

FAST を用いた風車の応答解析の精度向上を目指した検討

東京理科大学大学院 学生会員 ○鳥飼 博史 (株) 駒井ハルテック 非会員 細見 雅生
 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
 東京理科大学大学院(研究当時) 非会員 河合 康太

1. はじめに

風車の応答解析の高精度化は、風車の耐久性や発電効率の向上に有用と考えられる。著者らは高速度カメラと運動解析ソフトを用いた比較的簡易な方法により、実風車ブレード先端の対風応答を実測する手法を開発し¹⁾、応答解析の精度検証に不可欠な実測データを取得した。そこで本研究では、目的である風車の対風応答解析の精度向上の準備段階として、NREL(National Renewable Energy Laboratory)によるFASTを用いた応答解析と実測の結果を比較検討する。

2. 対象風車 KWT300

本研究で対象とする風車は、(株) 駒井ハルテックが千葉県富津市に所有するアップウィンド式水平軸風車 KWT300(図 1、表 1)である。

3. FAST を用いた応答解析

KWT300 の設計時の入力データをもとに、FAST 用の KWT300 の解析モデルを作成する。まず表 2 に、設計時と FAST で用いているブレードのフラップ方向とエッジ方向の固有振動数の比較を示す。FAST で用いた固有振動数は、NREL によって開発された解析ソフト BModes を用いて算出した。設計時と FAST の固有振動数の差は、比較的大きいフラップ方向の 2 次モードでも、2%以内であり、固有振動数については正確といえる。次に、風車が運転状態である DLC1²⁾の荷重ケースにおいて、入力風が定常流と乱流のケースで設計時と FAST の解析結果を比較した。制御方法が効いてくるピッチ角やロータ回転数、ならびにブレード根元における断面力等は、設計時と FAST の解析結果が概ね一致することを確認し、KWT300 の解析モデルは正確に作成できていると考えられた。

4. 実測に対応した応答解析と実測結果の比較

運転時の風車ブレードを 2 台の高速度カメラ HAS-D72(いずれも DITECT 製)で動画撮影し、3 次元運動解析ソフト DIPP(Digital Image Pixel Processor Plus)MotionV を用いて、ブレード先端の座標の時刻歴を算出することで、ブレードの振動を測定した¹⁾。また、ブレードの振動測定と同時に、ロータ回転数やピッチ角等のデータも取得し、さらにドップラーライダーにより風車ハブ高さにおける風速も測定した。解析における入力風は、ドップラーライダーの測定によって取得した風車ハブ高さの風速を NWP(Normal Wind Profile Model)²⁾に適用して作成した。すなわち、風速の鉛直分布は考慮しているが、測定された風速が 1 点のみにおけるものなので、作用する風速が水平方向の場所ごとに異なる影響は考慮できていない。

実測結果と解析結果の比較の例として、図 2 の(a)~(c)に、風速を緑丸のプロットで示し、同時刻における 3 枚のブレード先端の風向方向の応答変位の实測結果(赤線)と解析結果(黒線)の比較を示す。横軸が時刻、



図 1 実測対象風車の外観

表 1 KWT300 の諸元

ロータ直径	33m
ハブ高さ	41.5m
定格出力	300kW
カットイン風速	3.0m/s
カットアウト風速	25m/s
定格風速	11.5m/s
定格回転数	40.5rpm
耐風速	70m/s

表 2 固有振動数の比較

		設計時	FAST	FAST/設計時
フラップ方向	1 次	2.64	2.63	0.996
	2 次	7.79	7.64	0.981
エッジ方向	1 次	4.66	4.66	1.00

キーワード 風車, 対風応答, FAST 連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2461 東京理科大学木工学科

左の縦軸がブレード先端の応答変位（風下側を正）、右の縦軸が風速であり、ブレード先端の振動測定時間は高速度カメラのメモリー容量の制限から7秒間程度である。また、時刻歴が途切れている箇所は、ブレード先端が判別しにくくなり、誤差が大きいため除外した部分である。図の下部の赤三角印と黒三角印は実測結果と解析結果それぞれのブレードがタワー前方を通過する時刻を表す。

実測結果と解析結果ともに、ブレードがタワー前方を通過した時刻付近で応答変位が急激に減少し極小値をとる傾向が見られた。これは、タワー前方を通過する際に、タワーダムエフェクトにより、ブレードに作用する空気力が瞬間的に減少し、その影響が応答変位にも表れていると考えられる。また、解析結果より実測結果の方が、高周波数成分の寄与が全体的に大きく見える。これは、解析で用いる風速が水平方向の場所ごとに異なる影響を考慮していないNWPであるためだと考えられる。

