

簡易型ドップラーソーダによる風速分布の測定に関する基礎的検討

日大生産工(院) ○福田 剛志 日大生産工 山崎 憲
日大生産工 加川 幸雄(研究員) 福井大工学部 柴 凌伝

1. はじめに

数多くある自然エネルギーの中でも、風力エネルギーは、環境問題解決のために注目されているエネルギー源の1つである^[1]。風力発電設備の建設に際しては、風力エネルギーを評価することが必要である。このための風況調査は、風力発電の発電量を試算し、風力発電事業の採算性・事業化などの可能性を検証するための基礎となるデータを提供するものである。通常は、風杯型風速計と矢羽型風向計を備えた高度30m以上の鉄塔を設置して観測が行われる。しかし、風車プロペラの回転中心は数百kW級の地上30～50m高からMW級の60～70mへ移行しつつあり、鉄塔を用いた風況観測を行う場合、構造物の建設などに多大な費用が必要であり、風車建設の初期投資をさらに増大させる。また、風力発電に対しては、気象用ドップラーソーダに比べ低境階層200m未満の測定範囲で、短期間の設置や観測点の移動といった観点から重機が不要な小型、軽量可搬な高精度の測定システムが要求される¹⁾。鉄塔を用いない方法としてドップラーソーダを用いた方法が提案されている²⁾。現在実用化されているものは、パルス波を用いたドップラーソーダであるが、観測対象点と送受波器の距離を一定以上とる必要がある³⁾。また、必ずしも精度が十

分ではない。

筆者らは、上記の問題の解決のため連続正弦波を用いた短・中距離用簡易型ドップラーソーダについて検討を進めてきた。その結果、風向に対して順方向、逆方向のどちらから音波を発射しても風速測定が可能であることが分かった⁴⁾。また、送・受波器近傍の風の影響がある場合でも風速の測定が可能であることが分かった⁵⁾。しかし、風速分布を測定するにあたっての検討が不十分である。

そこで、本実験では簡易型ドップラーソーダによる風速分布の測定に関する基礎的検討を行った。

2. 風速の導出

風を速度を V とする。図1のように送、受波器を配置し、音源から周波数 f_t なる超音波を放射する。この際、超音波は速度 V で移動する微粒子に散乱反射するが、微粒子は $V \cos \theta_1$ なる速度で音源に近づき、同時に $V \cos \theta_1$ なる速度でマイクへも近づくから、ドップラー現象によりマイクの受音する周波数 f_r は(1)式となる。

$$f_r = \left(\frac{c + V \cos \theta_1}{c - V \cos \theta_2} \right) f_t \quad \cdots (1)$$

ここに、 c は静止した媒質中の音速である。これは2次元空間で考えた場合であり、実験

Basic study on Measurement of wind profile using simple type Doppler Sodar

Takashi FUKUDA, Ken YAMAZAKI, Yukio KAGAWA and Lingyun CHAI

では音源を θ_2 なる角度で傾けて超音波を放射した。したがって微粒子は $V \cos \theta_1 / \cos \theta_2$ なる速度で音源とマイクに近づく。すなわち(1)式は

$$f_r = \left(\frac{c + V \cos \theta_1 / \cos \theta_2}{c - V \cos \theta_1 / \cos \theta_2} \right) f_t \quad \dots (2)$$

となる。

ただし、 $c \gg V$ である。

次に、 $f_r - f_t$ をドップラーシフト Δf とい、(2)式は(3)式のようにあらわせる。

$$\Delta f = \left(\frac{2V \cos \theta_1}{c \cos \theta_2} \right) f_t \quad \dots (3)$$

(3)式より風速を求めると

$$V = \frac{\Delta f c \cos \theta_2}{2 \cos \theta_1 f_t} \quad \dots (4)$$

となる。

3. 実験方法

本実験における音源・マイク・送風機の装置図を図2に、測定点の位置を図3に示す。図3のように吹き出し口に測定点としてA～F点を設定し、各点から前方へ20cm、40cm、60cm、80cm、100cm、120cm、140cm、160cmの点をそれぞれ観測対象点とした。送波器には段付き振動板、ランジュバン振動子、エクスponentialホーンで構成された音源を用いた。受波器にはエレクトレットコンデンサーマイクロホンにホーンを併用したものを用いた。音源、マイクがシャープな指向性をもつのは前と同様である。観測対象点までの距離によって測定結果に差がでないように、音源とマイクの観測対象点までの距離をそれぞれ1m一定とし、風流源として地上から離れた位置に送風機1を設置し、 θ_2 の変化に応じ

