

気象モデルと流体力学モデルを用いた 風車設置地点における設計風速評価手法の提案

Proposal of Designed Wind Speed Evaluation Technique in WTG Installation Point By Using the Meteorological Model and CFD Model

内田 孝紀^{*1}, 丸山 敬^{*2}, 竹見 哲也^{*3}, 奥 勇一郎^{*4}, 大屋 裕二^{*5}, 李 貫行^{*6}

Takanori UCHIDA, Takashi MARUYAMA, Tetsuya TAKEMI, Yuichiro OKU, Yuji OHYA and Graham Li

^{*1} Assistant Professor, Research Institute for Applied Mechanics (RIAM), Kyushu University, 6-1 Kasuga-kouen, Kasuga, Fukuoka, 816-8580, Japan

^{*2} Associate Professor, Disaster Prevention Research Institute (DPRI), Kyoto University, Gokasyo, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan

^{*3} Associate Professor, Disaster Prevention Research Institute (DPRI), Kyoto University, Gokasyo, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan

^{*4} Assistant Professor, Disaster Prevention Research Institute (DPRI), Kyoto University, Gokasyo, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan

^{*5} Professor, Research Institute for Applied Mechanics (RIAM), Kyushu University, 6-1 Kasuga-kouen, Kasuga, Fukuoka, 816-8580, Japan

^{*6} Manager, Eurus Energy Japan Corporation, Akasaka 1-Chome Center Building 5F, 11-30, Akasaka 1-Chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052, Japan

ABSTRACT

It is highly important in Japan to choose a good site for wind turbines, because the spatial distribution of wind speed is quite complicated over steep complex terrain. We have been developing the unsteady numerical model called the RIAM-COMPACT® (Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain). The RIAM-COMPACT® is based on the LES (Large-Eddy Simulation). The object domain of the RIAM-COMPACT® is from several m to several km, and can predict the airflow and gas diffusion over complex terrain with high precision. In the present paper, the designed wind speed evaluation technique in WTG (Wind-Turbine Generator) installation point by using the meteorological model and RIAM-COMPACT® CFD model was proposed.

キーワード: 設計風速, 複雑地形, 気象モデル, 流体力学モデル

Keywords : Designed Wind Speed, Complex Terrain, Meteorological Model, CFD Model

1. はじめに

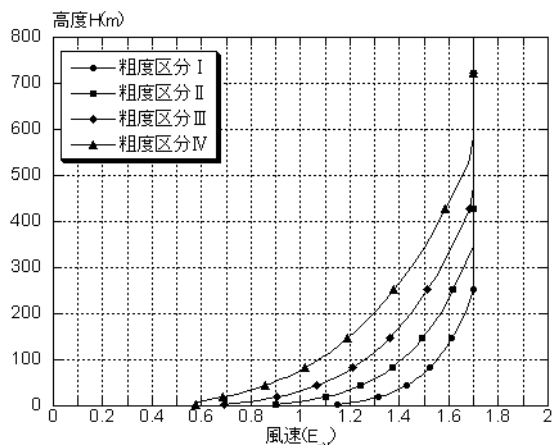
平成19年6月に「改正建築基準法」が施行され、60mを超える工作物はこれまでの建築確認申請だけではなく、指定機関による性能評価や国土交通省の大臣認定が必要となった。これに伴い、風車ハブ高さ位置で耐風設計用の基準風速を算定する際には、地形的要因を考慮した風速の割増係数を何らかの形で評価しなければならなくなった¹⁾。こうした状況を受け、2007年に土木学会から「建築基準法」²⁾、「建築学会荷重指針・同解説」³⁾に準じた「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説」⁴⁾が発行された。但し、文献⁴⁾では、強風の発現風向は考慮されておらず、該地点に進入する風向を16方位に分割し、これを

評価することになっている。また、各粗度区分における風速分布は、地表面粗度が風上側に十分長い距離で、かつ一様に分布していると仮定した風洞実験や観測結果から求めた値を適用している。さらに、大気は強風中立状態で、風向と風速は定常状態を仮定している。すなわち、気象条件が風速分布に与える影響は考慮されておらず、自然風に見られる風向や風速分布の時間変化の影響、温度の鉛直分布などの大気安定度の影響、強風の気象学的な発生原因の影響、風上側の地表面粗度の空間的变化の影響、風上側の地形や地勢の変化の影響などは一切考慮されていない。高高度における風速は各粗度区分において高度 Z_G (粗度区分IVで最高550m)以上で一定と仮定し、その値は粗度区分IIIにおける地上10mの

^{*1, 5} 九州大学応用力学研究所 助教, 教授 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

^{*2, 3, 4} 京都大学防災研究所 准教授, 准教授, 特任助教 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

