

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 *

An Experimental Survey of Water Sprinkling Effects on Road Pavement Surface Based on the Characteristics of Surface Temperature *

吉田 長裕***・西村 昂****・日野 泰雄****

by Nagahiro YOSHIDA, Takashi NISHIMURA and Yasuo HINO

1. はじめに

近年、環境問題に対する意識が高まり、各分野において様々な取り組みがなされている。これら環境問題の中でも、急激な消費エネルギーの増大等が原因とされている都市部での温暖化の現象は、ヒートアイランド現象とも呼ばれ深刻な問題の1つになりつつある。これらはまた、地球規模の温暖化現象の主要因といわれていることから、今後これらの熱環境に配慮したまちづくりが求められているところである。

ヒートアイランド現象の要因には、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表面の改変などが挙げられているが、未だそのメカニズム等には十分に解明されるに至っていない。そのため、これまでにも過去の気温データに基づくマクロ的分析¹⁾がなされているが、その詳細を明らかにするためには、よりミクロ的なアプローチが必要となる。そこで、本研究では物体の表面温度を指標として取り上げ、気温との関連を明確にした上で、その変動の実態を把握するとともにこれに関与する要因の推定を行い、これらを元に舗装への散水効果について検討することにした。

最近の研究においては、土地利用状況の違いが熱環境に及ぼす影響などが具体的に取扱われており²⁾、これらの対策についても、シミュレーションや実験的な研究³⁾が行われているのが現状である。

2. 表面温度の基本的特性

(1) 測定概要

本研究では、赤外線エネルギーを利用した赤外線温

度計 (NEC 三栄 1011 型) による非接触方式で、限られた時間内に多数の地物の表面温度を測定し、その特性を分析するために、各時間帯内での移動測定を行うこととした。測定地点は、大阪市立大学工学部周辺の7カ所、23地点とし、94年9月から約3ヶ月毎にそれぞれ24時間の測定を計4回行った。なお、測定にあたっては、日射による影響の大きい昼間は2時間間隔、夜間は3時間間隔となるような測定計画を立て、併せて測定対象物付近の気温(地上約1m)も併せて測定した。

(2) 地表面種別による表面温度特性

表-1は日向裸地と他の地物の表面温度との関係を示したものであるが、いずれも高い相関を示しており、その関係にはそれぞれの物性の特徴が表れていることがわかる。また、特に日射に関する条件が同じである場合に相関性が強く、逆に同一地物(裸地)でも、日向と日陰の温度間の相関は低くなっていることから、自然条件(日射)の影響が卓越していると言える。

表-1 日向裸地と対象物との表面温度に関する回帰分析

日向裸地との対象物	相関式	R ²
交通量あり道路	$y = 1.2x - 0.9$	0.98
交通量なし道路	$y = 1.3x - 2.0$	0.98
日陰裸地	$y = 0.8x + 1.2$	0.93
日向の砂利道	$y = 1.0x + 0.2$	0.99
日陰の砂利道	$y = 0.9x - 0.2$	0.96

(注) y: 対象物表面温度 x: 日向裸地表面温度

(3) 相関分析による表面温度と気温の関連性

気温と表面温度の関係は、図-1のような回帰直線で表される。このときの相関比(R²)は、道路、裸地、砂利道で各々0.96、0.95、0.96と高い値を示している。つまり表面温度の値を知ることができれば、その地点での気温をある程度推測することが可能であり、一般に表面温度が上昇すると、それに伴って気温が上昇しているということが裏付けられているといえる。

ここでは裸地を対象に、日陰と日向に分けて表面温度と気温の関係を分析した。その結果(表-2)から、

*Key words: 表面温度、散水効果、排水性舗装

** 学生員 大阪市立大学大学院 工学研究科 土木工学専攻

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

*** 正会員 大阪市立大学 教授 土木計画学研究室

****正会員 大阪市立大学 助教授 土木計画学研究室

さらに強い相関性が認められ、その傾向は特に日陰の場合に顕著であることがわかる。これは、表面温度に密接に関係する日射の影響がほとんどなく、その表面温度が安定しているためと考えられる。

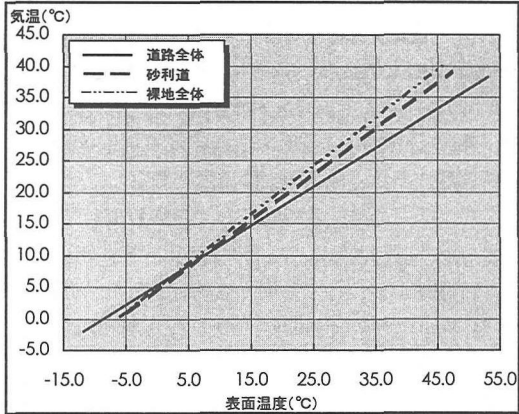


図-1 各地物の回帰直線の関係

表-2 裸地の条件別の回帰分析結果

	相 関 式	(R) ²
日 向 裸 地	$y = 0.7 x + 4.8$	0.95
日 陰 裸 地	$y = 0.9 x + 4.0$	0.98
裸 地 全 体	$y = 0.8 x + 4.7$	0.95

