

南大隅 WF 風車ナセルカバー飛散・損傷事故の 再発防止に向けた強度対策検討*

Study on strength measures for the prevention of recurrence of the scattering and damage accident of wind turbine nacelle covers in Minami Osumi WF

渡辺直登**, 中嶋 智司**, 西尾 宣俊**, 大友 一之***, 永洞 和宏***, 本庄 暢之**

Naoto WATANABE, Satoshi NAKASHIMA, Nobutoshi NISHIO, Kazuyuki OTOMO, Kazuhiro NAGADOU, Nobuyuki HONJO

1. はじめに

2016年9月19日から20日にかけて、台風16号(マラカス)が鹿児島県の大隅半島を直撃した。図1に台風16号の経路を示す。気象庁によると、台風16号は20日午前0時過ぎに大隅半島に上陸し、上陸時の中心気圧955hPa、最大風速40m/sとされている¹⁾。台風の通過に伴い、鹿児島県肝属郡南大隅町にある電源開発株式会社が運営する南大隅ウインドファーム(以下、南大隅WF)において、風車ナセルカバー飛散・損傷事故が発生した。図2に南大隅WF(根占・佐多発電所)の位置、表1に南大隅WFに設置されている風車の概要、表2に風車の損傷箇所を示す。全20基の風車のうち、8基でナセルカバーが飛散、4基で損傷、3基でラジエーターカバーが飛散する被害があった。図3にナセルカバー被害状況の例を示す。

本稿では、まずナセルカバーの補強策として鋼材や構造の変更を提案した。次に変更を施したナセルカバーを3Dモデリングし、CFDによる流体解析から試験風に対する圧力分布を求めた。そしてこれと材料試験による材料特性を入力値としてFEMによる構造解析を実施し、変更内容の妥当性を検証した。



図1 台風16号経路²⁾



図2 南大隅WF(根占・佐多発電所)の位置



図3 風車の被害状況

表1 南大隅WF風車概要

機種	IHI-NORDEX-1300 ³⁾
耐風速	IEC Class I
定格出力	1300 kW
ロータ径	60 m
ハブ高さ	60 m
制御方式	ストール
基数	根占: 9 + 1 基 (7号は現在撤去) 佐多: 10 基
運開	根占: 2003年3月 佐多: 2004年3月

* 平成30年12月5日 第40回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

** 会員 電源開発(株)環境エネルギー事業部 風力発電技術室
〒104-8165 東京都中央区銀座6-15-1

*** 非会員 富士テクニカルリサーチ(株)技術本部
〒220-6215 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-5
クイーンズタワーC15階

表 2 風車の損傷箇所

損傷箇所	号機
可動式上カバーが飛散	根占 1, 3, 6, 8, 10 号, (地上置き 7 号) 佐多 2, 9 号
ラジエーターカバーが飛散	佐多 1, 7, 8 号
可動式上カバーの損傷 (落下や飛散はなし)	根占 2, 4, 5, 9 号
損傷なし	佐多 3, 4, 5, 6, 10 号

2. ナセルカバー強度対策

2.1. 事故原因

先行研究⁴⁾にて、ナセルの可動式上カバーの下端部とフレームの接着部に剥離が生じていたことが事故原因であることが報告されている(図 4)。また、接着が無い状態ではカバーのヒンジ側で大きな変形が生じ(図 5)、フックやヒンジ側フレームで高応力が生じている。この結果を踏まえて次項のような強度対策を考える。

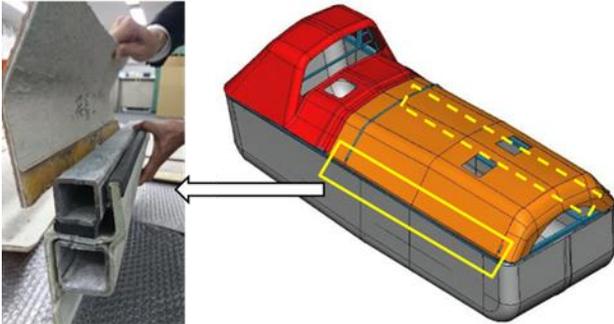


図 4 上カバー下端接着部の剥離

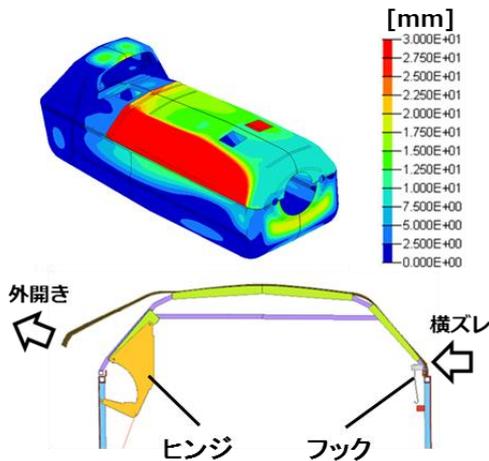


図 5 ナセルカバーの変形 (接着無し)

