

散水した保水性舗装における渦相関法による顕熱・潜熱の現地観測

東京都土木技術センター 正会員 ○小作 好明
 東京都土木技術センター 非会員 春日井哲夫
 東京都建設局道路管理部 非会員 橋本 一郎
 東京都南多摩東部建設事務所 非会員 古賀 睦

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。

表-1 観測期間・観測場所

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
昼	'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	
夜	'06/8/28 20:30~翌4:30	晴れ	九段	保水	20:00~2:04散水 5mm相当

2. 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。観測場所は、丸の内二丁目(丸の内)、神田美土代町(美土代)、内堀通り(九段)の保水性舗装車道上である。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。現地観測における観測項目と観測機器を表-2に示す。顕熱と潜熱は、超音波風速温度計とオープンパス型の赤外線湿度計を用いて記録間隔 50msec(20Hz)でデータを取得し、共分散を計算して渦相関法によって算出した。

表-2 観測項目と観測機器

観測項目	観測機器	記録間隔	2005年観測高	2006年観測高
下向日射量	長短波放射計	1分	20cm	20cm
上向日射量		1分		
大気放射		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
	超音波風速温度計	50ms		
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	-	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
湿度	赤外線湿度計	50ms	85cm	1.0m
	自然通風式湿度計	10分	1.5m	-
	強制通風式湿度計	1分	-	1.0m
風速	超音波風速温度計	50ms	85cm	1.0m

3. 顕熱及び潜熱の輸送量

図-1、図-2に顕熱輸送量と潜熱輸送量の5分毎の時刻変化の一例を示す。散水後の保水性舗装は、密粒度舗装に比べ、顕熱輸送量が小さく、気温上昇を抑制している。しかし、芝生よりは潜熱輸送量が小さく、散水後の保水性舗装は、密粒と芝生の間的位置付けとなる。

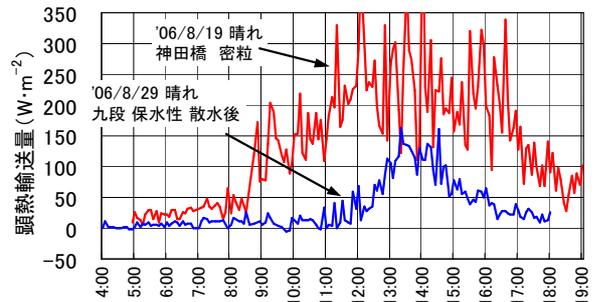


図-1 顕熱輸送量の時刻変化

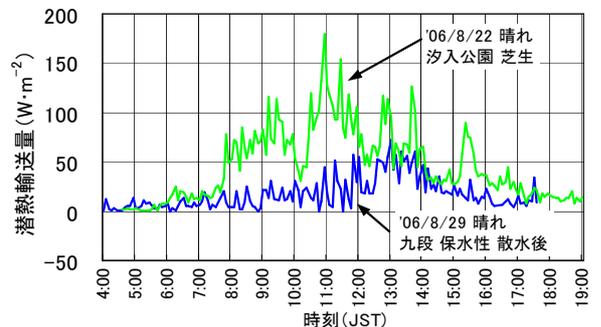


図-2 潜熱輸送量の時刻変化

4. 顕熱及び潜熱の積算値

図-3と図-4に正味放射量と顕熱、潜熱(5:00~18:00積算値)の関係を示す。時々雨での密粒度舗装や芝生を除き、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多くなる傾向がある。これに対し、潜熱の場合、正味放射量が多くなっても潜熱が多くなり、散水後や降雨後の潜熱はほぼ一定のような傾向をもつ。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、保水量が一定であるため、総量としての潜熱が一定であることが示唆される。図-5に顕熱と潜熱を加算した値を100%とした場合の配分割合を示す。芝生では顕熱より潜熱が多くなり、保水性舗装では、顕熱に配分されるはずの顕熱が潜熱に配分されている。丸の内の場合、潜熱の割合が少なくなっ

