



研究報告



風環境評価のための三杯型風速計と超音波型風速計による統計量の差の検討 Discussion on Difference between 3 Cup and Ultrasonic Anemometers of the Obtained Statistical Values to be Used for Wind Environment Assessment

赤星明紀* ¹	猿川 明* ¹	佐々木亮治* ¹
Akinori AKAHOSHI	Akira SARUKAWA	Ryoji SASAKI
宮下康一* ¹	中村 修* ¹	植松 康* ²
Koichi MIYASHITA	Osamu NAKAMURA	Yasushi UEMATSU

SUMMARY

The criterion for wind environment assessment by Wind Engineering Institute Co., Ltd. is based on the relation between the mean wind speeds measured by 3 cup anemometers and the surrounding condition. Recently, ultrasonic anemometers with lower cost and higher performance has become popular and taken place of 3 cup anemometers; 3-cup anemometers respond to the wind speed change slowly for lower wind speeds while they tend to over-rotate for higher wind speeds due to the effect of inertia force. Considering this circumstances, the present paper investigates the difference between 3 cup anemometer and ultrasonic anemometer for the measured values. Based on the results, we propose a correction method for converting the measured values by 3 cup anemometers to those by ultrasonic anemometers.

key words: wind environment assessment, 3cup anemometer, ultrasonic anemometer, turbulence intensity, wind observation

1. はじめに

環境アセスメント等の風環境調査において、風工学研究所による風環境評価指標¹⁾(以下、風工評価指標)は、村上らによる風環境評価指標²⁾とともに、この数十年、広く用いられてきた。この風工評価指標は、機械式風速計の中ではビル風の観測に適しているといわれる三杯型風

速計(以下、三杯型)によって得られた平均風速と、風速計が設置されている場所の街並みとの関係を基に定められている。数十年前の風工評価指標提案時から現在にかけて、都市の状況は大きく変化した。特に都心部においては都市化が著しく進み、高さ100mを超える超高層建物が多く建ち並ぶようになり、ビル風は以前にも増し

*1 株式会社風工学研究所

Wind Engineering Institute, Co., Ltd.

*2 東北大学大学院 工学研究科 都市・建築学専攻 教授

Professor, Department of Architecture and Building Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University

(原稿受理年月日: 2017年9月22日, 採用決定年月日: 2018年5月10日)

て社会問題として取り扱われるようになってきた。人々の風に対する意識も変化してきていると考えられる。また、用いられる風速計も変化してきた。乱流中における応答の遅れや回り過ぎを古くから指摘されてきた三杯型に替わって、高性能化、低価格化した超音波型風向風速計（以下、超音波型）の利用が増加している。著者らは、こうした背景を考慮し、風の乱れの影響を考慮した新たな風環境評価指標について検討を進めている。その際、課題になるのは乱流中における三杯型と超音波型による統計量の差である。本報告では、この課題に関する調査結果を示すとともに、三杯型の値を超音波型の値に補正する式を提案する。これを用いれば、超音波型の値を三杯型に変換することも可能である。

なお、本報告は既往の研究³⁾に、三杯型と超音波型の最大瞬間風速、ガストファクター、乱れの強さ、ピークファクターについての差、および矢羽型と超音波型の風向の差と、それらの補正方法に関する検討を加え、平均風速の補正式についても、再検討を行ったものである。

2. 三杯型と超音波型による統計量の比較

2. 1 観測概要

既往の研究（例えば石原ら⁴⁾）によれば、三杯型による平均風速が超音波型に比べて1割程度高めに評価されるということが報告されている。しかし、この結果は比較的風の乱れの小さい場所での観測値に基づくものであり、風環境調査が多く行われる、超高層建物の建つ都市部地表面付近のような、風の乱れが大きくなりうる場所で両者を比較した例は少ない。そこで、本報告では都市部の複数地点に超音波型と三杯型を併設し、各統計量の差を調査した結果を示す。なお、風の乱れの小さい海岸付近に設置した観測点や屋上に設置した観測点も、都市部地表面付近の値と比較するため、解析対象に含めている。

用いた三杯型は牧野応用測器研究所（現石川産業（株））製の強風型と汎用型である。三杯型の風速に対応する風向は矢羽型風向計（以下、矢羽型）で観測しており、同じく牧野応用測器研究所製の強風型と汎用型である。超音波型については、世界気象機関（WMO）および気象庁が推奨する観測方法に則った4Hz サンプリングに対応し、計測エラーも少ない機種の一つであるヴァイサラ（株）製のWMT700を用いた。各測器の外観と仕様を図1および表1に、解析対象とした観測点を表2に示す。三杯型と超音波型は、直近の構造物等の影響をなるべく受けないうような場所に、水平方向に50cm程度離れたうえで同じ高さに設置した（図2参照）。観測方法はWMOの基準

