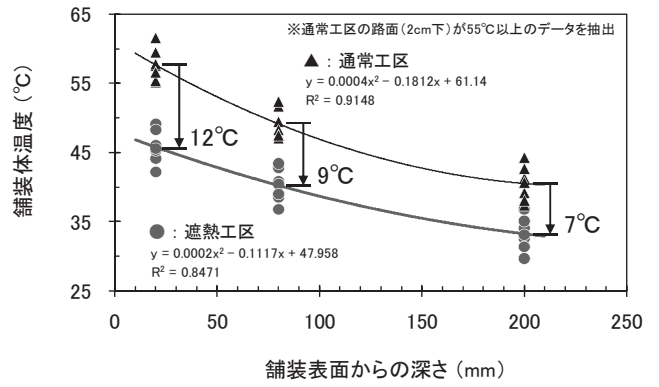
図—7は試験施工誘導路に埋設した熱電対の配置図であり、図—8は誘導路の路面(2cm下)に熱電対を埋設して供用開始から約3年間連続して舗装体の温度を測定した結果である。これより、遮熱工区と通



図—7 舗装構成と施工範囲



図一八 路面温度の推移 (毎月の最高値)

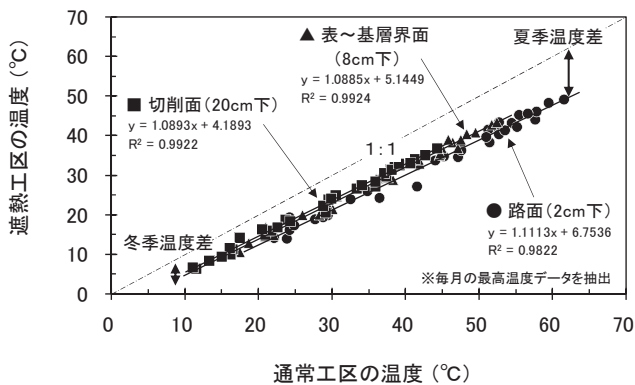


図一十 舗装深さと温度低減効果

常工区の路面温度は毎年同様に推移しており、年間を通じて遮熱性舗装の温度低減効果が明確に認められる。その効果は供用期間を通じて安定して持続しており、最大の路面温度低減効果は毎年約8～10℃で推移している。

両工区の舗装体を深さ方向3測点で記録した、毎月の最高温度データをプロットしたのが図一九である。これより、1:1の線と比較すると、冬季の低温側では両工区の温度差は縮小するものの、いずれの温度域でも遮熱工区の方が低く、夏季に舗装体温度が高温になるのにもない温度低減効果が拡大している。

なお、これは日中の最高温度で整理したものであり、雨天時や降雪時には両舗装の温度差がほぼ無くなることから、路面凍結を促進するなどの影響は無い。

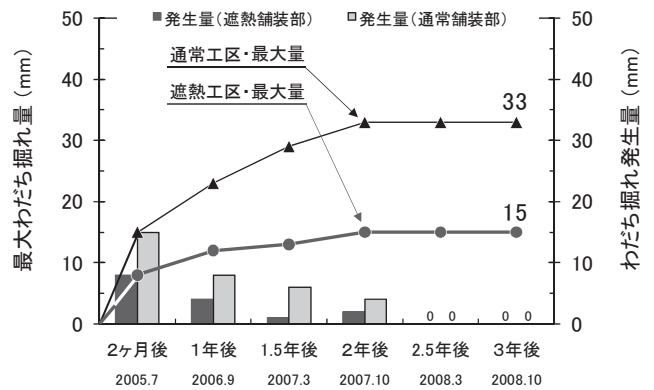


図一九 両舗装部の温度差

熱可塑性のアスファルトを使用するアスファルト舗装は、舗装体温度が耐流動性に大きく影響する。図一十に示すとおり両工区での温度差は路面～8cm下までの表層部で約10℃、8～20cm下までの基層部で7℃以上あり、この差はアスファルト舗装の強度特性を大幅に変えるだけのインパクトがあり、温度低減化による耐流動性の改善効果は十分に期待できる。

