

実風車模型を用いた風車後流風速の定量的評価手法 の開発

谷山, 賀浩
株式会社東芝

内田, 孝紀
九州大学応用力学研究所 : 准教授

松島, 啓二
九州大学応用力学研究所

中野, 三知子
株式会社東芝

他

<https://doi.org/10.15017/1924419>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所所報. 153, pp.104-108, 2017-09. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :

実風車模型を用いた 風車後流風速の定量的評価手法の開発

谷山 賀浩^{*1} 内田 孝紀^{*2} 松島啓二^{*2}
中野 三知子^{*1} 猪亦 麻子^{*1} 田中 翔一^{*1} 大迫 俊樹^{*1}
(2017年7月31日受理)

Development of quantitative evaluation method of wake loss using mockup model of real wind turbine

Yoshihiro TANIYAMA, Takanori UCHIDA, Keiji MATSUSHIMA,
Michiko NAKANO, Asako INOMATA, Shoichi TANAKA and Toshiki OSAKO
yoshihiro.taniyama@toshiba.co.jp

Abstract

As the wind farms are constructed in complex terrain in recent years, the wind resource analysis is becoming more important for the expansion of wind turbine generator. Moreover, in the wind farms comprising multiple wind turbines, we should consider not only topographic effect but also wake effects. The purpose of this study is to develop data-based evaluation method for upgrading of wind resource analysis and improving capacity factor of wind farm by considering wake effect of wind turbine. The measurement methodology will be based on wind-tunnel experiments we will conduct on a 1/88 scale model wind turbine in the Boundary Layer Wind Tunnel at Kyushu University's Research Institute for Applied Mechanics.

As a result, we were able to get a favorable result from wind tunnel test and we confirmed that the accuracy of wake flow analysis using large scale CFD.

We will use these results of the investigation to develop highly efficient wind power generation systems that advance the economic and business potential of wind power generation.

Keywords: *wind resource analysis, complex terrain, wind turbine wake, velocity defect, wind-tunnel, 1/88 scale model*

1. 緒言

風力発電の導入拡大には、発電事業者における事業性確保も課題の一つであり、より多くの発電量確保と、故障リスクを低減する設置・配置提案が重要となる。風車設置地点の風速や風向、風の乱れなどを事前に評価・診断を行うことが重要であり、数値風況解析のさらなる高精度化が求められている¹⁻¹⁰⁾。(株)東芝は、九州大学応用力学研究所と数値風況解析の精度向上や、高度化を目指した共同研究を進め、実地形模型を用いた風洞試験による解析検証(Fig.1)や、実サイト(Fig.2)での風況測定を実施し(Fig.3)、精度検証を進めてきた。

Flow direction ←



Fig.1 Wind tunnel test using actual topography model

*1 (株)東芝

*2 九州大学応用力学研究所



Fig.2 Shin-Nagashima Kuronoseto Wind Farm



Fig.3 Wind resource measurement using LIDAR system

一方、複数の風車群を設置するウィンドファームにおいては、隣接する風車が干渉し、風向きによっては風上に風車が位置することがある。この場合、風下に位置する風車は、風上に位置する風車通過後の欠損した風を受ける。その結果として、地形影響評価を主とした一般的な風況解析結果よりも平均風速がさらに減少し、発電量の低下につながる。加えて、風下風車の受風面での風荷重アンバランスが、風車健全性に影響を与えることも懸念される。

Fig.4 は、Fig.2 のサイトにて、風車建設前後の実測風速平均値を比較したものがある。風車受風面（高度約 40～120m）において、上流側に建設された風車後流の影響を受けた速度欠損を明確に確認することができる。しかしながら、この風車後流影響については、実計測や模型試験（風洞試験）が困難なことから、現状では経験則に基づき、一定の抵抗係数を与えることが主流であり、流体力学的な詳細な検討を行っていない。

そこで本研究では、九州大学応用力学研究所の地球大気動態シミュレーション装置（大型境界層風洞）を用い、Fig.5 に示す（株）東芝製 2MW 風車の 1/88 縮小模型を用いた風洞試験を実施した。本研究では、実際に即した風車後流の流れ場を詳細に計測し、風況解析へ組込むためのデータベース構築を主な目的とした。

