

都市環境に配慮した道路舗装技術の実証的検討

芦刈義孝¹・濱田敏宏²・池田雅一³・来田慎一³
柳澤友樹⁴・藤原寿友⁵

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒541-0052 大阪市中央区安土町二丁目3-13)

E-mail:yoshitaka.ashikari@os.pacific.co.jp

²正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒541-0052 大阪市中央区安土町二丁目3-13)

³非会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒541-0052 大阪市中央区安土町二丁目3-13)

⁴非会員 兵庫県県土整備部土木局道路保全課 (〒650-8567 神戸市中央区下山手通五丁目10-1)

⁵非会員 財団法人兵庫県まちづくり技術センター (〒650-0023 神戸市中央区栄町通六丁目1-21)

近年、都市部においてヒートアイランド現象、騒音、大気汚染等の都市特有の環境問題が顕在化しており、早急に改善を図っていく必要がある。本研究では、これらの環境問題に対して改善効果が期待できる新たな舗装技術(透水性舗装、保水性舗装、遮熱性舗装、光触媒舗装)に着目し、試験施工箇所において通年観測を実施することにより、効果検証、効果持続性、構造耐久性等の検討を行った。この実証的な検討は、各舗装の試験施工区間に隣接する既設区間(密粒舗装又は排水性舗装)と比較することにより行った。約1年間にわたる継続調査の結果、遮熱性舗装及び保水性舗装は路面温度上昇抑制効果を、光触媒舗装はNOx除去効果を有しており、都市環境の改善に資する一定の効果が得られることが分かった。

Key Words :environment-conscious pavement, surface temperature, nitrogen oxides, urban environment

1. はじめに

近年、都市部においてヒートアイランド現象、騒音、大気汚染等の都市特有の環境問題が顕在化しており、早急に改善を図っていく必要がある。本研究では、これらの環境問題に対して改善効果が期待できる新たな舗装技術^{1),2),3)}(透水性舗装、保水性舗装、遮熱性舗装、光触媒舗装：表-1)に着目し、実道での試験施工箇所において

通年観測を実施することによりデータを蓄積して、効果持続性、構造耐久性等の実証的な検討を行うことを目的とした。

本報告は、平成15年8月～平成16年9月に実施した調査について、調査内容を示すとともにヒートアイランド現象及び大気汚染に関する項目の調査結果概要について報告するものである。

表-1(1) 新たな舗装技術の概要

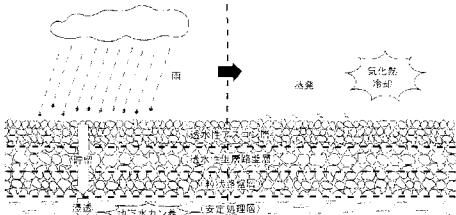
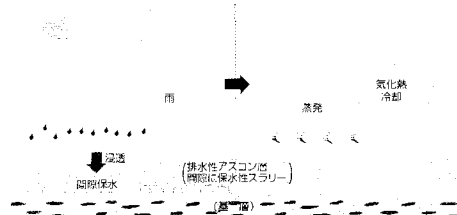
透水性舗装	保水性舗装
 透水性舗装は、雨水を路盤、路床に浸透させる舗装構造であり、水分が蒸発散する際の気化熱で路面温度の上昇を抑制する効果を期待するものである。	 保水性舗装は雨水を表層に貯えることのできる舗装構造であり、水分が蒸発散する際の気化熱で路面温度の上昇を抑制するものである。

表-1(2) 新たな舗装技術の概要

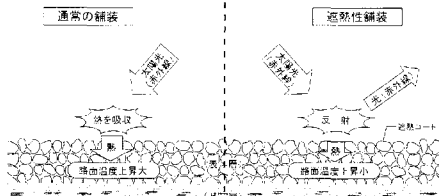
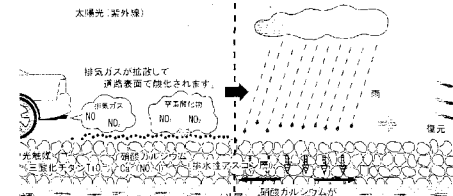
遮熱性舗装	光触媒舗装
 遮熱性舗装は、道路の蓄熱効果を軽減する塗料を路面に塗布する舗装構造であり、太陽光を散乱させることで路面の温度上昇を抑制するものである。	 光触媒舗装は、空気中の窒素酸化物を吸着する塗料を路面に塗布する舗装構造であり、太陽光（紫外線）を利用して自動車排気ガス中の窒素酸化物（NOx）を硝酸カルシウムに変えて浄化するものである。

