

地形乱流が風車構造強度に与える影響に関する研究

(その1:リアムコンパクトによる地形乱流診断)*1

A research of the effects of terrain-induced turbulence on the wind turbines fatigue load

(Part1: Large-eddy simulation of airflow over complex terrain)

○川島 泰史*2, 内田 孝紀*3, 清木 莊一郎*4, 近藤 勝俊*5, 猿渡 和明*6, 西田 利彦*7

Yasushi KAWASHIMA, Takanori UCHIDA, Soichiro KIYOKI, Katsutoshi KONDO, Kazuaki SARUWATARI, and Toshihiko NISHIDA

1. 緒言

最近になり、山岳部などの複雑地形上に建設された風力発電所において、稼働率が当初の予想を下回る、すなわち、発電出力が著しく低下している風車や、風車内外の故障(例えば、ヨーモーターやヨーギアの故障、風車ブレードのクラックなど)の問題が顕在化している。この主たる原因は、風車直近の僅かな地形起伏の変化が要因となり、そこから発生する風の乱れ(地形乱流)であると考えられる。

この様な中、日本国内の陸上風車の場合、適地を求めて、今後さらに山岳部などの複雑地形に風車建設が進められており、風車事故や故障を低減する配置評価手法の確立が必要である。

このような状況を受け、我々の研究グループでは、既設風車を対象に「実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアによる精密な数値風況診断(ウインドリスク評価)」を実施している¹⁾。本報では、九電工新エネルギー(株)の協力の下、串木野れいめい風力発電所(平成24年10月より運転を開始)の風車10号機を対象として、風車構造強度条件を考慮した数値風況面からの風車最適配置手法の確立を目的として、風車ブレード歪みや風況データを計測し、計測データから風車構造強度へ最も影響を与える風向を特定したのでその解析結果について報告する。また、風況面からの風車最適配置手法の確立のため、特定された風向を対象に風況シミュレーションを実施したので、その結果についても報告する。

2. 実地形版RIAM-COMPACT®

ソフトウェアによる風況シミュレーション

本報では、数値風況面からの風車最適配置手法の確立を目的として実測データの解析と高解像度の風況シミュレーションを実施した。

2.1 串木野れいめい風力発電所の概要

九電工新エネルギー(株)の協力の下、串木野れいめい風力発電所(平成24年10月より運転開始)において、東

側にある弁財天山(標高519m)を通過する際に発生する風の乱れ(地形乱流)の影響が懸念される10号機を研究対象風車とした(図1参照)。



図1 現場の写真

(著者が2015年10月28日撮影)

10号機の概要	
定格出力:	2,000kW
風車の高さ:	60m (地面~ハブ中心)
翼(ブレード)の 直径:	80m
IEC 乱れ強度 カテゴリ:	A

2.2 風力発電所ブレード歪データ他解析 (実測データ解析)

風車はいずれの風条件においても、ブレードを通して風力エネルギーが入力されることから、ブレード根元の強度評価(ブレードの曲げ荷重評価)は、風車構造強度の評価上、重要な項目であるため、本研究では風車10号機のブレード[ブレード3本の根元(ルート部:ハブ接合面から約1.3m)]に歪センサーを設置した。

2015年11月3日0時~11月18日9時の10号機ブレード歪み実測データを確認した結果、2015年11月13日においてブレード歪み変動が大きいことが確認された。このため、疲労荷重への影響について、風車メーカーで風車運転データとブレード歪み計測データに基づき評価した結果、9時40分からの10分間の東風時(10分平均風速9.7m/s)においてDEL[疲労等価荷重(ブレード曲げ)]

*1 平成28年12月1日「第38回風力エネルギー利用シンポジウム」にて講演

*2 会員、西日本技術開発(株)(〒810-0004福岡市中央区渡辺通2-1-82 電気ビル共創館7F、連絡先 : y-kawashima@wjec.co.jp)

*3 会員、九州大学応用力学研究所(〒816-8580春日市春日公園6-1、連絡先 : takanori@riam.kyushu-u.ac.jp)

*4 会員、(株)日立製作所(〒317-0056茨城県日立市国分町1-1-1、連絡先 : soichiro.kiyoki.ga@hitachi.com)

*5 会員、(株)日立製作所(〒101-8608東京都千代田区外神田1-18-13 秋葉原ダイビル、連絡先 : katsutoshi.kondo.zy@hitachi.com)

