

排水性舗装による温度上昇抑制効果に関する実験的研究 *

An Experimental Survey on the Reduction Effect of Surface Temperature of the Porous Pavement *

吉田 長裕**・西村 昂***・日野 泰雄****

by Nagaihiro YOSHIDA, Takashi NISHIMURA and Yasuo HINO

1. はじめに

近年、環境問題の中でも、ヒートアイランド現象の問題が指摘されることが少なくない。この原因として、都市部におけるエネルギー消費の増大や土地の高度利用に伴う都市地物表面の改変などが挙げられており¹⁾、様々な評価方法によって、そのメカニズムを解明しつつあるが²⁾、自然環境下での熱環境評価は非常に難しいのが現状である。

著者らも、これまでに都市表面の変化に伴う影響を把握するため、代表的都市内地物の表面温度を実測し、その変動特性を分析してきた³⁾。その結果、夏季における道路舗装の表面温度が他の地物に比べて著しく高く、これが、表面温度と密接な関係にある気温上昇に大きな影響を与えていることが示された。一方、都市面積に占める道路の占有率は年々増加し、例えば大阪市では約20%に達している⁴⁾。

さらに、著者らは、近年施工例が急増している排水性舗装の特性に着目し、これが温度上昇抑制効果を有するとの仮説の下、試験施工を実施し、一部保水効果による表面温度低下を示した⁵⁾。これは、従来のアスファルトに比べて間隙率が大きく、熱容量が小さいため、熱を放出しやすい特性によるものと考えられる。本来、この排水性舗装は、通常舗装よりも強い強度を有し、その流動性の低さと併せて、車両の走行性能を向上させるとともに、表-1に示すような多様な機能によって⁶⁾、積極的に導入が進められている。

そこで、本研究では、これまでの研究をさらに進展させ、より一般的な熱特性として、その効果を定量的に把握するため、舗装材料の種類毎に、気象条件を含めた温度変化データを収集・分析することを目的とした。そのため、各種データを年間を通じて連続測定中

であり、本稿では、その四半期のデータによる分析を中心に検討した。

表-1 排水性舗装の効果

排水性舗装の特徴
・雨天時の水はね防止
・ハイドロプレーニングの防止
・夜間、雨天時の視認性の向上
・車両の走行騒音の低減

2. 舗装材料の表面温度変化の分析

(1) 実験概要

本実験では、通常舗装と排水性舗装の熱特性の違いを把握するために、以下に示すような3種類の舗装材供試体(図-1 参照)を用意し、これらについて同一の自然環境下における連続的な測定が可能となるよう、大阪市立大学工学部 C 棟屋上(地上 6F)に常設することにした。

【供試体の種類】

- ①通常舗装 (50×50×5 (cm)) 4 枚
- ②20mm 排水性舗装 (50×50×5 (cm)) 4 枚
- ③13mm 排水性舗装 (50×50×5 (cm)) 4 枚

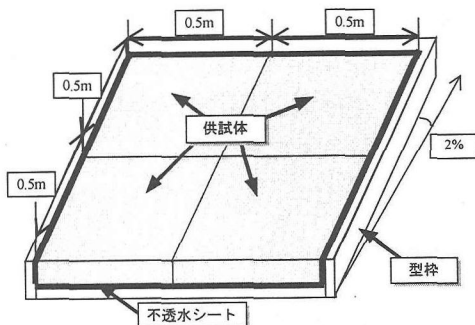


図-1 供試体の概要

②と③の違いは、骨材の粒径の違いで、一般的に粒径が大きいほど走行性能の向上が期待でき、粒径が小さいほど騒音低減効果があるとして施工に至っている。供試体の作成に当たっては、実際の道路表面の排水勾配と同様にするために、型枠に2%の勾配をつけ、また、

*Key words :環境計画、排水性舗装

** 学生員, 工修, 大阪市立大学大学院後期博士課程

(〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 TEL/FAX (06) 605-2731)

*** 正員, 工博, 大阪市立大学工学部土木工学科教授(同上)

**** 正員, 工博, 大阪市立大学工学部土木工学科助教授(同上)

底面と側面には不透水シートを敷いて供試体外への水分の流出を制御することとした。

(2) 測定項目

測定項目は表-2 に示す通りであり、それらの測定箇所については以下の条件に従うこととした。

表-2 測定データの概要

	測定データ	測定機器	メーカー
各供試体	表面温度	熱伝対	—
	表面湿度	アスマン乾湿計(SK-RHG)	佐藤計量器製作所
気象データ	日射量	全天日射計(MS-801F)	英弘精機
	気温	アスマン乾湿計(SK-RHG)	佐藤計量器製作所
	風速	風杯型風速計(NO.23-SP)	太田計器製作所
	雨量	RAIN COLLECTER(Weather LinkⅢ)	AOR(DAVIS)
	測定データ	備考	測定開始日時
各供試体	表面温度	乾球・湿球温度を熱伝対で測定し、演算	H09/12/29～
試体	表面湿度	乾燥温度を熱伝対で測定	H10/05/31～
気象データ	日射量	乾燥温度を熱伝対で測定	H10/02/07～
	気温	乾燥温度を熱伝対で測定	H09/12/29～
	風速		H09/12/29～
	雨量		H10/04/24～