^{*6} (株)ユーラスエネジージャパン マネージャー (〒107-0052 東京都港区赤坂一丁目11番30号 赤坂1丁目センタービル5階)



◆高度 H が Z_b 以下の場合

$$E_{pV} = 1.7 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \quad \text{式(1)}$$

◆高度 H が Z_b を超える場合

$$E_{pV} = 1.7 \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad \text{式(2)}$$

粗度区分	Z_b (m)	Z_G (m)	α
I	5	250	0.10
II	5	350	0.15
III	5	450	0.20
IV	10	550	0.27

図1 平成12年建設省告示1454号で与えられる速度プロファイル E_{pV} (平均風速の高度方向分布を表す係数, あるいは平均風速の高度補正係数, Z_b , Z_G , α は地表面粗度区分に応じて掲げられた数値)の比較

風速の1.7倍としている(図1を参照). 以上のように, 建築基準法における耐風設計用の基準風速の求め方では, 種々の要因が考慮されていない.

本研究では, 最新の研究成果により, より現実に近い強風性状を取り込み, かつ, 安全性を確保したものとして耐風設計用の基準風速を求める一手法を提案する. 具体的には, 対象地点を過去に襲来した台風の中で, 強風をもたらしたものを再現し, そこから得られた結果に基づき, 流体力学モデルRIAM-COMPACT^{®5)}を用いて割増係数を算出する. 最終的に幾つかのシナリオを考慮し, 設計風速とする.

2. 提案手法

文献²⁻⁴⁾での高度方向の風速分布は, 風上側の広範囲な地形や地勢の影響, 気象学的な影響を現実に即したものとしては決めておらず, 図1に示すような地表面粗度の影響から決まる風速分布として与えている. 但し, 無限に風速を大きくすることは出来ないため, 高度 Z_G 以上で一定という仮定をしている.

確認申請とは, 想定している期間中に最悪の風荷重で風車が倒壊しないことを確認することであるため, 現地の強風時の気流性状の実状を反映した風速分布を与えるべきであると考え. そこで本研究では,

日本国内の対象地域はほぼ台風襲来地域であり, 過去の強風も台風によるものであることから, この台風情報が入手可能であるならば, この実状に近い条件に基づいてメソスケール気象モデルを用いた台風シミュレーションを実施し⁶⁾, その結果は引き続き行うCFDの流入風速の鉛直分布として利用することとする⁷⁾. 当然ながら, 台風シミュレーションの結果は, 対象地点の風上側の広範囲の地形や地勢の影響, 強風発生時の気象学的な影響を考慮している. また, 台風シミュレーションでは, 360度連続的に風向が変化する場合の対象地点の風向と風速変化を求めているので, 対象地点を16風向に分けて計算する場合よりも, より現実に近い状況を解析している.

上記の結果を受けて, 強風発生が予想される風向を特定し, この風向を対象に我々が独自に開発を進めている流体力学モデルRIAM-COMPACT[®]による解析を行う. ここで, 流体力学モデルを用いる意味は, 風車設置点直近の地形の影響を精査することであり, 文献⁴⁾に示される16風向別の計算とは多少ニュアンスが異なる. よって, 強風発生が予想されない風向, すなわち, 耐風設計上問題にならない風向では, 詳細な解析を行わないとし, このような工学的判断を台風シミュレーションから行う. そして, 流体力学モデルから得られた値に安全率などを考慮して, 風車ハブ高さ設計風速とする.