表-2 試験施工の概要及び調査項目

	透水性舗装	保水性舗装	遮熱性舗装	光触媒舗装	備考(観測頻度)
<試験施工概要>					
路線名	(主)西宮池田線	(一)西宮豊中線	(一)西宮宝塚線	(一)米谷見陽尼崎線	
箇所名	川西市加茂	尼崎市東園田	宝塚市東洋町	尼崎市南塚口	
施工延長	L=280m(片側3車)	L=210m(4車)	L=45m(2車)×5種	L=150m(4車)	
施工面積	A=2,800㎡	A=2,888㎡	A=1,350㎡	A=1,875㎡	
交通量	36,656台	22,191台	16,334台	26,176台	[平成11年度交通センサス]
大型車混入率	11.3%	12.7%	12.1%	7.7%	[平成11年度交通センサス]
<環境影響調査>					
ヒートアイランド現象対応	路面温度 ¹⁾	路面温度 ¹⁾	路面温度 ¹⁾	路面温度 ¹⁾	平成15年8月1日～平成16年9月20日の24時間連続(10分値)
	気象 ²⁾	気象 ²⁾	気象 ²⁾	気象 ²⁾	夏季3回、秋季・冬季各2回
	散水試験	散水試験	—	—	1年後の夏季3回
	日射反射率・輝度	日射反射率・輝度	日射反射率・輝度	日射反射率・輝度	施工直後、1年後の2回 (輝度：施工1年後の1回)
大気汚染対応	—	—	—	洗浄水試験	夏季、秋季、冬季、春季各2回 1年後の夏季1回
	—	—	—	紫外線量	3日間連続(10分値)の夏季、冬季の2回
騒音対応	舗装路面(RAC車)	舗装路面(RAC車)	—	—	施工直後、1年後の2回
	道路交通騒音	道路交通騒音	—	—	施工直前、直後、1年後の3回
<構造影響調査>					
走行快適性	平坦性	平坦性	平坦性	平坦性	施工直後と1年後の2回
耐久性	たわみ量	たわみ量	たわみ量	たわみ量	施工直後と1年後の2回
安全性	わだち掘れ量	わだち掘れ量	わだち掘れ量	わだち掘れ量	施工直後と1年後の2回
	すべり抵抗値	すべり抵抗値	すべり抵抗値	すべり抵抗値	施工直後と1年後の2回

注1)路面温度：表層-1cm、-4cm、-9cmの3層

2)気象：風向、風速、雨量、気温、湿度

2. 試験施工の概要と調査内容

試験施工は、兵庫県内でヒートアイランド現象、大気汚染、騒音等の都市特有の環境問題が特に顕在化している阪神間の4箇所で4種の舗装を実施した(表-2)。

調査は平成15年8月から平成16年9月の約1年間にわたり、環境影響調査8項目(ヒートアイランド現象対応4項目、大気汚染対応2項目、騒音対応2項目)、構造影響調査4項目(走行快適性1項目、耐久性1項目、安全性2項目)について実施した(表-2)。実証的な効果の検証は、各試験舗装区間に隣接する既設舗装区間と比較することにより行った。

なお、散水試験は、下記に示す方法で実施した。

- ・散水測定は前日に降雨がなく、夏季は晴天で日最高気温が30℃を越えることと想定される日を基本とする。
※夏季以外は、晴天であることとする。
- ・路面への散水は、ジョウロ等により日の出前に1時間散水するものとし、散水範囲は、歩道側の車道1車線×延長20mとする。散水量は10ℓ/㎡とし、散水面積から合計600ℓとする。
※散水量は7月下旬から8月末までの降雨の降雨量中央値に相当する量として設定。
- ・散水に使用する水は水道水とする。
- ・散水試験時の路面温度、気象の観測結果を整理する。

また、洗浄水試験は、下記に示す方法で実施した。

- ・光触媒舗装 1m²について3箇所の測定を実施する。
- ※測定箇所=試験施工箇所上下線各1箇所、既設舗装箇所1箇所
- ・初日洗浄後及び洗浄3日後に水道水又は蒸留水 10 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ により舗装面を洗浄し、その洗浄水を集水料で集水する。
- ※初日洗浄は、水道水又は蒸留水 10 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ により舗装面を洗浄する。
- ※洗浄水は全て集水した後、分析可能な量をサンプリングする。また、使用した水道水又は蒸留水も同様にサンプリングする。
- ・洗浄水等をイオンクロマト法により硝酸及び亜硝酸イオン濃度を測定する。
- ・既設舗装のイオン量を減算することにより光触媒舗装により酸化された硝酸、亜硝酸イオン量を算出する。