<物性データ>

表面温度：各供試体を 4 分割した場合の中央地点において、熱伝対を用いて測定する。

表面湿度：供試体の上 2cm の位置、アスマン乾湿計の乾球、湿球に熱伝対を設置し、得られる両温度データから収集後演算する。

<気象データ>

気温：供試体付近の地上 1.0m の位置に設置したアスマン乾湿計の乾球に、熱伝対を張り付けて測定する。

風速：供試体付近に設置する。

日射量：供試体付近に設置する。

雨量：供試体付近に設置する。

3. 表面変動の分析

本稿では、連続測定による現在までの第一四半期(98 年 2 月 7 日～98 年 6 月 15 日)の 129 日間のデータを用いて、表面温度と各種気象状況、ならびにそれらの関係を分析することとした。

(1) 測定項目間の相関分析

まず、各測定値の関係を見るために、降雨日とその翌日のデータを除いて相関分析を行った(表-3)。これを見ると、各供試体間の相関係数は 0.99 以上と高いことから、いずれの場合もほぼ同様な温度推移をしていると考えられる。また、大気温度との相関も約 0.9 と非常に高いことから、表面温度と周辺気温が連動していることがわかる。また、日射量は、各供試体の表面温度と比較的高い相関係数(0.7)を示しているが、大気

温度との相関は高いとは言えない(0.51)。これは、日射と気温上昇の時間差によるものと考えられる。また、風速と温度の関係では相関が低い、これは測定間隔が 10 分であるために、十分に関係が説明しきれてないと考えられる。

表-3 測定項目間の相関係数

単相関	日射量	風速	20mm 温度	13mm 温度	通常 温度	大気 温度
日射量	1.000					
風速	0.241	1.000				
20mm 温度	0.737	0.098	1.000			
13mm 温度	0.744	0.106	0.999	1.000		
通常 温度	0.722	0.110	0.995	0.996	1.000	
大気 温度	0.514	-0.026	0.923	0.919	0.922	1.000

(2) 舗装材料による表面温度特性の差異

通常舗装と排水性舗装の表面温度の違いを比較するため、ここでは晴天時(44 日間)の日射量別に通常舗装と排水性舗装の温度差をみることにした(図-2)。

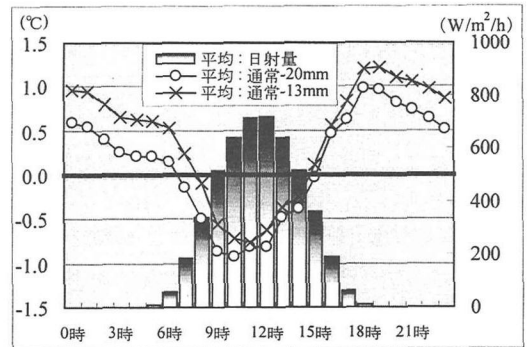


図-2 通常舗装と排水性舗装の差の 24 時間変動

これを見ると、温度差そのものは、-1.0～1.2℃の範囲で大きくはないが、日射量の多い時間帯では排水性舗装の温度が高く、日射量が少なくなると通常舗装の温度が高くなる傾向を示している。これは、通常舗装の熱容量が高く、排水性舗装の方が熱を放射しやすいためと考えられる。また、同じ排水性舗装であっても、13mm 粒径の舗装の方が温度上昇抑制の効果は大きいといえる。

(3) 降雨後の表面温度変動

排水性舗装は、高い保水性により温度上昇を抑制す

る効果があるとされていることから、ここでは、降雨後の各舗装の表面温度変動をみることにした。ただし、分析には4月24日以降のデータの中から、表-4に示すデータをサンプルとして用いることとした。降雨前後の表面温度の推移を図-3に示す。降雨前日の天候は晴れで、このときの表面温度の最高値は50℃を越えている。降雨時間においては、不連続に合計30.6mmの降雨があった。

表-4 分析使用データ

	使用データ	雨量
降雨前24時間	98/6/1 8:40-98/6/2 8:30	-
降雨24時間	98/6/2 8:40-98/6/3 8:30	30.6 (mm/day)
降雨後24時間	98/6/3 8:40-98/6/4 8:30	-
降雨後25-48時間	98/6/4 8:40-98/6/5 8:30	-