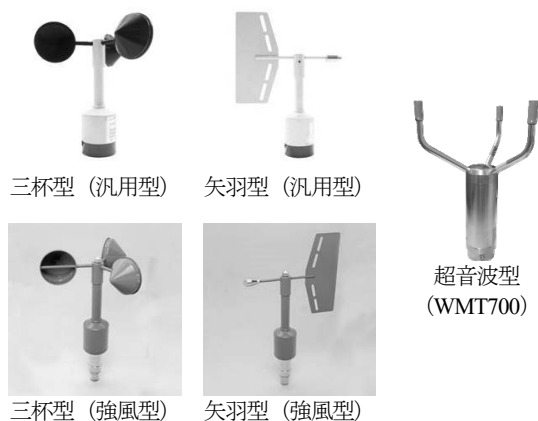


図1 各測器の外観

Fig. 1 Appearance of each anemometer and anemoscope

表1 各測器の仕様

Table 1 Specification of each anemometer and anemoscope

	測定範囲 (m/s)	サンプリング数	距離定数 応答時間
三杯型 (汎用型)	0.4~40	1 Hz	3.5 m
矢羽型 (汎用型)	0.4~40	1 Hz	2.5 m
三杯型 (強風型)	0.6~60	1 Hz	5.1 m
矢羽型 (強風型)	0.6~60	1 Hz	3.5 m
超音波型 (WMT700)	0~65	4 Hz	0.25 s

表2 解析対象の観測点 (汎：汎用型, 強：強風型)

Table 2 Outline of each observation point

No.	型	地表面粗 度区分 ⁵⁾	観測 高さ(m)	解析 期間	期間平均風速 (m/s)	
					超音波型	三杯型
1	強	III	54 ^{※1}	H27.1~ H27.12	2.61	3.11
2	汎	III~IV	5	H27.1~ H27.12	0.96	1.24
3	汎	III~IV	3	H27.1~ H27.12	1.51	1.63
4	汎	III~IV	5	H27.1~ H27.12	1.34	1.53
5	強	III	5	H26.3~ H27.1	0.98	1.33
6	強	III	4	H26.1~ H26.12	0.91	1.22
7	汎	IV	5	H25.4~ H26.3	0.74	0.87
8	強	II	6.5 ^{※2}	H27.1~ H27.12	5.65	5.96
9	汎	III	5	H27.1~ H27.12	0.99	1.19
10	汎	III	3	H27.4~ H28.3	1.77	2.02
11	汎	III	3	H27.4~ H28.3	1.08	1.33
12	汎	III	3	H27.4~ H28.3	0.94	1.07
13	汎	III	3	H27.4~ H28.3	0.90	1.05
14	汎	III	3	H27.4~ H28.3	0.75	0.80

※1 建物屋上に設置されている ※2 超音波型は5.5mに設置されている



図2 観測点の設置状況
Fig. 2 Situation of observation point

に依り、風速については瞬間風速を平均化時間 3 秒の移動平均値とし、平均風速、最大瞬間風速を 10 分間における値で整理した。また、平均化はスカラー平均で行っている。風向については、16 風向を出力する矢羽型は 1Hz の風向をそのまま瞬間風向とし、角度 (°) を出力する超音波型は、単位ベクトル法で 3 秒移動平均して求めた瞬間風向 (°) を 16 風向に変換した。

2. 2 各統計量の比較

図 3 は、都市部に設置された比較的乱れの大きい観測点 No.4 と、地方の海岸に設置された比較的乱れの小さい観測点 No.8 において、解析期間における三杯型と超音波型による平均風速、最大瞬間風速、乱れの強さ、ガストファクター、ピークファクターを比較したものである。

まず観測点 No.4 (図 3(a)) について述べる。平均風速について見てみると、平均風速が約 1 m/s 以上の範囲 (図中点線より右側) においては、三杯型の方が超音波型に比べて風速が高めであることが確認できる。一方、平均風速約 1 m/s 以下の弱風時においては、超音波型の方が高めである。これは、強風時には三杯型の回り過ぎによる影響が強く表れ、一方、弱風時には三杯型の応答の遅れによる影響が表れた結果と考えられる。最大瞬間風速についても同様の傾向があるが、平均風速に比べると、両者の差は小さい。乱れの強さについては、乱れの強さが大きい範囲において、三杯型の値が超音波型の値に比べて大きく、ばらつきも大きい。これは三杯型が弱風に応答せず、平均風速が低くなってしまふことに起因すると考えられる。それ以外の範囲においては、超音波型の値の方が大きいように見受けられる。ガストファクターについては乱れの強さと同様の傾向が見られる。ピークファクターについては、ばらつきは見られるものの、平均的には両者はよく対応しているように見える。

次に観測点 No.8 (図 3(b)) について見てみると、平均風速、最大瞬間風速、乱れの強さ、ガストファクター、ピークファクターともに、三杯型と超音波型の値の差は、

