

バージ型洋上風力発電施設の台風下での実証試験および連成解析モデルの構築



出典：NEDO

Ko Matias Adrian Kosasih ①
 鈴木 英之 ②
 新里 英幸 ③
 大窪 慈生 ④
 三谷 俊輔 ⑤

要旨

当社は、水深50～100 mに設置する浮体式洋上風力発電施設の低コスト化を図るべく、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託業務「次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究(バージ型)」の一環として、北九州にて3 MWバージ型浮体式洋上風力発電施設を設置し、2019年に実証試験を開始した。

本報では、2019年9月23日の台風17号が到達した時の実証試験計測データから把握した荒天時の浮体動揺特性と、実証試験計測データと連成解析結果との比較による、連成解析の有効性検証結果を報告する。検証の結果、波高が高い環境では実証試験計測データと連成解析結果は良く一致することが分かった。ただし、波周期が短い周期帯の浮体動揺では実証試験計測データと連成解析結果に差が発生した。この差が発生した原因についても考察した。

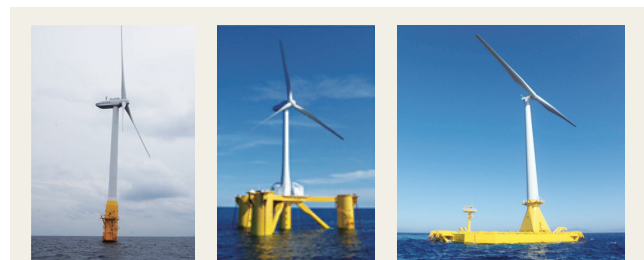
キーワード

バージ型浮体式洋上風力施設, 実証試験, 流体力解析, 連成解析

1. 緒言

海洋空間の利用を促進し、低炭素社会を実現するために、洋上風力発電施設(以降、洋上風車)の研究開発が世界中で推進されている。洋上風車には、大きく分けて浮体式と着床式があり、国内では浮体式洋上風車の開発も進んでいる。例えば、2013年に国内初の2 MW スパー型浮体式洋上風車が長崎県沖に設置された¹⁾。また、福島洋上風力コンソーシアム²⁾の一環として、2013年には2 MWのコンパクトセミサブ型³⁾、2015年には7 MWのV字セミサブ型⁴⁾、2016年には5 MWのアドバンストスパー型⁵⁾の3種類の浮体式洋上風車が福島県沖に設置された。その後、水深50～100 mの設置に適した低コスト浮体式洋上風車の実現性を検証するために、国立研究

開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以降、NEDO)の委託により、当社は2018年に福岡県北九州市響灘沖に3 MWのバージ型浮体式洋上風車の実証試験機を設置した。2019年より本格的に本バージ型浮体式洋上風車に搭載されたセンサー等の観測データを収集している。上述した浮体形状は図1に示す通りである。



(a) (b) (c)

図1 (a) スパー型浮体式洋上風車¹⁾、
 (b) セミサブ型浮体式洋上風車³⁾、
 (c) バージ型浮体式洋上風車(出典：NEDO)

これら浮体形式の選定は、各形式の喫水に対する水深によって限定される。喫水100 mを超えるスパー型浮

① 機械・インフラ事業本部 開発センター

② 東京大学 大学院工学系研究科 システム創成学専攻 教授

③ 機械・インフラ事業本部 開発センター 博士(工学), 技術士(船舶・海洋部門)

④ 脱炭素化事業本部 風力発電事業統括部 技術・開発部 博士(工学)

⑤ 脱炭素化事業本部 風力発電事業統括部 技術・開発部

体は、浅い水深での設置は不可能である。バージ型浮体やセミサブ型浮体は、比較的浅海域となる水深50 m～100 mに設置できる。

また、バージ型浮体にはセミサブ型浮体にある曲板がないため、設計や製造がより容易だと言える。

一方、風車と連携したバージ型浮体を数値解析でモデル化することは困難である。洋上風車の数値解析において、2007年にJonkmanとBuhl⁶⁾は、バージ型浮体式洋上風車の連成解析を実施し、暴風時にバージ型浮体の運動量が大きいことを示した。しかし、彼らはバージ型浮体の運動量低減に寄与するムーンプールやスカート(図2)をモデル化していなかった。2015年に、Beyerら⁷⁾は、ムーンプールとスカートを備えたバージ型浮体のマルチボディシステム・数値流体力学解析(MBS-CFD解析)を利用し、浮体の運動量を計算した。その結果、水槽実験結果と良く一致した浮体運動応答を得た。また、浮体の運動量を低減する浮体周りの渦の発生およびムーンプール内の流体の運動も再現した。

浮体式洋上風車の安定性評価では、様々な風、波および潮流の条件の組み合わせを浮体に外乱として与える必要がある。そして、風、波、潮流はそれぞれ異なる方向で評価するため、10,000ケース以上を計算しなければならない。そのためには、解析の精度を上げるだけでなく、解析時間の短縮も重要である。非線形な流体解析であるMBS-CFD解析の解析時間は非常に長いため、より短い解析時間の数値解析手法が必要であった。