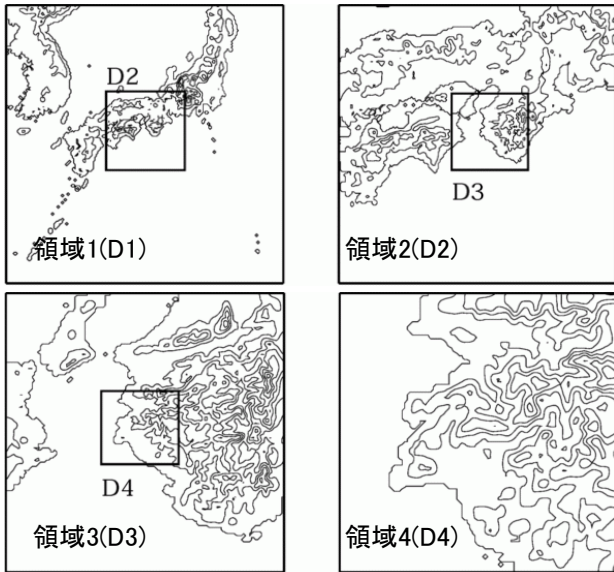
3. 計算例

3.1 ウインドファームの概要

(株)ユーラスエナジージャパンの協力の下, 和歌山県南西部のウインドファームに関する耐風設計を試みた. ここは, 発電出力1.3MW, ハブ高さ60m, ロータ直径62mの風車10基で構成されるウインドファームである. この地域は台風襲来地域にあるため, 風車と風車タワーの耐風設計は, 台風通過時の気流性状予測により求めることが妥当だと考えられる. そこで, 過去にこの地域において強風が発生した台風を, メソスケール気象モデルMM5^{®8)}により再現し, 広域の強風場を求めた. さらに, その結果を用いて, ウインドファーム周辺の詳細な地形起伏を再現した領域について, RIAM-COMPACT[®]による非定常乱流シミュレーションを行った. 得られた結果から, 耐風設計用の基準風速を予測した.

3.2 気象モデルMM5による台風シミュレーション

気象モデルMM5の支配方程式は, 圧縮流体, 非静水圧近似, 地球回転効果(コリオリ力)を考慮した運動方程式, 圧縮流体の連続の式, 熱力学第1法則, 状態方程式である. その他に, 雲・降水過程, 放射過程, 地表面エネルギー輸送過程, 境界層乱流過程に係るパラメタリゼーションに基づく方程式も考慮している.



領域番号	1	2	3	4
水平方向 メッシュ数	199 x199	169 x169	139 x139	109 x109
鉛直方向 メッシュ数	33			
メッシュ幅	9km	3km	1km	333m
初期時刻	1998年9月21日9時(日本時間)			
初期値・ 境界値	GAME再解析データ GAME(全球エネルギー水循環研究実験計画・アジアモンスーン観測実験)とは国際的な気象・水文関係のプロジェクトの名称で、このプロジェクトの際に作成された格子点値の意味。			

図2 メソスケール気象モデルMM5の計算領域など

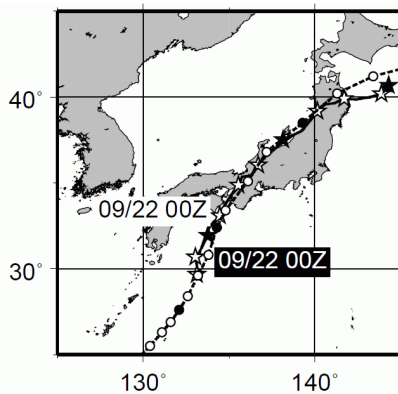


図3 台風9807号の中心径路の比較, 領域1の結果

過去にこの地域を通過した台風の中で、風車地点において強風が発生するものとして、1998年第7号台風(台風9807号と表記)を選んだ。この台風は、近年日本に接近した中で、和歌山県を含む近畿・北陸地方に強風被害をもたらした。台風シミュレーションに必要な数値データは、気象庁により整備・提供されている。図2にはMM5の計算領域を諸条件と併せて示す。本研究では4重ネストシステムを用いた。図3には、台風中心径路の比較を示す。計算結果(☆)は、気圧

最低点を追跡したもので、気象庁ベストトラック(○)とほぼ同じ径路を通過している。メソスケール気象モデルで再現された台風9807号通過時のウインドファーム付近の強風場(計算値)から、強風が発生する時刻、風向等を検討した(図4, 図5)。その結果、風車建設地点において、台風の接近・通過に伴い風向はEからS, SからWに変化し、1998年9月22日午後1時から3時頃に最も強い風が吹くことが確認された(図4)。図6に示す和歌山県内のアメダス観測点における風向と風速の観測結果との比較に注目する。台風シミュレーションの結果は、高風速域で実際よりやや大きめに風速を予想するものの、風向と風速の時間変化は観測結果と良く対応している。以上から、計算結果が妥当であることが確認した。

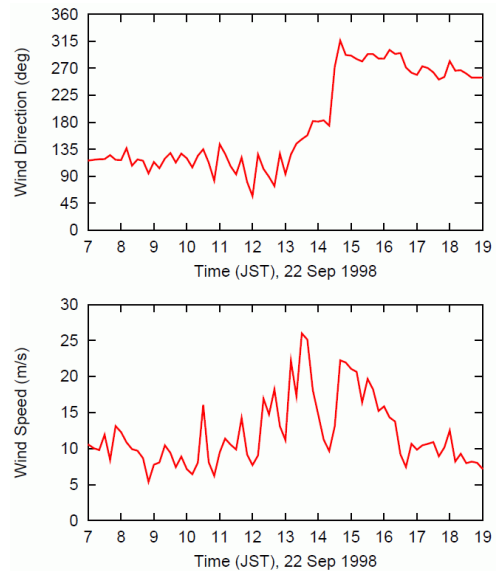


図4 ウインドファーム内の観測マスト(地上高約50m)の風向と風速の変化, 領域4の計算結果, 風向は北を0度, 東を90度, 南を180度, 西を270度, 1998年9月22日

