

浮体式洋上風車における後流影響の評価：その2： ピッチおよびサージ動揺する風車の後流測定実験

澁谷, 光一郎
日立造船(株)

内田, 孝紀
九州大学

吉田, 忠相
日立造船(株)

乾, 真規
日立造船(株)

他

<https://hdl.handle.net/2324/7432670>

出版情報：Proceedings of Japan Wind Energy Symposium. 44, pp.61-63, 2022. 日本風力エネルギー学会
バージョン：
権利関係：© 2022 JWEA



浮体式洋上風車における後流影響の評価*

その2：ピッチおよびサージ動揺する風車の後流測定実験

Evaluation of wake effect on floating offshore wind turbines

(II) Experiments on wake measurement of a wind turbine under pitch and surge motions

澁谷 光一郎** 内田 孝紀*** 吉田 忠相** 乾 真規**

馬詰 佳亮** 谷山 賀浩**** 深谷 侑輝****

Koichiro SHIBUYA Takanori UCHIDA Tadasuke YOSHIDA Masaki INUI

Keisuke UMAZUME Yoshihiro TANIYAMA Yuki FUKATANI

1. はじめに

洋上風力発電は海の強勢な風を利用でき、島国である日本は広大な経済水域を保有していることから、我が国において非常に有効な発電手段である。洋上風力発電には海底に風車基礎を建設する着床式と、海面に風車基礎を浮かべる浮体式の方式が考案されており、浮体式洋上風力発電は着床式の限界とされる水深50[m]よりも深い海域においても発電が可能であるため、深い海域に囲まれた日本では浮体式洋上風力発電に対して期待が高まっている¹⁾。

風力発電所では建設やメンテナンスのコスト低減のため、同一域に複数の風車が配置され発電が行われる。風を受けて発電する風車の背後には後流という、風速が低く乱れを含む流れ場が形成され、発電量や寿命の低下を引き起こすなど、他の風車に対して悪影響を及ぼすことが知られている。風車後流に対しては長年研究が進められているが、陸上や着床式風車を対象としたものが多く、浮体式風車のように波浪中で動揺する風車後流についての研究事例はまだ少ない。

そこで浮体式風車で発生する風車後流の気流特性を解明するため、弊社は九州大学応用力学研究所および東芝エネルギーシステムズ(株)との共同研究にて、浮体式風車を再現した風洞実験を実施した。本報では、ピッチおよびサージ動揺時に発生する単基の風車後流の研究成果を報告する。

2. 加振装置を用いた風洞実験

実験に用いた加振装置および風車模型の写真を図1に、後流測定の模式図を図2に示す。長さ15[m]、幅3.6[m]、高さ2[m]のテストセクションを持つ大型境界層風洞に、加振装置²⁾に取り付けた風車模型を設置し、 $U_{ref}=8[m/s]$ の一樣流を流入させた。風車模型では、ロータ直径 $D=442[mm]$ のMEL翼ブレードをモータにより回転数制御する。本実験では出力係数が最大とな

る最適周速比4.25に設定した。加振された風車模型の背後に形成される流れ場は、図2のように鉛直方向に配置された4つの熱線流速計で同時に測定した。風車模型の動揺条件は表1に示す通りで、日本近海で発生する波浪条件を考慮して動揺パラメータを決定した²⁾。サンプリング周波数は1000[Hz]とし、動揺周期の15倍以上の測定時間を確保するため、動揺なしとピッチ動揺の条件では30[s]、サージ動揺の条件では300[s]で測定した。風車背後 $3 \leq x/D \leq 20$ となる複数の位置で測定を実施したが、紙面の都合上 $x/D=3$ の結果を報告する。

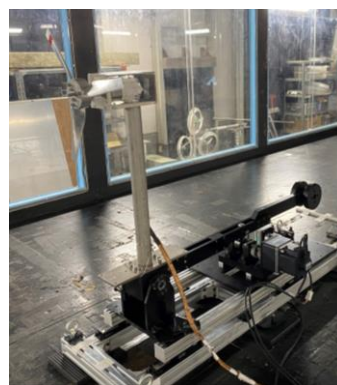


図1 加振装置に取り付けた風車模型

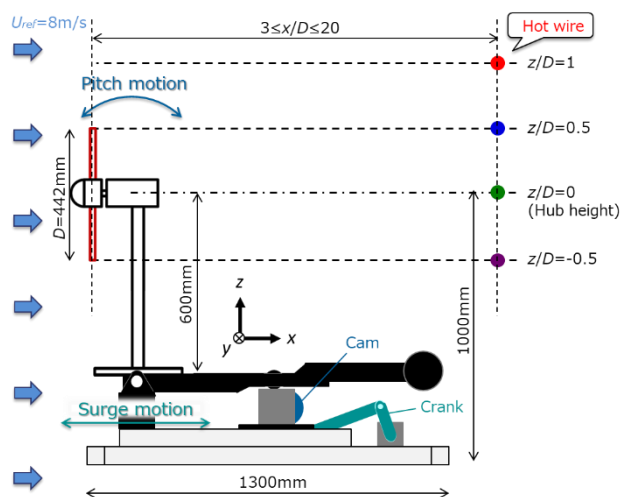


図2 後流測定位置の模式図(側面)