3. 調査結果

調査結果は、各舗装毎に環境影響調査（ヒートアイランド現象、大気汚染）に関する各項目について報告する。なお、本報告における路面温度は表層1cmのデータを対象としている。また、構造影響調査結果については、全舗装において供用性・安全性に施工1年後の時点で特に問題はなかった。

(1) 透水性舗装

透水性舗装は、既設密粒舗装より路面温度日最大値が3～5℃高い状態が施工直後から1年を通じて継続していた（図-1）。散水試験時においても通年の観測結果と同様であった（図-2）。

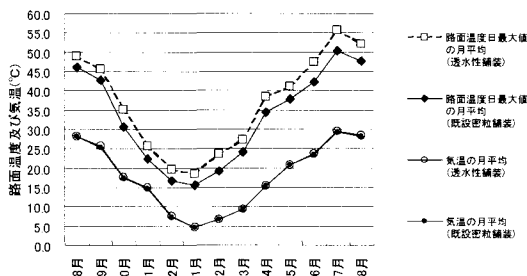


図-1 透水性舗装路面温度 日最大値の月平均推移

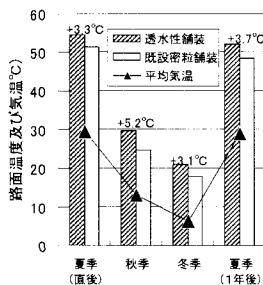


図-2 透水性舗装の散水試験時における日最大値

これらの要因としては既設密粒舗装に比べて透水性舗装が、①路面舗装の日射反射率・明度が小さい（＝黒っぽい）、②舗装の密度が小さいため熱容量が小さい（＝熱しやすく冷めやすい）、③路床の透水係数が大きい（＝保水機能が小さい）ことが挙げられる（表-3）。

本調査の結果、透水性舗装における路面温度上昇抑制効果は、表面の色、施工箇所の地盤特性の影響により確認できなかった。

表-3 透水性舗装の要因分析

	透水性舗装	密粒舗装
① 日射反射率	6.6%	14.9%
① 明度	2.40	3.84
② 熱容量(密度)	小	大
③ 路床透水係数	$3.97 \times 10^{-3} \text{cm/s}$	—

(2) 保水性舗装

保水性舗装は保水機能により路面温度の上昇を抑制する効果が期待されるが、連続観測による平均値（路面温度日最大値）ではその効果が見られなかった（図-3）。

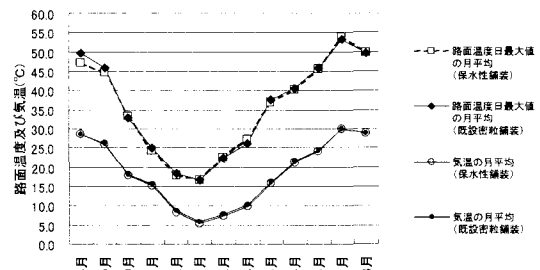


図-3 保水性舗装路面温度 日最大値の月平均推移

保水性舗装の散水試験日の結果は図-4に示すとおりであり、保水性舗装は施工直後夏季で3.5℃の路面温度日最大値の差が見られたが、施工1年後夏季では0.3℃で、経年的に効果の低下が見られた。この要因として、保水材の摩耗・飛散による保水機能の低下が推測される。また、保水機能の効果の持続性は、図-5に示すとおり、施工直後は概ね1日程度であると判断できるが、施工1年後は散水試験日であっても効果はほとんど見られない結果であった。

本調査の結果、保水性舗装について保水機能による路面温度上昇抑制効果が確認できた。ただし、今回の調査で施工1年後において効果の低下が見られるため、継続した調査・観測により、効果の経年的な持続性に関する信頼性を確認する必要がある。また、保水機能による効果を持続させるため、打ち水、散水施設などによる水の供給方法を検討するとともに、保水機能の持続性の向上を図る必要がある。