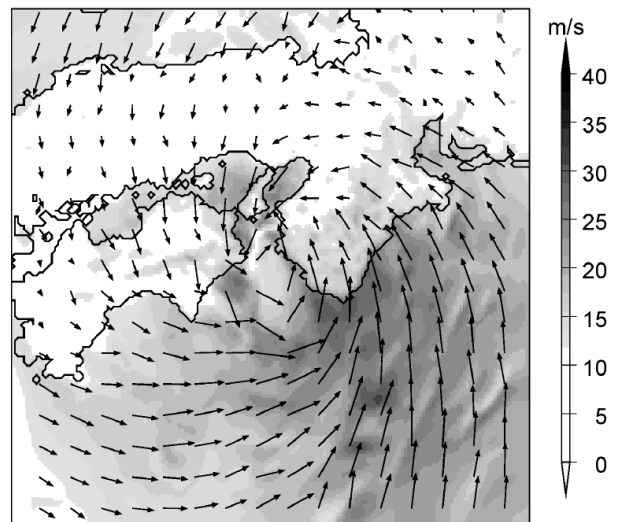


図5 領域2の計算結果による最下層の風況図, 1998年9月22日, 9月22日13時30分, 地上高約11m

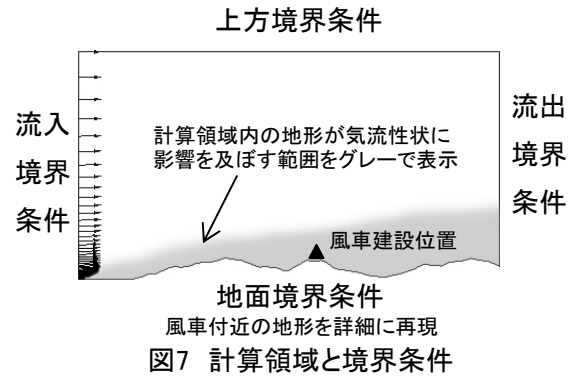


図7 計算領域と境界条件

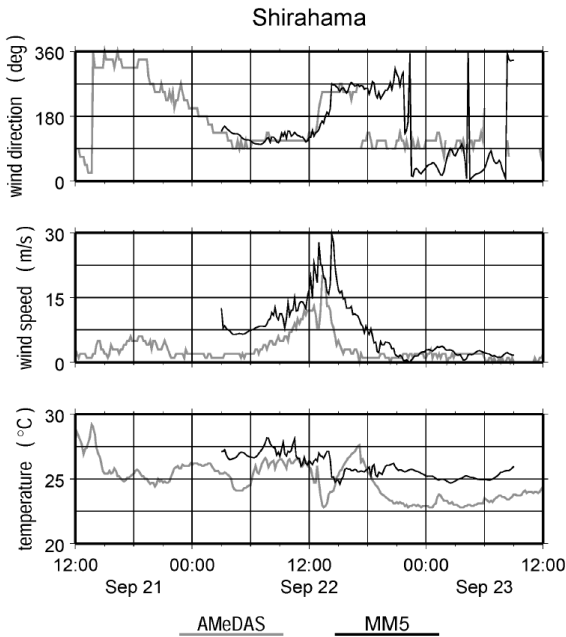


図6 アメダスデータ(白浜)とMM5の比較, 領域3の計算結果

次節で述べる風車建設地点における詳細な地形を再現したRIAM-COMPACT®による非定常乱流場の数値シミュレーションは、図4より、SE, SSE, S, WNWの4風向を計算対象とした。

3.3 流体工学モデル RIAM-COMPACT® による LES乱流シミュレーション

数値不安定を回避し、複雑地形上の風の流れを高精度に数値予測するため、一般曲線座標系のコロケート格子に基づいたRIAM-COMPACT®を用いたコロケート格子とは、計算格子のセル中心に物理速度成分と圧力を定義し、セル界面に反変速度成分にヤコビアンを乗じた変数を定義する格子系である。数値計算法は(有限)差分法に基づき、乱流モデルとしてLESを採用する。LESでは流れ場に空間フィルタを施し、大小様々なスケールの乱流渦を計算格子よりも大きなGS成分の渦と、それよりも小さなSGS成分の渦に分離する。GS成分の大規模渦はモデルに頼らず直接数値シミュレーションを行う。一方で、SGS成分の小規模渦が担う、主としてエネルギー消散作用はSGS応力を物理的考察に基づいてモデル化される。流れの支配方程式は、フィルタ操作を施された非圧

