ドローンによる高所風速の簡易計測方法に関する検討

岸垣 暢浩^a 伊地知 弘光^a 吉野 恵一^a 龍岡 照久^a

^a東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所

1. はじめに

現在, 大気環境に曝された電力設備の点検は, 主に人の目視で行っており, 送電鉄塔の場合は十数 m から百数十 m の高所へ人が昇って作業を行う必要がある。ただ, 日本国内では 2 m 以上の高所では労働安全衛生規則⁽¹⁾により 10 分間平均風速が 10 m/s 以上の強風の場合, 作業できない。

そのため作業前に, 地上での風速計測値や付近の樹木の枝や葉の動き等から上空の風速を推定しているが, 誤差が大きいという課題がある。また, 鉄塔上への風速計設置や, 地上へのドップラーソダ設置により, 正確な上空風速を把握する方法もあるがコストが大きく, 安価・簡便な上空風速の計測方法が求められている。

近年ますます高性能・低価格になってきたドローン (UAV: Unmanned Aerial Vehicles) へ各種センサを搭載し風速を把握する方法^(2,3)も検討されているが, ドローンのプロペラから生じる気流の影響を受けることがわかっている⁽³⁾。また, ドローン飛行時の時系列姿勢データから風向・風速を計算する方法⁽⁴⁻⁶⁾も提案されているが, フライトコントローラーから姿勢データを取得し, そこから風向・風速を計算する煩雑な手間を要する。

そこで, 筆者らはドローンと傾斜計を用いた, より簡便・安価な上空風速の計測方法を検討したので報告する。

2. 試験方法

2.1 上空風速の計測法

近年, 非常に高性能かつ低価格となってきたドローンは, GPS 信号に基づき自己位置を把握し, 一定位置に安定してホバリングしながら静止することが可能である。

Fig. 1 に風に対するドローンの傾きを示す。風のある状況では, 位置を維持するため機体を風上側へ傾けて風圧に対抗しつつ, ホバリングする。Fig. 2 にドローンへ搭載された傾斜計とカメラの概略図を示す。機体は風速の大きさに応じた角度で傾くため, ドローンのカメラ前方に設置した傾斜計を撮影し, その角度を読み取ることで

により, 風速を推定することが可能となる。

2.2 ドローンへの傾斜計設置

ドローンは, 送電鉄塔の高所作業前に上空風速を計測するために人が山間地まで徒歩で運搬することも考えられることから, できるだけ小型・軽量の機体が望ましい。一方, 10 m/s 程度までの風速を計測できることが望ましいが, 機体サイズは大きい方が耐風性能は高い傾向にある。そこで今回は両条件を勘案し, 今回は重量 1,368 g, 対角サイズ (プロペラを除く) 350mm の DJI PHANTOM 4 ADVANCED を使用することとした。

Fig. 3 にドローンへ設置された傾斜計とカメラの位置を示す。風速計測時の振動等により傾斜角度が安定しないことも予想されるため, 傾斜計の目盛りチューブ内に真鍮球の動きを抑制するダンピング液が充填された傾斜計を選定した。傾斜計の重量は 20g である。この傾斜計をドローン飛行制御用のセンサ等を遮らないようにカメラ前方に固定した。

2.3 試験用送風機

上空における機体傾斜角度から風速を計測するには, あらかじめ風速に対応した機体傾斜角度を実験により把握する必要がある。そこで, 先行研究⁽⁷⁾を参考に市販送風機を自然風の影響の無い屋内へ設置し試験を実施した。

Fig. 1. Drone attitude and tilt angle against wind pressure.

Fig. 2. Schematic diagram of inclinometer and camera installed in drone.

Study on a Wind Velocity Measurement Method at High Positions with Drones

Nobuhiro Kishigaki^a, Hiromitsu Ijichi^a, Keiichi Yoshino^a, Teruhisa Tatsuoka^a

^aR&D Dept. TEPCO Research Institute, Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

Fig. 3. Position of the installed inclinometer and camera.

Fig. 4. Wind velocity distribution on the line extending from the rotating shaft of the blower.