*6 会員、西日本技術開発(株)(〒810-0004福岡市中央区渡辺通2-1-82 電気ビル共創館7F、連絡先 : k-saruwatari@wjec.co.jp)

*7 非会員、九電工新エネルギー(株)(〒810-0011福岡市中央区高砂2-10-1 九電工グループビル7F、連絡先 : t-nisida@k-ne.co.jp)

が最大2.03(5.88年で設計荷重に達する値)となることが確認された(図2参照)。DELが大きくなった東風と、その他の方位と比較を行うため北風を含め計2方位を対象として、実測を行ったブレード歪み計測データの比較を行った結果、風速9m/s程度が発生した時間帯において、2方位のブレード歪みデータの変動幅に差異があることが確認された(図3、表2参照)。

2.3 風力発電所のナセル風速・風向計による気流場解析(実測データ解析)

10号機のデータ計測期間11月3日0時~11月18日9時の期間における10分間の風速・風向・風速標準偏差データを使用して、表1に示す風向の設定範囲に基づく北風、東風の風速標準偏差および乱流強度の解析を行った。解析の結果、東風の風速標準偏差および乱流強度

の分布の値は、北風に対して大きいことが示された(図4を参照)。また、東風の乱流強度は、一部の風速階級でIEC乱流強度カテゴリーAを超える値が確認された。

2.2および2.3で示された実測データ解析の結果に基づく、10号機を対象とした2方位(北・東)のブレード歪みデータの変動幅、風速標準偏差および乱流強度の差異について、10号機東側(78deg方向)約300mに位置する弁財天山(標高519m)の影響と推察された(図1を参照)。

DELが最大となった東風、風速9m/s程度では、IEC乱れ強度カテゴリーAの範囲内となっているが、北風に比べ風速標準偏差のばらつきが大きく、このような場合、疲労荷重への影響が大きくなることに注意が必要と考えられる。

