

風車立地点近傍に発生する地形乱流の高解像度LES^{*1}

High Resolution LES of Topography-Induced Turbulence around WTG

○内田 孝紀^{*2}, 大屋 裕二^{*2}, 荒屋 亮^{*3}, 川島 泰史^{*4}, 藤本 弘明^{*4}

Takanori UCHIDA, Yuji OHYA, Ryo ARAYA, Yasushi KAWASHIMA and Hiroaki FUJIMOTO

1. 緒言

我々は数(十)km以下の狭域空間に的を絞り, RIAM-COMPACT®(Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain:リアムコンパクト)と称する非定常・非線形風況シミュレータを開発している¹⁾. 乱流モデルにはLES(Large-Eddy Simulation)を採用している. LESとは, 比較的大きな渦構造を直接計算し, それより小さい渦構造のみをモデル化する手法である. 現在, 国内で開発されている風況予測ソフトは, 計算時間の問題からRANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes equation)と呼ばれるレイノルズ平均型乱流モデルを採用している^{2, 3)}. RANSでは, 時間的に変化しない定常的な流れ場を解く. しかし, 近年のコンピュータ性能の向上は著しく, 計算時間の問題も劇的に解消されつつある. 空間平均型の乱流モデルであるLESは, 時々刻々と変化する非定常な風況場をシミュレーションすることが可能である. ここが時間平均型の乱流モデルであるRANSと大きく異なる点である. また, モデルパラメータのチューニングにおいても, LESはRANSに比べて極めて少なく, 汎用性に優れた手法である. 非定常な風況特性を簡単に数値予測し, その結果をアニメーションなどで視覚的に捉えることが出来れば, 多額の費用を要する風洞実験の代替ツールになるとともに, 実用的な設計の一助になることが大いに期待される.

最近になり, 建設後の大型のウィンドファームWF(Wind Farm)において, 稼働率が当初の予想を下回る, すなわち, 発電出力が著しく悪い風力発電機WTG(Wind Turbine Generator)の問題が顕在化しつつある. この主たる原因は, WTG近傍のわずかな地形起伏の変化が起源となり, そこから機械的(直接的)に発生する風の乱れ(地形乱流)であると考えられる. また, 地球温暖化に伴い, WF内の卓越風向や平均風速の経年変化⁴⁾が原因になる場合も考えられる. いずれにしても, 稼働中のWFにおいても定期的な風況評価(ウィンドリスク評価)が必要であると考えられる.

そこで我々の研究グループで提案するのは, RIAM-COMPACT®によるWF風況診断である. これには, 最新の土地造成状況を反映した, 10m以下の高解像度標高データ^{5, 6)}の利用が不可欠である. 具体的には, 既存のWFに対して精緻な風況シミュレーションを実施し, WTGの配置が現状維持で良いのか, あるいは, 運転状況の悪いWTGは移動が必要なのか, コスト面からみて停止させるべきなのかといったWF内のWTG再配置問題を支援するものである. 本報では, 実際のWFに対して風況診断を行い, 風車周辺に発生する地形乱流の影響を報告する.

2. RIAM-COMPACT®によるWF風況診断

図1には, 本研究で対象にしたWTG立地点周辺の地形と計算条件を示す. 図1(a)に示すように, 本研究では, WTG立地点周辺をDXF形式のCADデータから5m解像度で詳細に構築し, その周囲は国土地理院の50m標高データと滑らかに接続させた. このように, 地理情報システム(GIS)の技術を活用し, 紙地図やDXFファイルに基づいて独自に構築した高解像度標高データと, 既存の標高データをマージさせて地形データを効率的に作成することを実現した. 自治体や電力事業者が保有している紙地図やCADデータは, 最新の土地造成状況を反映している. よって, 国土地理院の50m標高データなどと比較して格段に高い精度を有する. GISに基づいて作成された標高データは, RIAM-COMPACT®で即座に利用可能である. 標高データの作成期間は図面1枚あたり数日程度である. RIAM-COMPACT®では実スケールのロータ直径, ハブ高さ, 受風面の風向, 表示カラーなどを設定し, 十進経緯度(世界測地系)で立地点を指定すれば, WTGの線図を計算領域中に挿入することが可能である(図1(b)を参照). 本研究で対象にしたWTGは, ロータ径52m, ハブ高さ44mである. 便宜上, WTG-A, WTG-Bと称し, 図中には記号A, Bで示すものとする. 以上のように作成した高解像度標高データを入力データとして, RIAM-COMPACT®により精密な風況シミュレーションを行う.