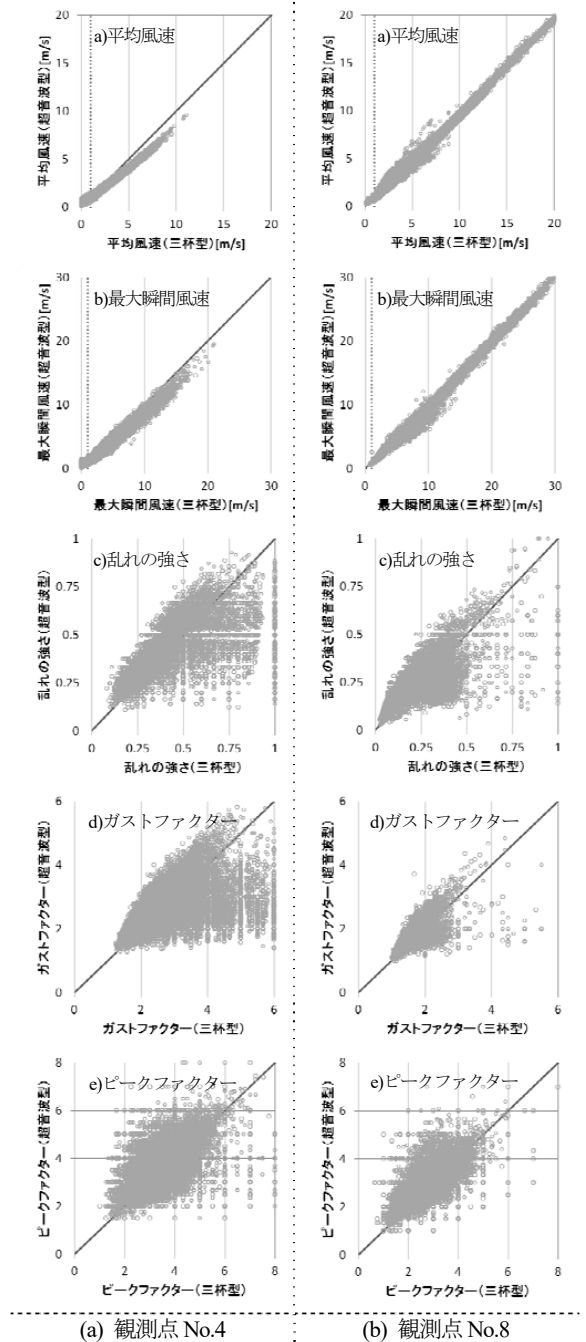


図3 観測点 No.4, No.8 における三杯型と超音波型の平均風速、最大瞬間風速、乱れの強さ、ガストファクター、ピークファクターの比較

Fig. 3 Comparison for mean wind speed, maximum instantaneous wind speed, turbulence intensity, gust factor and peak factor between 3-cup anemometers and ultrasonic anemometers at observation points No.4 and No.8

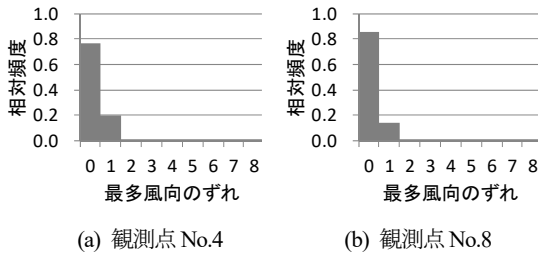
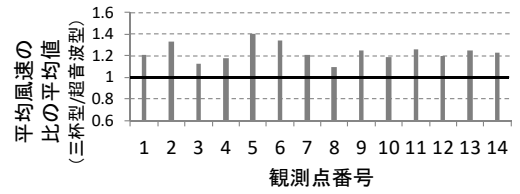


図4 観測点 No.4, No.8における, 矢羽型と超音波型の
最多風向のずれの相対頻度

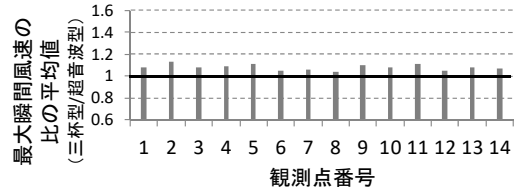
Fig.4 Relative frequency of the difference in the most frequent
wind direction between anemoscope and ultrasonic
anemometer at observation points No.4 and No.8

観測点 No.4 と比較すると小さい。図 4 は, 観測点 No.4, No.8 における矢羽型と超音波型の最多風向 (16 風向) のずれの相対頻度を示す。図 4 を見ると, 観測点 No.4 については, 風向のずれが 0, すなわち矢羽型と超音波型で最多風向が一致するのが 8 割弱, 1 風向のずれが 2 割程度となっている。一方観測点 No.8 について見てみると, 風向が一致する割合は 8 割強, 1 風向ずれる割合は 1 割強であり, 観測点 No.8 の方が若干風向の対応はよいが, どちらの観測点でも, 矢羽型と超音波型で風向のずれは小さい。

