

高速度カメラと3次元運動解析ソフトを用いた実風車ブレードの振動測定

東京理科大学 学生員 ○新井 那亜
東京理科大学 非会員 河合 康太

東京理科大学 フェロー 木村 吉郎
(株)駒井ハルテック 正会員 幽谷 栄二郎

1. はじめに

我が国の風力発電導入量は、2000年以降急激に増加しており、2012年には設置基数が1900基を超えている(NEDO, 2013)。一方で風車の破損事故も各地で報告されている。風車の支持物については、我が国でも基準が定められ、2010年には改定されており、今後は事故は減少することが期待できる。一方、ブレードについては測定事例が少ない。そこで、本研究では実風車ブレードを2台の高速度カメラで撮影し、3次元運動解析ソフトDIPP Motion Pro (DITECT製)を用いてブレードの振動を解析し、風車ブレードの風応答を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

(1) 風車撮影方法: 図1のように2台の高速度カメラHAS-L1(DITECT製)を2台のカメラと風車のなす角が大きくなるように設置し、(株)駒井ハルテック製の中型風車KWT300のブレードを撮影した。ブレード先端の位置座標の時刻歴データを求めることで振動を解析する。本来、座標を設定するために図2のスケールも合わせて現地で撮影しなければならないが、ブレード付近にスケールを設置することは困難であった。そこで、スケールを図3のように東京理科大学内の建物の屋上に設置し、相似関係より対応させた。また、現地と大学での相似関係を保つために測量器具を用い、2台のカメラと風車の位置関係が一致するよう留意した。

(2) 分析方法: 3次元運動解析ソフトを用いて2台のカメラで撮影したブレード先端を追尾していく。この追尾動画とキャリブレーション画像を合わせてブレード先端の座標の時刻歴を求めた。

(3) 座標の設定: 設定座標と撮影時の座標のずれを図4に示す。図4(a)のように風車回転面に対して垂直にX軸、鉛直上向きにY軸、水平方向にZ軸をとるように座標を設定した。しかしながら、風車は風向方向に合わせるように回転面の向きを変えるため、座標にずれが生じる。そこで、図4(b)の状態から、座標を回転させ、(a)の状態にすることを目的に、座標変換を行った。

3. 座標変換と今後の課題

(1) 座標変換前の軌跡: ブレードの振動は主に風車回転面に対して垂直方向に振動するためX-Y座標に着目すると、Y軸に平行な直線に近い軌跡を描くはずである。しかしながら、図5のように今回撮影したデータでX-Yの軌跡を描くと、軌跡は直線ではなく、曲線となっており、座標にずれが生じていることがわかる。したがっ

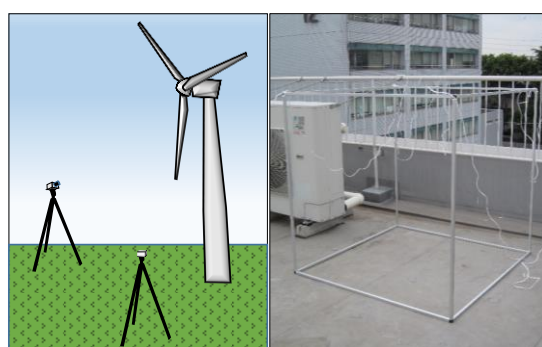


図1 撮影方法

図2 スケール

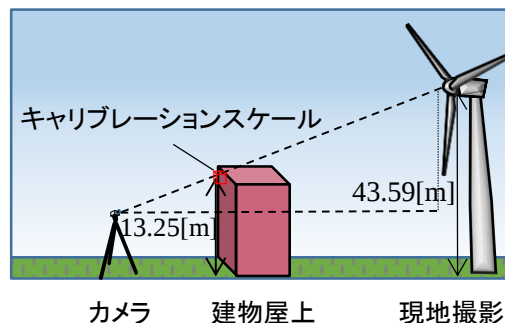
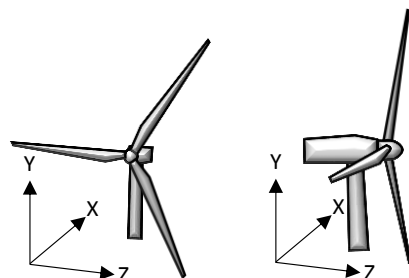


図3 現地、大学での相似関係



(a) 設定座標

(b) 撮影時

図4 設定座標と撮影時の座標のずれ

キーワード 風車ブレード 振動 3次元運動解析 追尾 座標変換

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 TEL. 04-7124-1501(4070) E-mail: j7613601@ed.tus.ac.jp