(5) 表面温度測定値に基づく気温の推定

これまでの分析で次のような相互関係が認められた。

- ① 基準地物の表面温度と各地物の表面温度
- ② 各地物と各地物周辺の気温

ここでは、これらの関係によって得られた推定値と実測値との間に生じる誤差について評価することとし、

①、②を利用した基準地物の表面温度と各地物周辺気温との関係 (③) についても同様に評価した。図-2 は、基準地物を日向裸地、推定対象を道路の表面温度とそ

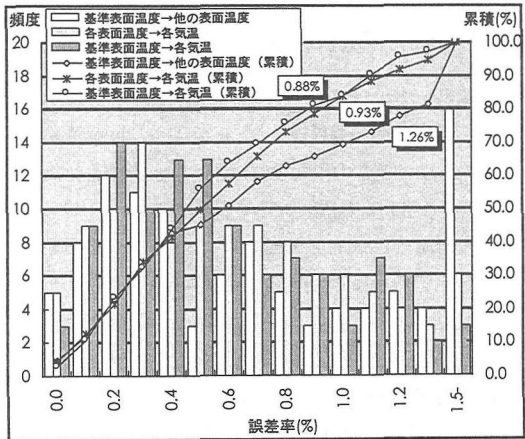


図-2 道路に関する各推定法の誤差率とその全体に占める割合

の周辺の気温としたときの誤差率の分布を示したものである。これを見ると基準地物の表面温度から道路の気温を予測する方法 (③) の誤差率が最も小さい結果となっている。①の方法では、80%タイル値で誤差率が約 1.26%と他よりも高く、また、内訳を見ると、-5℃以下と 40℃以上の表面温度の値について誤差率が大きくなっている。これは、表面温度への影響の中に気象条件などのその他大きな要因が含まれており、表面温度が日中数分単位で急激な変化を見せていることが原因として考えられる。

3. 表面温度低減のための試み

(1) 道路表面温度低減の考え方

これまでの分析結果から、日射量の多い時期における道路表面温度上昇は著しく、気温への影響がかなり大きいものと推測される。この原因としては、道路自体の熱しやすい特性を反映するものであるといえる。一方、道路は都市空間に占める比率も高く、都市化の象徴的な存在でもある。そこで、道路舗装の表面温度の低減効果を図るための試みとして、特に排水性舗装を中心に、表面への散水によってどれだけ表面温度が低減するのかを調査・分析することとした。測定地点は、概略図-3 に示すとおりである。

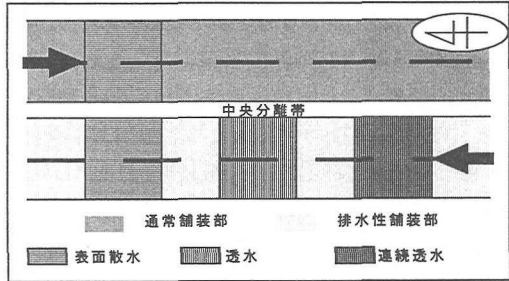


図-3 調査箇所の概略

(2) 測定時の表面温度と気温の関係

今回の測定においては、気象条件が大きく変化し、また、測定箇所周辺の建物などの影の影響によって、排水性舗装部と通常舗装部には、最高約10℃の違いがみられた (図-4)。このときの気温と表面温度の関係は図-5のように、両舗装材の回帰直線が交わっていることから、影の影響による日射量の違いから明確には比較できないものの、通常舗装に比べて排水性舗装のほうが熱しやすく冷めやすいといえる。また、雨によ