縮流体の連続の式と運動方程式である。本研究では、強風時の気流予測を対象にしているため、大気が一般的に有する温度成層の効果は省略した。計算アルゴリズムは部分段階法に準じ、時間進行法はオイラー陽解法に基づく。圧力に関するポアソン方程式は逐次過緩和法(SOR法)により解く。空間項の離散化は対流項を除いて全て2次精度中心差分とし、対流項は3次精度風上差分とする。ここで、対流項を構成する4次精度中心差分は梶島による4点差分と4点補間に基づいた補間法⁹⁾を用いる。3次精度風上差分の数値拡散項の重みは通常使用される河村-桑原スキーム¹⁰⁾タイプの $\alpha=3$ に対して、 $\alpha=0.5$ としその影響は十分に小さくする。LESのサブグリッドスケールモデルには、標準スマゴリンスキーモデル¹¹⁾を用いる。壁面減衰関数を併用し、モデル係数は0.1とした。計算領域と計算メッシュの設定に関する考え方、境界条件の与え方を説明する(図7を参照)。

風車建設位置周辺の計算は、LESを用いたRIAM-COMPACT®により非定常乱流シミュレーションを行い、風速の変動成分を再現する。計算領域内には、国土地理院の50m標高データなどに基づいて複雑地形を忠実に再現する。特に、風車付近のメッシュ間隔は小さくして地形形状を詳細に再現する。計算領域の範囲に関して、風上側には風車位置での気流性状に地形が影響を及ぼす範囲を、風下側には流下する渦が滑らかに流出し、風車位置付近に流出境界面の影響が及ばないような範囲を設定する。境界条件に関して、上方境界面には水平風速成分(\bar{u} , \bar{v})の鉛直方向勾配がゼロ、鉛直風速成分(\bar{w})をゼロとする滑り条件、側方境界面には水平風速成分(\bar{u})と鉛直風速成分(\bar{w})の主流直交方向勾配がゼロ、水平風速成分(\bar{v})をゼロとする滑り条件、流出境界面には対流型流出条件、地面には粘着条件を課す。流入境界断面には、後述する台風シミュレーションの結果を与える。

図8に計算領域を示す。計算領域は、観測マスト(135.19378度, 34.09800度)を中心に8,500m四方とした。鉛直方向高さは約2,900mである。計算メッシュ数は101×101×51点、水平方向メッシュ幅は32m～769m、鉛直方向メッシュ幅は1.7m～347mである。

台風シミュレーションの結果から、計算対象とする

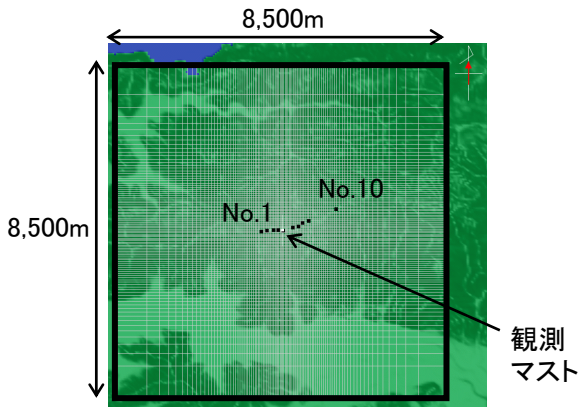


図8 RIAM-COMPACT®の計算領域, 風向S

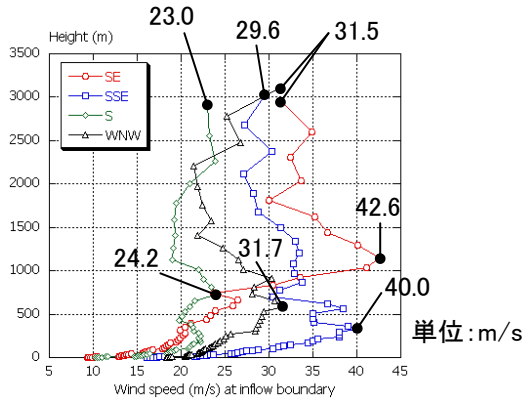


図9 風向SE, SSE, S, WNWにおいて, 観測マスト(図8に矢印で表示)の風速が最も強くなった時点における, 計算領域の流入境界面の中心における風速の鉛直分布. 台風シミュレーション(領域4)の結果

風向はSE, SSE, S, WNWの4風向とした. 上記の4風向において, 観測マスト(図8に矢印で表示)の風速が最も強くなった時点の流入境界面中心の風速分布を求めると, 図9のように各風向でそれぞれ異なる鉛直分布を有していた.