(3) 温度低減効果とわだち掘れ量

図一十一は、供用3年後までのわだち掘れ量の推移を示したものであり、供用期間とともにわだち掘れ量が増加していくことが分かる。大型のボーイング747型機が就航している今回の調査箇所では、供用2年を経過した時点でわだち掘れ量の増加が収束する傾向がみられ、供用3年後には通常工区が33mmに達したのに対して、遮熱工区は15mmと、半分以下に抑えられている。このことから、遮熱性舗装による路面温度の低下が舗装の耐流動性改善に効果的であることが分かる。



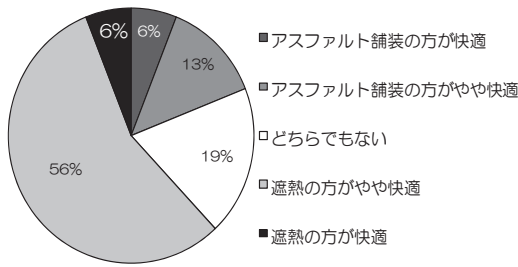
図一十一 供用年数とわだち掘れ量の関係

5. 歩行者空間の熱環境改善

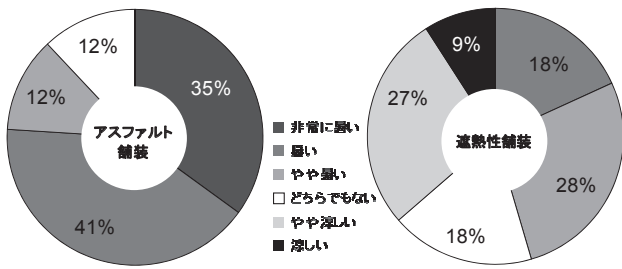
(1) 歩行者の暑熱環境

図一十二、十三は、遮熱性舗装の歩行者への影響を検討するために実施した被験者実験の結果²⁾である。実験は気温が約35℃で晴天時の正午ごろに20歳代、30歳代の男女6名を集め、アスファルト舗装の路面温度が56℃、遮熱性舗装が43℃の条件で実施した。なお、被験者には先入観が入らないように事前に遮熱性舗装に関する情報は与えず、両舗装の上に3分ごとに立ち、足温感や快適性をアンケートにより調査した。

図一十二より、アスファルト舗装ですべての被験者



図一 12 被験者が感じた足下の暑熱感 (足温感)



図一 13 相対評価による快適性

が暑熱的に苦しさを訴えているのに対して、遮熱性舗装は暑熱感が緩和していることが分かる。特に足温感については両舗装の差が顕著で、足下から感じる暑さを訴えた比率が遮熱性舗装で半減している。これは、表面温度の低減により足への伝熱が変化して足温感に影響を与え、その結果として全身の暑熱感が改善したものと考える。

一方、図一 13 に示す相対評価では、快適性についてアスファルト舗装が良いと回答したのは 19% であるのに対し、遮熱性舗装の方は 62% と被験者の多くが快適に感じている結果となった。

これより、遮熱性舗装による路面温度の低減化は路面から放射する遠赤外線と大気加熱を抑えて、歩行者空間の熱環境改善が期待できる。

友永らも同様に歩行者の暑熱環境に着目し、被験者実験を実施した⁵⁾。実験では、排水性舗装上と遮熱性舗装上における気温や路面温度等の物理量に関連付け、被験者の暑熱感や快適感等の生理量や心理量を調査した。その結果、被験者は排水性舗装の蓄熱に伴う輻射熱を暑熱感として感じる割合が高く、遮熱性舗装による路面温度上昇抑制効果により、被験者の暑熱感が軽減され、快適性も促進されることが分かった。