る影響の程度が両舗装材とも同じであれば、排水性舗装の方が表面温度が下がりやすいと言える。

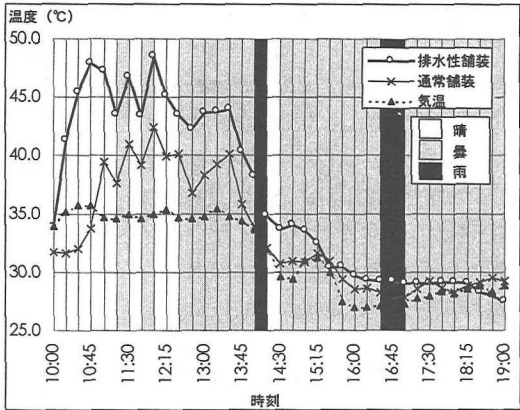


図-4 散水時間帯の表面温度と気温の推移

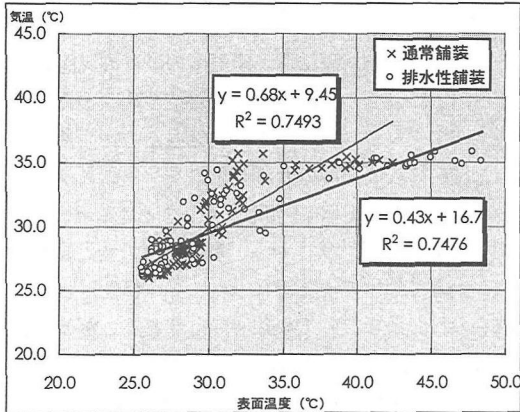


図-5 気温と表面温度の相関

(3) 散水時の舗装材の違いによる低減効果

排水性舗装部においては、3種類の散水方式実験を行った(表-3)。この地点における気象条件や建物による影の条件はほぼ同じであるが、一般に周辺環境や日射条件などによって表面温度に差が生じるために、それらの環境要因を考慮して、以下の指標を用いて温度低減効果を評価することにした。

表-3 散水条件

舗装種類	散水方式	実施時間	形式	散水量
排水性	連続透水	10:45-18:00 ¹⁾	連続的に透水	現地調整 ²⁾
排水性	透水	10:45-17:45	毎時45分	0.5% ³⁾ /m ²
排水性	散水	10:45-17:45	毎時45分	0.5% ³⁾ /m ²
排水性	非散水	—	—	—
通常	散水	10:45-17:45	毎時45分	0.5% ³⁾ /m ²
通常	非散水	—	—	—

1) 13:15 から連続透水位置の変更
2) 舗装体内に十分満たされる量
3) 11:45 分以降は、1.0 %/m²

(温度低減効果) = (非透水・非散水地点の表面温度)-(透水・散水地点の表面温度) (式1)

これら散水による通常舗装部と排水性舗装部の表面温度低減効果の違いを図-6に示す。これを見ると、排水性舗装部では通常舗装部に比べて継続的な温度低減効果がみられ、散水回数を重ねるごとに低減効果が増加していることがわかる。但し、いずれも次の1時間後の散水前には、温度が上昇し、次の散水により再度低減効果が見られる。通常舗装では、散水された水が通行車両によって拡散し、蒸発が進むため、散水しても表面温度が上昇しやすいと考えられる。これに対して排水性舗装は、1時間間隔の散水でも連続した表面温度低減効果が期待でき、散水直後に舗装体に浸透することから保水能力が高いということが分かった。

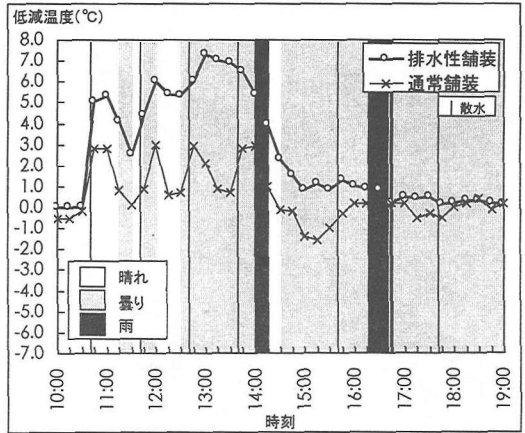


図-6 舗装材別の表面温度低減効果

(4) 排水性舗装部における散水方式による低減効果

散水の方式によって影響を受ける面積が異なるため、ここでは透水方式の際の、散水位置からの時間の経過に伴う面的な温度変化を見た(図-7)。これを見ると、連続透水の方が広い面積にわたって低減効果(5~10℃)が見られる。一方、一定透水は散水付近の低減効果は高いものの、散水地点からの距離が離れるにつれて、低減効果はそれほど期待できず、0~5℃の範囲での低減にとどまった。しかしながら、これらの透水の速度は排水性舗装体内のゴミなどによる目詰まりによっても大きく異なる。今回実験を行った地点間にも同様な現象によって、連続透水の方が透水量が多いにも拘わらず、時間経過に伴う面積全体にわたる低減効果の拡大があまり見られず、透水した中央部分のみに効果が偏る結果となった。

