Annual Report

C. E. C., TMG 2007

# 15. 保水性舗装に散水した場合の熱輸送量への効果

Effect of Water Retaining Pavement on Heat Flux with Sprinkle Water

技術調査課 小作好明、春日井哲夫 道路管理部 橋本 一郎 南多摩東部建設事務所 古賀 睦 第一建設事務所 高根澤浩二

### 1. はじめに

東京都では、ヒートアイランド対策の一つとして、 水分を含むことができる保水性舗装を施工している。 しかし、保水性舗装への散水による対策効果について、 市街地の道路における定量的な観測が少ないのが現状 である。このため、仮定するパラメータが少なく、熱 輸送量の観測方法として精度が良いとされる渦相関法 によって観測を実施した。また、現地観測でよく用い られるバルク法について、市街地における道路上での 観測の適用性も検討した。

# 2. 保水性舗装の熱収支

図-1 に熱収支の概念図を示し、次式に熱収支式を示す。

#### 熱収支式

 $(S-refS) + (L_{rin}-L_{Lin}) = H + \iota E + G \equiv Rn$ 

ここに

 S
 : 下向日射 (短波放射)

 refS
 : 上向日射 (短波放射)

 ref
 : アルベド (反射率)

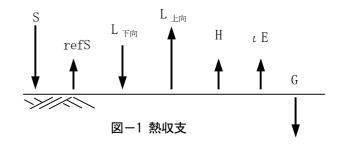
 L 下向
 : 大気放射 (長波放射)

 L 上向
 : 地表面放射 (長波放射)

H : 顕熱 (顕熱によって空気が温まる)ι E : 潜熱 (気化熱によって熱が奪われる)

G : 蓄熱 (熱伝導) Rn : 正味放射

である。



地表面では、日射と大気放射のエネルギーが加えられ、上向日射と地表面放射によってエネルギーが放出する。この差し引きのエネルギーのことを正味放射という。熱収支の式は、この差し引きのエネルギー(正味放射)が顕熱と潜熱、蓄熱に配分されることを表している。顕熱は、地表面の熱を大気に輸送し、気温を上昇させる効果をもつ。潜熱は、水が液体から気体に相変化する際に熱を奪い、気温の上昇を抑制する効果をもつ。残りの熱は、熱伝導で地中に蓄えられることを表している。

保水性舗装は、舗装内に含まれる水分が蒸発して潜熱(気化熱)によって舗装の温度上昇を抑制することが期待されていることから、熱輸送量調査では、保水性舗装に散水した場合に、気温を上昇させる顕熱と気温上昇を抑制する潜熱を観測することを主な目的として実施した。

# 3. 現地熱輸送量観測の概要

観測期間および観測場所を

表-1 に示す。熱輸送量の現 偏 地観測を平成 17 年(2005)では 昼間3回、平成18年(2006)で は昼間 6 回・夜間 2 回実施し た。熱輸送量調査の現地観測 の位置を図-2~図-6 に示す。 観測場所は、丸の内二丁目(丸 夜 '06/8/19 19:30~翌4:30 晴れ の内)、神田美土代町(美土代)、 内堀通り(九段)の保水性舗装

昼夜	観測日時		天候	場所	舗装	状況
昼	'05/8/19	4:30~19:00	晴れ	丸の内	保水	23:00~3:23散水 5mm相当
昼	'05/8/27	4:30~19:00	曇り	丸の内	保水	降雨後2日目(台風11号通過)
昼	'05/9/3	4:30~19:00	晴れ	丸の内	保水	23:00~3:25散水 5mm相当
妸	'06/8/15	4:30~18:00	時々雨	神田橋	密粒	午前中まで少雨
昼	'06/8/19	4:30~19:00	晴れ	神田橋	密粒	
昼	'06/8/22	4:30~19:00	晴れ	汐入公園	芝生	
昼	'06/8/24	4:30~18:00	晴れ	美土代	保水	故障有 20:00~2:30散水 8mm相当
昼	'06/8/29	4:30~18:00	晴れ	九段	保水	20:00~2:04散水 5mm相当
昼	'06/9/2	4:30~18:00	晴れ	美土代	保水	降雨後 気象官署(東京)前日14mm
夜	'06/8/19	19:30~翌4:30	晴れ	神田橋	密粒	

表一1 観測期間 · 観測場所

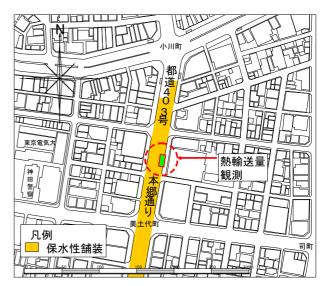
車道上である。また、保水性舗装の場合と比較する ため、神田橋交差点付近で密粒度舗装の車道上(神 田橋)と荒川区南千住八丁目の汐入公園芝生広場(汐 入公園)でも観測を行った。