*令和4年12月2日第44回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

** 会員 日立造船(株) 〒559-8559 大阪市住之江区南港北1-7-89

*** 会員 九州大学 〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1

**** 会員 東芝エネルギーシステムズ(株) 〒230-0045 横浜市鶴見区末広町2-4

表 1 風車模型の動揺条件

	Surge	Pitch
Amplitude	0, ± 60 [mm]	0, ± 5 [deg]
Period	18[s]	0.8[s]

図 3 に、時間平均した風車後流速度の鉛直分布を示す。固定状態とサージ動揺の条件では、平均速度と速度の標準偏差に有意な差は見られなかった。一方でピッチ動揺の条件では、ハブ高さ $z/D=0$ では平均速度が増加し、それ以外では目立った変化は見られなかった。速度の標準偏差はブレード上端とハブ高さで増加した。ブレード下端で増加しなかったのは、タワーの剥離流の影響が支配的であるためだと考えられる。また、ブレード上端の速度の標準偏差の増加から、ピッチ動揺したロータ面によって後流が上下方向に拡大したことが推察できる。これはロータ面が傾いたことによる後流の偏向が影響したと推察され、同様の研究結果が報告されている^{3),4)}。

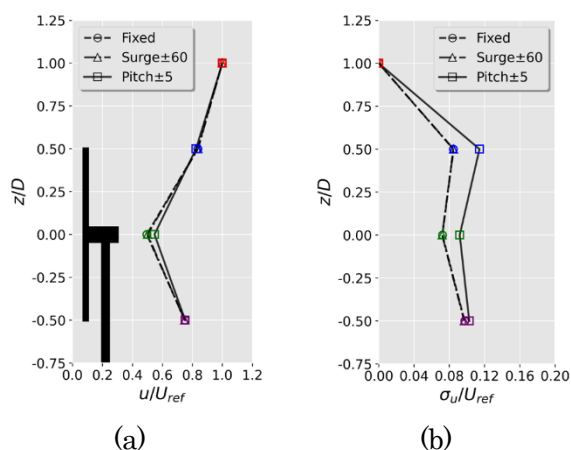


図 3 時間平均した各動揺条件における風車後流速度の鉛直分布：(a)平均速度，(b)標準偏差

図 4 は、各動揺条件において測定された後流速度の時系列グラフである。グラフは、サンプリング周波数 1000[Hz]で取得されたデータに 0.1[s]の移動平均を施して描画した。図より、固定状態とサージ動揺の条件では同様の結果となり、後流に対するサージ動揺の影響は確認できない。ピッチ動揺の条件では、それぞれブレード下端、ハブ高さ、ブレード上端である $z/D=0.5, 0, 0.5$ においてピッチ動揺周期 0.8[s]に伴う振動が見られた。それぞれのグラフを見比べると、ハブ高さおよびブレード下端の波形は、ブレード上端の波形と比べて位相がピッチ動揺の半周期ずれていることが確認できる。

図 5 に、図 4 中に黒破線で示した時刻 $t=1.0, 8.5, 19.2$ [s]における後流速度の鉛直分布を示す。固定状態およびサージ動揺の条件では、後流速度の鉛直分布に時間変化が見られない。一方でピッチ動揺の条件では、鉛直分布の形状が著しく時間変化していることが見て取れる。(a)の $t=1.0$ [s]ではブレード上端 $z/D=0.5$ における後流速度が小さく、鉛直分布は鈍った形状となった。(b)の $t=8.5$ [s]はブレード上端における後流速度が最大となる時刻に対して、動揺周期の 1/4 だけずれた時刻であるが、この時刻では固定状態、サージ動揺条件での後流速度の鉛直分布とほぼ一致した。(c)の $t=19.2$ [s]では $z/D=0.5$ における後流速度が大きくなり、ブレード上端とハブ高さの間に強い速度シアが出現することが明らかになった。

3. まとめ

日本近海の波浪条件から動揺パラメータが決定された加振装置と風車模型を用い、浮体式洋上風車を模擬した風洞実験を実施した。加振された風車模型の後流を熱線流速計で測定し、以下の知見を得た。以下は、風車背後におけるロータ直径の 3 倍となる位置で測定した結果に基づく。

- 風車がサージ動揺する場合には、動揺がない場合と比較して時間平均した後流速度や瞬間的な鉛直分布に有意な差がなく、風車後流に対するサージ動揺の影響は確認されなかった。
- 風車がピッチ動揺する場合には、時間平均した後流速度の鉛直分布は、動揺がない場合と比較してハブ高さでは速度が増大し、それ以外では目立った変化は見られなかった。速度の標準偏差はブレード上端とハブ高さにおいて増大し、ブレード下端では変化しなかった。
- 風車がピッチ動揺する場合、後流速度の鉛直分布は時間的に著しく変化し、ロータ面上部において瞬間的に強い速度シアが生じることが明らかとなった。また、ブレード上端とハブ高さ、ブレード下端における後流速度の変動に位相のずれが存在した。