なお、DELが最大となった東風時、9.7m/sの際の風速標準偏差は約2.4m/sであった(図2参照)。

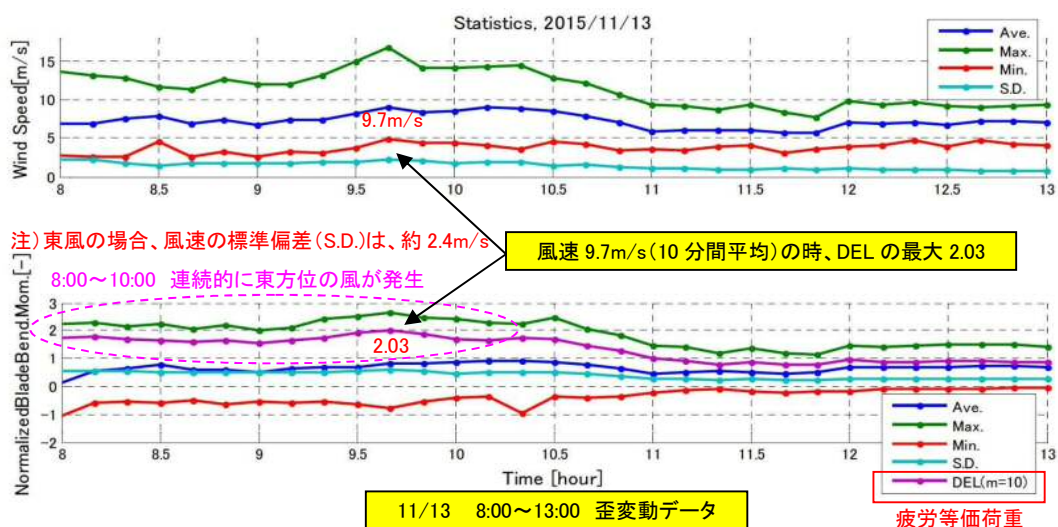


図2 東風時のDEL(ブレード曲げ)解析結果

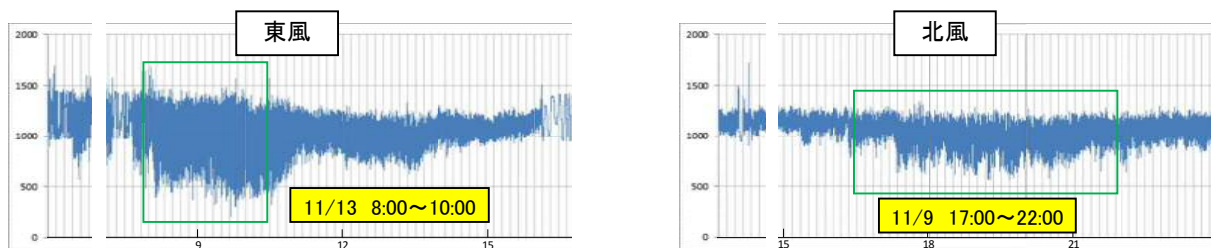


図3 ブレード歪みデータ比較(風速9m/s程度時)[実測データ(0.02秒値)、2015年]

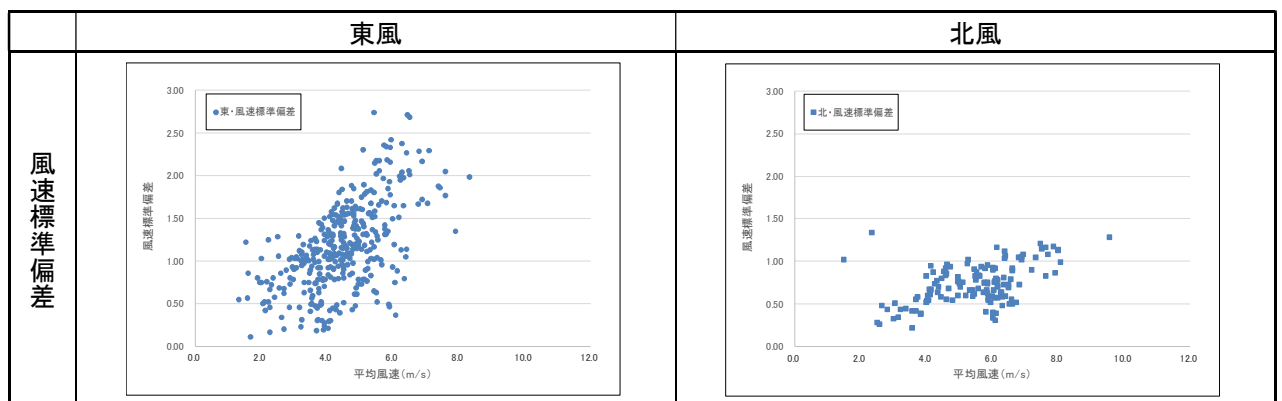


図4 11月13日0時~11月18日9時における10号機風向別標準偏差の分布比較[実測データ(10分間値)、2015年]

表1 風向の設定範囲およびデータサンプリング数

	風向の設定範囲	データサンプリング数
		10分間
北風	350° ~ 10°	140
東風	70° ~ 110°	360

2.4 風況シミュレーション条件の概要

本研究では、地形乱流の影響が大きいと推察される東風と、2.2および2.3で差異が確認された北風の計2方位で風況シミュレーションを実施した。

図5に示すように、東風の場合の風況シミュレーション条件を設定した。地形標高データは、国土地理院の空間解像度10mの標高データを用いた。なお、北風の場合のシミュレーション条件についても、東風の場合と同じである。

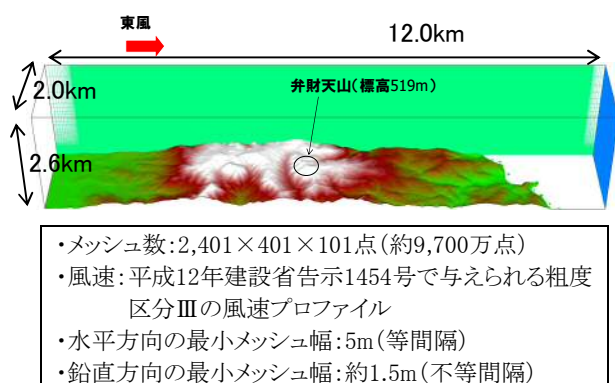


図5 風況シミュレーション条件の概要(東風の場合)

2.5 風況シミュレーション結果の考察

本報では、東風の場合に地形乱流の影響を大きく受けていると推測される10号機に主眼を置いて議論を進める。併せて、実測データ解析に基づき東風と比較して乱流強度が小さかった北風との比較についても議論を進める。