夜 '06/8/28 20:30~翌4:30

昼間の現地観測は、晴れ・保水性舗装・散水後が 3 日(観測機器故障の日を除く)、晴れ・保水性舗装・降 雨後が1日、曇り・保水性舗装・降雨後2日目が1日、 晴れ・密粒度舗装が1日、時々雨・密粒度舗装が1日、 晴れ・芝生が1日である。ただし、平成17年の丸の 内では1回当たり4:30~19:00まで観測を行ったが、 平成 18 年では、夕方ラッシュ時に現地調査をしな いように交通管理者(警察)からの指示があったた め、18:00までの観測となった。



図-2 熱輸送量観測位置(丸の内)



20:00~2:04散水 5mm相当

図-3 熱輸送量観測位置(美土代)

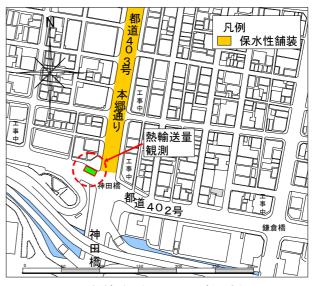


図-4 熱輸送量観測位置(神田橋)



図-5 熱輸送量観測位置(九段)

### 4. 観測項目と観測機器

熱輸送量観測における観測項目と観測機器を表-2に示す。下向日射(短波放射)、上向日射(短波放射)、大気放射(長波放射)、地表面放射(長波放射)の観測には長短波放射計を用いた。顕熱は超音波風速温度計、潜熱は超音波風速温度計と赤外線湿度計を用い、取得したデータの共分散をとって渦相関法により算出した。この他に、地表面温度、地表面熱流量、気温、相対湿度、風速も測定した。

平成 18 年 (2006) の観測では、観測機器の観測高を多少変更した。気温と相対湿度については、自然通風式よりも精度が高いとされる強制通風式の気温計と湿度計に変更した。また、地表面に熱流計を添付し、地表面の熱流量を観測した。

	동민 경비 구동 다	48 201 +46 BP	記録間隔	2005年	2006年
	観測項目	観測機器	記球间隔	観測高	観測高
-	下向日射量		1分	20cm	20cm
	上向日射量	長短波放射計	1分		
	大気放射	<b>支</b> 短波放射計	1分		
	地表面放射		1分		
_	顕熱	超音波風速温度計	50ms	85cm	1.0m
	潜熱	赤外線湿度計	50ms	85cm	1.0m
	首款	超音波風速温度計	50ms	030111	1.0111
	地表面温度	赤外線放射温度計	1分	65cm	50cm
	地表面熱流	熱流計	1分	1	地表
_	気温	超音波風速温度計	50ms	85cm	1.0m
		自然通風式気温計	10分	1.5m	_
		強制通風式気温計	1分		3cm,21cm
					54cm,1.0m
		赤外線湿度計	50ms	85cm	1.0m
	湿度	自然通風式湿度計	10分	1.5m	_
		強制通風式湿度計	1分	_	1.0m

85cm

超音波風速温度計

表-2 観測項目と観測機器



図-6 熱輸送量観測位置(汐入公園)

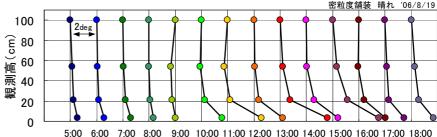


図-7 平成 18 年観測状況 (神田橋)

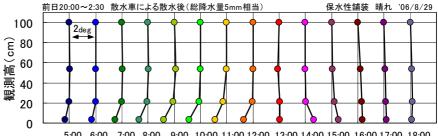


図-8 平成 18 年観測状況 (汐入公園)





5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 四一IV 米い血ソュロビノコリ 、イザロ信 石作以文明な 昨日4レ/



5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 10:00 11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 凶ニロ 双海切卸退力和(ルタ 1木小注舗装 取外板)

# 5. 強制通風式気温計の観測

図-9 に使用した強制通風式気温計を示す。地表面付近の気温を高さ毎に観測するために著者が自作したものである。構造は、塩化ビニール管に断熱材をアルミテープで巻き、内部にセンサとパソコン用のファンを取り付けている。空気の吸入面は、曲管を使用して下向きにした。

図-10、図-11 に観測高 3cm、21cm、54cm、1.0mで観測した気温の鉛直分布の一例を示す。この図では観測高 1.0m の気温を基準にして 3cm、21cm、54cm との気温差を示す。また、時刻毎に気温の鉛直分布を示すため、一つの目盛を 2 度ずつずらしてある。