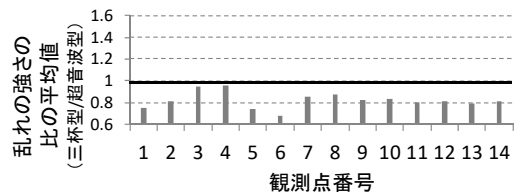
図 5 に, 観測点 No.1~14 について, 超音波型の平均風速が 1 m/s 以上の場合における, 平均風速, 最大瞬間風速, 乱れの強さ, ガストファクター, ピークファクターの比 (三杯型/超音波型) の平均値を示す。まず, 平均風速 (図 5(a)) について見てみると, 観測点 No.8 の値は 1.09 であり, 石原ら⁴⁾の示した値に近い。一方, 都市部地表面付近の観測点 No.2~7 の平均値は約 1.26 であり, 特に観測点 No.5 の値は 1.40 と大きい。観測点 No.5 は, 他の観測点と比較して建物壁面に近接して設置されており, かつ弱風域であることから, 特に乱れの強い環境にあると思われる。郊外に設置した観測点 No.9~No.14 については, 1.2 程度の値を示している。一方, 最大瞬間風速 (図 5(b)) については, 平均風速と比較すると, どの観測点においても比が 1 に近く, 最大でも 1.1 程度である。これは, 慣性による回り過ぎの影響が比較的長周期の減速時に大きくなるため, 平均化時間の短い瞬間風速はその影響を受けにくいことが理由であると考えられる。乱れの強さ, ガストファクター, ピークファクター (図 5(c)~(e)) については, いずれも比が 1 を下回っており, 超音波型の値の方が大きい。乱れの強さとガストファクターに関する比の平均値については, 平均風速の比の平均値が大きい観測点において小さな値を示す傾向にある。ピークフ



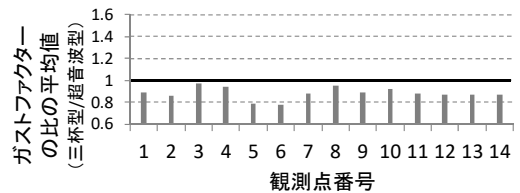
(a) 平均風速の比



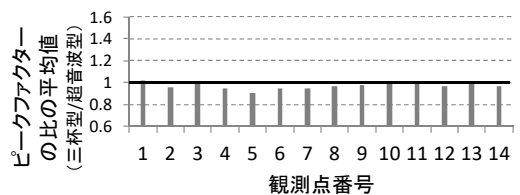
(b) 最大瞬間風速の比



(c) 乱れの強さの比



(d) ガストファクターの比



(e) ピークファクターの比

図 5 各観測点における三杯型と超音波型による平均風速, 最大瞬間風速, 乱れの強さ, ガストファクター, ピークファクターの比の平均値 (超音波型の平均風速 1m/s 以上)

Fig. 5 Ratio of the value by 3-cup anemometers to that by ultrasonic anemometers for mean wind speed, maximum instantaneous wind speed, turbulence intensity and peak factor (In the case where the mean wind speed observed by ultrasonic anemometers is larger than or equal to 1m/s)

ャクターについても同様であるが、乱れの強さやガストファクターに比べると比は 1 に近く、三杯型と超音波型で大きな差は見られない。

図 6 は、各観測点において矢羽型と超音波型の最多風向のずれが 1 以下である割合を示したものであるが、全観測点において、80~90%以上の値を示している。図 7 は、式(1)で定義した風向変動について、矢羽型と超音波型の比の平均値を示したものである。観測点 No.1 と No.3 においては 1.1~1.2 と比較的大きな値を示しているが、それ以外の観測点においては 1 に近く、両者の差は小さい。これは、矢羽型は三杯型とは異なり、風が吹く方向に静止するという機構であり、回り過ぎの影響が小さいことや、16 風向で整理したため応答の差が見えにくくなったことが理由であると考えられる。観測点 No.1 と No.3 の比が大きくなった理由について、前述のとおり各センサーは直近の障害物の影響がないよう留意して設置しているものの、No.1 においては、矢羽型に対して発生頻度の高い風向の向きにある支持ポールの影響を受けていることが考えられ、No.3 においては、矢羽型の近くにある樹木の影響を受けていることが考えられる。

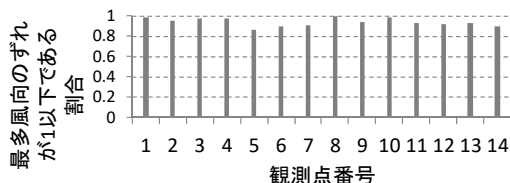


図 6 各観測点において矢羽型と超音波型による最多風向のずれが 1 以下である割合

Fig.6 Ratio of the case where the difference in wind direction between anemoscope and ultrasonic anemometer is less than or equal to 1