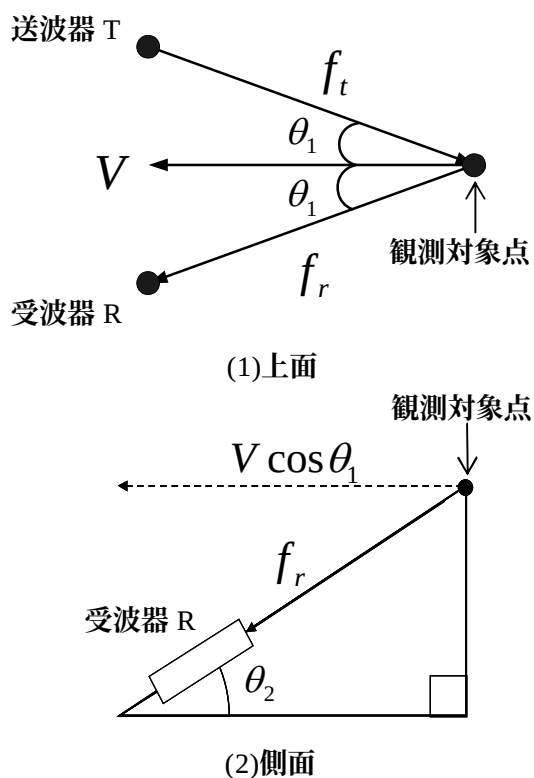


図1 ドップラー効果の原理

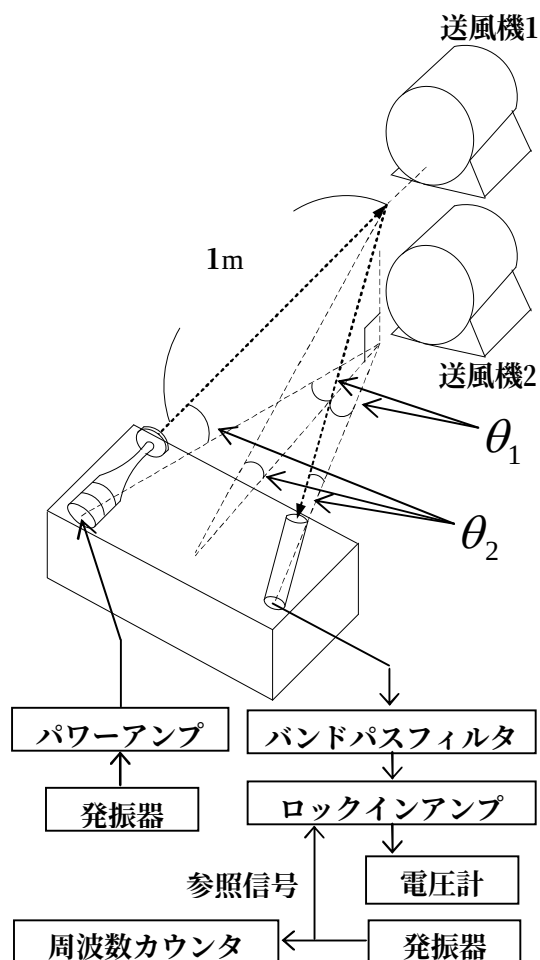


図2 測定装置

て送風機の高さを変化させた。また、地面から送風機 2 の羽の先端までの高さと同様に音源・マイクの高さを調節し、送風機 2 の風が音源・マイクに当たるように設置した。送風機の入力電圧を 20V、50V、80V とした。測対象点に向かって $f_t = 19.734\text{kHz}$ 一定の音波を音源から発射し、反射した音波をマイクで受音した。受音した音波をロックインアンプで発振器と同期させ、同期した周波数 f_r と送信周波数の差 Δf を求めた。 Δf を(4)式に代入して風速を求め、観測対象点と同じ位置に設置した市販の風速計による計測値と比較、検討を行った。

4. 結果

図4に送風機の入力電圧を80V一定とした場合の風速分布を示す。考案したソーダの値の場合と風速計の値の場合を比較すると風速分布はほぼ一致していることが分かる。図5に送風機の入力電圧を50V一定とした場合の風速分布を示す。考案したソーダの値の場合と風速計の値の場合を比較すると風速分布はほぼ一致していることが分かる。図6に送風機の入力電圧を20V一定とした場合の風速分布を示す。考案したソーダの値の場合と風速計の値の場合を比較すると風速分布はほぼ一致していることが分かる。これらのことより、連続正弦波を用いた短・中距離用簡易型ドップラーソーダは風速分布の測定に適用させることが可能であることが分かった。