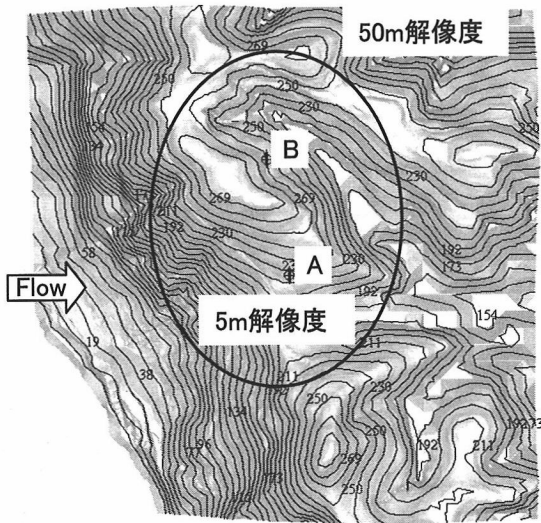
*1 平成20年11月28日「第30回風力エネルギー利用シンポジウム」にて講演

*2 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)

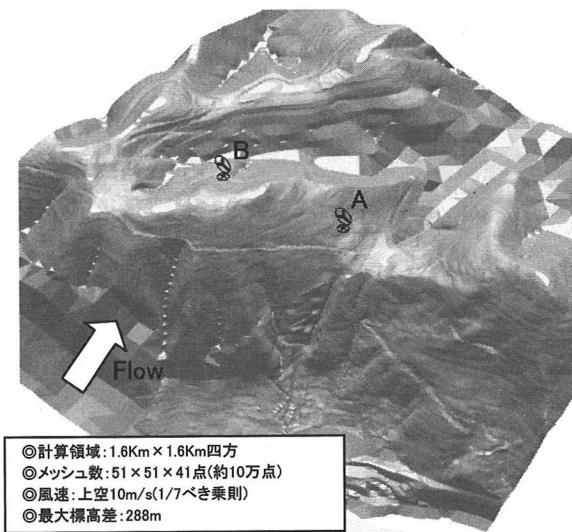
*3 非会員, (株)環境GIS研究所

*4 会員, 西日本技術開発(株)

*5 非会員, (株)FSコンサルティング



(a)平面図(上から見た様子)

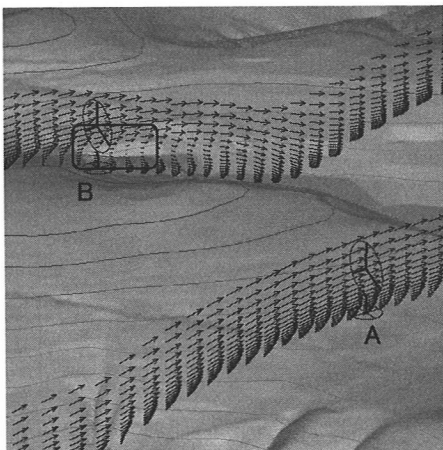


◎計算領域: 1.6Km × 1.6Km 四方
 ◎メッシュ数: 51 × 51 × 41 点(約10万点)
 ◎風速: 上空 10m/s(1/7べき乗則)
 ◎最大標高差: 288m