文献²⁻⁴⁾では, 上空高さ550m以上の風速は一定としており, RIAM-COMPACT®による計算においても台風シミュレーションによる風速の鉛直分布を参考にし, 高度550mにおける風速を基準風速 $U_0=1.0$ とし, それより上空では一定の風速を与えた. 但し, 高度550m以下の風速が高度550mの風速よりも大きい場合には, その高度以上で風速が基準風速 $U_0=1.0$ となるように与える. 以上の条件の下, LES計算によ

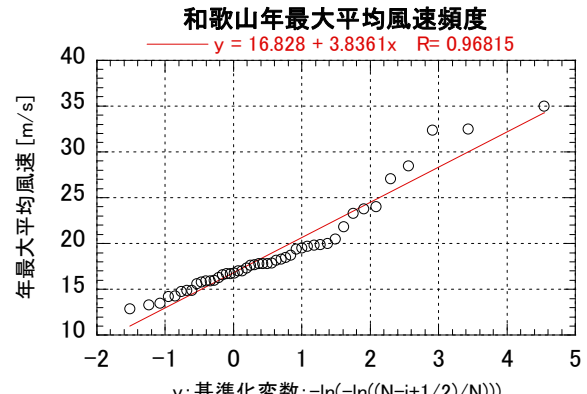
表1 RIAM-COMPACT®による平均風速比 $E_{i,CAL}$
(流入境界面の上空風速に対する比)

風車No.	SE	SSE	S	WNW
No.1	0.96	1.07	0.8	0.87
No.2	0.93	1.07	0.8	0.55
No.3	0.94	1.09	0.83	0.51
No.4	0.97	1.06	0.97	0.67
No.5	1.04	1.07	1.1	0.86
No.6	0.67	1.05	1.05	0.85
No.7	0.5	1.14	1.17	0.83
No.8	0.86	0.89	1.02	0.87
No.9	0.58	0.58	1.07	1
No.10	0.94	1.13	1.08	0.88

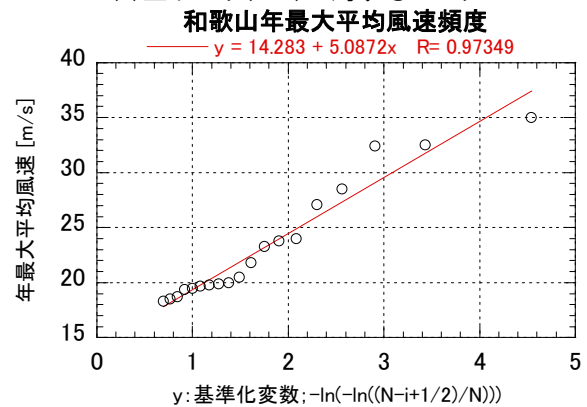
り, 各風車のハブ高さ位置での平均風速比 $E_{i,CAL}$ を各風向で求めた(表1を参照). なお, 平均風速比は流入境界面の上空風速(高さ550m以上の風速)に対する比($=(\bar{U}^2 + \bar{V}^2)^{1/2} / U_0$)として表示する.

3.4 再現した台風の統計的評価

ここでは, 台風シミュレーションで発生させた台風が統計的に見てどれぐらいの強さを持った台風であるのか, すなわち, 流入境界条件として与えた風速は再現期間何年に対応する強さを持ったものであるかについて検討する. 和歌山气象台における年最大平均風速から, 最大平均風速の発生頻度を求めると, グンベル分布の基準化変数は図10(a)のようになる(グンベル分布による評価方法は文献¹²⁾を参照). 図より, 平均風速の発生頻度は高風速と低風速で異なる傾向(グラフが途中で折れ曲がる)を示している. これは, 高風速の発生原因が台風時のものと考えられ, 台風時の風速発生頻度が低風速時と異なることを表している. そこで, 高風速時(風速19m/s以上)のみを取り出し, 最小二乗近似を用いて直線近似すると図10(b)のようになる. このとき, グンベルパラメータ a, b はそれぞれ, $a=1/5.0872=0.197$, $b=14.3$ となり, R年再現期待値 U_R を求める式は, $U_R \cong 1/a \times \ln R + b =$



(a)全データ(=47)に対するプロット



(b)高風速(風速19m/s以上)のデータ
に対するプロット

図10 和歌山气象台における年最大平均風速とグンベル分布の基準化変数の関係

5.09lnR+14.3と与えられる。よって、和歌山気象台における最大平均風速の50, 100, 200, 500年再現期待値はそれぞれ34.2, 37.7, 41.3, 45.9m/sとなり、建築基準法によって設計用基準風速として与えられている、和歌山県の50年再現期待値34m/sと良く対応している。