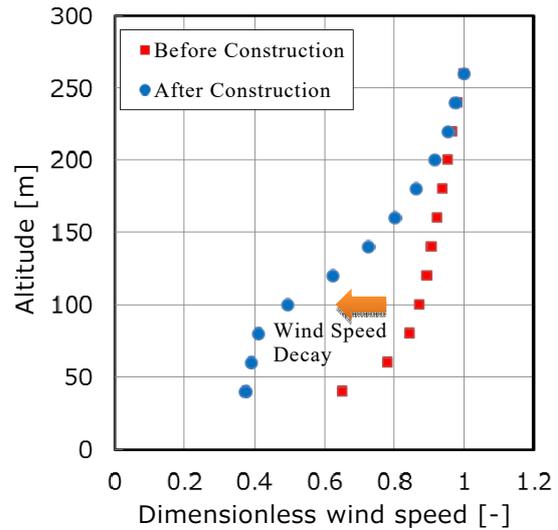


Fig.4 Wind speed comparison between before and after construction



Fig.5 2MW Wind Turbine "U88E"

2. 実風車模型を用いた風洞試験

風洞試験に用いた風車模型のロータ直径は 1.0m、回転数制御システムにより運転制御を行うブレード単体モデル (Fig.6) と、ナセル部やタワー形状までを忠実にモデル化し、自由回転する風車全体モデル (Fig.7) の 2 種類を製作した。いずれの模型においても、ブレードの設置角度（ピッチ角）や風車の向き（ヨー角）を可変とする構造を採用した。

風洞試験では、Fig.6 に示すブレード模型に接続したモータにて回転数を制御し、発生するトルクを計測した。また同時に、風車後流の風速を熱線流速計にて測定した。この際、Fig.6 に示す風速測定面内を半径方向、および軸方向に自動連続多点測定可能な計測システムを使用した。



Fig.6 Blade model



Fig.7 Whole wind turbine model

風洞試験では、まずピッチ角を順次変化させ、上流風速とブレード回転数をパラメータとして Fig.8 に示す周速比 λ と出力係数 C_p の関係の評価した。得られた結果に基づいて、出力係数 C_p が最大となる条件を確認した。次に、特定した出力係数 C_p の最大条件にて試験条件を固定し、各後流位置において風速測定を実施した。

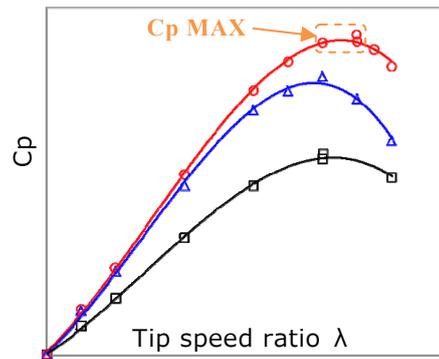


Fig.8 Evaluation result of C_p MAX

3. 風洞試験結果と考察

Fig.9 には、ロータ直径 D に対し、 $0.5D$ および $1.0D$ の後流位置における風速の測定結果を示している。ここで、横軸は流入風速にて、縦軸はブレード回転軸からの距離をロータ直径にて、それぞれ規格化している。この結果より、模型風車後流の速度欠損量を半径方向、軸方向ともに定量的に評価することに成功した。

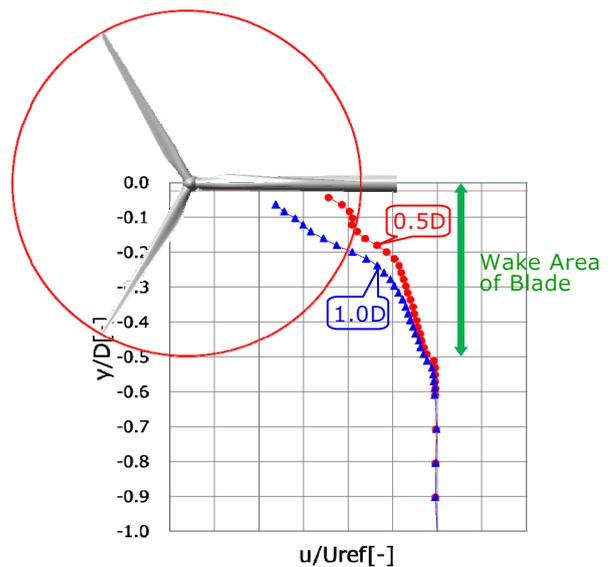


Fig.9 Measurement result of wind speed decay

次に、同一条件でブレードの回転時と静止時の後流風速の比較評価を実施した。その結果を Fig.10 に示す。Fig.9 同様、横軸は流入風速で、縦軸はブレード回転軸からの距離をロータ直径にて、それぞれ規格化した。タワー同様、ブレードの静止時においても速度欠損が発生することが確認された。また、ブレード回転時において速度欠損量が大きいことも示された。これは、ブレード回転時は、ハブ部やナセル部にて発生する剥離した流れが合算されるためと推定される。