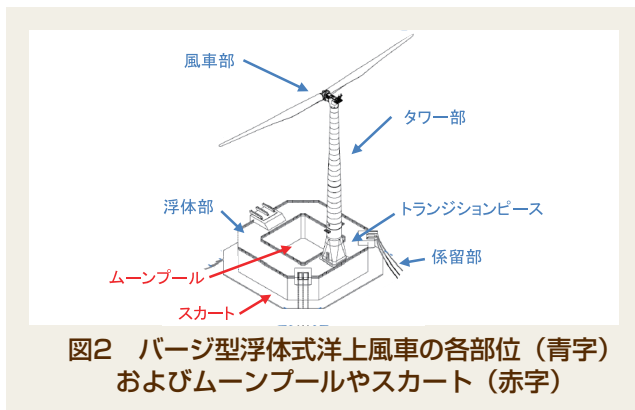


図2 バージ型浮体式洋上風車の各部位 (青字) およびムーンプールやスカート (赤字)

解析時間が比較的短い解析手法について、2016年にVijayら⁸⁾は、境界要素法(boundary element method、BEM)によるムーンプール付きのバージ型浮体に作用する流体力および翼素運動量理論(blade element momentum theory、BEMT)によって風車に作用する空力をモデル化し、バージ型浮体の運動応答を計算した。ムーンプールの浮体運動応答への影響を考慮するために、波力発電のモデル化でよく使用されている振動水柱(oscillating water column、OWC)の解析モデルが利用された。その結果、ムーンプールの寸法の違いによりバージ型浮体の運動応答が変わることを把握した。2019年に、著者⁹⁾は、2種類のバージ型浮体式洋上風車の1/50モデルを利用した水槽実験結果とBEMによる数値解析結果を比較した。ここで、ムーンプールやスカー

トの浮体運動応答への影響は粘性減衰係数により考慮した。結果として、水槽実験と数値解析の結果が一致することを示すとともに、BEMによりバージ型浮体の浮体運動応答を精度よく計算できることが明らかとなった。また、BEMによる数値解析はMBS-CFD解析と比較して計算時間が短いため、環境条件が多い浮体式洋上風車の安全性検討への適用に有効であることを示した。

一方で、BEMおよび粘性減衰係数を用いた数値解析の精度について実際のバージ型浮体の運動応答による検証が未実施であった。そのため、NEDO 3 MWバージ型浮体式洋上風車の実証試験機を用いて、風車に作用するBEMTによる空力、浮体に作用するBEMによる流体力、スカートやムーンプールの影響およびタワー部の剛性および係留部からの係留力をそれぞれ考慮した連成解析モデルを構築し、BEMおよび粘性減衰係数を用いた数値解析精度を検証した。さらに、2019年9月23日の台風17号が襲来した時の実証試験計測データと比較することで、数値解析の精度を検証した。

2. 実証試験について

2.1 実証試験機の設置場所および仕様

福岡県北九州市響灘沖の海岸から北方約15 kmの海域に、バージ型浮体式洋上風車の実証試験機(以降、実証試験機)を設置した(図3)。実証試験機の概要寸法を図4に、基本的な仕様を表1にまとめる。



図3 実証試験機の設置場所

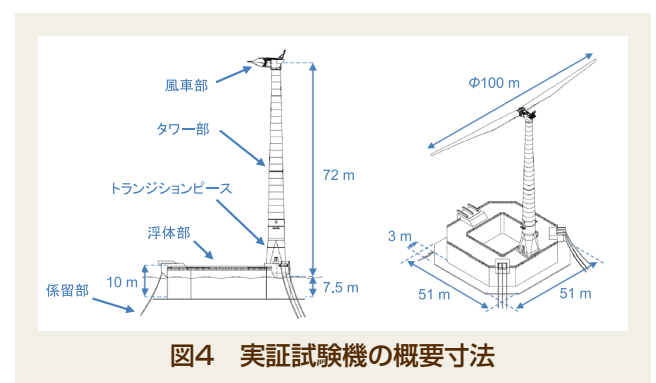


図4 実証試験機の概要寸法

表1 実証試験機の基本仕様

項目	仕様
定格発電量	3 MW
ローター径	100 m
ブレード数	2枚
ローター位置	Upwind (風上側)
ハブ (風車の回転軸) 高さ	72 m
喫水	7.5 m
浮体サイズ (スカートを含む)	51 m × 51 m × 10 m
水深	53 m
合計重量 (バラストや係留索を含む)	9,858,000 kg

2.2 浮体部 実証試験機の浮体部は45 m×45 m × 10 m (喫水7.5 m、乾舷2.5 m) の八角形浮体である。浮体部の底部に幅3 mのスカート、真ん中に26.2 m × 26.2 mのムーンプールがある。スカートを含めた浮体部の寸法は51 m×51 m×10 mである。また、スカートの強度を確保するために、図5に示すように、ブラケットを取り付けている。



図5 ブラケットとスカート (出典: NEDO)