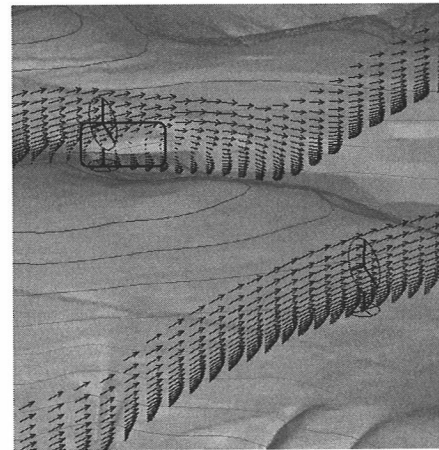
(b)鳥瞰図

Fig.1 Geographical features around WTGs

図2に示す速度ベクトル図の時間変化に注目する。WTG-Aでは、受風面内の全ての高さレベルにおいてほぼ一様な速度分布であるのが分かる。さらに、地形の

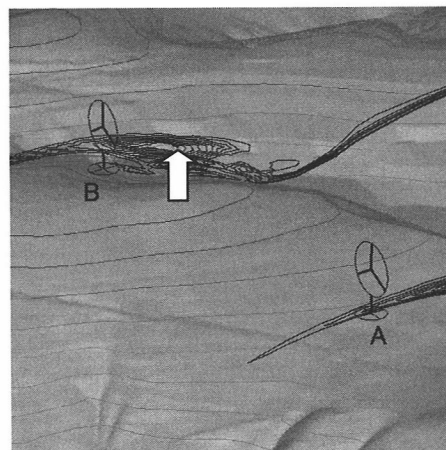


(a)時間T1

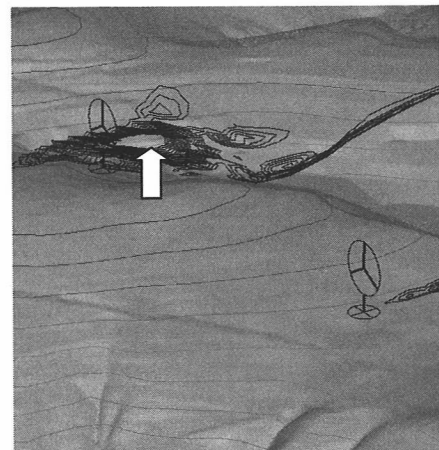


(b)時間T1+ΔT

Fig.2 Time evolution of velocity vectors in the vertical plane of each WTG



(a)時間T1



(b)時間T1+ΔT

Fig.3 Time evolution of gust ($=|u-U_{ave}|$) in the vertical plane of each WTG

効果による局所的な増速が確認される。これに対してWTG-Bの場合、逆流領域が図中に実線で示す受風面内の下方で確認される。これはWTG-Bのすぐ前方の地形起伏に起因した地形乱流の影響である。すなわち、

WTG-Bは地形頂部付近から僅かにずれた低い地点に位置しているため、このような地形乱流の影響を受けていると考えられる。ここで示すような流動現象は、最新の土地造成状況を反映した10m以下の高解像度標高データを用いることではじめて再現された。

図3には、主流方向速度の変動成分のコンター図を示す。図中に矢印で示すように、速度変動の大きい領域が時間とともに移動している様子が見て取れる。アニメーションを作成し、これを観察すると、同様の現象が繰り返し生じていることが判明した。すなわち、WTG-Bのすぐ前方の地形の起伏から周期的な渦放出が生じていることが明らかになった。WTG-Bは、地形の僅かな凹凸から周期的に放出される渦(地形乱流)の影響を受けていることが示された。

図4には、時間平均場に対して描いた速度ベクトル図と乱流強度(別の言い方をすると、風速変動の二乗平均値、風速のrms値、風速の標準偏差)のコンター図(0から0.2の間を30分割)を示す。風車に対して適切な地点と不適切な地点が明確に示された(図5も参照)。