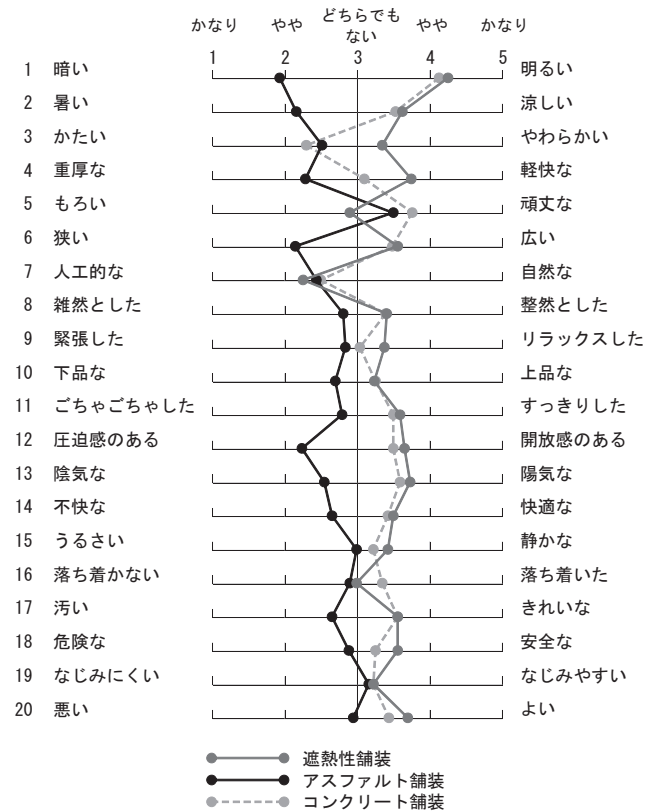
(2) 歩行者の印象評価

遮熱性舗装の導入が歩行者に与える印象を評価するため、遮熱性舗装を施工した近隣住民へのアンケート調査を実施した⁶⁾。

調査箇所には、遮熱性舗装と従来舗装 (アスファルト舗装およびコンクリート舗装) が隣接して施工され

ている居住専用空間の生活道路を選定した。気温が 32℃ の日中に、62 名の被験者が 1 人ずつ調査箇所を歩き、道路空間に占める舗装の視覚からの印象を、20 組の形容詞対義語について 5 段階評価した。

図一 14 は、被験者が回答した舗装の印象の平均値を表したものであり、中央 (どちらでもない) から右側には快適を、左側には不快を表す形容詞で分類している。



図一 14 舗装の印象についての評価結果

路面が濃灰色の遮熱性舗装と灰色のコンクリート舗装は類似した傾向で、「明るい」を筆頭に「開放感、整然とした」など肯定的な評価であったのに対し、黒色のアスファルト舗装は対照的に「暗い、圧迫感、不快な」など否定的な評価となっている。「人工的な」という項目は、3 舗装に共通した調査結果となった。

図一 15 は、図一 14 の中央値 3 との差を示したものである。これによれば、アスファルト舗装の「暗い」印象は、夜を象徴するため危険や不安につながり、良いイメージの形容詞は選択されていない。一方、遮熱性舗装とコンクリート舗装の「明るい」印象は、開放的ですしっきりとしたイメージにつながっており、見通しが利きやすく、心理的に安心感を与えることが分かった。

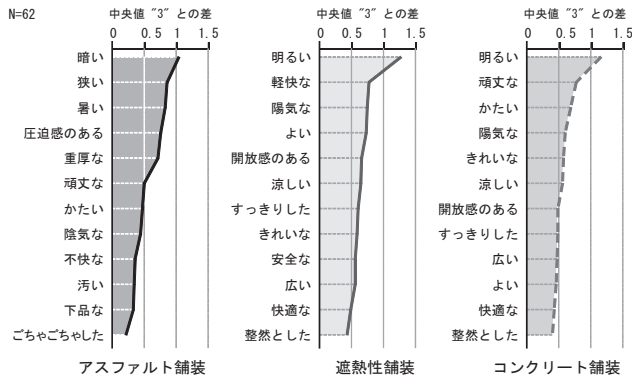


図-15 各舗装の特徴的印象

6. 都市大気への影響

本内らは、シミュレーションモデルを用いて、東京23区の道路用地（細密数値情報における道路用地のうち、道路の緑地率7.9%に相当する面積を除く面積分、約88km²）に遮熱性舗装を導入した場合の気温低減効果を試算した²⁾。