送風機は、日動工業株式会社製の DF-500CA（羽根径 500mm, 最大風速 12.2m/s, 最大風量 150m³/min）を使用した。この送風機を幅 12.8 m, 長さ 20.6 m, 高さ 8.2 m の倉庫内の端に設置した。排出口は実験室中央へ向けて、送風機の回転軸高を 800 mm となるよう、また回転軸が床と平行になるよう設置した。Fig. 4 に送風機回転軸の延長線上で 5 秒間平均風速を計測した結果を示す。

2.4 機体傾斜角度の計測

Fig. 5 に風速に対する機体傾斜角度の計測結果を示す。送風機回転軸の延長線上で、送風機回転軸延長線と機体 Roll 軸が直交するように、つまりドローン機体の側方が送風機の方を向くようにホバリングさせながら、機体の Roll 方向の傾斜角度をカメラ映像から読み取った。

3. 試験結果と考察

Fig. 5 の風速と傾斜角度の関係を用いて、上空風速を簡易に計測可能であると考えられる。この計測方法は特別な装置を使用せず、傾斜計をドローンのカメラの前に設置するだけで風速計測が可能となる。

傾斜計の真鍮球はある程度の幅で振動しており、振動する角度範囲の中央の値を読み取ったため、多少の誤差が含まれると考えられる。

今回はアナログ傾斜計を使用した但、時間平均値を表示可能なデジタル傾斜計の方が読み取りやすいかもしれない。ただ、使用する機体のペイロードや傾斜計設置時の機体バランスを考慮する必要がある。

今回使用した機体の仕様上の耐風性能は 10 m/s であるが、送風機排風口の直近では、風下に流されて一定位置を維持できなかった。10 m/s を超える高い耐風性能を有する機体の使用が望ましい。

Fig. 5. Correlation between wind velocity and tilt angle of drone.

なお、機体を変更すれば、風速に対する機体傾斜角度も変わるため、ドローン機種ごとに風速と機体傾斜角度の関係を把握する必要がある。

4. まとめ

ドローンの機体に傾斜計を設置し、風速に対する機体の傾斜角度を計測した。この風速と傾斜角度の関係を用いて、上空の風速を簡易・安全に計測可能である。この計測方法には特別な装置は不要であり、現場作業で高所の風速計測が必要な場合に非常に有用である。

文 献

- (1) 労働安全衛生規則
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=347M50002000032>
- (2) Sam Prudden, A Fisher, Matthew Marino, Abdulghani Mohamed, Simon Watkins, Graham Wild: "Measuring wind with Small Unmanned Aircraft Systems", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.176, pp.197-210, 2018
- (3) Kenta Takaya, Valeri Kroumov, Hiroshi Ohta, Keishi Shibayama: "Measuring Wind Speed Using the Internal Stabilization System of a Quadrotor Drone", 2021 IEEE annual meeting, No. 3-063, pp.94-95, 2021
- (4) Neumann Patrick, Bartholmai Matthias: "Real-time wind estimation on a micro unmanned aerial vehicle using its inertial measurement unit", Sensors and Actuators. A. Physical, Vol.235 pp.300-310, 2015
- (5) Kansuke Sasaki, Minoru Inoue, Hiromi Kojima, Kawami Hirofumi, Machida Shunichi, Yutaka Watanabe, Etsuro Natori, Nobuyuki Fukuda, Naoyuki Hirasaka: "Development upper Air Observation Method Using UAV (Unmanned Aerial Vehicle)", Disaster Prevention Research Institute Annuals, No. 59B, pp.395-402, 2016 (in Japanese)
- (6) Simma Magdalena, Mjoen Havard, Bostrom Tobias: "Measuring Wind Speed Using the Internal Stabilization System of a Quadrotor Drone", Drones, Vol.4, No. 2, pp.23, 2020
- (7) Kazuhiko Yamazaki, Akiko Maeda, Chiho Okubo: "Properties of Blower for the Experiments of Wind Effects", Prospectus of Faculty of Human Life Sciences, Jissen Women's University, No. 50, pp. 187-190, 2013