密粒度舗装の場合、観測高 3cm の気温は観測高 1.0m の気温より日中で 2~3 度も高く、夕方 18:00 になっても観測高 3cm の気温が高いままとなった。これに対し、保水性舗装に散水した後の観測高 3cm の気温と観測高 1.0m の気温を比べると、観測高 3cm の気温の方が低くなった。日中には日射によって舗装表面が加熱されて観測高 3cm の気温が一時的に高くなったが、夕方 18:00 では観測高 3cm の気温と観測高 1.0m の気温は同程度になった。

密粒度舗装では日中に大気を加熱しさらに夜間に まで加熱を継続するのに対し、散水後の保水性舗装 は大気の温度上昇を抑制していることが分かる。

#### 6. 渦相関法による顕熱と潜熱の観測

顕熱フラックスと潜熱フラックス(単位面積、単位 時間当たりの熱輸送量のこと)は、次式で表される。

$$\iota E = \iota \rho \overline{q w}$$
$$H = \rho C_P \overline{T w}$$

 $\overline{W}=0$  を仮定すると下式を仮定していることと同じになる。

$$H = \rho C_P \overline{T w} = \rho C_P \overline{T' w'}$$

$$\iota E = \iota \rho \overline{q w} = \iota \rho \overline{q' w'}$$

 $\iota E:$  顕熱輸送量  $\mathbf{W} \cdot \mathbf{m}^{-2}$ 

H: 潜熱輸送量 W·m<sup>-2</sup>

w:鉛直風速 m·s<sup>-1</sup>

 $\iota$ :水の気化熱  $\iota$  =(2.501-0.00237 $T_s$ )×10<sup>6</sup> J·kg<sup>-1</sup>

*T*<sub>s</sub>: 地表面温度 ℃

ρ: 空気の密度 kg·m<sup>-3</sup>

q: 比湿 (湿潤空気質量に対する水蒸気質量の割合)

 $C_P$ : 空気の定圧比熱 1004.7 J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>

*T*: 気温 K、℃

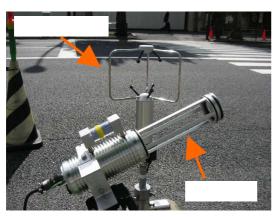
 $\overline{Tw}: T \geq w$  の積の時間平均

ここで、 $w'=w-\overline{w}$   $T=T-\overline{T}$   $q'=q-\overline{q}$  である。

 $\overline{Tw'}$   $\overline{q'w'}$  が共分散を表している。

渦相関法では、応答速度が非常に速い観測機器を用いて T、w、q'を観測し、共分散を算出して顕熱輸送量と潜熱輸送量を求める。

図-12 に本調査で使用した超音波風速温度計と赤外線湿度計を示す。超音波風速温度計と赤外線湿度計で取得するデータは 50ms(1 秒間に 20 データ)ごとに記録し、5 分間分(6000 データ)を用いて顕熱フラックスと潜熱フラックス(単位面積、単位時間当たりの熱輸送量のこと)を算出した。



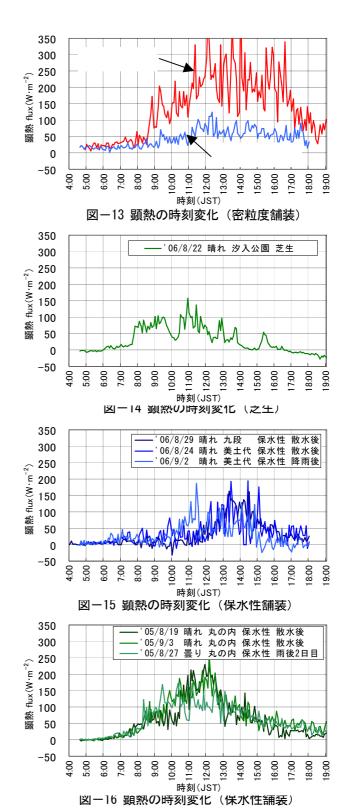
# 7. 顕熱輸送量の観測結果

図-13 に神田橋交差点付近の密粒度舗装上で観測した顕熱輸送量の時刻変化を示す。晴天日の密粒度舗装上では顕熱輸送量が 200W/㎡を超えることも多く、大気を加熱していることが分かる。これに対して、観測中に時々雨があった場合には、顕熱輸送量の値が小さくなった。図-14 に汐入公園の芝生上で観測した顕熱の時刻変化を示す。芝生の場合、密粒度舗装に比べて顕熱輸送量が小さく、100W/㎡を超える程度である。

図-15、図-16 に九段、美土代、丸の内の保水性舗装上で観測した顕熱の時刻変化を示す。散水後または降雨後の保水性では密粒度舗装に比べ、顕熱輸送量が小さくなっており、気温上昇を抑制していることが分かる。しかし、顕熱輸送量が芝生より大きいので、散水後の保水性舗装は、密粒度舗装と芝生の中間の位置づけになると考えられる。