キーワード 保水性舗装, 散水, 潜熱, 渦相関法, バルク法, ヒートアイランド

連絡先 〒136-0075 東京都江東区新砂 1-9-15 東京都土木技術センター(前東京都土木技術研究所) TEL 03-5683-1521

ているが、これは午前日に日射量が多く、舗装の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、保水性舗装の効果を熱量的に比較するため、図-6に芝生の潜熱を100%とした場合の潜熱の割合を示す。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、潜熱として芝生に対して1/3程度、ある程度蒸発してしまっただけの保水性舗装でも芝生に対して1割弱の効果があつたと考えられる。保水性舗装の保水材の面積は、写真画像で解析した結果、表面積の概ね1/3程度であり、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比率と考えられる。ただし、今回の観測では保水性舗装、密粒度舗装、芝生など地表面状態で分類すると各1ケースから数ケースしかなく、また、建物や街路樹の日陰など現地車道上の観測という制約から現地条件を揃えることは難しいこともあり、今後も観測数を増やし、確認する必要がある。

5. 渦相関法とバルク法

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-7、図-8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 $\rho C_H U(T_s - T_a)$ 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 $\rho C_H U(T_s - T_a)$ 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り、顕熱のバルク式が十分に成り立つが、密粒度舗装や保水性舗装の場合、ばらつきが多くなる。図-9に渦相関法で算出した潜熱輸送量 ϵE と $\epsilon \rho U(q_s - q_a)$ の関係を示すが、潜熱輸送の場合、保水性舗装ではほとんど比例関係を示していない。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、バルク法での観測は不向きであると考えられる。これに対し、渦相関法の場合、鉛直風速を直接観測しているため、水平風速に依存しない上下交換も捉えることができ、顕熱・潜熱の輸送量を観測できたと考えられる。

参考文献

- 1) 近藤純正 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支— 朝倉書店 1994
- 2) 日本気象学会 気象研究ノート第199号地表面フラックス測定法 2001

