7. 車道及び構内の舗装における顕熱輸送量の観測

Field Observations of Sensible Heat Flux above Pavement in Roadway and Yard

技術支援課 小作好明

1. はじめに

ヒートアイランド現象は、都市化の進展に伴い、舗 装やコンクリートで地表面が被覆されたことが原因の 一つとして指摘されている。東京都ではヒートアイラ ンド対策を重点事業の一つとして位置づけており、建 設局ではヒートアイランド現象を抑制する取組みとし て、近赤外領域の波長の日射を反射して舗装温度の上 昇を抑制する遮熱性舗装を施工している。東京都土木 技術支援・人材育成センター(以下、センター)では、 実際の車道において大気を加熱する顕熱の観測を実施 しているが、観測箇所の現場上の制約によって、現場 によって観測高さが異なっている。交通を規制し、作 業帯内で観測する場合、観測高さを 1m にしており、 中央分離帯の街路灯に観測機器を設置する場合は、 2.5m 以上の高さにしている。そこで、観測高さによっ て顕熱の観測値に影響があるのかを確認するため、セ ンターの構内(以下、構内)で観測高さを 1m、2m、3m にして顕熱の観測を行い、観測高さによる顕熱の観測 値の比較を行った。また、市街地では建物や街路樹な どによって道路面も日陰になることが多く、風も影響 を受けている。そこで、その影響について確認するた め、構内の日陰がある箇所で顕熱を観測し、検討を行 った。また、比較のために実際の車道でも顕熱を観測 したので、その観測結果を示す。

2. 観測の概要

センター構内での観測箇所を図-1 に示す。観測箇 所は、構内の南側(以下、構内南)と北側(以下、構 内北)の2箇所である。この2箇所の観測箇所は、建 物に挟まれているため、風向きが一定になりやすい場 所である。

構内北の観測箇所は、北隣の建物とセンターとの建 物の間隔が約 35m あり、中ほどには植栽があって区切 られている。建物間の幅が広いため、日中を通して日 向になる場所である。一方、構内南の観測箇所は、建 物の間隔が約 11m しかなく、2 階建の建物の陰が入る 場所である。写真-1 と写真-2 に構内北の観測状況、 写真-3 に構内南の観測状況を示す。

次に、実際の車道における観測箇所を図-2 に示す。 車道での観測場所は、東京都江東区塩浜二丁目 5 番地 先の都道(以下、塩浜)である。ここの道路幅員は広



図-1 観測箇所 (センター構内)



写真-1 観測箇所(構内北)



写真-2 観測箇所(構内北)



図-2 観測箇所(塩浜)

く、合計7車線あり、日中を通して日向になる場所で ある。顕熱の観測は、中央分離帯において行った。写 真-4に塩浜での観測状況を示す。

観測期間は、図-3に示すように 2012 年 8 月 8 日か ら 9 月 11 日までの約 1 ヶ月である。構内の顕熱輸送



写真-3 観測箇所(構内南)



写真-4 観測箇所(塩浜)

観測 箇所	顕熱 観測高	2	012年8,	9月		
構内 南	3m	8/8				9/11
	2m			8/23		
	1m			8/23		
構内 北	3m	8/8				9/11
	2m			8/29		9/11
	1m			8/29		9/11
塩浜	3m	8/8				9/11

図-3 顕熱の観測期間

	·			
観測項目	観測機器	記録 間隔	観測 高	測定箇所
<u>下向日射</u> <u>上向日射</u> 大気放射 地表面放射	長短波 放射計	1分	20cm	構内北 遮熱性舗装区画 構内南 密粒度舗装
顕熱輸送量 圖向圖連	超音波	0.10 秒	1m 2m 3m	構内北 遮熱性舗装区画 構内南 密粒度舗装 観測高さ1m、2mは移設
承问承还	風还加反可		3m	塩浜 密粒度舗装
	放射温度計	1分	50cm	構内北 遮熱性舗装区画 構内南 密粒度舗装 塩浜 密粒度舗装
路面温度	熱伝対	10分	深さ 1cm 5cm 10cm	構内北 全区画
	サーミスタ	1分	深さ 1cm	構内南 密粒度舗装
劫法	執法計	1分	路面 接着	構内北 遮熱性舗装区画 構内南 密粒度舗装
		1分	深さ 5cm	構内北 密粒度区画 構内北 遮熱性区画
降水量	転倒桝式 雨量計	10分	屋上	センター屋上
	サーミスタ (自然通風)	1分	85cm 1.5m	<u>塩浜</u> 構内北
気温	サーミスタ (強制通風)	1分	3cm 21cm 54cm 100cm	構内北 遮熱性舗装区画 構内南 密粒度舗装