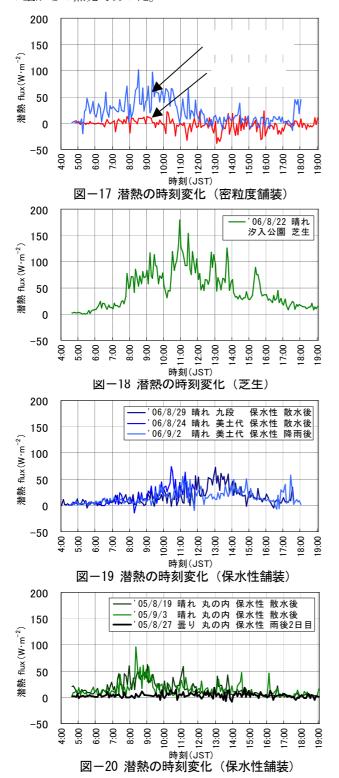
#### 8. 潜熱輸送量の観測結果

図-17 から図-20 に潜熱輸送量の時刻変化を示す。 晴天日の密粒度舗装では、潜熱輸送量の変動が大きい。 これは、観測中の赤外線湿度計の電圧値を観察してい ると、風が強い時に自動車が通過した場合、電圧値が 大きく変動していたことからすると、自動車の排気ガ スに含まれる水分に赤外線湿度計が反応したためと考



えられる。ただし、総量としては結果として±0となった。時々雨があった場合の密粒度舗装では、路面が濡れている時間帯では潜熱輸送量が50W/㎡を超えることもある。芝生の場合では、潜熱輸送量が100W/㎡を超えることもあり、潜熱が大きくなった。ただし、観測中の目視での観察では、早朝4:30頃の観測準備中には芝生に夜露があり、芝生への水分の供給は夜露に

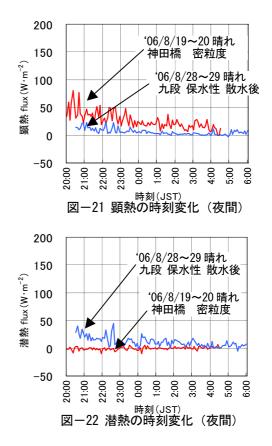
よるものと考えられ、日中は、芝生の葉が日陰をつくって土の水分を保ったままであった。芝生からの潜熱は、芝生の葉からの蒸散ではなく、実際には芝生の下の土からの蒸発であった。



散水後または降雨後の保水性舗装では、潜熱が 50W/ ㎡を超えることもあり、保水性舗装に含まれる水分が 蒸発していることが確認でき、気温上昇を抑制してい ることが分かった(平成 18 年九段、美土代、平成 17 年丸の内)。また、潜熱量としては少ないが、降雨から 2 日目でも保水性舗装からの蒸発は継続していた(平成 17 年丸の内)。

# 9. 夜間の熱輸送量の観測結果

図-21 に夜間の顕熱輸送量の時刻変化、図-22 に 夜間の潜熱輸送量の時刻変化を示す。密粒度舗装では 夜間でも顕熱輸送があり、夜間においても大気を加熱している。これに対し、散水後の保水性舗装では顕熱 輸送がほとんどなく、大気を加熱していない。逆に、密粒度舗装では、潜熱輸送量がほとんどなく、気温上昇を抑制していないのに対し、散水後の保水性舗装では、潜熱輸送量があり、気温上昇を抑制していること が分かる。



# 10. 積算熱量

正味放射量を算出するため、下向日射量、上向日射量、大気放射量、地表面放射量を長短波放射計で観測した(図-23)。また、熱伝導を観測するため、熱流計を地表面にパテで添付した(図-24)。ただし、熱流計は本来であれば舗装内に埋め込んで測定すべきである

が、実際の測定では、熱流計を薄くしたパテで舗装表面に接着して測定した。熱流計と地表面は熱伝導率や 比熱が異なり、さらに地表面には舗装の凸凹があるため、熱流計の観測値は、正確な値になるとは考えられず、測定精度に課題があり、参考値扱いとした。





表-3 に 5:00 から 18:00 までの積算熱量を示す。 正味放射量は、長短波放射計で観測した値を 5:00 から 18:00 まで積算した。顕熱と潜熱は、渦相関法で算出した熱輸送量を積算し、熱伝導は熱流計で観測した値を積算した。