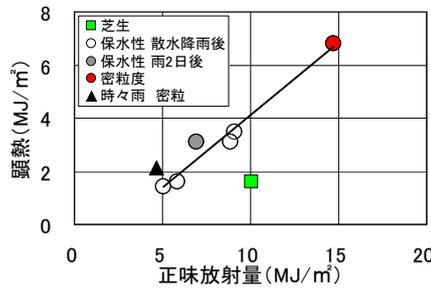


図-3 正味放射量と顕熱

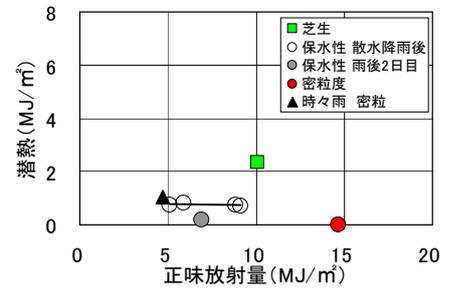


図-4 正味放射量と潜熱

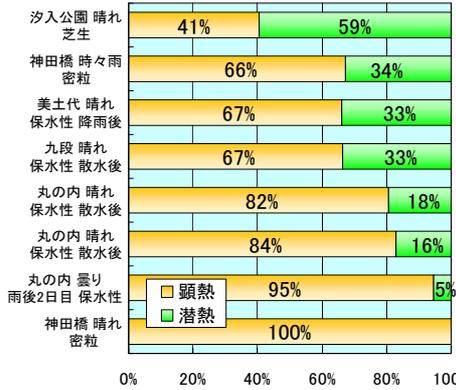


図-5 顕熱と潜熱の割合

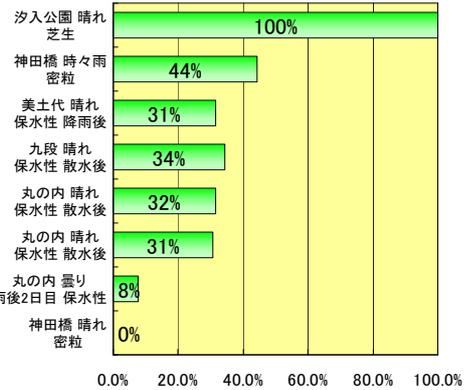


図-6 芝生に対する潜熱の割合

$$H = C_p \rho \overline{T' w'} \quad (1) \text{ (渦相関法)}$$

$$\epsilon E = \epsilon \rho q' w' \quad (2) \text{ (渦相関法)}$$

$$H = C_p \rho C_H U (T_s - T_a) \quad (3) \text{ (バルク法)}$$

$$\epsilon E = \epsilon \rho \beta C_H U (q_s - q_a) \quad (4) \text{ (バルク法)}$$

H : 顕熱輸送量 ($W \cdot m^{-2}$)
 ϵE : 潜熱輸送量 ($W \cdot m^{-2}$)
 w : 鉛直風速 ($m \cdot s^{-1}$)
 C_p : 空気の定圧比熱 $1004.7 (J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$
 ρ : 湿潤空気の密度 ($kg \cdot m^{-3}$)
 C_H : 顕熱に対応するバルク係数 (無次元)
 U : 平均水平風速 ($m \cdot s^{-1}$)
 T_s : 地表面温度 (Kまたは $^{\circ}C$)
 T_a : 気温 (Kまたは $^{\circ}C$)
 ϵ : 水の気化熱
 $\epsilon = (2.501 - 0.00237 T_s) \times 10^6 J \cdot kg^{-1}$
 β : 蒸発効率 (無次元)
 q_s : T_s に対応する飽和比湿 ($kg \cdot kg^{-1}$)
 q_a : 比湿 ($kg \cdot kg^{-1}$)

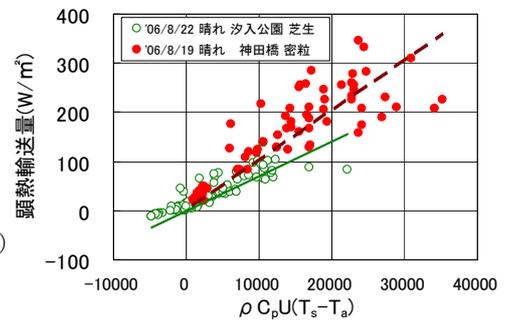


図-7 顕熱輸送量と $\rho C_p U (T_s - T_a)$ (密粒度舗装, 芝生)

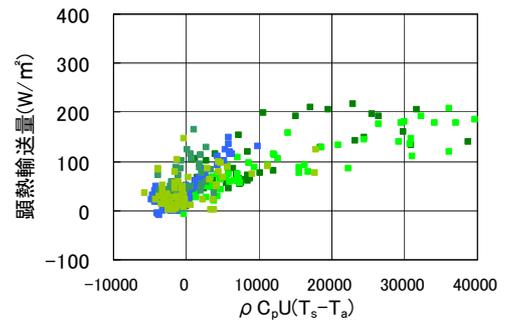


図-8 顕熱輸送量と $\rho C_p U (T_s - T_a)$ (保水性舗装)

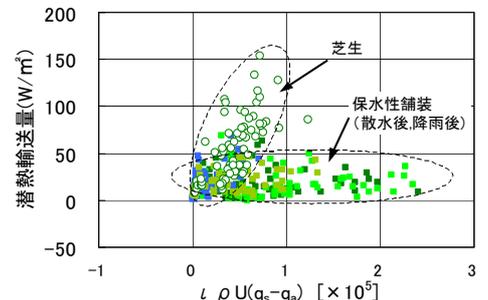


図-9 潜熱輸送量と $\epsilon \rho U (q_s - q_a)$ (保水性舗装, 芝生)