遮熱性舗装導入による気温変化量を図-16に示す。図に示す結果より、舗装の表面温度が低下したことに起因して、都市部で正午には0.8℃以上、午後2時でも0.6℃以上の気温低減効果が認められた。この結果より、道路面積率の高い都市部においては、遮熱性舗装が有効なヒートアイランド対策であると考えられる。

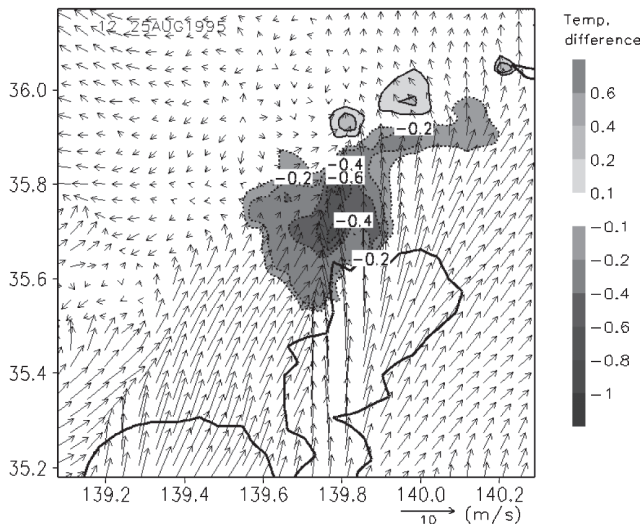


図-16 遮熱性舗装導入による気温の変化（夏期晴天日の正午）

また、舗装面を囲うように建物が存在する都市部の街路空間の場合、舗装面で反射される日射の一部は沿道の建物に吸収されて壁面温度を上昇させることが懸念される。そのため、遮熱性舗装の反射日射が周囲建物に及ぼす影響をシミュレーションにより試算した。

シミュレーションでは、図-17に示す街路空間

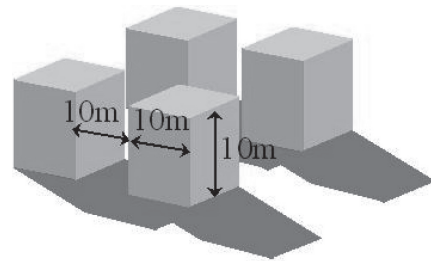


図-17 試算ケース

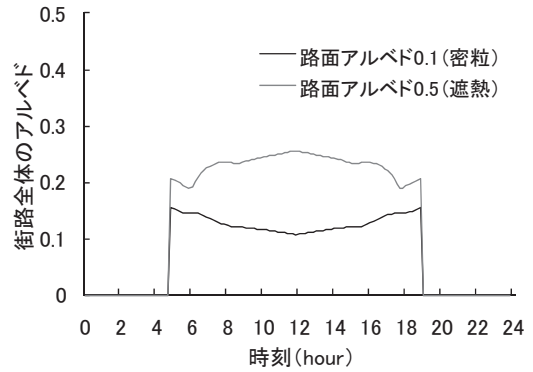


図-18 街路空間全体のアルベド

(キャノピー)をモデルとして設定し、試算を実施した。図-18に示す試算結果より、遮熱性舗装の導入により街路空間全体としての反射率が增大することで蓄熱が抑えられ、街路空間から上空大気への顕熱量は減少することが分かった。その結果、遮熱性舗装の導入は都市のヒートアイランド化を抑制する方向に働くと考えられる。