2.3 係留部 実証試験機の係留部は、図6に示すように、3方向にそれぞれ3本ずつ (計9本)、長さ522 mのカテナリーチェーンで構成している。各チェーンの呼び径は132 mmであり、チェーンの種類はスタッドレスチェーンである。係留部の仕様を表2にまとめる。

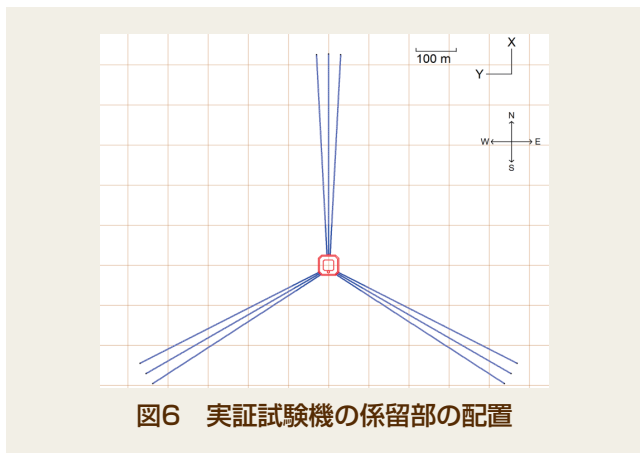


図6 実証試験機の係留部の配置

表2 係留部の仕様

項目	仕様
係留長さ	522 m
種類	スタッドレス
呼び径	132 mm
空中重量	0.349 tf/m
破断荷重	15,965 kN

2.4 風車部とタワー部 実証試験機の風車部は3 MWの2枚翼風車である。図4に示すように、風車部やタワー部は、浮体部の後ろ側に設置している。そして、タワー部と浮体部はトランジションピースで接続している。風車部の詳細な仕様を表3に示す。

表3 風車部の仕様¹⁰⁾

項目	仕様
チルト角度 (tilt angle)	3°
コーン角度 (coning angle)	5°
カットイン風速	3 m/s
カットアウト風速	25 m/s
定格風速	17.1 rpm
風車重量 (ローターとナセルを含む)	133,000 kg

2.5 計測機器 実証試験機には、環境条件、浮体構造の歪および浮体運動応答を計測するために、複数の計測機器を設置している。実証試験機に搭載した計測機器を図7に示す。これらの計測機器に加え、各係留点に歪計、実証試験機から西方120 mの海底に海象計を設置した。環境条件や浮体運動を計測するための主な計測機器を表4にまとめる。

各計測機器は基本的に1 Hzのサンプリング周波数で収録している。収録した環境条件の時系列から、1時間毎の統計値 (平均、最大、最小、標準偏差) を算出した。また、浮体の運動応答に関しては、RTK-GPSや、ジャイロが実証試験機の重心位置にないため、実証試験機の重心の運動応答を算出するために座標変換処理を行った。

表4 風車部のその他の仕様¹⁰⁾

計測項目	計測機器
風速	風車部での風速計
風向	風車部での風向計
波高、波周期、波向き	海象計 (実証試験機から120 m西の海底)
前後変位量 (Surge)	RTK-GPS 1
左右変位量 (Sway)	RTK-GPS 1
上下変位量 (Heave)	RTK-GPS 1
横揺れ角度 (Roll)	ジャイロ (Fiber-Optic Gyroscope, FOG)
縦揺れ角度 (Pitch)	ジャイロ (Fiber-Optic Gyroscope, FOG)
方位角度 (Yaw)	コンパス

3. 連成解析について

実証試験機の仕様を用いて、風車に作用する空力、浮体に作用する流体力、スカートやムーンプールの影響およびタワー部の剛性および係留部からの係留力を考慮した連成解析を、BEMによる流体力解析の汎用ソフトAqwa、時間領域での浮体運動応答解析の汎用ソフトOrcaFlexおよびBEMTによる空力解析のオープンソースソフトFASTを使って実施した。