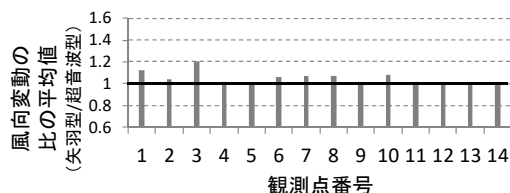


図 7 各観測点における矢羽型と超音波型による風向変動の比の平均値 (超音波型の平均風速が 1m/s 以上)

Fig. 7 Ratio of the σ_{dir} value by anemoscopes to that by ultrasonic anemometers (In the case where the mean wind speed observed by ultrasonic anemometers is larger than or equal to 1m/s)

$$\sigma_{dir} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i}{N}} \quad (1)$$

ここに、

- σ_{dir} : 風向変動
- α_i : 風向ベクトルの平均風向との偏角 (°) (※3)
- N : データ個数

※3 矢羽型、超音波型の瞬間風向は 16 風向を角度 (°) に変換して計算

3. 三杯型の統計量を超音波型の値に補正する方法

3. 1 各統計量の補正式の提案

前述した三杯型と超音波型による各統計量の差は、乱れの強さに関連していると考えられる。したがって、乱れの強さを用いて各統計量を補正することが考えられるが、図 5 で示した通り、乱れの強さについても三杯型と超音波型とで差が生じていることから、乱れの強さ自身が補正の対象であり、補正式の説明変数として用いるのは適切ではない。そこで、図 7 の通り矢羽型と超音波型で風向変動の差が比較的小さいことに着目し、風向変動を用いて各統計量を補正することを考える。また、Kristensen⁹⁾は三杯型の回り過ぎに最も寄与するのは風直交方向の乱れ、すなわち風向変動であると指摘している。その理由として、風向変動によって引き起こされる回り過ぎの成分は、他の成分とは異なり三杯型の応答性によらず、設計によって改善できないこと等を説明している。

風向変動の平均値 (超音波型の平均風速 1m/s 以上) と三杯型と超音波型による各統計量の比の平均値 (超音波型/三杯型, 超音波型の平均風速 1m/s 以上) の関係を図 8 の●プロットで示す。なお横軸の風向変動は、三杯型による値を補正することを考えると、矢羽型の値を用いるべきであるが、矢羽型と超音波型による値がほぼ等しいこと、および観測点 No.1 と No.3 の風向変動が周囲の影響を受けて大きくなっていることを考慮し、超音波型による値を用いた。また、ピークファクターについては三杯型と超音波型の差が小さいので補正の対象外とした。

図 8 を見ると、平均風速および最大瞬間風速の比の平均値 (図 8(a), (b)) については、風向変動が大きくなるにつれて小さくなる傾向が見られる。一方、乱れの強さの比の平均値 (図 8(c)) は、風向変動とともに大きくなる傾向が見られ、ばらつきが大きい。ガストファクター (図 8(d)) についても、風向変動とともに値が大きくなり、乱れの強さほどではないが、ばらつきが大きい。乱れの強さとガストファクターについては、図 5 で示したように平均風速の比の平均値との相関がみられるため、

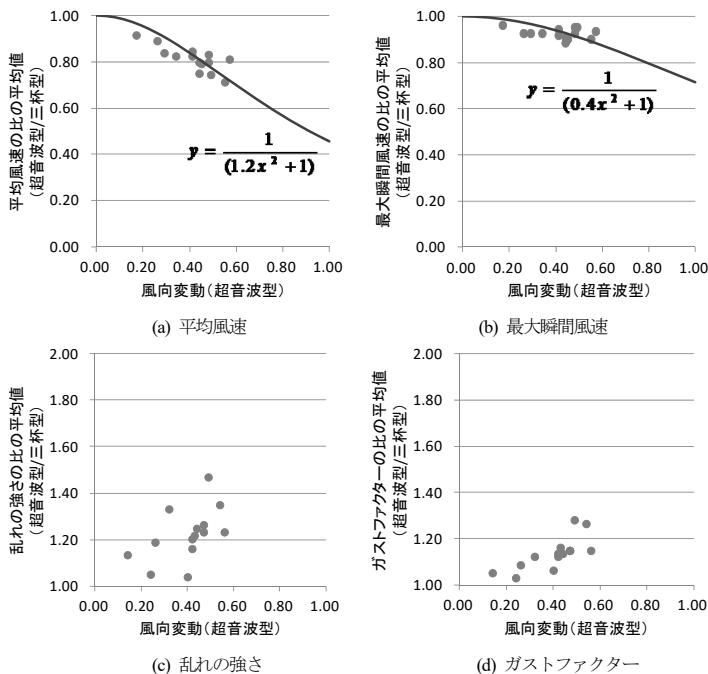


図8 平均風速，最大瞬間風速，乱れの強さ，ガストファクターの比の平均値と風向変動の関係

Fig. 8 Dependence of the ratio for the mean wind speed, maximum instantaneous wind speed, turbulence intensity and gust factor on the wind direction fluctuation