7. 施工実績

民間会社で構成する路面温度上昇抑制舗装研究会が集計した施工実績では、遮熱性舗装の施工面積は平成23年度までに累計で120万m²を超えた（図-19）。首都圏などの都市部での施工がほとんどであるが、九州、近畿、中部でも施工されてきており（図-20）、最近では駅前ロータリーや公園などにも採用が広がっている（写真-4、5）。

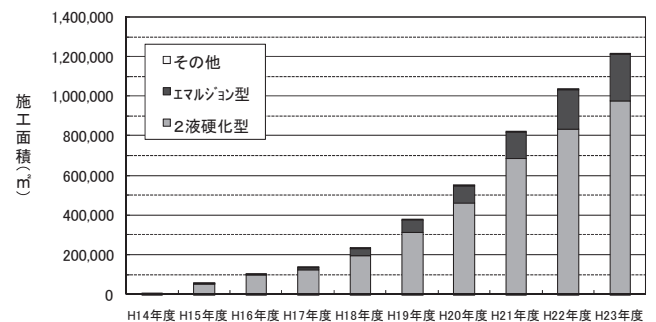
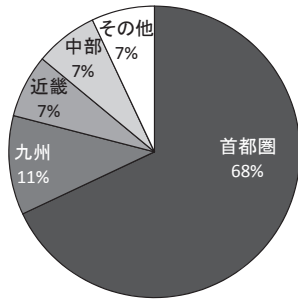


図-19 エリア別施工実績



図一 20 施工実績



写真一 4 駅前ロータリーでの施工例



写真一 5 公園での施工例 (皇居外苑)

8. 海外での評価

遮熱性舗装は、斬新かつ独創的な先進技術として世界でも認知され始めてきている。2011年には世界道路協会 (PIARC) から世界道路協会賞 (ベストイノベーション)



写真一 6 世界道路協会賞の授賞式の様子



写真一 7 世界道路功績賞の授賞式の様子

賞)を(写真一 6),2008年には国際道路連盟 (IRF) から世界道路功績賞 (Global Road Achievement Awards) を受賞している (写真一 7)。道路舗装の分野における日本発の環境技術開発への取り組みが、世界の舞台で認められている。

9. おわりに

気候変動に代表される地球温暖化問題は、全産業の喫緊の課題である。気候変動への適応も含めて、今回紹介した遮熱性舗装 (パーフェクトクール) など、今後も道路舗装から社会に貢献できる新しい技術の開発を鋭意行っていく所存である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 吉中 保, 根本信行: 路面温度のヒート抑制を目的とした機能性舗装に関する一検討, 土木学会舗装工学論文集第6巻, pp.29-38, 2001.
- 2) 木内 豪, 吉中 保, 深江典之: ヒートアイランド低減効果を目指した高性能の遮熱性舗装の開発, 舗装 Vol.39 No.10, pp.7-11, 建設図書, 2004.
- 3) 峰岸順一, 上野慎一郎: 遮熱性舗装表面の耐久性に関する性能の設定, 東京都土木技術支援・人材育成センター年報 (平成 22 年), pp.41-50, 東京都, 2010.
- 4) 早川 勇, 植松祥示, 関田将巳, 吉中 保: わだち掘れ対策を目的とした空港誘導路への遮熱性舗装の適用検討, 舗装 Vol.44 No.8, pp.9-13, 建設図書, 2009.
- 5) 友永拓史, 芦刈義孝, 濱田敏宏: 遮熱性舗装による道路環境の改善効果一歩行者を対象とした体感温度による検証一, 舗装 Vol.43 No.6, pp.31-36, 建設図書, 2008.
- 6) 吉中 保, 小野浩一, 武石英人, 鈴木明彦: 遮熱性舗装の心理的印象評価に関する件等, 舗装, Vol.44 No.5, p.14-18, 2009.

【筆者紹介】

岩間 将彦 (いわま まさひこ)

(株) NIPPO

研究開発本部 技術研究所 研究第一グループ

副主任研究員