図6には10号機風車の受ける主流方向風速の分布(瞬間場)を示す。この図を観察すると、東風が吹いた場合、10号機の上流に位置する弁財天山から剥離流(地

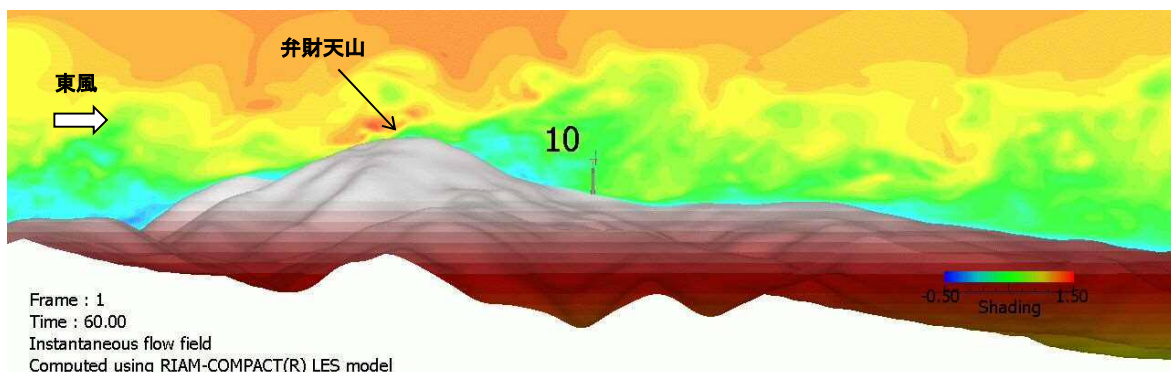


図6 東風時、10号機風車の受ける主流方向(x)の風速分布(瞬間場)

形乱流)が形成され、10号機風車はこの影響を強く受けていることが分った。

図8には、風車ハブ高さ(地上高60m)における主流方向(x)の風速成分$\langle u \rangle$の時系列データを示す。図8に示す時刻歴波形を観察すると、東風の場合、10号機では6~7秒の周期的変動が確認された。また、疲労ダメージが最大となった東風時の実測の標準偏差(約2.4m/s)と風況シミュレーション結果より得られた標準偏差はほぼ一致する傾向が示された(図2、図8参照)。東風は、北風の場合と比較して風速の変動幅が大きいことが認められる。この大きな風速の変化は、東風の場合に10号機風車の上流(東方位)に位置する弁財天山(標高519m)が影響していることが確認出来る。

次に図7に鉛直断面内の主流方向(x)の風速成分$\langle u \rangle$の変動幅を示す。この図に示される様に、10号機の東風の場合、ブレード受風面内では、大きな風速の変動幅となっていることも確認された。これらの風況シミュレーションデータ(図6、図7、図8参照)が示す時間的・3次元的な風速変動が発生することに伴い、風車構成機器の金属疲労の蓄積を想定より早く進行させているのではないかと推測される。

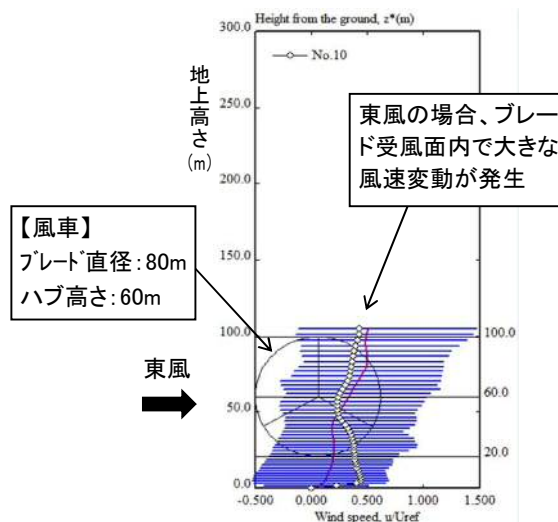


図7 東風時、10号機風車の受ける鉛直断面内の主流方向(x)の風速成分$\langle u \rangle$の変動

表2 実測データ分析及び風況シミュレーション結果(まとめ)

風向	主な発生日時		平均風速	歪み変動	DEL (ブレード曲げ)	風況シミュレーション結果
						乱流評価指標〔境界 風速(10m/s)換算値〕
(1) 東風	11/13	8:00~10:00	最大9m/s程度まで上昇	歪み変動大 (振幅大)	2.03	0.236
(2) 北風	11/9	17:00~22:00	最大9m/s程度まで上昇 (11/13 8:00~10:00の東風 と同程度)	歪み変動小 (振幅小)	0.95程度	0.099

