

冬期の実測データから求めた舗装表面の熱伝達率

東京電機大学
鹿島道路株式会社
東京電機大学

学生会員
正会員
フェロー会員

○福田裕子
岡部俊幸
松井邦人

1. はじめに

大都市における夏期のヒートアイランド現象は大きな社会的問題となっている。その原因は多岐にわたるが、舗装もその一因をなしている。舗装表面において舗装温度に影響する因子として、顕熱、赤外放射、日射量がある。本研究の目的は、これまで実験的に確認されてきたことを理論的に説明できる数学モデルを構築することである。そうすることにより、実験することなく日本各地の舗装温度を予測することが可能となる。今までの研究で、小沼ら¹⁾は大気放射に注目し実測データを最も良く説明できる赤外放射モデルを提案している。

本研究では、顕熱に注目し、三次元超音波風速計、気象データを用いて、渦相関法から冬期の舗装表面の熱伝達率のモデル化、顕熱輸送量についての検討を行った。

2. 実験概要

平成19年12月8日～11日(12:00)の3.5日間、東京電機大学鳩山計測サイトにおいて、密粒度舗装の上に、三次元超音波風速計(図-1)を設置し、地表面付近の三次元の風速を測定した。取得するデータは1秒間に10データ毎に記録する。また、鳩山計測サイトでは、風向風速計(図-2)、雨量計、湿度計、長短波放射計などから気象データを毎分計測している。本研究では、計測サイトで取得した舗装付近の風速、高さ3.5mの風速、外気温、舗装表面温度を使用した。また、計測データは10分間の平均を用いて比較検討を行った。

3. 舗装表面の熱伝達率のモデル化

顕熱輸送量はバルク法を用いると次式で計算できる。

$$Q = h(T_s - T_a) \quad (1)$$

h は熱伝達率、 T_s は舗装表面温度、 T_a は大気温度である。一般に h は風速の関数として表される。

$$h = a + bv \quad (2)$$

近年三次元超音波風速計が開発され、渦相関法を用いて顕熱輸送量 Q を精度良く直接求めることが可能となった。風速鉛直成分の変動量 w' と気温の変動量 T' 、空気密度 ρ 、空気の定圧比熱 C_p を用いると、

$$Q = \rho C_p \overline{T'w'} \quad (3)$$

ここに、 $\overline{T'w'}$ は T' と w' の共分散である。顕熱輸送量は式(3)より精度良く推定できるので、渦相関法から求めた

Q を式(1)の Q に代入すると、 h を計算できる。

$$h = \frac{Q}{(T_s - T_a)} \quad (4)$$

式(2)の v は水平方向成分の風速である。風速 v は三次元超音波風速計の風速の水平成分、あるいは風向風速の風速を用いることが考えられる。2つの風速計は数メートルの距離しか離れていないが両者の風速を図示すると図-3のように大きく異なる。同図より、全般的に見て風向風速計の風速は、三次元超音波風速計の風速計と比べ大きな値となるが、風速の弱いところでは風向風速計の風速は方が小さく、その値はほぼゼロとなっている。

式(4)から求めた h と、風向風速計および三次元超音波風速計から求めた風速をプロットすると、それぞれ図-4(a),(b)のようになる。最小二乗法を用いて式(2)の係数を求めると、

$$h_1 = 4.22v_1 + 4.39 \quad (5)$$

$$h_2 = 0.844v_2 + 6.23 \quad (6)$$

となる。 T_s と T_a の差が小さいとき式(4)の h の誤差が増幅



図-1 三次元超音波風速計



図-2 風向風速計

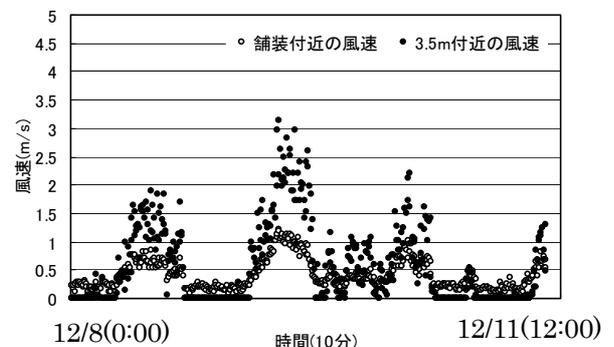
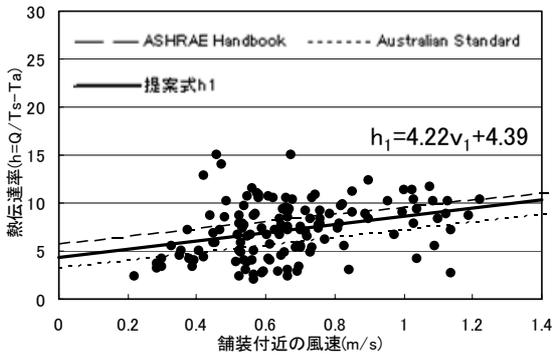