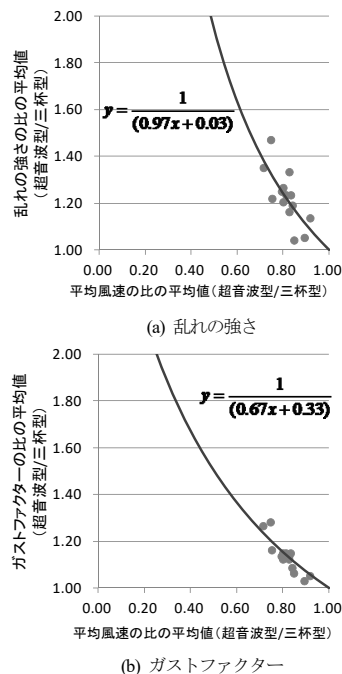


図9 乱れの強さ，ガストファクターの比の平均値と平均風速の比の平均値の関係

Fig. 9 Dependence of the ratio for the turbulence intensity and gust factor on the mean wind speed ratio

風向変動ではなく平均風速の比の平均値との関係を見た結果，図9の●プロットのようになる。図8に比べるとばらつきが小さくなっている。

次に，●プロットで示した関係の定式化を試みる。近藤⁷⁾によれば，野外における風速 U と三杯型の観測値 U_3 との関係は式(2)に示す運動方程式で表され，この式に乱れの成分を与えることにより，三杯型による平均風速と実際の平均風速の比は式(3)で表される。式(3)は，平均風速の比が風方向の乱れの強さ（時定数の6倍の観測時間における値）の2乗に比例することを示している。ここでは，風向変動が風速の重みづけをしない風直交方向の乱れの強さに相当することを考慮し，風向変動との関係についても同様に2乗に比例する形で表されると仮定する。平均風速，最大瞬間風速について，式(3)の乱れの強さを風向変動に置き換えた関数で，●プロットの近似曲線を描いた結果を図8に示す。この近似曲線の式は，式(4)，式(5)に示す通りであり，これらの式を，三杯型による値を超音波型による値に補正する補正係数の式として提案する。ガストファクターについては，式(4)，(5)の式変形で得られる式(6)を補正式とし，その曲線は図9に示

す通りで，●プロットとよく対応している。乱れの強さについては，ガストファクターと同形の関数で●プロットを近似した式(7)を補正式とし，その曲線を図9に示す。三杯型による各統計量を補正するには，矢羽型の風向変動を用いて，式(4)～(7)で得られる補正係数を各統計量に乘じる。また，超音波型による各統計量を三杯型の値に逆変換する際は，式(4)～(7)の補正係数を逆数にすることで得られる式(8)～(11)で求まる変換係数を，超音波型の風向変動より求めて，各統計量に乘じる。

$$\frac{dU_3}{dt} = -\frac{U}{d} \{ (1+\gamma)U_3 - U \} + \frac{\gamma}{d} U_3^2 \quad (2)$$

ここに，

$$\gamma = \left\{ 1.16 \left(\frac{V_c}{U} \right) \right\}^2$$

- U_3 : 三杯型による風速の観測値 (m/s)
- U : 風速 (m/s)
- d : 距離定数 (m)
- V_c : 三杯型の回転軸周りのカップ回転速度 (定常状態) (m/s)

$$\frac{\overline{U_3}}{\overline{U}} = 1 + A \left(\frac{\sigma_u}{\overline{U}} \right)^2 \quad (3)$$

ここに、

$\overline{U_3}$: 三杯型による平均風速の観測値 (m/s)

\overline{U} : 平均風速 (m/s)

A : 比例定数

σ_u : 時定数の6倍の観測時間における風方向変動風速の標準偏差 (m/s)

$$\varepsilon_{mean} = \frac{1}{(1.2\sigma_{dir}^2 + 1)} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{(0.4\sigma_{dir}^2 + 1)} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{gf} = \frac{1}{(0.67\varepsilon_{mean} + 0.33)} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{ii} = \frac{1}{(0.97\varepsilon_{mean} + 0.03)} \quad (7)$$