2.2. 強度対策

ナセルカバー飛散・損傷事故の再発防止策で考慮する風条件として、待機中(カットアウト後)の暴風を想定した DLC6.1(風速 73.1 m/s, 風向 0°, ±15°)と待機中の暴風を想定した DLC7.1(風速 58.5 m/s, 風向 ±90°, 180°)を設定し、これに耐えるような補強策を検討した。最終的なナセルカバー補強策を表 3, 表 4 に示す。対策①~③は緊急的なナセルカバー補強策として、2017 年 7 月にすでに実施済みであり、対策④~⑮は現在実施中である。

主な補強策として、まず、上半フレームの寸法変更と本数追加に加え、上カバーの FRP 材を新材料に変更した(図 6)。また、上下構造連結点において、フックの寸法変更と新たなフック構造の追加を行った(図 7)。さらに、上半カバーとフレーム間の FRP を巻き込み構造とし、ボルトでの固定を追加した(図 8)。そして、ラジエーターカバーにおいても仕切り板の板厚を増し、カバーとフレームの隙間を樹脂で埋めた(図 9)。

表 3 ナセルカバー補強策(上半)

部位	対策案	
上半	フレーム	④ 鋼材寸法変更
		⑤ 前面と中央の間にフレーム 1 本追加
		⑥ 既存フックの寸法変更
		⑦ フック構造を追加
		⑧ ラジエーター側(後部側)のフレームのフック側に補強板追加
		⑨ ヒンジの形状変更
	カバー	⑩ FRP を新材料(7 層 5 mm)に変更
		⑪ FRP を巻き込み構造とし、ボルト固定
		⑫ ラジエーターカバー仕切り板厚アップ
⑬ ラジエーターカバーとフレームの隙間を FRP で埋める		

表 4 ナセルカバー補強策(下半)

部位	対策案	
下半	フレーム	① 前面アーチ部に補強板追加
		② 前面ダンパ取付部近傍に補強板追加
		③ 中央ダンパ取付部近傍に補強板追加
	カバー	④ 中央ダンパ付近に FRP シート貼付
		⑤ フレーム巻き込み部全域に実機の FRP 板厚を反映