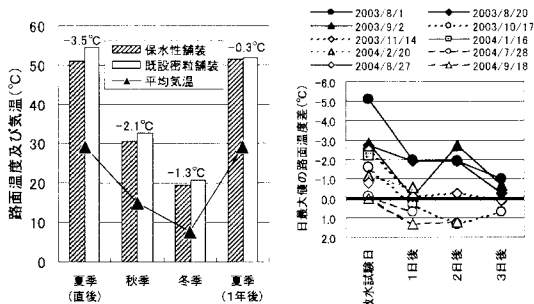


図-4 保水性舗装の散水試験時における日最大値

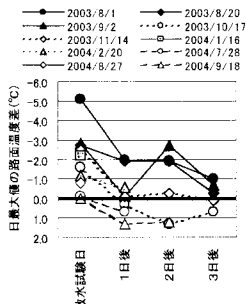
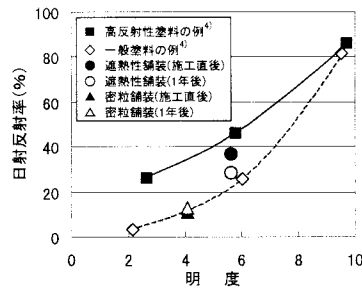


図-5 保水性舗装の効果持続性



注) 遮熱性舗装(施工直後)の明度は1年後の値を用いた。
図-7 日射反射率と明度の関係

(3) 遮熱性舗装

遮熱性舗装の路面温度日最大値は密粒舗装より年間を通じて4℃～8℃低い結果であった(図-6)。特に夏季晴天日はその差が著しく、施工直後で11℃の差が見られた。しかし、1年後の夏季晴天日では9.5℃の差となった。

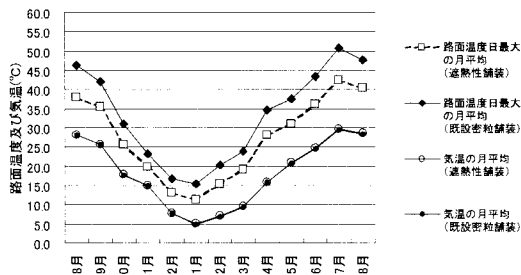


図-6 遮熱性舗装路面温度 日最大値の月平均推移

また、日射反射率の観測結果から、1年後は施工直後に比べ日射反射率が低下しており、夏季晴天日の路面温度日最大値の差は概ね日射反射率に依存していることが推察された(表-4)。ただし、一般に日射反射率は色によってその値が異なり、また、遮熱性舗装は可視領域以外の近赤外線領域の反射率を高めた舗装³⁾であるため、舗装の遮熱機能を評価するにあたって、色による影響の程度を把握する必要がある。その指標として輝度測定値から明度を求め、日射反射率との関係を整理した結果、遮熱性舗装は同程度の明度の一般塗料に比べ、日射反射率が高いと考えられる(図-7)。

本調査の結果、遮熱性舗装について路面温度上昇抑制効果が確認できた。ただし、継続した調査・観測により、効果の持続性について引き続き検証を行う。

表-4 日射反射率と路面温度差の関係

		路面温度日最大値の差(℃)	日射反射率(%)
遮熱性舗装	施工直後	11.0	36.7
	1年後	9.5	28.7

(4) 光触媒舗装^{2),5)}

光触媒舗装における洗浄水試験の結果は図-8に示すとおり、夏季のNO₂換算処理量が大きい結果であった。また、全天日射量(3日間積算値)と比較すると、2月を除いては夏季に大きく、1月に最も小さくなる状況が、NO₂換算処理量の推移と近似しており、光触媒舗装によるNO₂換算処理量が紫外線等の太陽光に依存していることが確認できる。これは紫外線量の測定結果と一致する(表-5)。さらに、2月のNO₂換算処理量が大きい理由としては、図-9から周辺NO_x濃度が大きいと推定できる。

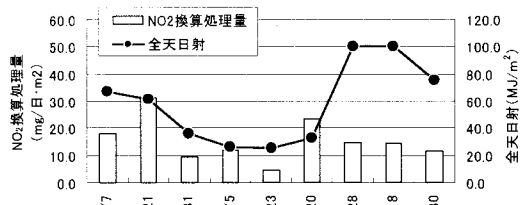
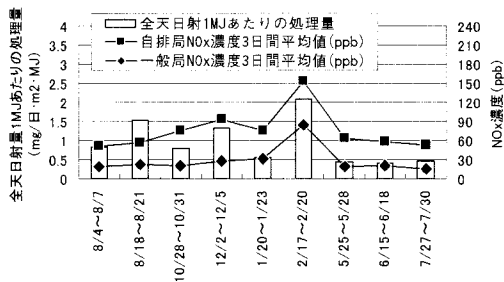