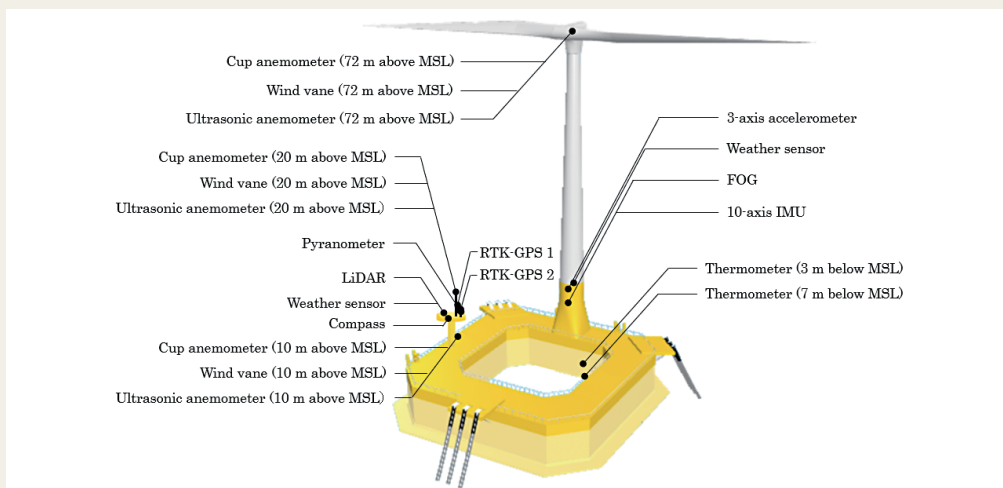


図7 実証試験機に搭載された計測機器とその位置

3.1 流体力解析 (周波数領域) 浮体部に作用する流体力を連成解析で考慮するためには、予め「流体力データベース」を流体力解析により算出しておく必要がある。ここで、「流体力データベース」とは、複数の波周期や波向きにおける浮体に作用する流体力である。この流体力解析のアウトプットとしては、波周期毎の付加質量 A や造波減衰係数 B 、波周期や波向き毎の波強制力 F_{wave} 、および波周期毎の波漂流力 F_{drift} である。これらの数値を「流体力データベース」とした。

流体力解析で使用したメッシュを図8に示す。ここで、流体力解析の安定性を向上させるために、ムーンプールに蓋と呼ばれる要素を取り付けた。蓋を取り付けることで、ムーンプール内の自由表面の急激な運動を減衰できる⁷⁾。

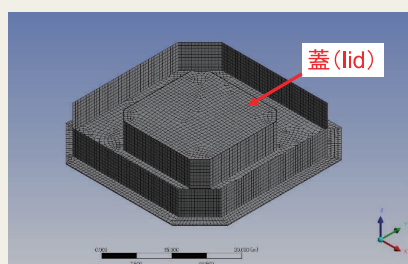


図8 流体力解析で使用された浮体のメッシュ

3.2 連成解析 (時間領域) 図9に連成解析モデルの様子を示す。時間領域での連成解析により、風車に作用する空力を考慮した浮体の運動応答を算出した。連成解析では、浮体部に作用する流体力、静水圧による復原力、スカートからの粘性減衰力、風車部やタワー部に作用する風抗力および係留部からの係留力を考慮した以下の浮体運動方程式を計算した。

$$(M + A)\ddot{\eta} + B\dot{\eta} + C\eta + N|\dot{\eta}|\dot{\eta} = F_{wave} + F_{drift} + F_{wind} + F_{moor}(\eta) \quad (1)$$

ここで、 η は浮体運動の変位量、 $\dot{\eta}$ は浮体運動の速度、 $\ddot{\eta}$ は浮体運動の加速度である。付加質量 A 、造波減衰係数 B 、波強制力 F_{wave} 、波漂流力 F_{drift} は3.1節で示した

流体力解析の結果から求めた。なお、復原力係数 C は浮体形状に依存する値である。

粘性減衰係数 N は水槽実験⁹⁾の浮体運動応答特性 (response amplitude operator, RAO) の実験結果から算出した。水槽実験によるRAOと数値解析によるRAOが合うように粘性減衰係数の値を選択した。ここで、水槽実験のRAOは大きめの波高である2.5 m～7.5 mで求めた。

空力 F_{wind} は、BEMTによる空力解析との連成により、時間ステップ毎に浮体運動方程式と同時に計算した。この空力解析では、風車部のブレードとタワー部を梁要素でモデル化し、各梁要素の接点に作用する風抗力を計算した。その風抗力をタワー部と浮体部の接続点から浮体部に伝達した。

係留力 F_{moor} について、静的係留解析によるカタナリー係留応答特性 (浮体運動の変位量と係留力の相関) を予め作成しておいて、時間ステップ毎に算出される浮体運動の変位量から時々刻々、係留力を求めた。

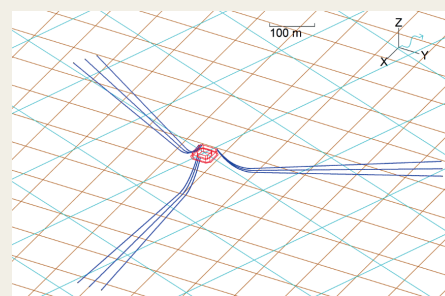


図9 連成解析モデルの様子

4. 環境条件について

2019年9月22日～23日に、台風17号が実証試験機の設置場所を通過した。暴風時における連成解析の精度を検証するために、台風17号の環境条件を連成解析に入力し、連成解析にて算出した浮体運動量と実証試験の浮体運動量の計測値を比較した。比較結果については、次章に詳述する。本章では、環境条件についてまとめる。

台風17号の1時間毎の環境条件を図10に示す。風スペクトルはKaimalスペクトル、波スペクトルはISSCスペクトル、波分散性は \cos^n の波分散性モデルを利用した。波分散性指数 n としては、8.0を使用した。風向きや波向きは入射方向として定義した。0°は真北から、90°は真東からの入射方向である。