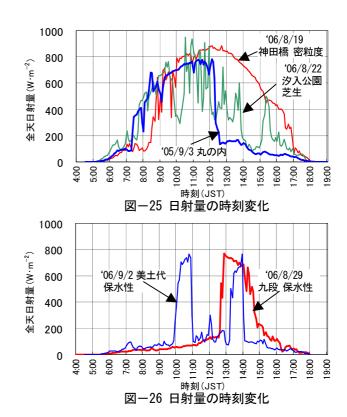
汐入公園と神田橋交差点付近の観測場所は南側が開けているため、日照時間が長く、晴天の場合は日射量が多くなるので正味放射量が大きくなっている。図-25、図-26 に日射量の時刻変化の一例を示す。丸の内の観測場所は西側に高層ビルがあるため東側が開け、午前中のみが日向になる。美土代と九段の観測場所は南北方向の路線であり、東西両側にビルが建っているため、特定の時刻だけ日向になり、晴天日であっても正味放射量が少なくなっている。

表面 日付 天候 場所 正味放射 顕熱 潜熱 熱伝導 状態 MJ·m MJ·m<sup>-2</sup> MJ·m MJ·m '06/8/22 晴れ 芝生 汐入公園 10.07 1.60 2.35 (4.03) '06/8/15 時々雨 密粒度 神田橋 4 68 2.14 1.04 (0.28) 保水性 '06/9/2 美土代 1.43 0.74 (2.08)'06/8/29 晴り 九段 587 1.60 0.81 (3.61) 散水後 保水性 '05/8/19 晴れ 丸の内 8 8 6 3.08 0.74 '05/9/3 晴れ 丸の内 9.11 3.49 0.72 \_ 丸の内 '05/8/27 曇天 6.94 3.12 0.18 雨2日後 '06/8/19 晴れ (4.86) 密粒度 神田橋

表-3 積算熱量(5:00~18:00)

※括弧書きは測定方法に課題があり参考値

図-27 に正味放射量と顕熱、図-28 に正味放射量と潜熱の 5:00~18:00 積算値の関係を示す。芝生や時々雨での密粒度舗装を除き、密粒度舗装と保水性舗装では、正味放射量が多くなるほど顕熱も大きくなる



傾向があることが分かる。これに対して、潜熱の場合は、正味放射量が多くなっても潜熱が多くならず、散水後や降雨後の潜熱はほぼ一定値のような傾向をもっている。現在のところ、観測数が少なく、はっきりしたことは言えない状況であるが、保水性舗装の場合、保水量は一定であるため、総量としては潜熱が一定値であることが推測される。

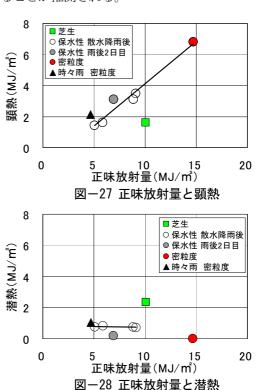
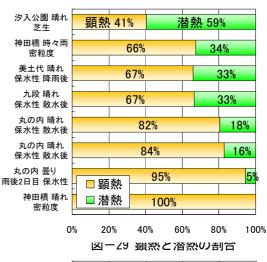


図-29 に顕熱と潜熱の熱量の割合を示す。これは、表-3 において顕熱と潜熱を加算した値を 100%として顕熱と潜熱の配分割合を示したものである。汐入公園の芝生で観測した場合、顕熱より潜熱が多くなった。また、時々雨の天候において密粒度舗装で観測した場合も路面が濡れていたため、潜熱に配分されている。保水性舗装の場合、顕熱に配分されるはずの熱量が潜熱に配分されている。なお、丸の内の場合、潜熱の配分が少なくなっているが、これは午前に日射量が多く、舗装表面温度が高くなったために顕熱が多くなり、相対的に潜熱の配分割合が少なくなったためである。

次に、保水性舗装の熱量的な効果を比較するため、 図-30 に芝生に対する潜熱の割合を示す。これは、 表-3 において芝生の潜熱を 100%としてその他の潜 熱の割合を示したものである。時々雨の密粒度舗装で は 44%、散水後の保水性舗装では 31~34%、降雨後 2 日目の保水性舗装では、8%になった。水分を含ん だ場合の保水性舗装は芝生に対して 1/3 程度、ある 程度蒸発してしまった保水性舗装でも芝生に対して 1 割程度の効果があったと考えられる。

# 11. 面積率

散水後の保水性舗装は芝生に対して 1/3 程度の潜熱であった理由として、保水材の面積を考える必要がある。そこで、保水材の面積率(舗装表面面積に対する保水材面積の割合)を算出した。面積率は、一辺30cmの正方形を道路面にマーキングした範囲をデジタルカメラで撮影し、画像を白と黒の画像に変換した上で白と黒のドット数を数え、そのドット数を全ドット数に対する割合で算出した。表-4 に保水材と骨材の面積率を示す。5 点の撮影で保水材の面積率は、30.6~37.2%、平均値34.2%となり、保水材の面積率は、棚ね1/3 程度となっている。保水性舗装の蒸発が保水材の面積30.6~37.2%から行なわれるとすると、芝生に対して保水性舗装の潜熱が1/3 程度となったのは妥当な値と考えられる。