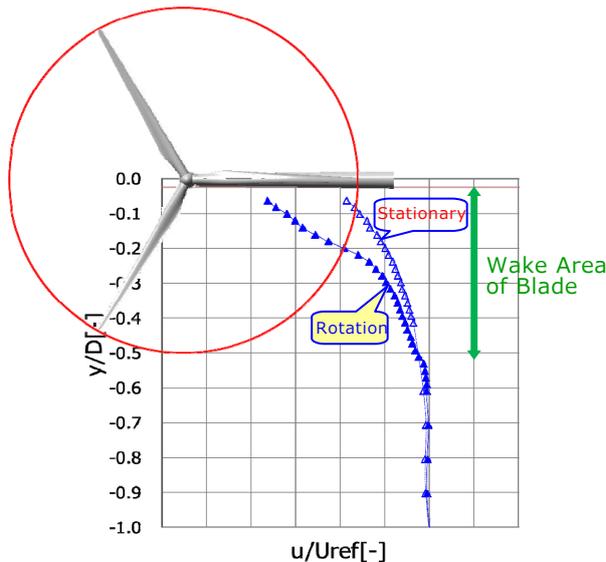


Fig.10 Comparison between rotation and stationary

4. CFD による風洞試験の再現解析

本研究では、風洞試験の妥当性の確認を目的とし、Fig.6 に示すブレード単体モデルを対象に CFD による再現解析を実施した。Fig.11 には解析モデルを示しており、風車模型のロータ直径 D に対し、解析領域は断面を 3D とし、上流 3D、下流 10D の円筒空間とした。また、Table 1 に CFD における解析条件を示す。

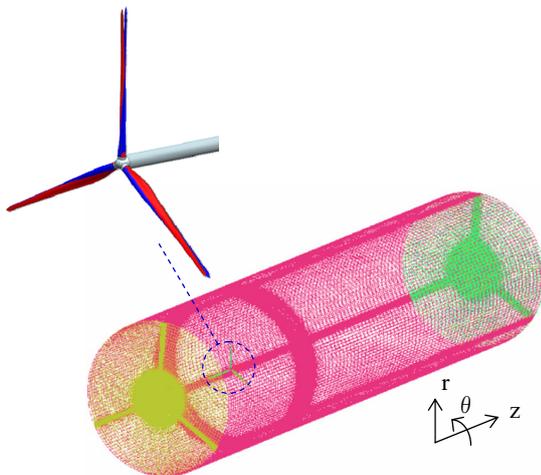


Fig.11 Analysis model

Table 1 Analysis conditions

項目	内容
風況解析ソルバー	ANSYS CFX v14.5
乱流モデル	非定常 SST $k-\omega$ model
対流項差分スキーム	High Resolution
メッシュ数	約1,500万メッシュ
並列数	24ノード (384コア) 単体性能: 1ノード16コア

Fig.12 に $r-z$ 断面における風速分布の解析結果を示す。ブレード断面で大きく速度が欠損している。また、Fig.13 の $r-\theta$ 断面における風速分布においても、速度欠損が明確に確認できる。さらに、1D 後流まではブレード部の欠損が大きいものの、2D 以降は θ 方向に分布はななく一様に欠損していること、ブレード直径より外側には速度欠損領域が発生していないことも確認できる。

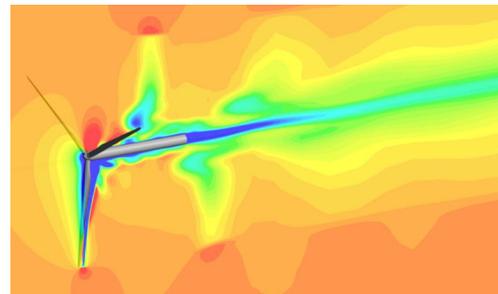


Fig.12 Streamwise velocity distribution at $r-z$ plane

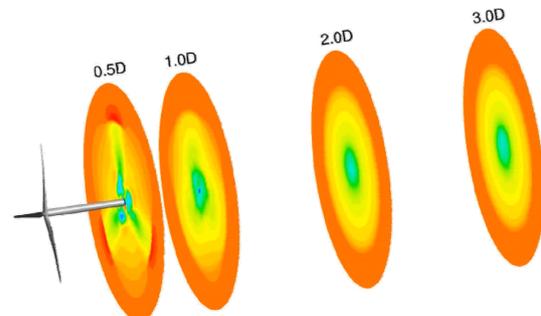


Fig.13 Streamwise velocity distribution at $r-\theta$ plane

これら風車後流の速度欠損量の解析結果を風洞試験結果と比較した結果を Fig.14 に示す。ここでは、紙面の都合上、速度欠損量が大きい 0.5D 後流を比較した結果を示している。ブレード外径側半分の速度欠損の程度は良好に再現できている。内径側半分でも、CFD 解析結果と風洞試験結果の誤差は最大で 4%程度となった。