表-1 観測項目と観測機器



量の観測では、観測高 1m と 2m の超音波風速温度計を 期間途中で構内南から構内北の観測箇所に移設した。 移設したのは場所を変更しても観測値の傾向が変化す るのかを確認するためである。観測高さ 3m では構内 北と構内南に1台ずつ設置し、約1ヶ月間を通じて観 測した。車道での観測も中央分離帯に観測高さ 3m で 超音波風速温度計を設置し、約1ヶ月の観測を行った。

表-1 に全ての観測項目と観測機器、図-4 と図-5 に観測の模式図を示す。



3. 観測箇所の風向風速

観測箇所の風の状況を確認するため、図-6 と図-7 に観測高さ 3m で観測した風向について風配図を示す。 超音波風速温度計の記録間隔は 0.1 秒に設定したので、 風向は 10 分間の最頻値を風向とした。

構内北の観測箇所は、中ほどに植栽があって区切ら れているが、北隣の建物と当センターとの建物の間隔 が約 35m 程度であり、広くなっている。一方、構内南 の観測箇所では、建物の間隔が約 11m 程度となって狭 い場所である。2 箇所とも建物に挟まれているため、 明治通りから入る風が主な風向になっているが、構内 南だけはセンター建物の壁に当たった東北東(ENE)の 風が多く混在している。

塩浜の観測箇所は、南西に駐車場があるので開けて おり、北側に高い建物がある。西からの風が主な風向 になっているのは、流入した風が建物の当たり、吹き 降ろす風が道路に沿って流れようとしているためと考 えられる。

図-8 と図-9 に構内北の観測箇所における水平風 速の時刻変化と水平風速の鉛直分布の一例を示す。一 般に水平風速の値は、風が地表面の抵抗を受けるため、 高度が低くなるにつれて風速が小さくなる。構内北の 観測箇所でも、観測高 3m の水平風速よりも観測高 2m、 1m の水平風速が小さくなっている。しかし、図-10 と図-11 に示すように、構内南の観測箇所では、逆に 観測高さ 1m の水平風速が大きくなっている。これは、 流入する風がセンターの建物壁面に当たり下降流にな っているためと考えられる。

4. 観測高さ別の顕熱輸送量

路面から大気に熱を供給する顕熱は、路面から近い ほど顕熱が大きくなることも予想できるが、逆に、観 測高さが高いほど風速が大きくなるので、大気の交換 が促進されて高い位置ほど顕熱が大きくなることも予 想できる。また、センターでは実際の車道において顕 熱の観測を実施しているが、観測箇所の現場上の制約 があり、現場によって観測高さが異なっている。実際 の車道における観測値は、観測高さによって過大評価 されているのかそれとも過少評価されているのかを検 討するため、観測高さを変えて顕熱輸送量を測定した。 観測高さは1m、2m、3mとした。

図-12 に 2012 年 9 月 6 日から 9 月 10 日の構内北で 観測した全天日射量、図-13 に構内北の観測箇所にお いて観測高 1m、2m、3m で観測した顕熱輸送量の時刻 変化を示す。また、図-14 に一例として 9 月 10 日に ついて 1 時間の平均値を使って顕熱輸送量の鉛直分布 を示す。

顕熱輸送量の値は、超音波風速温度計を用いた渦相 関法で算出した。渦相関法は、応答速度が非常に速い



図-11 水平風速の鉛直分布 (構内南 2012 年 8 月 19 日) 観測機器を用いて気温 *T*、鉛直風速 *w* を観測し、共 分散を算出して顕熱輸送量を求めるものである。今回 の観測では 10 分間分のデータを用いて顕熱輸送量を 算出した。