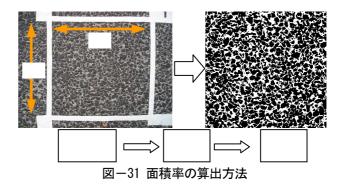
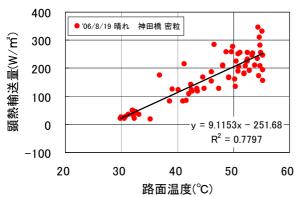


表-4 保水材と骨材の面積率

	全 ドット数	黒 ドット数 骨材	白 ドット数 保水材	骨材 面積率	保水材 面積率
美土代 写真1	1518456	960482	557974	63.3%	36.7%
美土代 写真2	1353426	889005	464421	65.7%	34.3%
美土代 写真3	1379030	956882	422148	69.4%	30.6%
美土代 写真4	1543804	970058	573746	62.8%	37.2%
美土代 写真5	1527632	1039652	487980	68.1%	31.9%
平均	7322348	4816079	2506269	65.8%	34.2%

# 12. 路面温度と顕熱・潜熱輸送量の関係

図-32 から図-37 に顕熱及び潜熱の輸送量(10分間 12000 データで算出)と地表面温度(10分平均値)の関係を示す。地表面温度は、放射温度計で測定した。本来、顕熱輸送は、乱流による空気塊の上下交換によって行われるが、密粒度舗装、保水性舗装、芝生ともに路面温度が上昇すると顕熱輸送量も多くなる傾向を示している。データのばらつきは大きいが、近似式の傾きは、密粒度舗装で9 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>程度、保水性舗装で7.5W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>程度、芝生で6W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>程度であり、路面温度を下げることで顕熱を減らし、気温上昇を抑制することが確認できる。



凶-32 路面温度と顕熱輸送重(昼間 密粒度)

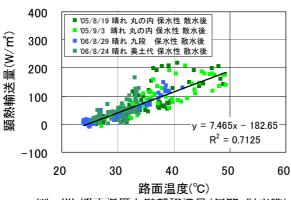
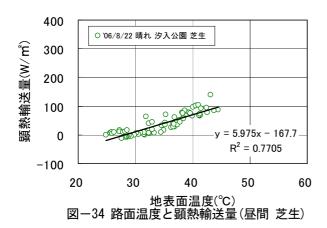


図-33 路面温度と顕熱輸送量(昼間 保水性)



しかし、潜熱輸送の場合、芝生の地表面温度との 相関性はあるが、密粒度舗装の場合、蒸発がないの で相関性は全くない。保水性舗装の場合も路面温度 との相関性がなく、路面温度が上昇しても潜熱輸送 量はそれほど多くならなかった。

保水性舗装における放湿性の室内試験(JIS A 1470-1「調湿建材の吸放湿性試験方法-第1部:湿度応答法-湿度変動による吸放湿性試験方法」を応用)の結果(表-5,図-38)では、時間の経過とともに蒸発量(潜熱)が減少する傾向があった<sup>3)</sup>。保水性舗装の潜熱輸送は、時間の経過とともに減少する水分量と関係すると考えられ、路面温度とは相関性がなくなったと推測される。

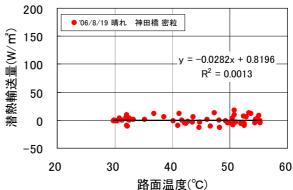


図-35 路面温度と潜熱輸送量(昼間 密粒度)

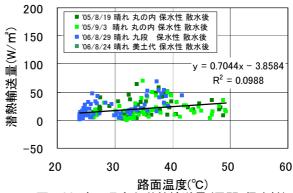


図-36 路面温度と潜熱輸送量(昼間 保水性)

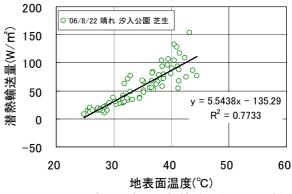
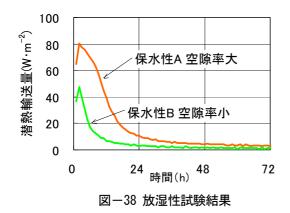


図-37 路面温度と潜熱輸送量(昼間 芝生)

表-5 放湿性の試験条件

舗装	雰囲気 温度 平均	雰囲気 相対湿度 平均	乾燥 密度 g/cm³	含水率 mass%	空隙率 %
保水性A	30.5°C	52.8%	1.965	3.0%	22.5%
保水性B	30.7°C	52.0%	2.198	1.3%	12.7%