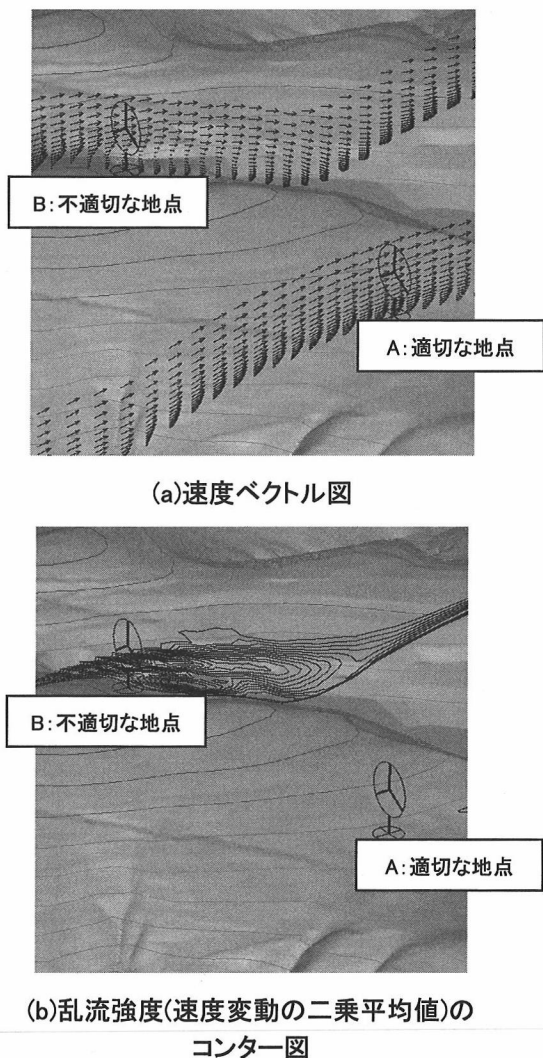


Fig.4 Time-averaged field in the vertical plane of each WTG

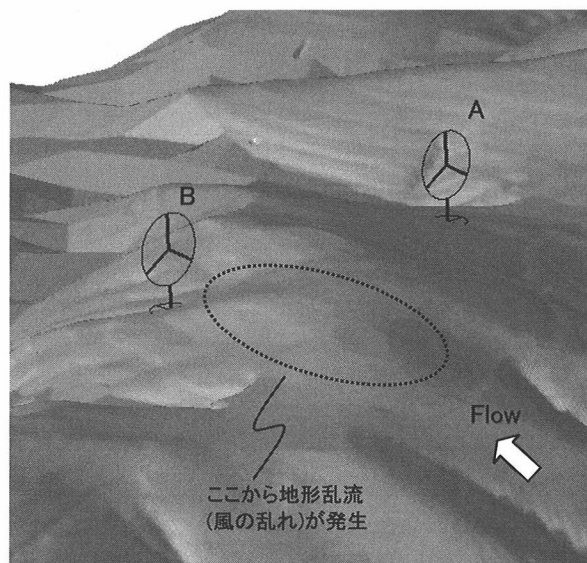


Fig.5 Closeup of geographical features around WTGs

以下では、より定量的な評価を行う。WTG-AおよびWTG-Bの立地点における平均速度の鉛直プロファイルと乱流強度の鉛直プロファイルを図6および図7に示す。縦軸は実スケールでの地上高 $z^*(m)$ であり、横軸は流入風速 U_{in} で正規化された無次元値である。また、図中にはロータ径を示す。図6(a)に示すWTG-Aでは、受風面内の全ての高さレベルにおいてほぼ一様な速度分布を呈しているのが分かる。さらに、受風面の最下部である地上高18m付近では、地形の効果による局所的な増速が確認される。これに対して図6(b)に示すWTG-Bでは、ハブ中心高さのすぐ下部で大きな速度シアが形成されている。図6に示す結果は、図8に示す時間平均場に対して描いた速度ベクトル図と併せて吟味するとより明確に分かる。

WTGのパワーカーブは、WTGの存在は仮定せずに、ハブ中心へ流入する風速値で規定されている。また、速度シアも5~7程度のべき乗則に従う分布が前提になっている。よって、べき乗則から大きく逸脱した速度シアの下では、発電量は従来のシミュレータによる計算値を大きく下回ることになると予想される。同時に、この非常識的な大きな速度シアは、WTGのタワーの振動問題、あるいは、疲労強度の問題などと関連して今度ますます重要になると考えられる。

図7(a)に示すWTG-Aの乱流強度は、全ての高さレベルにおいてその値は小さく、地形乱流による乱れの影響はほとんど無いことが分かる。一方、図7(b)に示すWTG-Bの場合には、地上高20m付近に極大値が出現している。これは、図6(b)で述べた大きな速度シアが存在する高さ付近に対応する。なお、本研究では、風の息に伴う乱れの影響は考慮しておらず、地形の凹凸により機械的(直接的)に形成される乱れ成分のみを検討していることを再掲しておく。