図-14 を見ると、必ずしも観測高さが高いほど顕熱 輸送量が大きくなる傾向や、逆に小さくなるといった 傾向は見出せないようである。図-15 に 5:00~18:00 の全天日射量、図-16 にセンター屋上での 5:00~翌 5:00 の降水量、図-17 に 5:00~翌 5:00 で積算した顕 熱を示す。図-17 を見ると、8 月 31 日は観測高さが 高くなるほど顕熱が小さくなっており、9 月 7 日は観 測高さが高くなるほど顕熱が大きくなっていて、観測 高さによる顕熱の大小に一定の傾向がないようである。



-81-

観測箇所が異なる場合についても確認するため、図 -18、図-19、図-20 に全天日射量、構内南の観測箇 所における観測高 1m、2m、3m での顕熱輸送量、顕熱 輸送量の鉛直分布の一例を示す。また、図-21、図-22、図-23 に 5:00~18:00 の全天日射量、5:00~翌 5:00 の降水量、5:00~翌 5:00 で積算した顕熱を示す。

図-20 の 8 月 19 日の顕熱輸送量の鉛直分布を見る と、構内北の場合と同様に観測高さが高いほど顕熱輸 送量が大きくなる傾向や、逆に小さくなるといった傾 向はなく、また、図-21 を見ると、8 月 9 日、8 月 17 日、8 月 23 日は観測高さが高くなるほど顕熱が大きく なっているが、8 月 20 日は観測高さが高くなるほど顕 熱が小さくなっている。構内北の場合と同様に構内南 でも観測高さによる一般的な傾向はないようである。 なお、図-17 と図-23 に示すように、雨の日である 9 月 1 日、9 月 2 日、9 月 3 日、9 月 6 日、8 月 12 日、8 月 14 日、8 月 18 日では、観測高さにかかわらず、顕 熱の値がほぼ同程度になっている。つまり、観測高さ が 1m から 3m の範囲では、観測高さが異なることによ る顕熱輸送量の観測値について、一般的な過大評価ま たは過小評価の傾向はないと考えられる。

5. 観測箇所ごとの顕熱輸送量

図-24、図-25、図-26 に舗装温度と顕熱輸送量の 関係を示す。舗装温度は、車道の塩浜で放射温度計の 値、構内北で遮熱性舗装区画に深さ 1cm に埋設されて いる熱電対 12 点平均値の値、構内南で日向部分で観 測した放射温度計の値を用いた。顕熱輸送量は、車道 の塩浜、構内北、構内南、いずれの箇所でも観測高さ 3m の値を用いた。舗装温度、顕熱輸送量ともに 10 分 値である。

図-24、図-25 に示すように一日中日向になるよう な観測箇所(車道塩浜、構内北)では、舗装温度が高 くなる場合に顕熱輸送量が多くなる傾向がある。しか し、日陰が混在する構内南の場合、図-26 に示すよう に、舗装温度が高くなっても顕熱輸送量が多くなって いない。構内南における舗装温度の一例を図-27 に示 す。日陰を作る建物から 4.2m の位置に埋設した温度 計と日向箇所での放射温度計の観測値である。8 月 26 日から日陰の範囲が広がっていくことがはっきり分か



図-27 舗装温度と顕熱輸送量(構内南 密粒度)

る。図-26 で舗装温度が高くなっても顕熱輸送量が多 くならなかったのは、建物による日陰や建物による風 への影響が強いためと考えられる。

一般に、地表面温度 Ts と気温 Ta の温度差が大きい ほど顕熱は多くなり、また、風速が大きい場合、大気 の混合が促進されて、風速が大きいほど顕熱は多くな るとされている。

そこで、ここでは舗装温度を地表面温度 Ts、気温を Ta として、温度差 Ts-Ta を 3 度刻みに分類し、水平 風速を 0.5m/s 刻みにして区間平均値を算出した。た だし、雨天の場合のデータを除いており、データ数が 10 個未満の場合は、区間平均値を算出していない。な お、温度差 Ts-Ta で用いる気温 Ta は、車道の塩浜で は中央分離帯に設置した観測高さ 85cm の自然通風式 気温計の値、構内北と構内南では観測高さ 100cm の強 制通風式気温計の値を用いた。