#### 13. バルク法と渦相関法

顕熱及び潜熱を観測する手法のひとつにバルク法がある。バルク法と渦相関法の熱輸送量算出式を次式に示す。

 $H = C_P \rho T' w'$   $\iota E = \iota \rho q' w'$ 

(1) (渦相関法) (2) (渦相関法)

 $H = C_P \rho C_H U (T_S - T_a)$ 

(3) (バルク法)

 $H = C_P \rho C_H O (I_S I_a)$ 

(a) ( yr) (A)

 $\iota E = \iota \rho \beta C_H U(q_S - q_a)$  (4) (バルク法)

H: 顕熱輸送量( $W \cdot m^{-2}$ )

 $\iota E$ : 潜熱輸送量 ( $\mathbf{W} \cdot \mathbf{m}^{-2}$ )

w: 鉛直風速( $\mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^{-1}$ )

 $C_P$ : 空気の定圧比熱 1004.7 (J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>)

 $\rho$ :湿潤空気の密度( $kg \cdot m^{-3}$ )

C<sub>H</sub>: 顕熱に対応するバルク係数 (無次元)

 $\ddot{U}$ : 平均水平風速( $\mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^{-1}$ )

 $T_s$ : 地表面温度(K または $\mathbb{C}$ )

*T, T<sub>a</sub>*: 気温 (K または℃)

ι:水の気化熱

 $\iota = (2.501 - 0.00237 \, T_s) \times 10^6 \, \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 

β:蒸発効率 (無次元)

 $q_s$ :  $T_s$ に対応する飽和比湿( $kg \cdot kg^{-1}$ )

地表面に接した空気塊とその上の空気塊とは、乱流によって絶えず上下に交換されている。乱流による熱輸送において、空気塊の熱量に着目した場合が顕熱輸送であり、空気塊の蒸発量(気化熱)に着目した場合が潜熱輸送である。バルク式において空気塊の上下交換の効率を表すパラメータが $C_H$ Uである。バルク式では、上下交換の効率が平均水平風速Uに比例することを仮定している。渦相関法とバルク法による顕熱輸送量を比較するため、図-39~図-42に渦相関法で算出した顕熱輸送量 H(10 分間 12000 データで算出)と $\rho$   $C_H$  U  $T_A$   $T_A$  の関係を示す。なお、

水平風速 U は超音波風速温度計から算出した 10 分間平均値である。Y 軸を顕熱輸送量 H、X 軸を  $\rho$   $C_HU(Ts-Ta)$  とした場合、(3) 式のバルク式では原点を通過しなければならないので、原点を通過する近似式を表示した。図中の近似式の傾きがバルク式におけるバルク係数  $C_H$  に相当する。芝生の場合、近似式の周りにデータがあるが、密粒度舗装や保水性舗装の場合、ばらつきが多くなる。

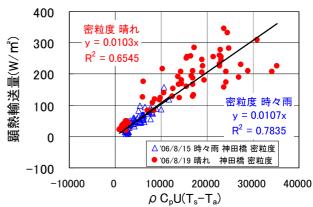


図-39 顕熱輸送量と P C P U (T s-T a) 神田橋 密粒度 6:00~18:00

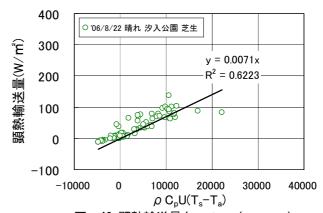


図-40 顕熱輸送量と P C<sub>P</sub>U(T<sub>s</sub>-T<sub>a</sub>) 汐入公園 芝生 6:00~18:00

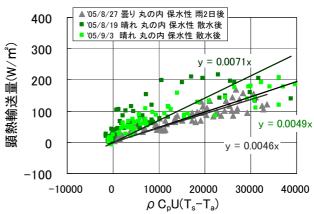


図-41 顕熱輸送量と  $\rho$  C<sub>P</sub>U (T<sub>s</sub>-T<sub>a</sub>) 丸の内 保水性 6:00~18:00

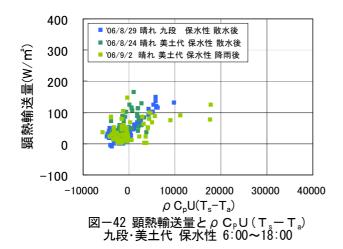
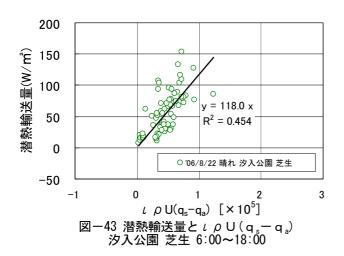
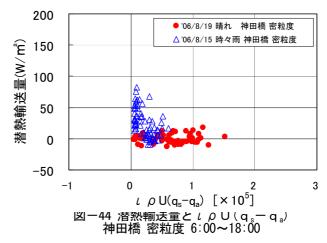
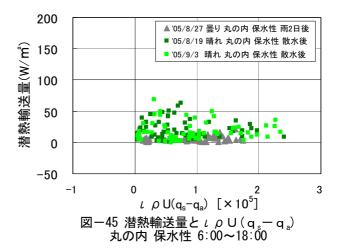