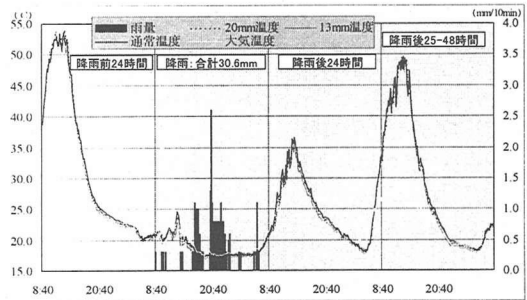


図-3 降雨日前後における降雨と温度の様子

一方、通常舗装との比較を行うため通常舗装表面温度と排水性舗装表面温度の差の分布として評価することにした(図-4)。

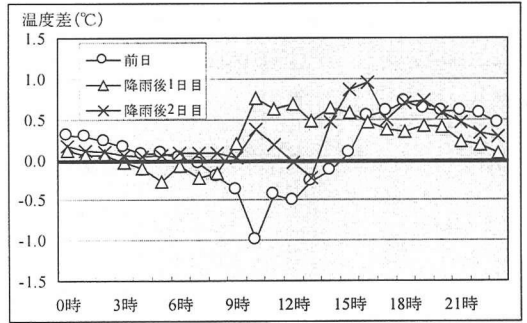


図-4 降雨前後日における通常舗装と排水性舗装の表面温度差(20mm排水性舗装)

これを見ると、降雨日の変動は降雨前日に比べると、排水性舗装の温度の方が高くなることはほとんどない

ことを意味していることから、排水性舗装の保水効果がよく示された結果と言える。

次に、これらの結果を踏まえて、舗装材(因子A)、日(因子B)、時間(因子C)の3つの因子に分類し、三元配置分散分析を行った(表-5)。ここで、表面温度に関係する日射量を因子として用いなかったのは、表面温度は夜間も変動しており、日射量の因子を加えるよりも時間変動因子の方が推移の形態を表していると考えられるからである。

表-5 分散分析結果

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値	P値	寄与率
舗装材	17.34	2	8.67	223.50	0.0000**	0.5
日	1746.55	2	873.28	22515.13	0.0000**	52.7
時間	16328.71	23	709.94	18304.02	0.0000**	42.8
舗装材×日	0.67	4	0.17	4.30	0.0031**	0.0
舗装材×時間	3.74	46	0.08	2.10	0.0013**	0.0
日×時間	3023.99	46	65.74	1694.91	0.0000**	4.0
誤差	3.57	92	0.04			
全体	21124.57	215			**1%有意	

これを見ると、降雨日(要因:日)と時間の寄与率が52.7%、42.8%となり、この2要因が特出した結果となったが、いずれの要因も統計的には有意な結果であることがわかった。舗装材の違いは、降雨や時間変動要因が大きいため寄与率は低くなったが、図-4から日中の排水性舗装の温度が若干低下する傾向が読みとれるなど、排水性舗装の保水機能を確認することができると考えられる。

しかしながら、ここでは1ケースの降雨データしか扱えなかったため、今後の連続観測からさらにデータを抽出・分析する必要がある。

4. 排出熱量の分析による排水性舗装の評価

(1) 排出熱量試算の必要性

排水性舗装は降雨などの水分を含んだ時点においては、通常舗装との表面温度差はなく、水分を含んだ後には、前述のような温度差がみられた。降雨後においては、表面温度が低下する一方で、以下に説明する潜熱量が増加するため、それを考慮した排出熱量の評価が必要になる。物体表面から大気へ放出される熱には、以下のように3種類がある。

- 顕熱：大気に直接熱を伝達する熱。物体の温度を上げるのに使われる熱。
- 潜熱：物質の状態を変えるために費やされる熱。水分の蒸発に伴う熱としてとらえることが多い。
- 赤外放射：物体表面からでる熱エネルギー。

これを、算出する式には以下のものを用いた。

赤外放射: $W = \varepsilon \sigma t_1^4$

顕熱量: $H_c = \alpha c(t_1 - t_0)$ (ニュートン冷却則)

潜熱量: $H_m = (\gamma + C_{pv} \cdot t_1) \cdot kx \cdot (x_1 - x_0)$ (レイスの関係)

σ : Stefan-Boltzmann fix number: $5.669E-8 (W/m^2 \cdot K^4)$

ε : 放射率

α_c : 対流熱伝達率 ($W/m^2 \cdot K$)

γ : 水の蒸発潜熱 ($kJ/kg \cdot K(0^\circ C)$)

C_{pv} : 水蒸気の低圧比熱 ($J/kg \cdot K$)