図-28 に車道である塩浜と遮熱性舗装区画である構 内北について、水平風速が 1.5±0.25m/s 範囲での温 度差 Ts-Ta と顕熱輸送量を一例として示す。各区間 平均値も表示した。実際の車道である塩浜より構内北 では同じ温度差 Ts-Ta に対して平均的には顕熱輸送 量が小さくなっている。ただし、構内北の場合、本来、 近似直線が原点近くを通るべきであると考えられるが、 そのようになっておらず、検討を必要とする。

図-29 に車道の塩浜と構内南について、水平風速が 2.0±0.25m/s 範囲での温度差 Ts-Ta と顕熱輸送量を 示す。建物間隔が狭い構内南の場合、日向と日陰が混 在するような道路幅員の狭い道路を想定している。構 内南での地表面温度 Ts は日向で観測した舗装温度の 値を用いている。構内南では図-26 で示したように、 舗装温度と顕熱輸送量に傾向が見出せなかったが、温 度差 Ts-Ta にして整理すると、温度差が大きいほど 顕熱輸送量も多くなるようになる。そこで、車道の塩 浜と構内南を比較すると、同じ温度差 Ts-Ta に対し て、一日中日向になる車道の塩浜に比べて日陰が混在 する構内南の場合、顕熱輸送量の区間平均値が半分以 下になっている。建物間隔が狭い構内南では、日陰や 建物の影響があり、このような場所では舗装からの顕 熱が少なくなると考えられる。

次に水平風速と顕熱輸送量の関係を確認するため、



水平風速と顕熱輸送量の区間平均値を図-30 に示す。 水平風速が大きいほど顕熱輸送量が大きくなるという 傾向はないようである。一例として、図-31 に温度差 Ts-Ta が 12 度以上 15 度未満の場合と、6 度以上 9 度 未満の場合の塩浜における水平風速と顕熱輸送量を示 す。また、図-32 に構内北の場合を示す。車道の塩浜 と構内北のいずれの観測箇所でも水平風速と顕熱輸送 量にほとんど相関性がなく、水平風速が大きいほど顕 熱輸送量が多くなるといった傾向は現れなかった。

風向が顕熱輸送量に影響するかどうかを確認するた め、風向で分類した温度差 Ts-Ta と顕熱輸送量の関 係を図-33 と図-34 に示す。車道の塩浜の場合、主 な風向 12 (W)、13 (WSW)と、それ以外の風向で比較 したところ、顕熱輸送量が風向によって、平均的には 差がなかった。しかし、建物間隔が狭い構内南の場合、 明治通りから路面を通過する風向である風向 5 (ESE) と建物壁面方向からの風向である風向 3 (ENE)の場合 で比べると、風向 3 (ENE) で顕熱輸送量の区間平均値 が小さくなっており、建物による風への影響が顕熱輸 送量にも現れていると考えられる。

6. まとめ

①観測高さ 1m、2m、3m で顕熱輸送量を観測したところ、この範囲では、観測高さが異なることによって、観測高さが高いほど顕熱輸送量が大きくなる傾向や、逆に小さくなるといった傾向はなかった。
②いずれの観測箇所でも水平風速が大きいほど顕熱輸送量が多くなるといった傾向は現れなかった。
③建物間隔が狭く、日向と日陰が混在する観測箇所では、舗装からの顕熱輸送量は少なくなった。
④道路幅員が広く、一日中日向になる車道での観測箇所では、顕熱輸送量が風向によって平均的にはほとん



ど差がなかった。しかし、建物間隔が狭く、日向と日 陰が混在する観測箇所では、風向によっては平均的な 顕熱輸送量に差があった。

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)小作好明、廣島 実(2006)、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
 3)小作好明、春日井哲夫、橋本一郎、古賀 睦、高根澤浩二(2007)、保水性舗装に散水した場合の熱輸送量への効果、平19.都土木技術センター年報、165-176

4)小作好明、山本憲之(2011)、遮熱性舗装における熱輸送量の観測結果、平23.都土木技術支援・人材育成センター年報、53-60
5)小作好明、山本憲之(2012)、遮熱性舗装における顕熱と気温の観測、平24.都土木技術支援・人材育成センター年報、57-64