ここに、

ε_{mean} : 平均風速の補正係数

ε_{max} : 最大瞬間風速の補正係数

ε_{gf} : ガストファクターの補正係数

ε_{ii} : 乱れの強さの補正係数

σ_{dir} : 矢羽型による風向変動の平均値

ただし、すべて平均風速 1m/s 以上の場合の値

$$\varepsilon'_{mean} = 1.2\sigma_{dir}'^2 + 1 \quad (8)$$

$$\varepsilon'_{max} = 0.4\sigma_{dir}'^2 + 1 \quad (9)$$

$$\varepsilon'_{gf} = 0.67 \frac{1}{\varepsilon'_{mean}} + 0.33 \quad (10)$$

$$\varepsilon'_{ii} = 0.97 \frac{1}{\varepsilon'_{mean}} + 0.03 \quad (11)$$

ここに、

ε'_{mean} : 平均風速の変換係数

ε'_{max} : 最大瞬間風速の変換係数

ε'_{gf} : ガストファクターの変換係数

ε'_{ii} : 乱れの強さの変換係数

σ_{dir}' : 超音波型による風向変動の平均値

ただし、すべて平均風速 1m/s 以上の場合の値

3. 2 補正式の精度検証

式(4)~(7)で定義した補正式の精度を検証するため、表 2 には含まれない、三杯型と超音波型を併設している 3 つの観測点 A, B, C において、補正前後の三杯型による値と超音波型による値を比較する。三杯型の補正前後および超音波型による値について、図 10 に平均風速の累積頻度曲線を、図 11 に日最大瞬間風速の超過確率曲線を示す。なお、三杯型による値の補正は、式(4), (5)を用いて得られた補正係数を、各累積頻度 (5%間隔, 超過確率 (1%間隔) に対応する風速の値に乗じて行った。また、ガストファクターおよび乱れの強さについて、期間平均値 (平均風速 1m/s 以上) を補正前後の三杯型と超音波型で比較した結果を表 3 に示す。表 4 は、各測定点の補正前後の三杯型と、超音波型の各統計量に関する相対誤差を示したものである。ここで示す相対誤差は、平均風速については各累積頻度に対応する風速値を、日最大瞬間風速については各超過確率に対応する風速値を用いて、 $\{ | \text{三杯型による風速} - \text{超音波型による風速} | / \text{超音波型による風速} \}$ の平均値) を求めたものであり、乱れの強さ、ガストファクターについては、表 3 に示す値を用いて、 $\{ | \text{三杯型による値} - \text{超音波型による値} | / \text{超音波型による値} \}$ を求めたものである。

図 10 の平均風速の累積頻度曲線を見ると、補正前の三杯型と超音波型の曲線には差が見られるが、補正することにより、超音波型の曲線に三杯型の曲線が近づいていることが確認できる。観測点 A の 0~2m/s の風速範囲においては、補正後の三杯型による値と超音波型による値の間にも差が見られ、このことは補正值に風速依存性があることを示していると考えられるが、全体的には補正前と比較すると超音波型による値に近づいており、明らかに補正の効果が確認される。また、風環境評価に必要な累積頻度 55%, 95%の値については、補正後の三杯型による値と超音波型による値はよく対応している。表 4 に示す平均風速の相対誤差については、補正により 0.1 程度小さくなっていることが確認できる。

図 11 の日最大瞬間風速の超過確率については、補正前の三杯型による値と超音波型による値の差は比較的小さいが、表 4 に示した日最大瞬間風速についての相対誤差を見てみると、補正前より補正後の方が小さく、補正の効果が確認できる。ガストファクター、乱れの強さについても同様である。以上より、補正式は、風速依存性の課題はあるものの、高い精度を有していることが確認できた。また、このことは、式(8)~(11)の変換式の精度も高いことを示している。

表3 補正式の検証に用いた観測点の概要と風向変動, ガストファクターと乱れの強さの平均値

Table 3 Outline of each observation point, mean wind direction fluctuation, mean gust factor and mean turbulence intensity of each observation point for verification of correction formula

観測点	観測高さ	観測期間	風向変動の 平均値	ガストファクターの平均値			乱れの強さの平均値		
				超音波型	三杯型 (補正前)	三杯型 (補正後)	超音波型	三杯型 (補正前)	三杯型 (補正後)
A (汎)	3m	2016/2~ 2017/1	0.28	1.97	1.83	1.95	0.31	0.27	0.30
B (汎)	3m		0.46	2.70	2.31	2.67	0.49	0.40	0.50
C (強)	250m		0.34	1.79	1.61	1.75	0.33	0.25	0.29

表4 補正前後の三杯型と超音波型の各統計量の相対誤差

Table 4 Relative error of each statistic of ultrasonic anemometers, 3-cup anemometers corrected and uncorrected

観測点	平均風速		日最大瞬間風速		ガストファクター		乱れの強さ	
	補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後
A	0.18	0.08	0.074	0.043	0.071	0.010	0.129	0.032
B	0.19	0.05	0.050	0.034	0.144	0.011	0.184	0.020
C	0.13	0.05	0.025	0.021	0.101	0.022	0.242	0.121

