

3次元超音波風速計を用いた顕熱モデルの検討

ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 正会員 ○福田裕子
 鹿島道路株式会社 正会員 岡部俊幸
 東京電機大学 フェロー会員 松井邦人

1. はじめに

大都市のヒートアイランド現象は大きな社会問題であり、舗装もその一因になっていることが指摘されている。そこで、これまで気象庁データから舗装温度予測を行うことができるシステムを構築してきた¹⁾。その結果風速が舗装表面温度に大きく影響することが確認できた。しかし、風速は地表面からの高さにより大きく変化するため、適な高さで風速を計測する必要がある。一般に気象庁の風速データの地表面からの観測高さは、観測地点によりまちまちである。そこで、本研究では3次元風速計を用いて測定高度を変化させ風速と同地点で舗装表面温度を計測した。その結果から適切な風速測定高さがあることを確認し、任意の高さの風速を適切な高さの風速への変換式と顕熱モデルを提案している。

2. 実験概要

平成20年6月20日～7月30日、11月17日～12月12日の期間測定を行った。鳩山計測サイトにおいて、図-1のように密粒度舗装の上に3次元超音波風速計を2



図-1 実験風景

台設置し、1台は舗装表面から0.5mの高さで固定、1台は舗装表面から0.5m、1.25m、2m、3mと設置高さを変えて風速の計測を行った。1mの場合も同様に1台は1mの高さに固定、1台は1m、1.5m、2m、3mと設置高さを変えて風速の計測を行った。また、設置高さの変更はそれぞれ7日間毎に行っている。2台の風速計から測定されたデータを基に風速の変換式を構築する。

3. 風速の変換式のモデル化

設置高さを0.5mに固定して計測を行った風速と、設

が明らかである。同図から設置高さ0.5mに固定した風速計の風速が、0.5m/s、1m/s、1.5m/sの時の設置高さを変えたときの風速を回帰式から算出し、設置高さそれぞれの設置高さの風速の関係を示したのが図-3である。測定値から算出された値は、曲線を描き指数関数グラフのような形をしている。同図を基に、高さHmで測定された風速を、設置高さ0.5m、1mの風速に変換を行うため式(1)(2)のような形の変換式を考え未知パラメータαを逆解析によって求めた。

$$H = 0.5 \exp \left(\alpha \left(\frac{V_H - V_{0.5}}{V_{0.5}} \right) \right) \quad (1)$$

$$H = 1.0 \exp \left(\alpha \left(\frac{V_H - V_{1.0}}{V_{1.0}} \right) \right) \quad (2)$$

Hは風速の測定されている高さ[m]、V_{0.5}は0.5mの風速[m/s]、V_{1.0}は1mの風速[m/s]、V_Hは高さHmの風速[m/s]である。未知パラメータαを求めるため、i点における風速の設置高さをu_i^p、i点における高さ0.5mの風速の設置高さの解析値をH_i(α)とする。式(3)の評価関数が最小となるようなαを決定する。以上のことを行い、未知パラメータαを求めるとα=3.106となる。高さHmの風速を設置高さ0.5mの風速に変換するため、式(1)を入れ替えると式(4)になる。設置高さ1mの場合も同様に、設置高さ1mの風速に変換を行うため式(2)を基に、未知パラメータαを求めるとα=3.790となり、1mの風速の変換式を式(5)とする。

評価関数

$$J = \min_{\alpha} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^n \{ u_i^p - H_i(\alpha) \}^2 \quad (3)$$