5. まとめ

本実験では、観測鉄塔を用いない観測方法としてドップラーソーダによる風速測定に着目し、鋭い指向性を持つ送・受波器により、その交差点を観測対象点として連続

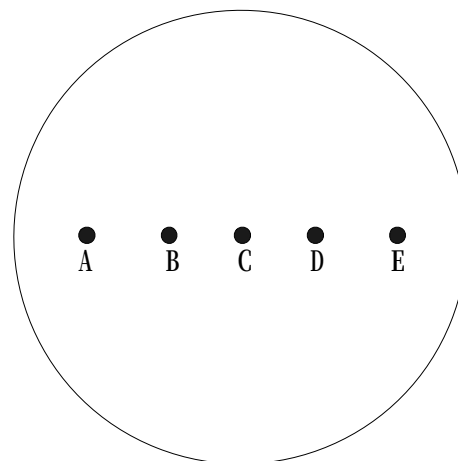
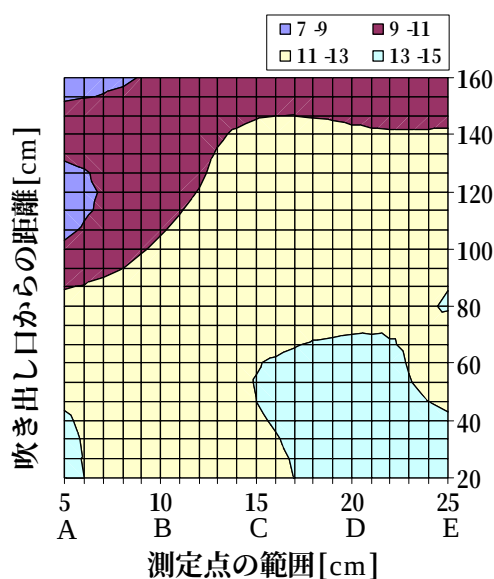
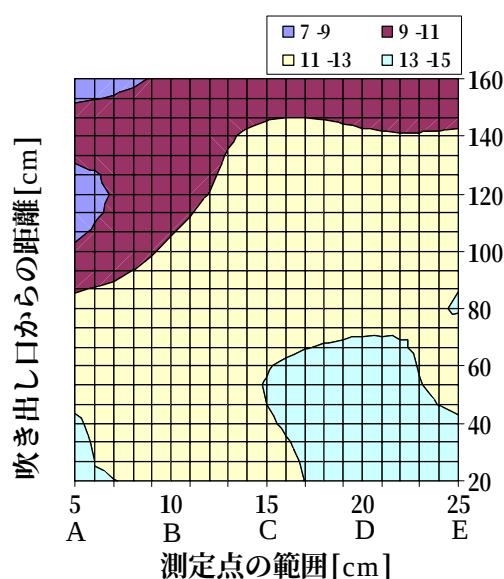