注)・乱流評価指標 = α (ハブ高さ風速標準偏差)/ U_{in} (境界風速10m/s)

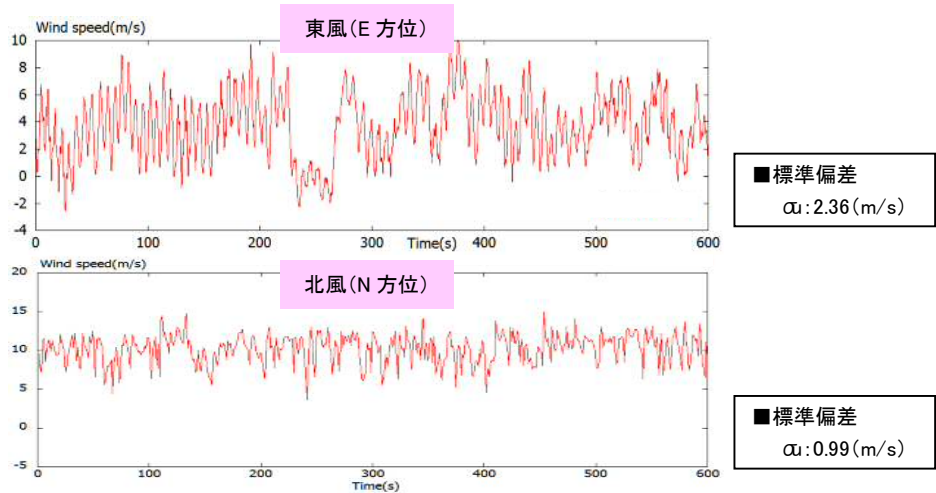


図8 風況シミュレーション結果〔主流方向(x)の風速成分(u)の時系列データ〕

3. 結言

鹿児島県いちき串木野市羽島地区に位置する九電新エネルギー(株)の串木野れいめい風力発電所10号機(平成24年10月より運転を開始)を対象に実測データの解析および実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアを用いて高解像度の風況シミュレーションを実施した。

その結果、東風が発生した場合、10号機の風車上流(東方位)に位置する弁財天山(標高519m)が要因となり、そこから風の乱れ(地形乱流)が発生し、10号機はその影響を強く受けていることが示された(図6、7、8参照)。

また、東風は、北風時と比べて、DEL(ブレード曲げ)が約2倍となっており、風況シミュレーション結果による「乱流評価指標」は東風時で0.236、北風時で0.099となった(表2参照)。このことから、ブレード歪み実測データに基づくDEL(ブレード曲げ)影響と風況シミュレーション結果に基づく「乱流評価指標」が密接に関係していることが見出された。また、従来から風車配置基準として使用してきた「乱流評価指標0.2以内」がDELを軽減する配置基準として望ましいことが裏付けられ、計画段階においてRIAM-COMPACT®から出力される「乱流評価指標」を用いることにより、耐久性(ブレード曲げ)を加味した風車配置計画が可能であることが分った。今後、風車構成機器の疲労強度や寿命などを把握・予測するため、RIAM-COMPACT®から出力されるデータと運転データによる風車故障分析手法の確立を試みる予定である。

謝辞

本研究で対象とした串木野れいめい風力発電所地点において、九電新エネルギー(株)で取得された実測データを使用させて頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内田孝紀, 大屋裕二, LES技術を用いたウィンドファーム風況診断—熊本県阿蘇車帰風力発電所を例として—, 土木学会論文集A2(応用力学, Vol.67, 特集号(2011))
- 2) T.Uchida and Y.Ohya, Latest Developments in Numerical Wind Synopsis Prediction Using the RIAM-COMPACT® CFD Model-Design Wind Speed Evaluation and Wind Risk (Terrain-Induced Turbulence) Diagnostics in Japan, Energies, 4(3), pp.458-474 (2011)
- 3) 内田孝紀 他4名: 白滝山ウィンドファームの風車ブレード損傷事故の原因解明—コンピュータシミュレーションによるアプローチ—, 風力エネルギー協会誌, Vol.34, 通巻.96, pp.77-84 (2011)