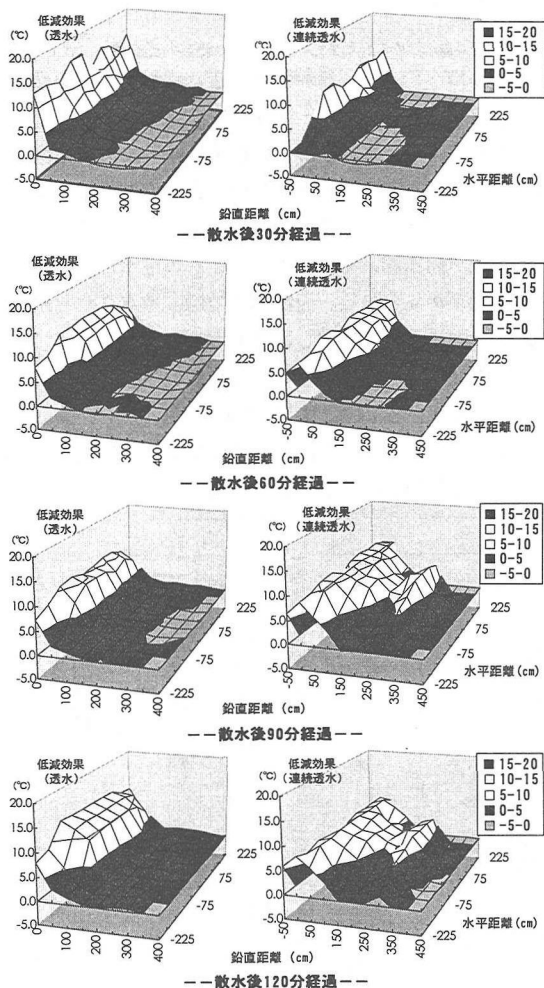


図7 測定地点別の夜間の表面温度推移

(5) 夜間における散水効果

夜間における散水効果の時間推移を見ると、降雨による影響があったために、その効果を明確に把握するには至らなかったが、表面温度画像を見る限り、透水

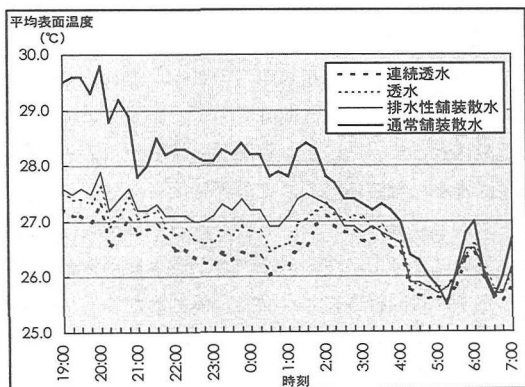


図8 測定地点別の夜間の表面温度推移

地点の低減効果の持続が認められた。連続透水、透水地点はメッシュデータの平均値を用い、散水地点はこれまでの9×9ピクセルの平均値を用いて、その時間推移をみてみた (図-8)。これを見ると、夜間には通常舗装の平均温度が中でも高く推移していることがわかる。排水性舗装部は、散水と降雨の影響によって通常舗装部より温度が低くなっているが、これは排水性舗装の保水能力が高いためであり、その効果は、翌朝の表面温度が上昇するまで継続していた。また、散水量の違いによる推移の違いが見られることから、散水量が多ければそれだけ効果の持続性が高いこともわかる。

5. 研究成果のまとめと今後の課題

本研究では、表面温度を指標にしたミクロ的な観点から都市温暖化を評価するための基礎的な研究として、いくつかの地物を対象に、表面温度の推移の実態の把握を目的とし、その結果で得られた特性を踏まえて、これまでのマクロな温暖化を表す気温との関連性を分析し、舗装の表面温度の低減効果策をケーススタディとして検討した。以下に主要な結果をまとめて示す。

- (1) 表面温度の推移の実態から、表面温度の変化要因には、大きく分けて物質特有の熱性質 (物性) と測定地点の日射量などの気象条件 (自然要因) があり、それらの表面温度への影響程度の概略が把握できた。
- (2) 気温と表面温度の分析では、測定対象物とその周辺気温の間には高い相関が見られた。また、物性、自然要因の温度影響の概略を把握することができた。
- (3) 表面温度の高い都市地物として道路舗装面を取り上げ、その舗装材の種類と散水の方法による温度低減の程度を分析した。

実験においては、周辺環境や天候などに左右されるために、今後、より柔軟なデータの蓄積が必要である。また、表面温度特性や、周辺環境をの条件を踏まえた総合的な取り組みが必要である。

謝辞

散水実験の実施に当たっては、大阪市建設局、大阪市道路公社に多大な協力を頂いた。また、(株) アジア航測には、気象測定データ等の面で協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。

< 参考文献 >

- 1) 福永佳裕「都市域の気温に関する要因分析」、土木学会関西支部、IV-17、1994
- 2) 浅枝隆「道路舗装の熱環境に及ぼす影響」、環境システム研究、Vol.19, pp.89-93、1991
- 3) 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