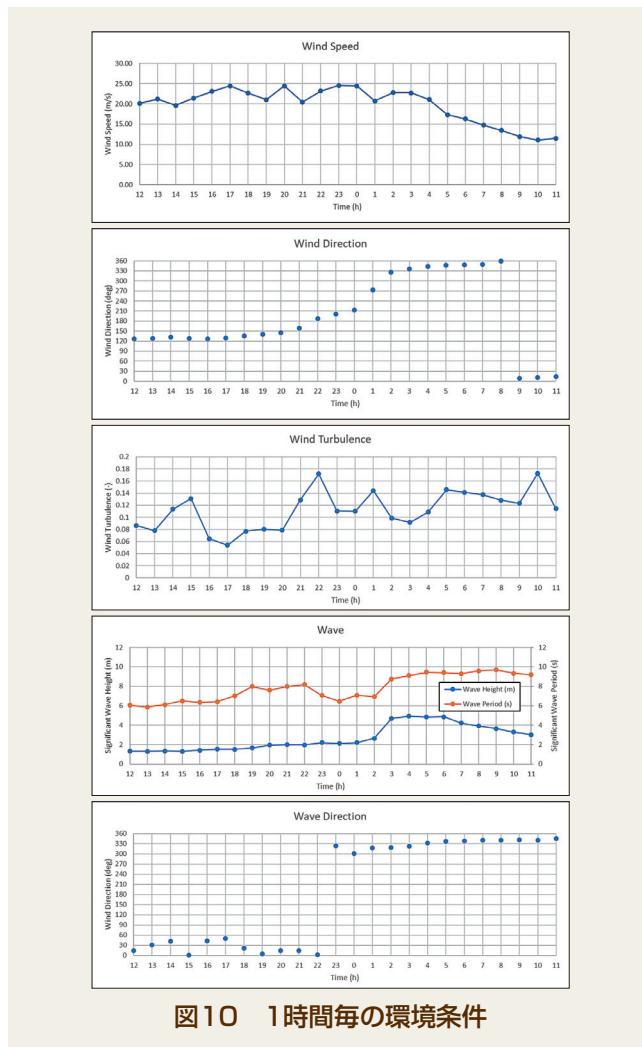


図10 1時間毎の環境条件

5. 実証試験計測値と連成解析結果の比較と考察

5.1 波スペクトルの比較 数値解析のために生成した波の時系列と、実証観測から得た波の時系列を比較するために、それぞれの波スペクトルを検証した。一例として、台風17号での2019年9月23日3:00~4:00におけるパワースペクトル密度（以下、スペクトル）の比較を図11に示す。図より実証試験（measurement）と連成解析（simulation）のスペクトルが良く一致していることがわかる。また周波数が大きくなるにつれてスペクトルの変動傾向は近い値を示しているが、その値に差異が生じていることも確認できる。これは、連成解析の波時系列の生成方法として、実証観測から得られた有義波高および有義波周期を使って、ISSC波スペクトルを算出したためである。実証観測で得た波スペクトルを利用しなかったため、差異が生じたと考えられる。

5.2 浮体運動量の時系列の比較 台風17号の影響下にある2019年9月23日3:25~3:30の5分間の時系列、すなわち台風17号での実証試験の計測値と連成解析の6自由度浮体運動量時系列（以下、計算値）を図12に示す。図より、計測値と計算値は類似した傾向を持っていることがわかる。ただし、計算値は波スペクトルおよび乱数の数値によって時系列の発生状況が左右される。よって、運動量の統計値、又はフーリエ変換によるスペクトルを比較することが必要となる。これについては次節で記述する。