一方、和歌山気象台における1998年の年最大平均風速は台風7号によるもので32.4m/sになり、これは35年再現期待値に等しい。よって、本研究でメソスケール気象モデルMM5を用いて再現した台風は、年最大平均風速の再現期待値で評価すると、35年に1度やってくる強さの台風に相当していると思わせる。これにより、台風シミュレーションの風速を、50, 100, 200, 500年再現期待値に換算するには、それぞれ、34.2/32.4, 37.7/32.4, 41.3/32.4, 45.9/32.4倍した値を用いれば良い。その値を表2に挙げておく。

表2 R年再現期待値に換算する倍率Q

R年	倍率Q
50	1.06
100	1.16
200	1.27
500	1.42

3.5 風車ハブ高さにおける設計風速 U_h の算出方法

最初に、文献²⁾に従って風車ハブ高さ位置における設計風速 U_h の評価法を説明する。 U_h は文献²⁾の式(3.1)から、文献²⁾の3.2節の図3.1に示される設計基準風速 V_0 (建築基準法施行令第87条より引用。和歌山県では34m/s)に、平均風速の割増係数 E_{IV} および高度補正係数 E_{pV} を乗じて次式で求められる。

$$U_h = E_{IV} E_{pV} V_0 \quad \text{式(3)}$$

ここで、 E_{pV} は図1の式(1)および式(2)で与えられる。RIAM-COMPACT[®]で求めた各風車ハブ高さ位置での平均風速比(割増係数)を E_{tCAL} とする。 E_{tCAL} はRIAM-COMPACT[®]における流入境界面上空風速、すなわち、図1の式(2)で H を Z_G 以上としたときの E_{pV} の値($=1.7V_0$)に対する U_h の比

$$E_{tCAL} = U_h / 1.7V_0 \quad \text{式(4)}$$

であるから、式(4)に式(3)を代入し、式(5)が導かれる。

$$E_{tCAL} = U_h / 1.7V_0 = E_{IV} E_{pV} / 1.7 \quad \text{式(5)}$$

よって、 E_{tCAL} は平均風速の割増係数 E_{IV} および高度補正係数 E_{pV} を含んだ値である。風車ハブ高さ位置での設計風速 U_h は文献²⁾の風速 $V_0(=34m/s)$ を用い、

$$U_h = 1.7V_0 E_{tCAL} = 57.8 E_{tCAL} \quad \text{式(6)}$$

となる。本研究では、下記に示す2つのシナリオを提案する。

シナリオ1:

式(6)から算出した設計風速 U_h を台風シミュレーションから得られた風速の鉛直分布をもとに補正する。

シナリオ2:

式(6)の上空風速($=1.7V_0$)の代わりに各風向の台風シミュレーションの最大風速を用いる。

最初にシナリオ1を考える。既に述べたように、RIAM-COMPACT[®]の流入境界面に与える風速の鉛直分布は、実際の台風の気象学的な影響、風上側の広範囲な地表面の影響を受けたものとして計算されている。しかし、本研究で取り上げた台風に特有の風速分布であることも否めない。その影響は、地面近くになるほど大きいと考えられる。よって上空風速の設定に際しては、出来る限り異なる台風による相違が少ないようにすべきである。本研究では、上空3,000mの風速を異なる台風による相違が少なくと考え、この値を基準風速とする(図9を参照)。これより、RIAM-COMPACT[®]の流入境界面における上空風の低減率 R が求められる。すなわち、式(6)を下記のように補正する。

$$U_h = 1.7V_0 E_{tCAL} = 57.8 E_{tCAL} R \quad \text{式(7)}$$

なお、上空風の低減率 R は表3のようになる。

表3 LES計算用の流入境界面における上空風の低減率R

風向	南東	南南東	南	西北西
上空 3,000mの 風速(m/s) ※図9に記載	31.5	29.6	23.0	31.5
低減率R	1.0	0.94	0.73	1.0

表3を考慮すると、シナリオ1では、風向SSEのNo.7の61.9m/sが最大風速となった。

次にシナリオ2を考える。既に述べたように、台風9807号は35年に1度やってくる強さの台風に相当していることが示された。例えば、これを50年再現期待値にするには、表2から倍率 $Q=1.06$ を各風向の設計風速 U_h に乘じれば良いことになる。別の言い方をすれば、1.06倍の余裕を持たせることになる。