また、図2の実測結果と解析結果の比較において、ピッチ角は両者とも0度であるのに対して、ロータ回転数は、実測結果では34~35rpm程度、解析結果では33.5~39.5rpm程度となった。これは、現在FASTで用いている制御方法や入力風をより実測に近いものにすることで改善され则认为。なお、図2においては実測と解析において時刻歴が似た傾向を示す部分が多いように見えるが、他の測定例における比較では実測と解析の傾向が異なる場合もあり、さらに検討が必要である。

5. おわりに

本研究では、対象風車であるKWT300の設計時のデータを基準とし、FASTにおいて解析モデルを作成した。実測結果と解析結果の比較においては、タワーダムエフェクトの影響と考えられる応答特性が両者ともにみられたが、未解明な応答特性については、さらに測定ケースを増やし検討する予定である。また、解析に用いる入力風において、空間相関を適切に考慮することで、実測結果に近づく可能性がある。将来的には応答解析手法の精度向上に繋げたい。なお、本研究はJSPS科研費26289146の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 河合康太, 新井那亜, 幽谷栄二郎, 木村吉郎, 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, 土木学会第70回年次学術講演会2015
- 2) Germanischer Lloyd: Rules and Guidelines Industrial Services, 2003

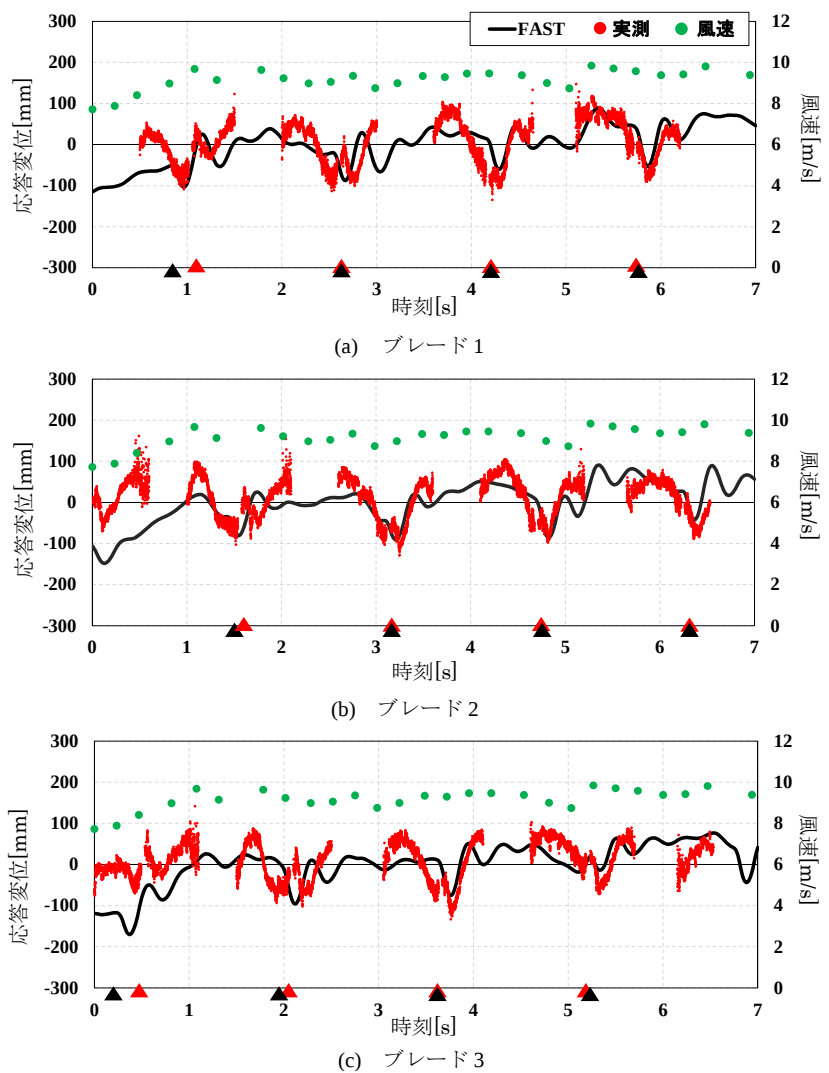


図2 実測結果と解析結果の比較