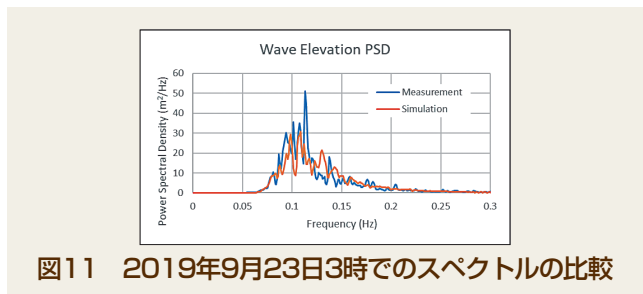


図11 2019年9月23日3時でのスペクトルの比較

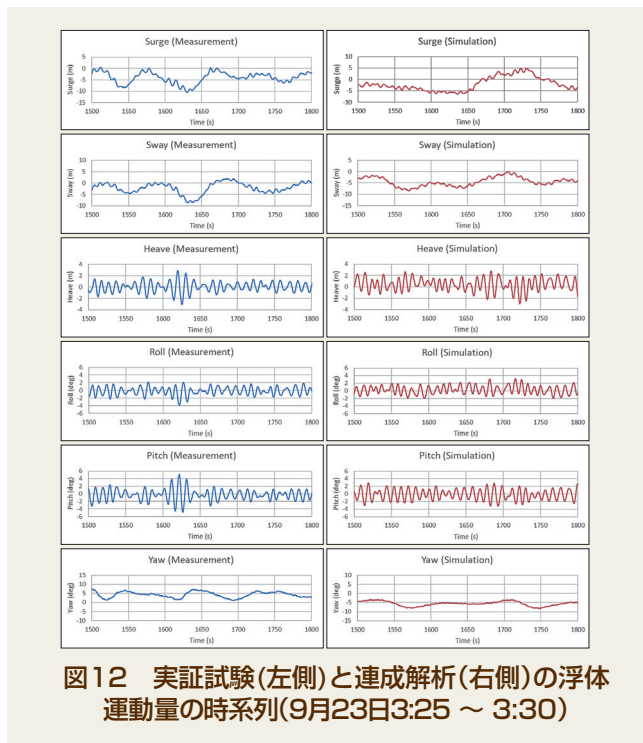


図12 実証試験(左側)と連成解析(右側)の浮体運動量の時系列(9月23日3:25 ~ 3:30)

5.3 浮体運動量の統計値の比較 2019年9月22日12時~23日12時の環境条件を図13と図14に示す。また、実証試験の計測値と連成解析による計算値のそれぞれの横揺れ（roll）と縦揺れ（pitch）の1時間毎の標準偏差を図15と図16に示す。

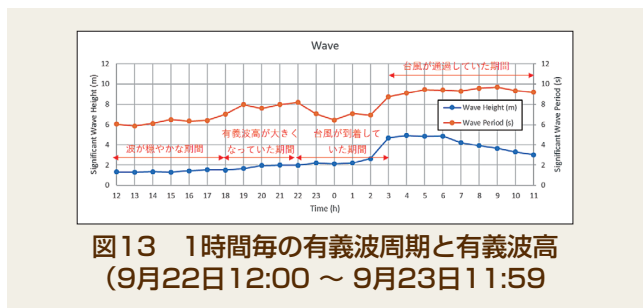


図13 1時間毎の有義波周期と有義波高 (9月22日12:00 ~ 9月23日11:59)

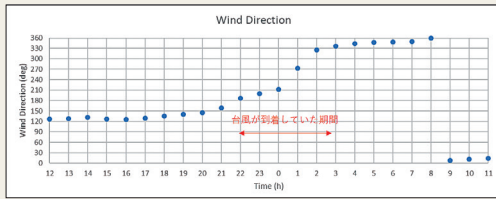


図14 1時間毎の平均風向き
(9月22日12:00～9月23日11:59)

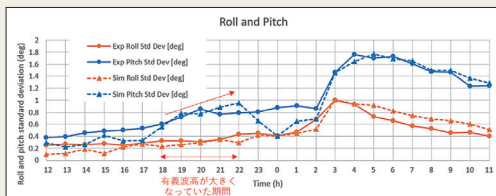


図15 浮体横揺れ(roll)や縦揺れ(pitch)の1時間毎
の標準偏差計測値(Exp)と計算値(Sim)_1
(9月22日12:00～9月23日11:59)

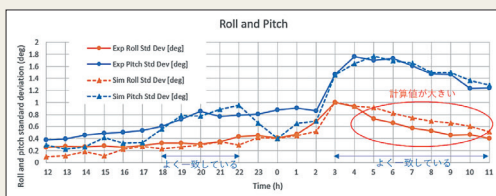


図16 浮体横揺れ(roll)や縦揺れ(pitch)の1時間毎
の標準偏差計測値(Exp)と計算値(Sim)_2
(9月22日12:00～9月23日11:59)

まず、2019年9月22日12時～18時は台風が到着する前の期間である。図13に示すように、この期間に環境条件である有義波高は比較的穏やかである。そして、この際の横揺れと縦揺れの標準偏差は、他の期間と比較して低い値を示した。次に、2019年9月22日18時～22時の間には、有義波高が次第に大きくなり、図15に示すように、有義波高と共に横揺れと縦揺れも大きくなった。また、2019年9月22日22時～23日2時の間に、図14に示すように、風向きが大きく変化した。この期間は台風が到着していた期間である。最後に、2019年9月23日3時～12時は、台風が通過している期間である。この際に、縦揺れと横揺れの標準偏差は比較的高いことを確認した。

計測値と計算値を比較すると、有義波高が大きくなっていた期間である2019年9月22日18時～23時および台風が通過していた期間である2019年9月22日3時～23日11時の期間では、図16に示すように、縦揺れが良く一致していることを確認した。一方で、横揺れの方は、計算値の方が大きくなった。

波が穏やかな期間である2019年9月22日12時～18時には、図17の左側の丸印に示すように、計算値が低めになった。その原因として、粘性減衰係数の値が低い波高の条件には使用できないことによると考えられる。本論文で使用した粘性減衰係数は水槽実験のRAOの結果⁹⁾から算出した。過去の水槽実験で使用した波高は2.5 m～7.5

mである。一方、図13に示すように、この期間の有義波高は約1.5 mであるため、結果として計算値と計測値の差が大きくなったと言える。

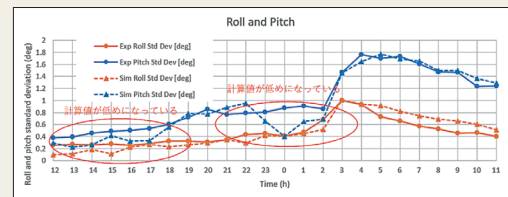


図17 浮体横揺れ(roll)や縦揺れ(pitch)の1時間毎
の標準偏差計測値(Exp)と計算値(Sim)_3
(9月22日12:00～9月23日11:59)