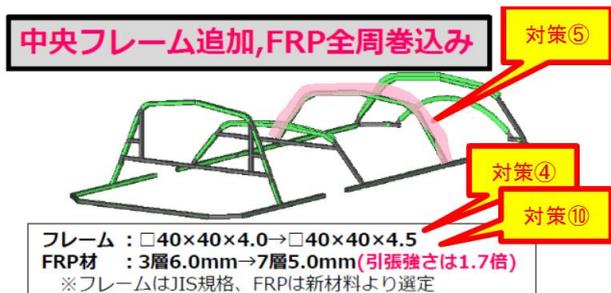


図 6 上半全体構造における補強策

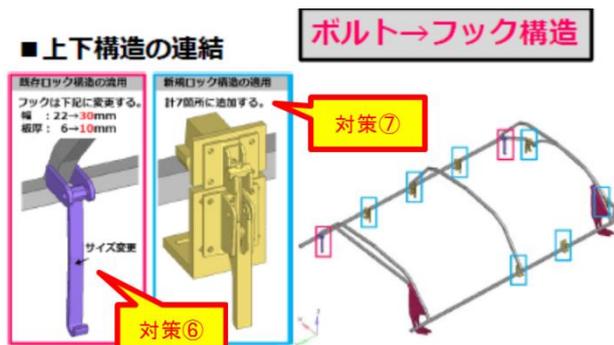


図 7 上下構造の連結における補強策

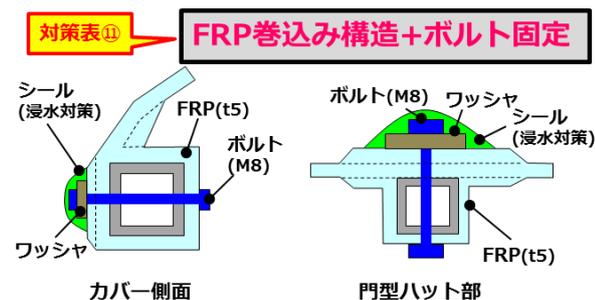


図 8 上半カバーとフレーム間における補強策

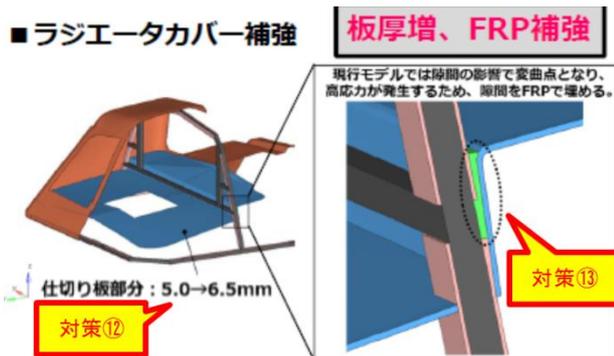


図 9 ラジエーターカバーにおける補強策

3. 構造解析

3.1. CFD 解析と材料試験

今回施したナセルカバー強度対策の妥当性を検証するため、FEM による構造解析を行った。FEM への入力値として、CFD で得られた圧力分布と材料試験による材料特性を用いている。

まず、CFD による圧力分布算出として、ナセル形

状について LES 解析を行った。ここで使用した CFD ソフトウェアは STAR-CCM+⁵⁾であり、参考文献⁴⁾において CFD の算出結果と風洞実験結果との比較がなされ、CFD の精度が妥当であることが示されている。風条件として DLC6.1(風速 73.1 m/s, 風向 0°, ±15°)と DLC7.1(風速 58.5 m/s, 風向 ±90°, 180°)を用いて CFD 解析を行い、ナセル各部に作用する風荷重を算出した。

材料試験では、FRP の方向依存性を考慮して 0°, 45°, 90° の 3 方向でそれぞれ 3 サンプルによる圧縮と引張試験を実施した。各方向で 3 サンプルの(平均値 - 2.59 × 標準偏差)を FRP の特性値として算出し、3 方向の特性値のうち最小のものを構造解析結果の評価値として採用した。なお、FRP は上カバーの補強策で使用する新材料を、下カバーの実機から採取したものをそれぞれ試験した結果を使用した。フレームの強度は、材料試験から材質を建築構造用鋼材 SN400 と特定し、降伏点を評価値として採用した。表 5 に材料試験より得られた材料特性を示す。

表 5 試験より得られた材料特性
(フレームは鋼構造設計基準より引用.)

	フレーム	上カバー	下カバー
材質	スチール (SN400)	FRP	
		新材料	実機
降伏点 [MPa]	258.5	-	-
引張強さ [MPa]	439	82.8	24.3
圧縮強さ [MPa]	-	150.5	48.3

3.2. 構造解析結果評価

構造解析結果の評価には、GL2010 準拠の安全率を適用した。風況条件によって定まる荷重安全係数と各部位によって定まる材料安全係数をかけたものを今回適用する安全係数と定めた。本評価で適用した安全係数をそれぞれ表 6 に示す。なお、下カバー FRP は台風通過時に多方向から DLC7.1 相当の強風を受けたと想定されるが、下半カバーはすべて健全であり、今回の補強策でより強度が増すことが想定されることから、本研究では解析を省略している。

表 7 に各降伏点に対する構造解析によって得られた最大応力の裕度を示す。構造解析の結果、すべてのケースにおいて新たに製作する上カバーが損傷しないことを確認した。また、下カバーは今回の台風 (DLC7.1 相当) で損傷してないが、DLC6.1 についても損傷しないことを確認した。構造解析で得られた結果の一例として、風速 73.1 m/s, 風向 +15° の

DLC6.1 条件での発生応力図を図 10～図 12 に示す。

表 6 構造解析評価に適用した安全係数

設計荷重	荷重安全係数(A)	材料安全係数(B)		安全係数(A×B)
		フレーム		
DLC6.1	1.35	フレーム	1.10	1.485
		上カバー	2.14	2.890
		下カバー	1.62	2.190
DLC7.1	1.10	フレーム	1.10	1.210
		上カバー	2.14	2.350
		下カバー	評価しない	

表 7 FRP 上カバー引張強度:83 MPa, 圧縮強度:150 MPa
FRP 下カバー引張強度:24 MPa, 圧縮強度:48 MPa
フレームの降伏点:258.5 MPa に対する最大応力の裕度