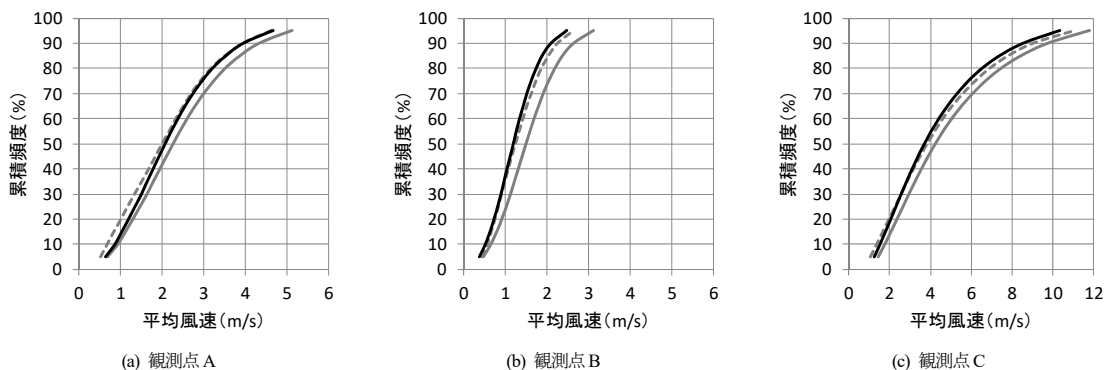


図10 補正前後の三杯型と超音波型の平均風速の累積頻度曲線の比較

(灰色実線: 三杯型 (補正前), 黒色実線: 三杯型 (補正後), 点線: 超音波型)

Fig. 10 Comparison for cumulative frequency curve of mean wind speed between ultrasonic anemometers, 3-cup anemometers corrected and uncorrected

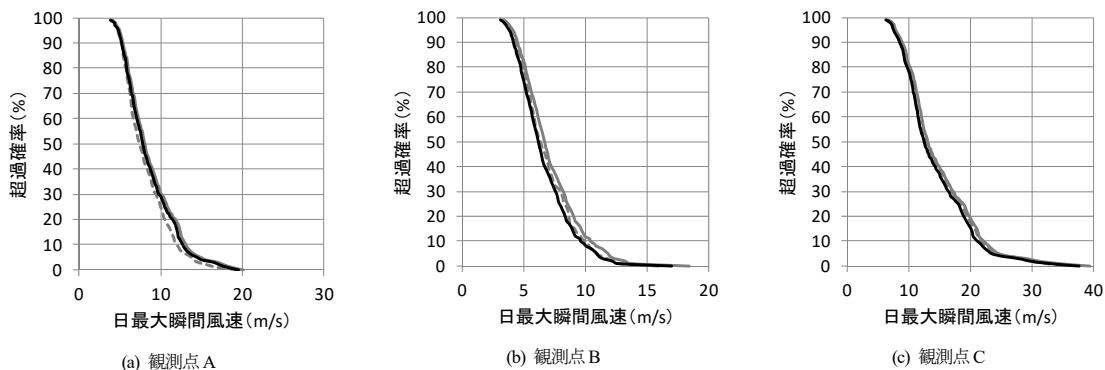


図11 補正前後の三杯型と超音波型の日最大瞬間風速の超過確率曲線の比較

(灰色実線: 三杯型 (補正前), 黒色実線: 三杯型 (補正後), 点線: 超音波型)

Fig. 11 Comparison for exceeding probability curve of maximum instantaneous wind speed between ultrasonic anemometers, 3-cup anemometers corrected and uncorrected

4. まとめ

三杯型と超音波型の各統計量の比較を行い、両者の差を示すとともに、風向変動との関係を検討し、三杯型による値を超音波型による値に補正する補正式、およびその逆変換を可能とする変換式を提案した。また、提案した補正式および変換式の精度は、風速依存性についての課題はあるものの、高い精度を有していることを示した。

参考文献

- 1) 中村 修, 吉田 正昭, 横谷 恵二, 片桐 純治, 「市街地の風の性状—主に風速の累積頻度からの検討—」, 第9回風工学シンポジウム論文集, pp.73-78, (1986)
- 2) 村上 周三, 岩佐 義輝, 森川 泰成, 「居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究—市街地低層部における風の性状と風環境評価に関する研究-III—」 日本建築学会論文報告集, 第 325 号, pp.74-84, (1983)
- 3) 赤星 明紀, 下瀬 健一, 岸田 岳士, 植松 康, 義江 龍一郎, 「風環境評価のための三杯型風速計と超音波型風速計による平均風速の差の検討」, 第 24 回風工学シンポジウム論文集, pp.79-84, (2016)
- 4) 石原 孟, 由田 秀俊, 久保 悠也, 藤野 陽三, 「設計基本風速の新しい評価手法の提案と測器補正」, 第 17 回風工学シンポジウム, pp.7-12, (2002)
- 5) 日本建築学会, 「建築物荷重指針・同解説」, (2015)
- 6) Leif Kristensen, “Cup Anemometer Behavior in Turbulent Environments”, Journal of atmospheric and oceanic technology, volume 15, pp.5-17, (1998)
- 7) 近藤 純正, 「大気境界層の科学」, 東京堂出版, pp.83-92, (1982)