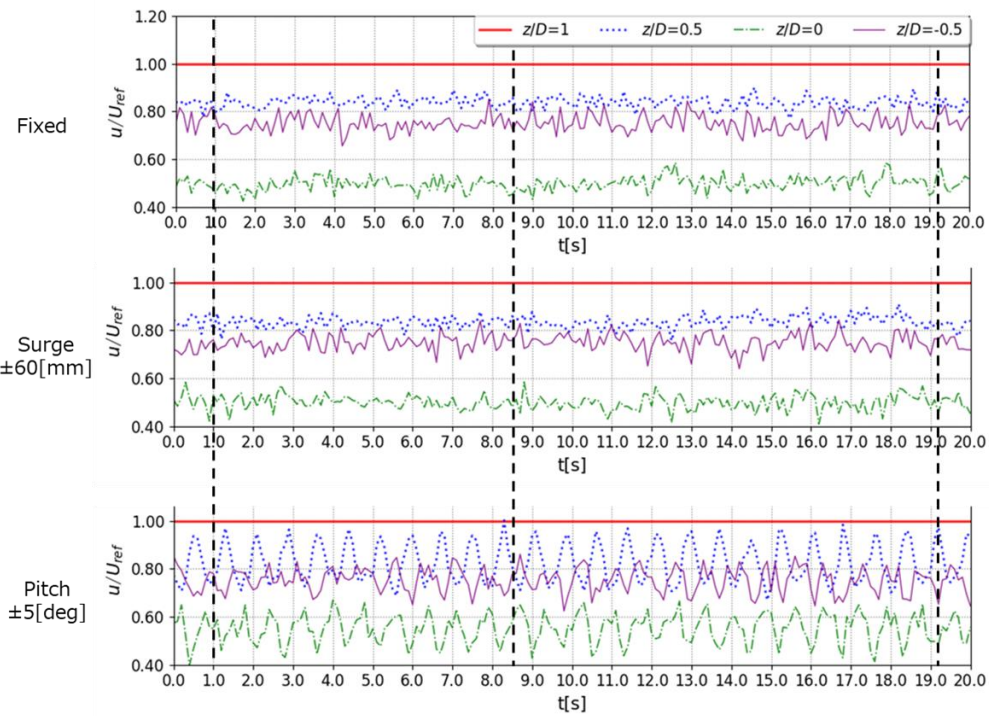


図 4 各動揺条件で計測された風車後流速度の時間変化（上から動揺なし，振幅±60[mm]のサージ動揺，振幅±5[deg]のピッチ動揺）

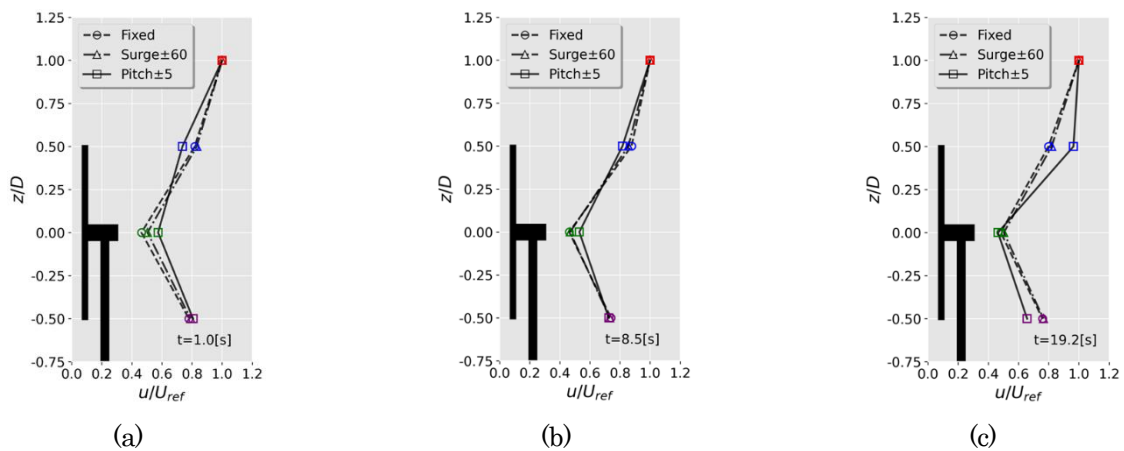


図 5 ある時刻における風車後流速度の鉛直分布：(a) $t=1.0[s]$ ，(b) $t=8.5[s]$ ，(c) $t=19.2[s]$

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構，浮体式洋上風力発電技術ガイドブック，2018.
- 2) 谷山賀浩ら，浮体式洋上風車における後流影響の評価 その1：浮体動揺を模擬する風洞試験用加振装置の開発，第44回風力エネルギー利用シンポジウム，2022.
- 3) Stanislav Rockel et al., Dynamic wake development of a floating wind turbine in free pitch motion subject to turbulent inflow generated with an active grid, Renewable Energy, 2017.
- 4) H M Johlas et al., Large eddy simulations of offshore wind turbine wakes for two floating platform types, Journal of Physics Conference Series, 2019.