$$U_h = U_{MAX} \Big|_{各風向} E_{tCAL} Q \quad \text{式(8)}$$

その結果、シナリオ2では、風向SSEのNo.7の48.3m/sが最大風速となった。仮に安全率を多めにとり、再現期待値を100年とすると、52.9m/sとなる。

以上の考察により、どちらのシナリオを使うか、また、

再現期間を設定する倍率の取り方は、設計者の責任で選定することになる。

4. おわりに

(株)ユーラスエナジー日本の協力の下、和歌山県南西部のウインドファームを対象に、メソスケール気象モデルMM5と流体工学モデルRIAM-COMPACT®を併用した風車ハブ高さ位置での耐風設計用の基準風速評価法を検討した。MM5を用いた台風シミュレーションでは、風車設置点周辺の詳細計算の流入境界面の風速分布を与えることを目的に、対象地域を過去に襲ったもので、かつ、計算に必要なデータが入手できるものとして台風9807号を取り上げた。MM5の結果に基づいて、RIAM-COMPACT®から割増係数を算出し、幾つかのシナリオを考慮して設計風速とした。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 台風シミュレーションにより発生させた強風場は、風速および風向の時間変化が観測値と良く対応し、計算値はおおむね観測値と同じか、少し大きな値を取ることが確かめられ、安全側の値として妥当である。
- (2) 台風シミュレーションにより発生させた台風9807号は、和歌山気象台における観測記録の統計値を用いて、年最大平均風速の再現期待値で評価すると、再現期間35年程度の強さを有する(別の言い方をすると、35年に1度やってくる強さを有する)台風に相当している。また、和歌山気象台における観測記録の統計値は、建築基準法に示された50年再現期待値の値と整合したものととなっている。
- (3) 台風シミュレーションの結果より、風車建設位置における台風通過時の風向・風速の変化を調べ、最も強い風速が発生する時刻における風向および風速分布を求めた。
- (4) 風車設置位置周辺の詳細計算では、最も強い風速が発生する風向SE, SSE, S, WNWを抽出し、流入風速分布に台風シミュレーションの結果を用いた。
- (5) 設計用の基準風速は、詳細計算で得られた流入境界面における上空風速と風車ハブ高さ位置での平均風速の比に、風向による低減率Rを掛けたものをシナリオ1として提案する。
- (6) 低減率Rは、台風通過時の風向の影響を取り込んだものであり、異なる台風による相違が少ない上空3,000mの風速比として求める。
- (7) シナリオ1では、風向SSEのNo.7の61.9m/sが最大風速となった。
- (8) シナリオ2として、上述の低減率Rを用いず、基準風速 V_0 の1.7倍の上空風速($=1.7V_0$)の代わりに、

各風向の台風シミュレーションによる最大風速を用いる。50年再現期待値として評価すると、風向SSEのNo.7の48.3m/sが最大風速となった。仮に安全率を多めにとつて、100年再現期待値として評価すると、52.9m/sとなる。

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の平成17年度産業技術研究助成事業(若手研究 Grant, 2006年1月-2008年12月),「空間解像度10m以下の詳細地形構築技術の開発とそれを用いた風力タービンハブ高さ周辺の風の乱れの視覚的評価」プロジェクト(研究代表者:内田孝紀)の援助を受けました。また、(株)ユーラスエナジー日本には検討サイトの種々のデータを提供していただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内田孝紀, 丸山敬, 竹見哲也, 大屋裕二, 道下和明, 複雑地形上の風車ハブ高さ風速に与える流入気流性状と標高データの影響, 第20回風工学シンポジウム論文集, pp.139-144, 2008
- 2) 建築基準法, 2000
- 3) 日本建築学会:建築物荷重指針・同解説, 2004
- 4) 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[2007年版], 土木学会
- 5) T. Uchida and Y. Ohya, Micro-siting Technique for Wind Turbine Generators by Using Large-Eddy Simulation, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, Vol.96, pp.2121-2138, 2008
- 6) 丸山敬, 前田潤滋, 友清衣利子, 中野満寿男, 金田幸恵, メソスケール気象モデルにより再現された台風0418号の強風場, 第20回風工学シンポジウム論文集, pp.37-42, 2008
- 7) 丸山敬, 石川裕彦, 内田孝紀, 河井宏允, 大屋裕二, 台風0418号通過時の宮島周辺の強風場に関する数値シミュレーション, 日本風工学会誌, No.108, pp.95-104, 2006
- 8) 竹見哲也, 中山浩成, 微細規模大気流れの気象モデルとCFDモデルの融合解析, 日本流体力学会誌「ながれ」, Vol.28, No.1, pp.13-20, 2009
- 9) 梶島岳夫, 乱流の数値シミュレーション, 養賢堂
- 10) T. Kawamura, H. Takami and K. Kuwahara, Computation of high Reynolds number flow around a circular cylinder with surface roughness, Fluid Dyn. Res., Vol.1, pp.145-162, 1986
- 11) J. Smagorinsky, General Circulation Experiments with the Primitive. Equations, Mon. Weather Rev., Vol.91, pp.99-164, 1963
- 12) 建築物の耐風設計, 鹿島出版会