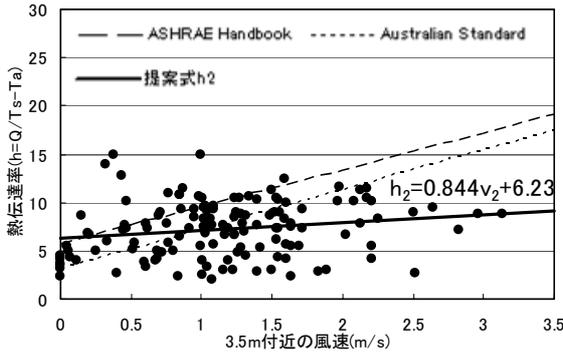
図-3 三次元風向風速計と風向風速計

キーワード：熱伝達率、顕熱輸送量、三次元超音波風速計、風向風速計、密粒度舗装

連絡先：〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂, TEL: 0492(96)2911, FAX: 0492(96)6501



(a) 風速と熱伝達率(三次元超音波風速計)



(b) 風速と熱伝達率(風向風速計)

図-4 風速と熱伝達率の関係

することが考えられるので、 $|T_s - T_a| < 2^\circ\text{C}$ のデータを除いたものをプロットしている。比較のため、図-4に熱伝達率の Australian 式と ASHRAE 式を記した。本図より、渦相関法で求めた熱伝達率がこれらの過去の提案式と非常に類似していることが明らかになった。

式(5)と式(6)の違いは2つの測定器で得られた風速の違いが原因であるので、図-5に風向風速計の風速と3次元超音波風速計のから求めた水平方向の風速との相関を記した。両者の間の相関係数は0.899と高く、次式のような関係が見られる。

$$v_1 = 0.283v_2 + 0.339 \quad (7)$$

気象の変化を考慮して舗装の温度解析を行うとき、顕熱輸送量を精度良く推定できることが重要である。顕熱輸送量の推定には風向風速計や気象庁データの風速を用いることが多く、これらは、舗装の直上で測定されたものではない。式(5)は Australian 式と ASHRAE 式とも良く一致しており、信頼できると思われる。そこで、式(5)の風速に風向風速計の風速を用いて算出した顕熱輸送量とその風速を式(7)で変換した風速を用いて式(5)より顕熱輸送量を算出し、渦相関法で求めた顕熱輸送量と図-6に比較した。風向風速計の風速を変換して計算すると、渦相関法の顕熱輸送量とも相関が良いことが明らかになった。

4. まとめ

本研究は、平成19年12月8日～11日(12:00)の冬期の三次元超音波風速計、気象データを用いて、舗装表面

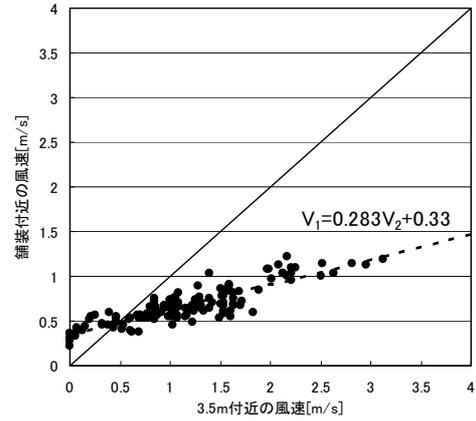


図-5 風速の相関図

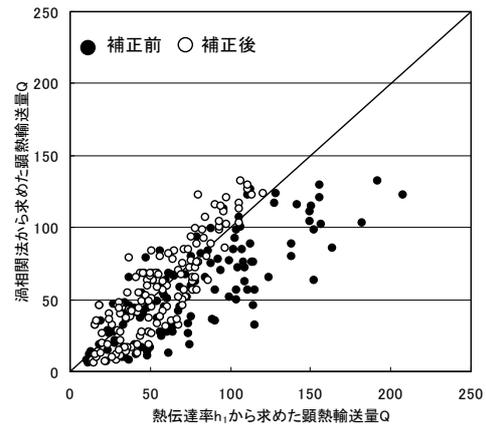


図-6 補正前と補正後の風速を用いた顕熱輸送量の相関図

の熱伝達率と顕熱輸送量について検討を行った。その結果を要約すると以下ようになる。

- 1) 3次元超音波風速計の水平方向風速と風向風速計の風速では大きな違いがあり、両者の間には式(7)のような関係があった。
- 2) 渦相関法で求めた熱伝達率は、Australian 式と ASHRAE 式とも良く一致している。
- 3) 風向風速計の風速で舗装温度解析を行うとき、熱伝達率の式の選択に注意する必要がある。

謝辞

本研究の一部は「東京電機大学総合研究所」および「東京電機大学学術研究基金」の研究費(課題番号: Q07E-06)の支援を得て行った。関係者に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 小沼幸訓, 吉中保, 藤波潔, 松井邦人: 鳩山試験サイトで観測した気象データを用いた大気放射モデルの検証, 土木学会舗装工学論文集, 第11巻, 2006.12.
- 2) 福田裕子, 吉中保, 松井邦人: 顕熱モデル・大気放射モデルと舗装表面温度, 第62回年次学術講演会, 第V部門, 2007.9