

実風車ブレードの簡易な振動測定手法の精度向上の検討

東京理科大学院 学生会員
株式会社ハルテック 正会員

○河合 康太
幽谷 栄二郎

東京理科大学院 学生会員 新井 那亜
東京理科大学 フェロー 木村 吉郎

1. 目的

大型風車の導入実績の伸びには著しいものがあるが、ブレードの破損や、低周波騒音の発生などの諸問題が発生することがある。これらの解決のためには、運動時の風車ブレードの振動特性を明らかにすることが効果的であると考えられるが、運転時、回転しているブレードの振動を測定するには、膨大な手間と費用がかかる。そこで、実風車ブレードの運転時の振動特性を明らかにすることを目的として、3次元運動解析ソフトを用いた先行研究が行われた¹⁾。本研究では、先行研究で開発された実風車ブレードの振動測定手法の、精度を向上させることを目的としている。

2. 測定手法の概要

実風車を2台の高速度 CCD カメラ (HAS-L1, DITECT 製) で撮影する。現地とキャリブレーション時で、相似な位置にカメラを設置することで、擬似的に条件を満たして撮影を行った(図1)。設置には測量器具を用い、キャリブレーション時に正確に現場を再現した。

3. 画像変換

撮影した動画を、3次元運動解析ソフトの DIPP-Motion-Pro (DITECT 製) に取り込んで、ブレードの先端を自動的に追尾させることで、追尾したポイントの座標の変化の時刻歴を得る。したがって、追尾の精度を向上させることは、得られる変位データの精度の向上につながる。したがって、撮影した動画に画像変換処理をして、追尾の精度の向上を図った。

(1) **エッジ検出**：今回使用したソフトで使用可能なエッジ検出処理の中で、最もはっきりとエッジが検出できたのは、Kirsch フィルタによるエッジ検出だった。しかしながら、これを用いて追尾しても、エッジが検出できていない箇所(図2,a)や、背景の雲や光などが追尾を途切れさせていることがわかった(図2,b,c)。このことから、背景を消し、ブレードだけを抽出する画像変換処理がないかを検討した。

(2) **背景差分**：ブレードのみを抽出する処理として、背景を消すソフト (ColorDirector2 体験版) の使用、二値化の操作を行ったが、前者は、ソフトの仕様上、背景と運動物の判断をエッジの有無でしているために、エッジがはっきりしていないと、対象物も背景とみなされて消去されてしまう問題があった。エッジ検出の処理をしても、この問題を解決するには至らなかった。後者は、ある箇所をピンポイントで抽出することはでき、その追尾は精度良く行えたが、二値化の境目となる箇所(図3,a)での追尾

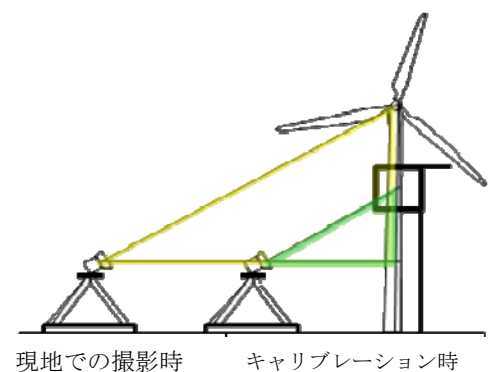


図1 相似関係の側面図

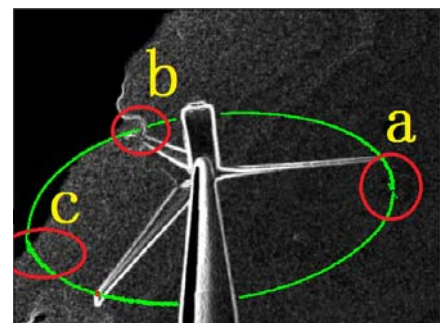


図2 エッジ検出時の追尾結果



図3 二値化

キーワード ブレード, 風車, 対風応答, 現地観測, 運動解析, 風工学

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)

がほぼ不可能であった．よって，最も適切であると考えたのが背景差分による画像変換であった．これは，ある画像を背景として，動画を構成する全画像から差分することで，運動体を抽出する処理であり，結果，ブレードだけを抽出することができた．これに，エッジ検出処理をかけたところ，雲と空の境目以外では，精度良く追尾できた（図4）．この画像変換処理は，比較的背景を問わず高精度に追尾を行える点で，今回用いた他の画像変換処理よりも優れており，最も有用であると判断した．

