

非破壊手法によるCFRP製風車ブレードの振動特性評価

日大生産工(院) ○宮内 貴史 日大生産工(院) 呉 丹
日大生産工 坂田 憲泰 日大生産工 邊 吾一 (株)ジーネス 品川 議夫

1. 緒言

炭素繊維強化複合材料(Carbon Fiber Reinforced Plastics ; CFRP)は従来の金属材料に比べて、軽量で比剛性・比強度に優れている材料であり、その特性を活かし航空宇宙分野の構造部材に多く使用されるようになった。また、近年では風力発電用ブレードの大型化に伴い従来のガラス繊維強化複合材料(Glass Fiber Reinforced Plastics ; GFRP)からCFRPへ移行されている。しかし、CFRP製ブレードは運用中に雹や鳥の衝突、落雷などによって衝撃を受けることが予想されるが、厚さ方向に繊維が無く衝撃負荷に弱いため、これらの衝撃負荷によって材料内部に表面からでは確認できない層間はく離、樹脂割れ、繊維破断が生じる可能性がある。さらに損傷した部分に曲げや圧縮負荷が加わると層と層がはがれ、圧縮強度が低下し、座屈や圧縮破壊が起りやすくなる。

著者等は過去の研究^{1),2)}で、損傷を有するCFRP積層板の振動特性の変化に着目し、超音波探傷試験から損傷面積、インパルス加振実験から固有振動数、曲げ試験から曲げ強度を求めそれぞれの関係から非破壊的に強度低下を評価できるかどうかを検討した。本研究では、CFRP製ブレードの内部損傷をブレードの振動特性を用いて非破壊的に評価し、ブレードの残存強度を明らかにすることを目的とするが、本報告では第一報として、インパルス加振実験を用いてCFRP製風車ブレードの固有振動数を測定し、その結果とFEMによる解析と比較した結果について述べる。

2. 実験方法

2.1 試験片

Fig.1に実験で用いたCFRP製風車ブレード

を示す。本ブレードは、平織りCFクロス(東邦テナックス:W-3101 3K, 三菱レイヨン:TRK101M 12K)と、コア材(ウレタン)エポキシ樹脂を使用しVaRTMにて成形された、翼長2168.85mm, 最大翼弦長483.81mm, ブレード中央翼厚45.3mmのブレードとなっている。両者の繊維体積含有率は60%で、表面層の積層構成は位置によって異なり、Fig.2の①が[3K(±45/0/90/0/90)/12K(±45/0/90/0/90/±45)], ②が[3K(±45/0/90/0/90)/12K(±45)]₄, ③が[3K(±45/0/90/0/90)]₃となっている。また、表面層の板厚は①, ②, ③それぞれ5.1mm, 9.44mm, 4.5mmで、コア材の厚さも位置によってそれぞれ異なり①では最大207.0mm, 最小66.5mm, ②では最大66.5mm, 最小43.3mm, ③では最大43.3mm, 最小29.6mmとなっている。

2.2 インパルス加振実験

風車ブレードの固有振動数を測定するためにインパルスハンマを用いたインパルス加振実験を行った。実験では3本のブレードを使用し、試験条件はブレード両端部を支持台に乗せた両端単純支持とし、インパルスハンマでブレードに入力波を与え、ブレード中心に設置した加速度計によって応答振幅を測定するインパルス加振法によって行った。加振点は加速度計を設置した中心から翼長方向に200mm間隔、翼弦方向に100mm間隔で合計55点とし入力波と応答波はFFTアナライザー内で伝達関数に変換した(Fig.3)。そして、測定誤差を小さくするために一つの加振点あたり3回同じ操作を繰り返し、得られた結果を平均化して最終的な伝達関数とし、ブレードから得られた伝達関数から1次の曲げモードの固有振動数を求めた。

Vibration Characterization of Wind Turbine Blade Made of CFRP by Non-Destructive Method