高さ0.5mの風速の変換式

$$V_{0.5} = V_H \times \frac{3.106}{\ln(H/0.5) + 3.106} \quad (4)$$

高さ1mの風速の変換式

$$V_1 = V_H \times \frac{3.790}{\ln(H/1.0) + 3.790} \quad (5)$$

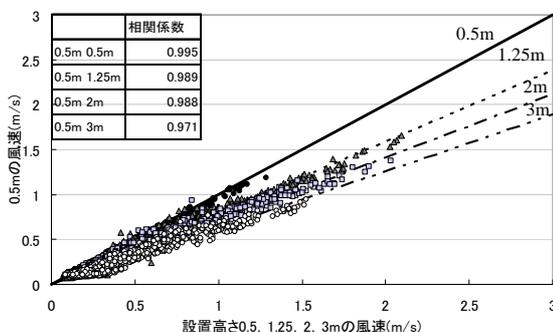


図-2 風速の関係(設置高さ0.5m)

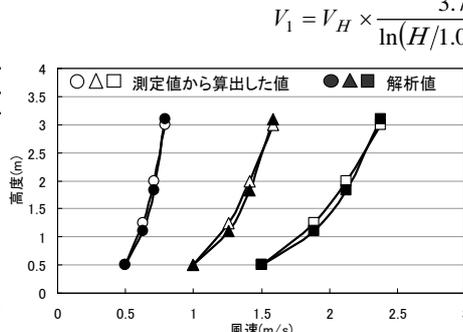


図-3 風速の関係

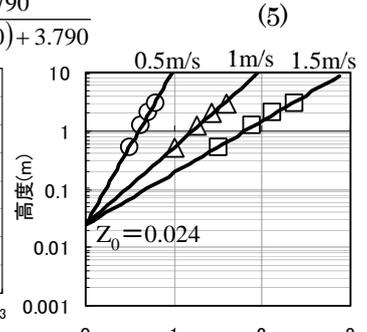


図-4 舗装表面の粗度

キーワード：熱伝達率、顕熱輸送量、3次元超音波風速計、密粒度舗装、風速
 連絡先：〒171-0021 東京都豊島区西池袋1丁目11番1号、TEL：03(5396)7249、FAX：03(5949)2795

4. 風速の変換式の比較

式(4)(5)と、気象に関する研究が非常に優れている近藤らが提案している風速の変換式(6)がどのような値となるか比較を行なった。

近藤の風速の変換式¹⁾

$$V_B = V_H \times \frac{\ln(H_B/Z_0)}{\ln(H/Z_0)} \quad (6)$$

V_B は求めたい高さの風速[m/s], H_B は求めたい高さ[m], Z_0 は地表面の粗度である。近藤の式は求めたい位置の高さの風速に変換することができ、便利な式であるが、粗度を求めないと使用することが出来ないのが難点である。

東京の気象庁データの平成19年7月1日~30日の1ヶ月間の風速を用いた。気象庁データの風速は、 $H=10m$ と仮定する。 V_H =気象庁データの風速、 $H_B=0.5m, 1m$ とする。近藤の式は地表面付近の粗度を使用するため、鳩山計測サイトで測定した風速から粗度を求める。図-3の測定値から算出した値を対数グラフにしたのが図-4であり、同図の測定値を直線で結び舗装表面のほうに延長すると粗度 Z_0 が求まる。よって、粗度は $Z_0=0.024$ となった。1mのときも同様に粗度を求めると $Z_0=0.024$ となった。以上の値を、式(4)(5)(6)に代入し、相関図を描くと図-5、6のようになる。0.5m, 1m両者の提案式、近藤の式は共に非常に良く一致していることが明らかである。よって、今回提案した風速の変換式は信頼性があると考えられる。

5. 実測温度と風速を変換した解析値の比較

温度解析を行うとき、高さ何mの風速を使用するのが、一番精度が良いのか検討を行う。風速は、鳩山計測サイトで測定している3.5mの風速と、3.5mの風速を風速の提案式(4)(5)から設置高さ0.5m, 1mの風速をそれぞれ求め、3パターンの風速を用いて温度解析を行い、実測温度と比較を行う。解析に使用した気象データは鳩山計測サイトで計測したデータである。解析対象の舗装の層厚と熱特性値を表-1②に記す。また、測定値と解析値の誤差評価式を以下のように示す。