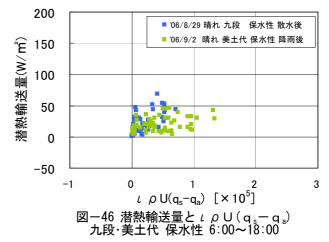
図-43 から図-46 に渦相関法で算出した潜熱輸送量と $\iota$   $\rho$  U( $q_s$ - $q_s$ )の関係を示す。潜熱輸送量  $\iota$  Eは、渦相関法で 10 分間 12000 個のデータを用いて算出した値であり、水平風速Uも超音波風速温度計から算出した 10 分間平均値である。図中の近似式の傾きが潜熱のバルク式における  $\beta$  C $_{\rm H}$  に相当する。

汐入公園の芝生の場合、バルク式が成り立ちそうであるが、潜熱輸送量の場合、バラつきが大きく十分とは言えない。密粒度舗装や保水性舗装の場合には、バルク式がほとんど成り立たず、バルク法では潜熱輸送量を求めることは難しいと考えられる。車道上での観測の場合、交通車両やビル風、熱対流など、空気塊の上下交換が強制的に促進されるため、上下交換の効率が平均水平風速 U に比例するという関係が成り立ちにくく、バルク法による観測は、市街地での観測には不向きであると考えられる。









# 14. まとめ

①強制通風式気温計で観測した結果,密粒度舗装の場合、観測高 3cm の気温は観測高 1.0m の気温より日中で 2~3 度も高く、夕方 18:00 になっても観測高 3cm の気温が高いままとなっていた。これに対し、保水性舗装に散水した後の観測高 3cm の気温と観測高 1.0m の気温を比べると、観測高 3cm の気温の方が低くなっており、散水後の保水性舗装は大気の温度上昇を抑制

していた。

②渦相関法によって潜熱を観測した結果、散水後や 降雨後の保水性舗装では、潜熱輸送があり、保水性 舗装に含まれる水分が蒸発していることが確認できた。 また、顕熱量の配分が潜熱量に移っており、散水する ことによって大気を温める顕熱を減らしていることが 確認できた。

③渦相関法によって夜間における密粒度舗装と散水後の保水性舗装について顕熱輸送量と潜熱輸送量を観測した結果、密粒度舗装では夜間でも顕熱輸送量があり、潜熱輸送量がなく、大気を加熱しているのに対し、散水後の保水性舗装では、顕熱輸送量がなく、潜熱輸送量があるため、夜間において大気を加熱していなかった。

④保水性舗装の熱量的な効果を比較するため、芝生に対する潜熱の割合を見ると、時々雨の密粒度舗装では44%、散水後の保水性舗装では31~34%、降雨2日後の保水性舗装では、8%になった。水分を含んだ場合の保水性舗装は芝生に対して1/3程度、ある程度蒸発してしまった保水性舗装でも芝生に対して1割程度の効果があったと考えられる。

⑤密粒度舗装、保水性舗装、芝生ともに路面温度が 上昇すると顕熱輸送量も多くなる傾向を示し、路面 温度を下げることで顕熱を減らし、気温上昇を抑制 することが確認できた。

⑥保水性舗装の潜熱輸送は、時間の経過とともに減少する水分量と関係すると考えられ、路面温度とは相関性がなく、路面温度が上昇しても潜熱輸送量はそれほど多くならなかった。

⑦渦相関法とバルク法を比較した結果、交通車両や ビル風、熱対流など、空気塊の上下交換が強制的に促 進される市街地における道路上での観測では、渦相関 法とバルク法がほとんど一致せず、水平風速と地表面 温度と気温から間接的に熱輸送量を求めるバルク法は、 市街地における道路上での観測には不向きであると考 えられる。

#### 参考文献

- 1) 日本気象学会(2001)、気象研究ノート第 199 号地表面フラックス測定法、19-55
- 2) 日本規格協会(2002)、調湿建材の吸放湿性試験方法-第1部 湿度応答法-湿度変動による吸放湿性試験方法 JIS A 1470-1
- 3) 小作好明、廣島 実、峰岸順一(2006)、保水性舗装の比熱·熱伝導率·放湿性の測定、土木学会 61 回年次学術講演会概要集
- 4) 小作好明、廣島 実(2007)、丸の内の保水性舗装に散水した場合の気温・湿度と熱輸送量、平 18.都土木技術センター年報、181-192