ケース		裕度				
		フレーム	FRP 上カバー		FRP 下カバー	
			引張	圧縮	引張	圧縮
DLC 6.1	0°	1.15	1.38	2.00	1.00	1.84
	+15°	1.12	1.23	1.92	1.04	1.60
	-15°	1.18	1.27	1.89	1.04	1.71
DLC 7.1	+90°	1.33	1.00	1.66		
	-90	1.10	1.01	1.68		
	180°	1.88	2.67	5.76		

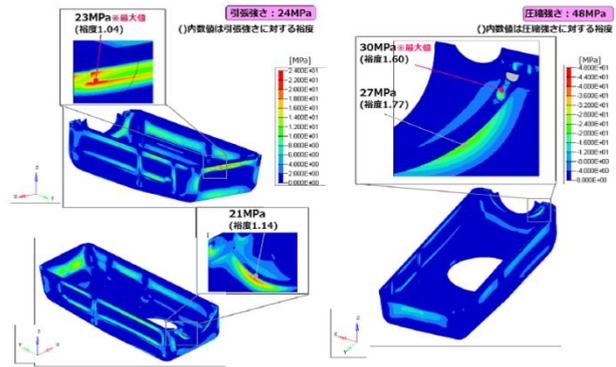


図 12 DLC6.1 (風向+15°) 条件における下カバー応力 (左: 引張応力 右: 圧縮応力)

4. まとめ

2016 年台風 16 号による南大隅 WF 風車のナセルカバー飛散・損傷事故の再発防止に向け、まず、DLC6.1 と DLC7.1 の風に耐えるようなナセルカバー補強策を示した。次に DLC6.1, DLC7.1 を風条件として設定して CFD 解析を行い、ナセル各部に作用する風荷重を算出した。最後に、CFD 解析による風荷重と材料試験で得た材料特性を入力値として FEM による構造解析を行った。その結果、補強策を施したナセルカバーは今回用いた全ての風条件において損傷しないことが確認された。よって、現在はこれらの強度対策を施したナセルカバーを新たに設計、製作し、既存のものと同順次交換をして、事故の復旧を進めているところである。

参考文献

- 1) 気象庁, 「2016 年 (平成 28 年) の台風について (確定)」, 平成 28 年報道発表資料, 2017
- 2) ウェザーニュース報道, <http://weathernews.jp/s/topics/201609/190125/>
- 3) NORDEX, N60/1300 kW, http://www.nordex-online.com/fileadmin/MEDIA/Produktinfos/EN/Nordex_N60_EN.pdf
- 4) 中嶋智司, 西尾宣俊, 大友一之, 永洞和宏, 本庄暢之, 「南大隅 WF 風車ナセルカバー飛散・損傷事故に関する構造解析」, 第 39 回風力エネルギー利用シンポジウム, 2017
- 5) CD-adapco ウェブページ, http://www3.cd-adapco.com/translations/ja_jp/products/star_ccm_plus/index.html

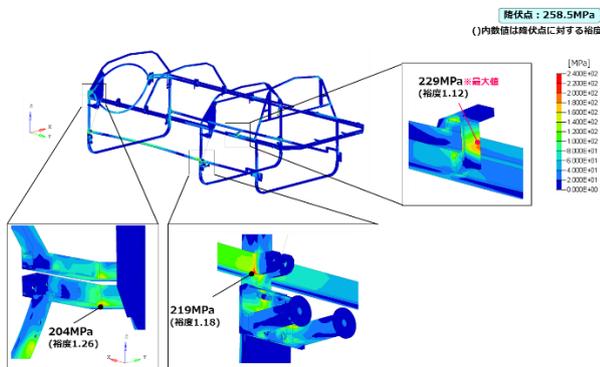


図 10 DLC6.1 (風向+15°) 条件におけるフレーム応力

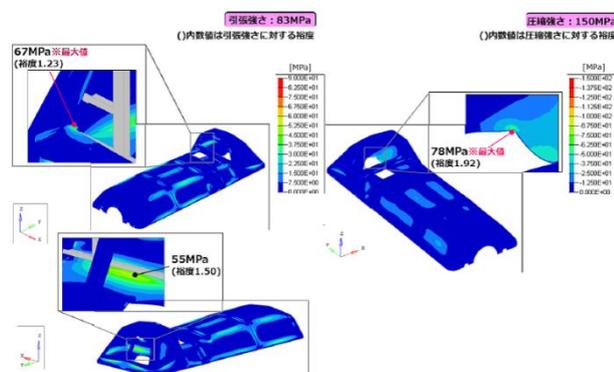


図 11 DLC6.1 (風向+15°) 条件における上カバー発生応力 (左: 引張応力 右: 圧縮応力)