Takahiro MIYAUCHI, Wu DAN,
Kazuhiro SAKATA, Goichi BEN, Yoshio SHINAGAWA

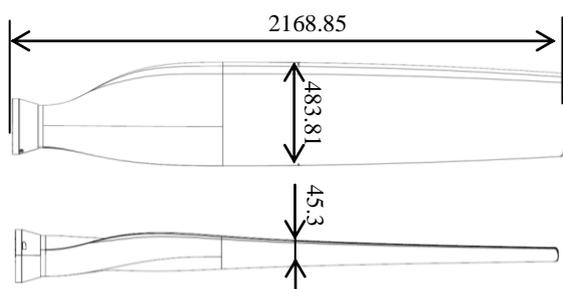


Fig.1 Drawing of Wind Turbine Blade



Fig.2 Diagram showing the Stacking Sequence

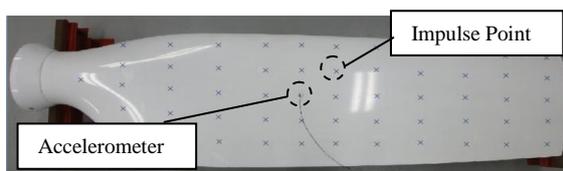


Fig.3 Impulse Points

3. 実験結果

インパルス加振実験より得られたCFRP製風車ブレードの固有振動数をTable 1に示すが、3本のブレードの平均値は20.7Hzとなった。また、インパルス加振実験より得られた周波数応答関数の大きさと位相からモードを求めた結果、モードはブレードの中心付近を腹とした1次の曲げモードとなった。

Table 1 Natural Frequency obtained from Experiments

Natural Frequency [Hz]			
Blade 1	Blade 2	Blade 3	Ave.
20.0	20.7	21.4	20.7

4. FEM解析

4.1 解析方法

実験結果を検証するために、汎用有限要素法プログラムANSYSver.13.0を用いて風車ブレードの振動解析を行った。境界条件は両端単純支持とし、要素は表面層に4節点構造シェル(SHELL181)、コア材に8節点構造ソリッド(SOLID185)を用いた。その結果、節点数は28,086、要素数は31,510となっている。Table 2に解析で用いた材料定数を示す。

4.1 解析結果

インパルス加振実験の結果とFEMによる解析結果の比較をTable 3に示すが、実験値が20.7Hzであったのに対しFEM解析値は22.3Hzとなり、実験値とFEM解析値の誤差は7.17%と良好な一致を示した。また、1次モードの形状をFig.4に示すが、この結果も実験結果と良好な一致を示した。

Table 2 Material properties

CFRP	W-3101 3K	TRK101M 12K
Modulus of elasticity		
Longitudinal	137 GPa	145 GPa
Transverse	8.2 GPa	8.56 GPa
Shear	4.2 GPa	4.4 GPa
Poisson's ratio		
Longitudinal	0.37	0.37
Transverse	0.02	0.02
Urethane Core		
Young's modulus	17 MPa	
Poisson's ratio	0.25	

Table 3 Natural Frequency of Wind Turbine Blade

Experiments [Hz]	FEM [Hz]	Error [%]
20.7	22.3	7.17



Fig.4 1st Mode Shape

5. 結言

インパルス加振実験の結果とFEMによる解析結果は良好な一致を示し、本実験結果の妥当性を明らかにした。今後は、落雷やバードストライクなどを模擬した衝撃試験を行って損傷を与え、本実験と同じ手法でインパルス加振実験を行う。

「参考文献」

- 1) G.Ben, Y.Nishi, K.Mori and T.Yamaguchi, "Estimation of Bending Strength of CFRP Cross-Ply Laminates from Damping Capacity Using by Neural Network", Key Engineering Materials, Vol.145-149, 1998, pp.427-432
- 2) 宮内貴史, 吳丹, 邊吾一, 坂田憲泰, 品川謙夫, "振動特性によるCFRP構造の損傷同定に関する研究", 日本設計工学会 平成23年度春季大会研究発表講演論文集, (2011), pp.97-100