表-2 誤差評価

設置高さ	評価値
0.5m	0.066
1m	0.048
3.5m	0.051

$$\text{誤差評価式} = \sqrt{\frac{\sum \{(\text{測定値} - \text{解析値}) / \text{測定値}\}^2}{n}} \quad (7)$$

n はデータ数である。式(7)から誤差を計算した結果を表-2に示す。同表から設置高さ1mの風速を用いて解析を行うのが一番良いことが明らかになった。

6. 気象庁データの風速を変換した解析値の比較

気象庁で測定している風速は、温度解析を行うときに風速を変換する必要がある。5.で設置高さ1mの風速を用いるのが良いことが明らかになったので、気象庁データの風速を、風速の提案式(5)で設置高さ1mの風速に

変換をして、風速の変換前と変換後の解析を行い、解析温度の差の比較を行った。表-1①の解析条件で温度解析を行ない、解析結果を図-7に示す。

同図から、風速を変換する前後では、大きく舗装表面温度に差があることがわかる。夜間は舗装表面温度の差が最高で1.1℃とあまり変化はないが、昼間は風速を変換して解析を行ったほうが舗装表面温度は高い。8月6日の舗装表面温度は風速変換前では53.7℃に対し、風速変換後は58.1℃で、4、5℃の温度差がある。実際の舗装表面温度は、夏場では60℃を超えることもあるので、風速を変換して解析を行ったほうが良い。

7. まとめ

本研究は冬期と夏期で実験を行い、風速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)温度解析を行うときに、設置高さ1mの風速を用いるのが一番良い。
- (2)気象庁データの風速を高さ1mの風速に変換すると、舗装表面温度は5℃近く異なることがわかった。また、風速を変換して解析を行った舗装表面温度は、60℃近くになるので、気象庁データで温度解析を行う場合、風速を変換したほうが良いことが明らかになった。

参考文献

- 1) 福田裕子, 吉中保, 松井邦人: 数値シミュレーションに基づく密粒度及び遮熱性(灰)舗装の表面温度予測システムの構築, 舗装2008 Vol.43 No.4, pp3~8

表-1 熱特性値(気象庁データ)

	層	層厚 [m]	密度 [kg/m ³]	比熱 [J/kg·K]	熱伝導係数 [W/m·K]
気象庁 ①	1 (表・基層)	0.15	2350	900	1.1
	2 (路盤)	0.50	1800	1000	2.0
	3 (路床)	2.00	1800	1000	1.6
鳩山 ②	1 (表・基層)	0.25	2300	900	2.0
	2 (路盤)	0.35	1800	1000	1.5
	3 (路床)	3.00	1800	1000	1.6

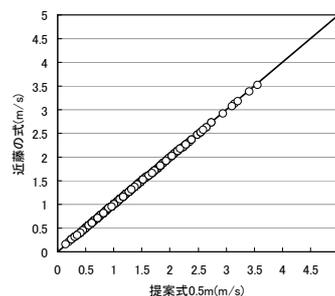


図-5 変換式の比較(0.5m)

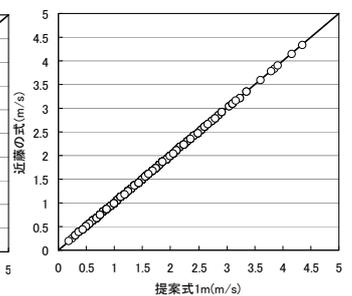


図-6 変換式の比較(1m)

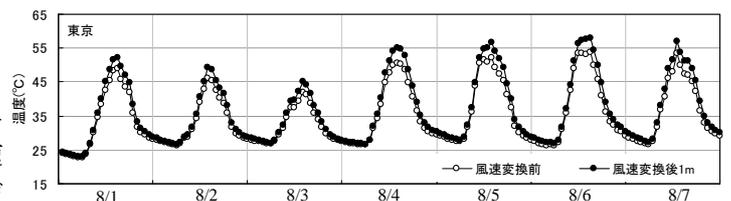


図-7 気象庁データ解析(風速の変換)