Kx : 物質移動係数 ($\alpha c/C_{pm}$) ($kg/m^2 \cdot s \cdot (kg/kg)$)

C_{pm} : 湿り比熱 ($C_{pa} + C_{pv} \cdot x_0$) ($J/kg \cdot K$)

C_{pa} : 乾燥空気の高圧比熱 ($J/kg \cdot K$)

t_1 : 供試体表面温度 ($^\circ C$)

t_0 : 大気温度 ($^\circ C$)

x_1 : 供試体表面比湿 (kg/kg)

x_0 : 大気比湿 (kg/kg)

この式で、潜熱量は大気中と表面付近の湿度の移動を表しており、顕熱量は、大気と表面付近の熱の移動を表しており、どちらも平衡状態になるまで熱移動が継続することを表している。

(2) 排出熱量の試算

上式を用いて各舗装から排出される熱量を合計し、日射量と比較したものが図-5 である。降雨前後を比べると、降雨後の通常舗装の排出熱量が排水性舗装に比べて若干である高いことが分かる。

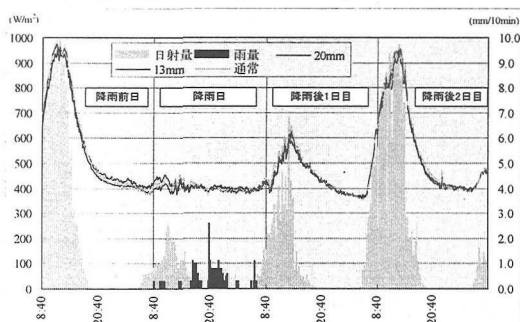


図-5 排出熱量の試算結果

(3) 排出熱量からみた排水性舗装の効果

降雨後の排水性舗装の保水性効果を見るために、ここでは特に物質移動に係わる熱量とされる、潜熱と顕熱の比較を行った(図-6)。これを見ると、降雨日にはどの舗装でも潜熱がプラスになっており、水分の蒸発が確認された。降雨後1日目においては、13mm排水性舗装の潜熱のみプラスとなっており、持続効果を確認できた。20mm排水性舗装における潜熱量は、降雨後1日目でマイナスの値を示しており、持続効果は低いと言える。この原因としては、表面形状の違いに

よって水分の蒸発量が異なることが考えられる。

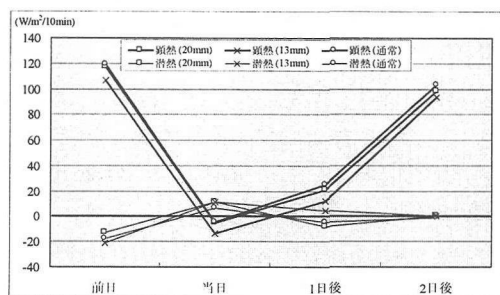


図-6 降雨前後日における顕熱と潜熱量の推移

このように降雨による各熱量の推移を把握したが、水分量の差から得られる潜熱量の値は、温度差から得られる顕熱量や赤外放射量よりもかなり低い。これは、降雨日には大気の湿度も高くなるため、水分の蒸発が進まないことも理由としてあげられる。

5. まとめと今後の課題

実験から得られた排水性舗装と通常舗装の違いを以下にまとめて示す。

- 1) 晴れの日においては、日射量の多い時間帯においては、排水性舗装の表面温度のほうが高く、夜間になると、排水性舗装の表面温度のほうが低い。
- 2) 降雨後は、排水性舗装のもつ保水効果によって、降雨後1日目では、排水性舗装の表面温度は通常舗装に比べて低い。
- 3) 潜熱量を考慮した排出熱量の試算を行うことができ、その結果、各熱量の排出の程度を把握できた。

現在さらにデータを収集中であり、特に夏場における表面温度変動と、その保水効果の定量的把握を行う必要がある。

< 謝辞 >

供試体の作成にあたっては、大林道路株式会社に多大な協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

< 参考文献 >

- 1) 大阪市環境保健局他「大阪市ヒートアイランド対策検討調査報告書」、1994
- 2) 梅干野晃「都市エネルギーに関する実態把握とモデル化」、日本建築学会環境工学委員会都市エネルギー小委員会シンポジウム、27~30、1995
- 3) 吉田長裕等「赤外線温度計による都市地物の表面温度変動特性に関する一考察」、土木学会全国大会講演概要、IV-17、1994
- 4) 大阪市計画局、「大阪市の土地利用」、1994
- 5) 吉田長裕等「表面温度の変動特性からみた道路舗装への散水効果に関する基礎的研究」土木計画学研究・講演集、Vol.20 (1)、pp.155-158、1997
- 6) 「アスファルト舗装要綱」、(社)日本道路協会