以上より、CFD 解析でも風車後流における速度欠損量を定量的に再現できることを確認した。

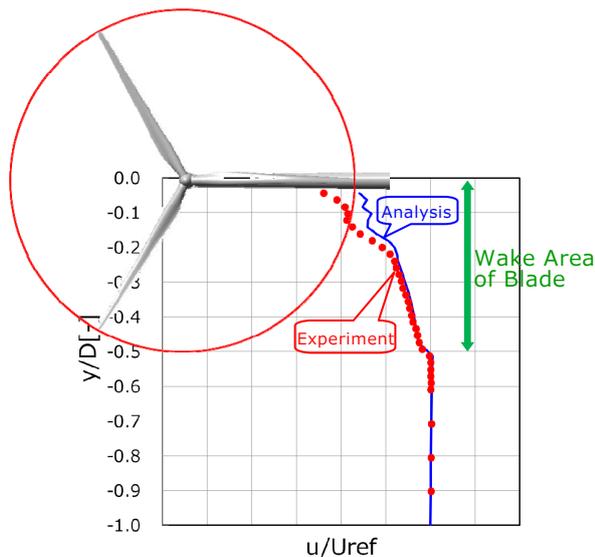


Fig.14 Comparison experiment with CFD result

5. 結言

本研究では、実風車 1/88 スケールの模型を製作し、九州大学応用力学研究所の地球大気動態シミュレーション装置(大型境界層風洞)にて風車の後流影響評価試験を実施した。平行して、CFD 解析も実施し、風車後流における速度欠損量の定量的評価に成功した。

今後、大規模 CFD 解析にてパラメータサーベイを実施するとともに、下流に配置された風車が上流風車から受ける風況変化をモデル化する手法を検討する。これを風況解析ソルバーへ組み込み、より精度の高い数値風況解析技術の確立を目指す。

謝辞

本研究の一部は、九州大学応用力学研究所と(株)東芝との共同研究(研究題目「新しいディスク理論による風車後流の流動評価手法に関する共同研究開発」、研究題目「複雑地形における風力発電サイトの風況評価、および風車荷重に関する共同研究開発」、研究代表者:内田孝紀)と、文部科学省の先端研究基盤共用促進事業(共用プラットフォーム形成支援プログラム)「風と流れのプラットフォーム」の特定利用課題の支援を受けました。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, 杉谷賢一郎, 最適周速比における風車後流と静止円盤後流の比較, 風工学シンポジウム論文集 19(0), 187-192, 2006
- 2) 内田孝紀, 大屋裕二, 風車単体後流の渦構造解明に向けた基礎的研究, 日本流体力学会年会 2005講演論文集
- 3) 内田孝紀, 大屋裕二, 風車単体後流の渦構造解明に向けた基礎的研究, 九州大学応用力学研究所所報 第129号, 123-128, 2005
- 4) 内田孝紀, 大屋裕二, 風車後流における渦構造の数値シミュレーション, 平成17年度日本風工学会年次研究発表会梗概集, 249-250, 2005
- 5) 谷山賀浩, 猪亦麻子, 田中翔一, 奥野研一, 大迫俊樹, 風況解析高度化に向けた風車ウエイクに関する考察(第一報:大規模非定常解析による風車後流評価), 第38回風力エネルギー利用シンポジウム, 431-434, 2018
- 6) 石原孟, 高橋孝介, 山口敦, 藤野陽三, 風洞実験による風車後流の計測及びそのモデル化に関する研究, 日本流体力学会年会 2005講演論文集, 2005
- 7) 河野良坪, 加藤信介, 大岡龍三, 高橋岳生, 村上周三, M.F.Yassin, 風車模型後流の流れ性状に関する風洞模型実験, 第17回風工学シンポジウム, 149-154, 2002
- 8) 平井滋登, 柴田昌明, 有永真司, 七原俊也, 佐藤隆光, 山口浩司, 実測による大型風車後流の検討, 第25回風力エネルギー利用シンポジウム, 157-160, 2003
- 9) 清水幸丸, 横田健, 前田太佳夫, 安立和弘, 本間秀一郎, 中野美和, 風洞実験による風車相互干渉の基礎的研究, 日本機会学会論文集(B編), Vol.70, 140-146, 2004
- 10) 服部康男, 山本学, 江口譲, 近藤宏二, 須藤仁, 田中信和, 吉田正邦, 眞田早敏, 風車後流部の乱流挙動, 第18回風工学シンポジウム, 157-162, 2004