また、図17の右側の丸印に示すように、台風が到着していた期間である2019年9月22日23時～23日2時での計算値は低い値になった。この原因は、この期間は風向きが大きく変動している期間のためである。今回の連成解析では、変動している風向きを入力することは不可能であるため、その影響を考慮できなかった。波高が高い環境条件では、連成解析による浮体運動応答の精度が良い結果となった。

波高が低い環境条件と、風向きが大きく変動する条件において、連成解析の精度を向上させる必要がある。

5.4 浮体運動量スペクトルの比較

2019年9月23日3時～4時の浮体運動量のスペクトルを図18に示す。本スペクトルはフーリエ変換により算出した。

前後変位量 (surge) と左右変位量 (sway) の実証試験計値のスペクトルは、図11に示した波スペクトルのピーク周波数と比較して、より低いピーク周波数である0.011 Hz (90秒) のピーク周波数を示した。ただし、実証試験による計測値と連成解析による計算値の間には、明確にピーク周波数のずれが生じている。計算値のsurgeピーク周波数は0.0088 Hz (113秒)、swayは0.0029 Hz (345秒)である。また、方位角度 (yaw) スペクトルでも、同様のピーク周波数のずれがある。

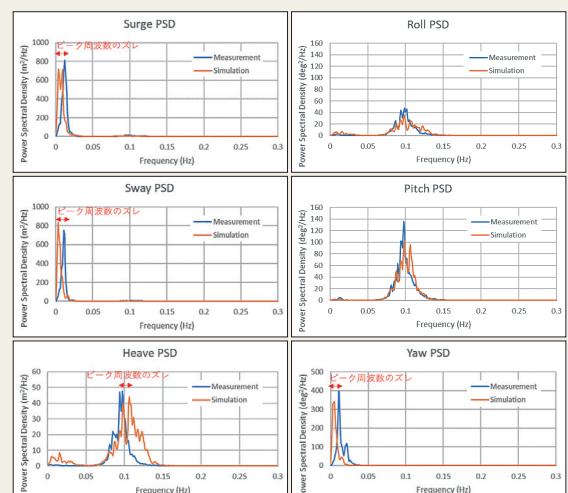


図18 2019年9月23日、3時での
6自由度浮体運動応答スペクトル

少し異なるピーク周波数のズレは上下変位量 (heave) のスペクトルで確認した。計算値の場合は、0.106 Hz (9.43 s)、計測値の場合は0.094 Hz (10.63 s) である。また、計算値のheaveスペクトルの全体的な分布も、計測値のスペクトルと比較して、0.1 Hzより高い周波数では大きくなった。更に、連成解析のheaveスペクトルでは約0.01 Hz (100秒) から0.03 Hz (33秒) の周波数成分で小さなピークを確認した。これは、heaveの応答がsurge、swayやyawの応答と強く連成していることを示している。また、計算値と計測値のrollとpitchのスペクトルはよく一致していることを確認した。

以上より、6自由度浮体運動応答のスペクトルを確認すると、surge、sway、yawは低い周波数で変動し、heave、roll、pitchは高い周波数で変動することが分かった。

5.5 解析時間の検討 Intel Xeon E5-2643 v4 ×2 CPU (3.4 GHz×12コア) のワークステーションを利用すると、24ケースの解析時間は4日間であった。そして、解析時間は48 h/ケース/コアであった。非線形な流体解析であるMBS-CFDの解析時間 (約4,000 h/ケース/コア)⁷⁾ と比較すると、連成解析の解析時間は2オーダー短いことが明らかとなった。

6. 結 言

本論文では、バarge型浮体式洋上風車実証試験機を対象に、BEMやBEMTによる連成解析モデルを構築した。また、連成解析の精度を検証するために、実証試験による計測値と連成解析による計算値を比較した。その結果、波高が高い環境条件では、連成解析による浮体運動応答の精度は良いことを確認した。一方、波高が低く、風向きが大きく変動している条件では、連成解析の精度を向上させる必要があることを確認した。その原因としては、連成解析に入力した粘性減衰係数を波高が高い条件で設定したためである。更に、6自由度浮体運動応答のスペクトルを確認した結果、計算値と計測値のrollとpitchのスペクトルはよく一致した。しかし、surge、sway、heaveおよびyawではピーク周波数のズレが確認された。また、連成解析の解析時間は、非線形な流体解析であるMBS-CFDと比較して2オーダー短いことを確認した。10,000ケース以上を評価しなければならない浮体式洋上風車の設計に対して、解析時間がより短い連成解析の方がより良いと言える。