図3 測定点の位置



(1) 風速計の値による風速分布



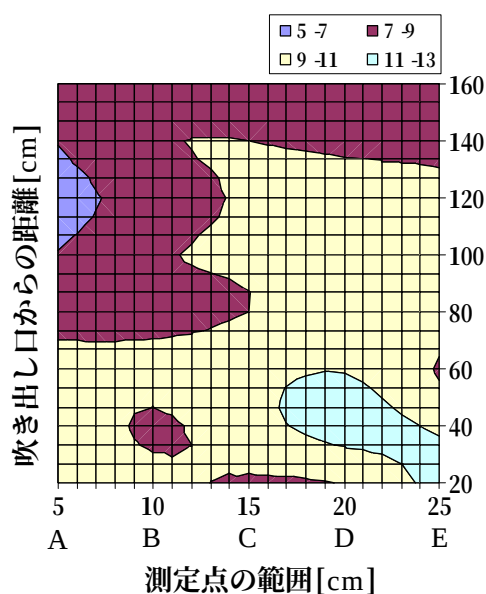
(2) 考案したソーダの値による風速分布

図4 入力電圧80V一定とした場合の風速分布

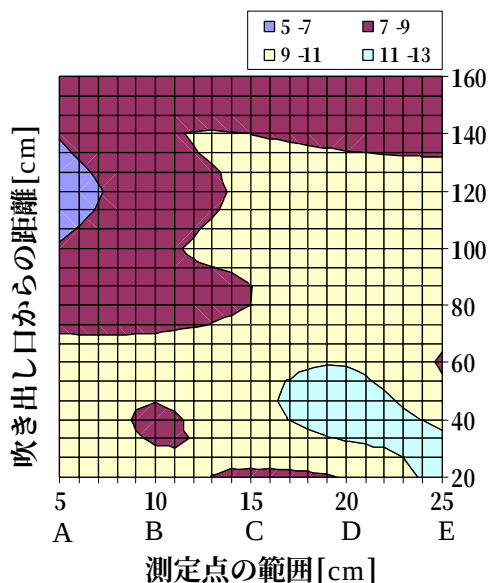
正弦波を用いるソーダを考案したが、ここでは、風速分布の測定に関する基礎的検討を行った。

その結果、考案したソーダでの風速分布の測定が可能であることが分かった。

今後は、数値シミュレーションや、外での測定による考案したソーダの有効性の検討を行うことが必要であると考えられる。

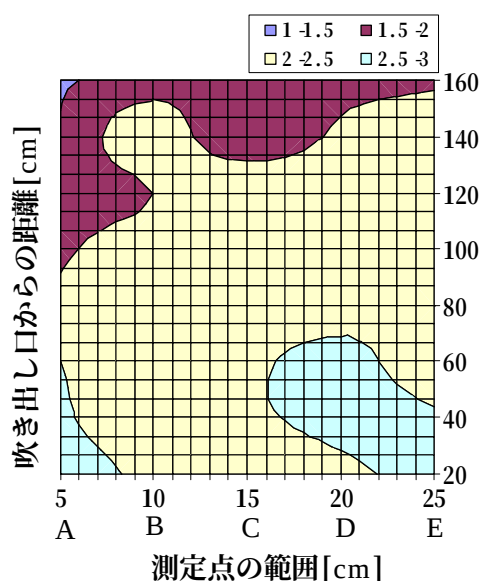


(1) 風速計の値による風速分布

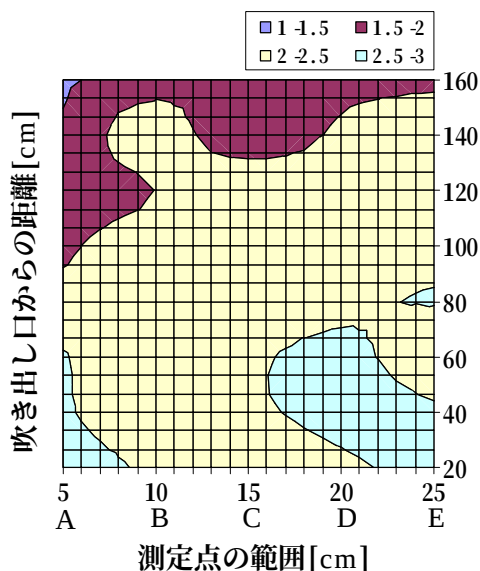


(2) 考案したソーダの値による風速分布

図5 入力電圧50V一定とした場合の風速分布



(1) 風速計の値による風速分布



(2) 考案したソーダの値による風速分布

図6 入力電圧20V一定とした場合の風速分布

「参考文献」

- 1) 柴田 康生、小松崎 勇一他 「風況調査用小型ドップラーソーダの開発」 大会講演予講集83号 (2003)
- 2) 林 農、劉 薇、佐々 浩司、原 豊「ミニドップラーソーダによる風況精査」 日本機械学会論文集(編)69巻688号 (2003)
- 3) 須田 健一、菅沼 信也、岩谷 祥美 他 「ドップラーソーダによる自然観測値に基づく風速プロファイルの推測に関して」 日本建築学会構造系論文集 550号 p.31-38 (2001)
- 4) 福田 剛志、山崎 憲、加川 幸雄、柴 凌伝 「風力発電立地調査のための簡易型ドップラーソーダの基礎的検討」 日本音響学会春季研究発表会講演論文集 (2007)
- 5) 福田 剛志、山崎 憲、加川 幸雄、柴 凌伝、渡邊 尚樹 「二層をなす風況下における風速測定について」 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集(2007)
- 6) 「流体計測法」 日本機械学会