て、座標変換を行うことにより、軌跡を直線にし、振動を把握しやすくする。

(2) 座標変換方法： X, Y, Z の回転角をそれぞれ α, β, γ とする。現時点ではそれぞれの角度は未知であるが、 x について式(1)のように3次元空間の座標変換を行う。

$$x' = (\cos \beta \cos \gamma)x - (\cos \beta \sin \gamma)y - z \sin \beta \dots (1)$$

式(1)の x, y, z には出力された元データを代入する。次に、 $X'-Y'$ 平面に、 $X'=k$ となる直線があるものと仮定する。この k と x' の距離の和 S が最小となるような角度 β, γ を最小二乗法で求める。データ個数を n とすると、残差平方和は式(2)となる。

$$S = \sum_{i=1}^n (x'_i{}^2 - 2kx'_i + k^2) \dots (2)$$

この和 S を極小とする条件から、回転角 β, γ を導いた。なお、 α に関してズレは僅かであると考え、ゼロとしている。これらの計算には Mathematica(Wolfram Research 製)を用いた。

(3) 座標変換後の軌跡： 導いた回転角で座標変換を行った後の軌跡を図6に示す。図6のようにブレード先端の軌跡は直線に近くなり、これにより振動を解析しやすくなったと言える。

(4) 今後の課題： 座標変換後の $Z'-Y'$ の軌跡を図7に示す。

図4(a)のように軸をとると、 $Z'-Y'$ の軌跡は真円を描くはずである。しかし、図7のように歪んだ軌跡となった。原因の1つにキャリブレーションの精度の悪さが考えられる。座標を設定するためにスケールの8つの角をプロットするが、その作業の際に8つの角が見えづらく、プロットが適切でなかったと考えた。そこで、再度プロットをやり直し、軌跡を描いたものが図8である。図8は図7と比べると真円に近づいているように見えるが、円の直径がおおよそ 50[m]あり、実際の風車の 33[m]とは大きく異なる。また、2つの軌跡は大きく異なることから、キャリブレーションの重要性が明らかとなった。この対処として今後スケールの角にマーカーを付けることで見やすくすることを検討している。もう1つの原因として、ブレード先端を精度よく追尾できていないと考えた。現在のカメラの性能では、カメラから遠ざかる位置にブレードがあると、追尾しづらいのが現状である。今後は風車ブレード先端にマーカーを入れ、追尾し易くした場合についての検討等を行う予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：風力発電設備支持物構造設計 指針・同解説、2010 年版

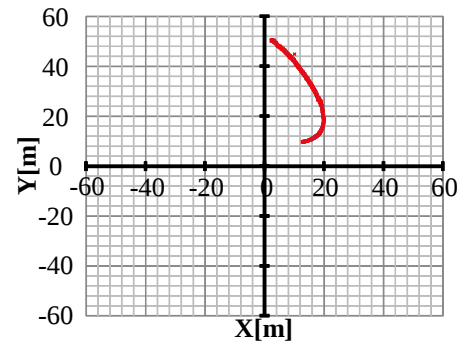


図5 座標変換前の軌跡

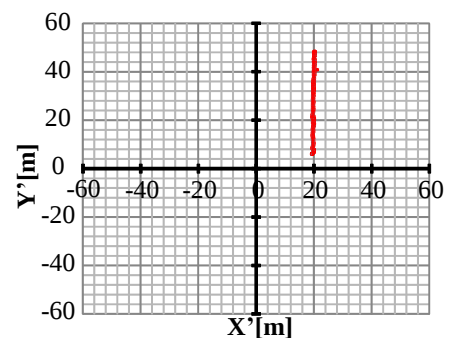


図6 座標変換後の軌跡

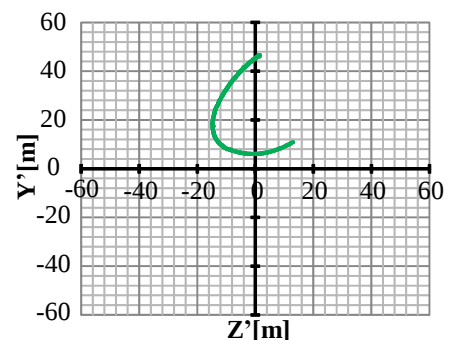


図7 $Z'-Y'$ 座標の軌跡

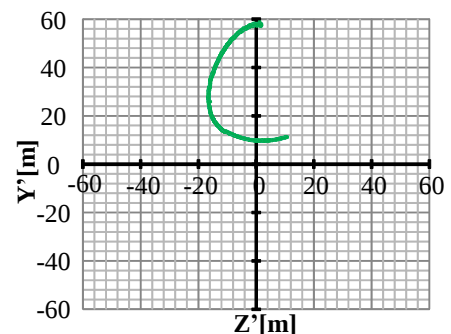


図8 プロット改善後の軌跡