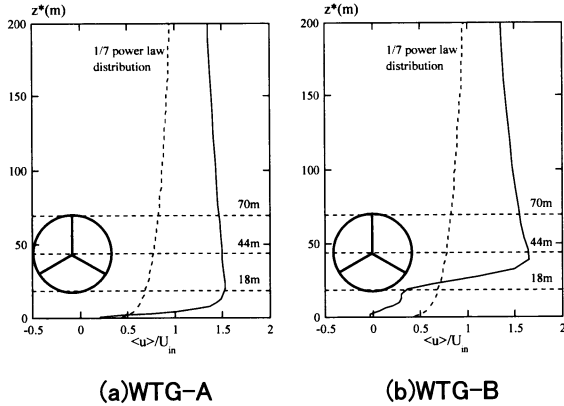


Fig.6 Mean velocity profile

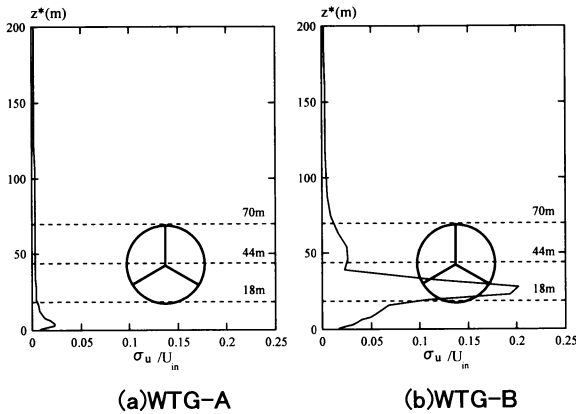


Fig.7 Vertical profile of turbulence intensities

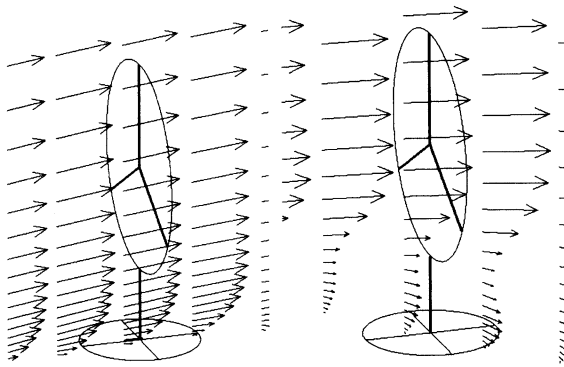


Fig.8 Closeup of velocity vectors for time-averaged field in the vertical plane of each WTG

3. 結 言

きめ細やかな調査が必要とされるWF風況診断では、非定常な風況シミュレーション技術と最新の状況を反映した詳細地形データの構築技術が必要であることが示された。また、風況場の可視化手法に関しても、従来までのハブ高さにおける水平断面内の速度分布だけでは不十分であり、速度変動成分の表示、これに基づいた乱流強度分布の表示、鉛直断面内の表示も必要である。同時に、これらを定量的にグラフ化(数値化)することも重要である。特に、WTGの大型化に伴い鉛直断面内の

可視化と、平均速度や乱流強度の鉛直分布の表示は、今度ますます重要になると予想される。

どの程度以上の風速変動が、発電成績に悪影響を及ぼすのかを数値実験、風洞実験、野外観測から検討する必要があり、これらは今後の大きな課題である。結果として、WTG立地危険度の判断基準の策定、これに基づいた立地危険度マップの構築に繋がり、ひいては日本に適したJ-Classの風力発電の確立に大きく寄与するものと考えられる。

最後に、今後の風力発電施設は山間部などのより厳しい場所に設置せざるを得ない。したがって、今後の風力発電施設の事業評価はより厳密に、かつより高精度に行う必要がある。今回提案した、10m以下の高解像度標高データを用いたWF風況診断は、WTG建設前の風況精査にも適用されるべきものであると考える。

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)ユーラスエナジージャパン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) 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
- 2) 石原孟, ファバンフック, 高原景滋, 銘苅壮宏: 実風車における現地観測と風応答解析, 第27回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.153-156, 2005
- 3) 村上周三, 持田灯, 加藤信介, 木村敦子: 局所風況予測システムLAWEPSの開発と検証, 日本流体力学会誌「ながれ」, Vol.22, No.5, pp.375-386, 2003
- 4) 北谷匠子, 結城陽介, 早崎宣之, 谷川亮一: ECMWF40年再解析データを用いた風速の長期変動評価, 第26回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.223-226, 2004
- 5) 内田孝紀, 大屋裕二, 荒屋亮, 田辺正孝, 川島泰史: 流体シミュレーション技術と地理情報システムを連携した新しい風力発電適地選定手法の開発, 第27回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.241-244, 2005
- 6) 内田孝紀, 大屋裕二, LESによる局地的風況シミュレーション—紙地図から構築した高解像度標高データの利用—, 第55回理論応用力学講演会, 2006