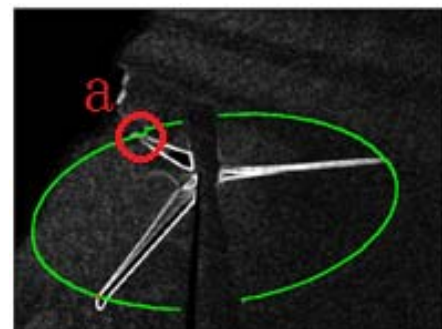


図4 背景差分時の追尾結果

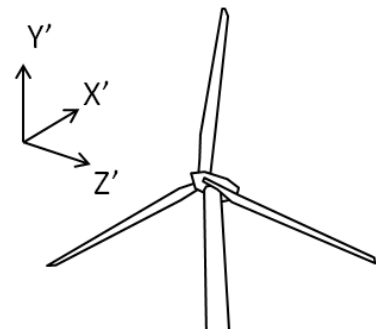


図5 設定した座標軸

4. 座標変換

風車ブレードの向きは，風向によって変化する．そのため，解析ソフトで得られる3つの座標には，一般的にすべて回転成分が含まれてしまう．従って，そのままでは，回転成分に比べると微妙なブレードの振動を精度よく捉えるには不十分である．よって，座標変換を行い，図5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' 軸となるように設定した．

（1）座標変換方法： X, Y, Z 軸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，例えば， X' について式(1)のように3次元空間の座標変換を行う．

$$X' = (\cos \beta \cos \gamma)X - (\cos \beta \sin \gamma)Y - Z \sin \beta \cdots \cdots (1)$$

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．

$$S = \sum_{i=1}^n (X_i'^2 - 2kX_i' + k^2) \cdots \cdots (2)$$

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 に関しては，その差の影響は小さいと考え，変換は行っていない．

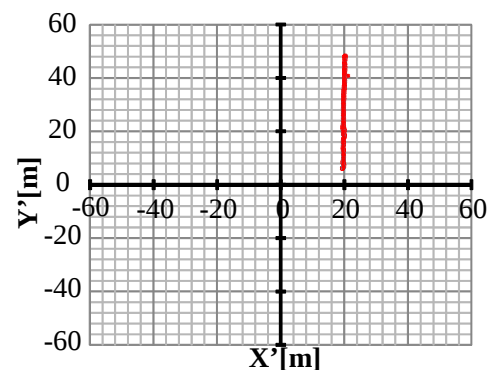


図6 $X' - Y'$ の軌跡

5. 解析結果と課題

座標変換を行ったときのブレードの軌跡を図6，7に示す．このとき， $X'-Y'$ 座標に注目すると，その軌跡は， Y' 軸にほぼ平行になっており，意図通りの回転角が得られていることが分かる．しかし，図8 $Y'-Z'$ の軌跡は真円になるはずであるが，ゆがんだ円になっている．この原因として，キャリブレーションの精度の悪さや，図3の相似関係の再現が正確でなかったためと思われる．問題の対処法として，スケールの角にマーカーをつけることで見やすくすることを検討しており，相似関係の精度向上については，現在プログラムの修正を行うことで対処している

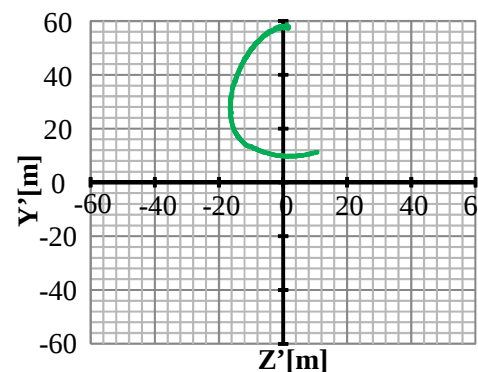


図7 $Y' - Z'$ の軌跡

参考文献

1) 幽谷栄二郎，木村吉郎，星野龍一郎，木村大知，3次元運動解析による風車ブレード振動測定を試み，構造工学論文集，Vol.60A，pp.380-386，2014