図-8 全天日射量、NO₂換算処理量の関係

表-5 3日間積算紫外線量

実施月	3日間積算紫外線量
8月	3,769 (kJ/m ²)
1月	1,097 (kJ/m ²)



注) 白排局: 砂田こども広場局、一般局: 北部局

図-9 周辺NO_x濃度、NO₂換算処理量の関係

施工直後夏季と施工1年後夏季の比較は、施工直後夏季が24.8mg/日・m²、施工1年後夏季が11.6mg/日・m²であり、NO₂換算処理量が53%減少している。処理量が減少している原因は、光触媒舗装のわだち部における排水性舗装骨材とタイヤの接触する部分での塗膜の摩耗、汚れ等の付着による影響が考えられるが、排水性舗装部の目詰まりによるサンプリング誤差も考えられ、試験サイトの設置方法・洗浄水回収方法等の試験方法に課題が残る。

なお、施工直後の試験において算出されたNO₂換算処理量の平均値は、自動車排出ガスに換算すると約740台/日に相当する。

本調査の結果、光触媒舗装は大気汚染物質（NO_x）除去効果を有する技術であることが確認できた。本舗装の効果は紫外線量及び周辺NO_x濃度に依存するため、施工にあたっては効果的な施工箇所を事前に検討する必要がある。さらに、実用化に向けて光触媒のNO_x除去効果について品質確認・評価手法の確立が必要である。

4. 考察及び今後の課題

約1年間の継続調査結果を各舗装種毎に検討した結果、遮熱性舗装、保水性舗装の路面温度上昇抑制効果、光触媒舗装のNO_x除去効果について、都市環境の改善に資する一定の効果が得られることが分かった。

今後の課題としては、環境に配慮した舗装の普及促進にあたって、各舗装の維持管理期間を考慮した効果持続性及び構造耐久性の検討が必要となる。また、本調査の

結果から、保水性舗装の機能に効果的な水供給方法、光触媒舗装の現場での試験方法等について課題があり、実用化に向けて継続して検討する必要があることがわかった。

さらに、今後は、導入にあたっての評価指標、規定値、適正な性能評価方法の検討が必要と考えている。

謝辞：大阪市立大学の山田優教授を委員長として、学識経験者、行政職員、施工業者による委員会にて、調査方法、解析方法、評価について貴重なご意見を頂きました。また、調査実施に際しては、委員である大阪市立大学の西岡真稔講師をはじめ研究室学生諸氏に多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局：環境舗装東京プロジェクトの取組成果 記者発表資料,2004.
- 2) 社団法人日本道路協会：環境改善を目指した舗装技術(2004年版), 2004.
- 3) 森山正和：ヒートアイランドの対策と技術, pp.121-131, 2004.
- 4) 佐野公俊、森山正和：クールルーフに関する研究(その1)－高反射性塗料を塗装した屋上表面の放射特性評価に関する研究－, 日本建築学会近畿支部研究報告集第 44 号・環境系, pp.397-400, 2004.
- 5) 光触媒舗装工事：2500 台分の排気ガスを無害化, 日経コンストラクション, pp.24～28, 2003.

PRACTICAL STUDY ON THE EFFECT OF THE ENVIRONMENT-CONSCIOUS PAVEMENT

Yoshitaka ASHIKARI, Toshihiro HAMADA, Masakazu IKEDA, Shinichi KITADA,
Tomoki YANAGISAWA and Hisatomo FUJIWARA

Recently, urban environmental problems, such as heat islands, noise and air pollution, have become significant issues, and immediate countermeasures are needed. In this study, the new pavement techniques including permeable pavement, water-absorptive pavement, high reflective pavement and photocatalytic pavement, that are expected to have positive effects on these problems are studied. We examine the effects, the durability of effects, and the durability of the pavement itself through a year-round research at the experimentally paved sections of road in current use. The effects of each pavement type are compared with the existing sections, which are either dense-graded asphalt pavement or porous asphalt pavement, adjoining these experimental sections. The results reveal that the new pavement materials have the effect on reducing road surface temperature and nitrogen oxides, and are effective to improve urban environment.