今後の研究として、連成解析の精度を向上させるために、全ての波高で使用できる粘性減衰係数の与え方と風向きが大きく変動する条件の考慮、およびピーク周波数のずれの原因究明が重要と考えている。それらを確認するためには、水槽実験又はCFDによる流体解析によって、浮体周りの流場を検証する必要がある。今後、解析精度の検証ができれば本連成解析を浮体式洋上風車の最適化設計に適用可能である。

SDGsに貢献する技術

本報結果により、浮体式洋上風車の低コスト化技術の研究開発を推進し、SDGs目標 ⑦「エネルギーをみんなに、そしてクリーンに」および目標 ⑬「気候変動に具体的な対策を」への貢献を図る。

謝 辞

本実証研究はNEDOの委託業務として実施されたものである。関係者の皆様方に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 石田雅也：浮体式の洋上風力発電で日本初の商用運転—長崎県・五島市で漁業との共生を目指す、自然エネルギー財団自然エネルギー活用レポート, **2017**, 10.
- 2) 鈴木英之：福島プロジェクトと浮体式洋上風力発電システム, 日本船舶海洋工学会誌KANRIN, **2018**, 81, 32-33.
- 3) 今北明彦：2MW 浮体式洋上風力発電施設“ふくしま未来”, 日本船舶海洋工学会誌KANRIN, **2018**, 81, 34-37.
- 4) Komatsu, M. ; Hitoshi, K. ; Ohta, M. et al. : Development of Offshore Wind Turbine Floater That Blends into Japanese Waters ; Evaluation of the Validity for Design and Applied Methods for V-shaped Semi-Submersible Floating Structure, Mitsubishi Heavy Industry Technology Review **2016**, 53, 30-39.
- 5) 北小路結花：浮体式洋上変電所「ふくしま絆」および浮体式5MW風車「ふくしま浜風」アドバンストスパー型浮体ふたつの実機建造, 日本船舶海洋工学会誌KANRIN, **2018**, 81, 44-47.
- 6) Jonkman, J.M. ; Buhl, M.L. Jr. : Loads Analysis of a Floating Offshore Wind Turbine Using Fully Coupled Simulation, In Proceedings of the Wind Power 2007 Conference and Exhibition, Los Angeles, CA, USA, **2007**-06/03/06.
- 7) Beyer, F. ; Choynet, T. ; Kretschmer, M. et al. : Coupled MBS-CFD Simulation of the IDEOL Floating Offshore Wind Turbine Foundation Compared to Wave Tank Model Test Data, In Proceedings of the 25th International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2015), Hawaii, HI, USA, **2015**-06-21/26.
- 8) Vijay, K.G. ; Karmakar, D. ; Uzunoglu, E. et al. : Performance of Barge-Type Floaters for Floating Wind Turbine, In Proceedings of the 2nd International Conference of Renewable Energies Offshore (Renew 2016) Lisbon, Portugal, **2016**-10-24/26.
- 9) Kosasih, K.M.A. ; Niizato, H. ; Okubo, S. et al. : Wave Tank Experiment and Coupled Simulation

Analysis of Barge-Type Offshore Wind Turbine, In Proceedings of the 29th International Society of Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE-2019) Hawaii, HI, USA, 2019-06-16/21.

- 10) 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, 2018-03.
- 11) Waris, M.B. ; Ishihara, T. : Dynamic Response Analysis of Floating Offshore Wind Turbine with Different Types of Heave Plates and Mooring Systems by Using a Fully Nonlinear Model, Coupled System Mechanics, 2012, 1, 247-268.

出典元

Kosasih, K.M.A. ; Suzuki, H. ; Niizato, H. et al. : Demonstration Experiment and Numerical Simulation Analysis of Full-Scale Barge-Type Floating Offshore Wind Turbine, Journal of Marine Science and Engineering, 2020, 8.

文責者

日立造船株式会社 機械・インフラ事業本部
開発センター 海洋環境グループ
新里 英幸
E-mail : hitzgiho001@hitachizosen.co.jp

Demonstration Experiment of Barge-Type Floating Offshore Wind Turbine under Typhoon Conditions and Development of Coupled Analysis Model

Abstract

Hitachi Zosen installed a 3 MW barge-type floating offshore wind turbine (FOWT) in Kitakyushu, in southern Japan, and started demonstration experiments in 2019 as part of a project commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) to verify the feasibility of a low-cost FOWT suitable for moderate water depths of 50–100 m. To investigate the dynamic behavior of the FOWT in extreme conditions, we measured the floater's motion data during Typhoon Tapah on 23 September 2019. We then compared the measurement data with coupled analysis results to verify the validity of the coupled analysis. This paper reports on the results. In general, the coupled analysis results showed good agreement with the measurement data in high wave height conditions. However, some discrepancies appeared in the shorter wave periods, with low wave heights and large changes in wave direction. The possible causes of these differences are also discussed thoroughly in this paper.

Authors

Ko Matias Adrian Kosasih (Hitachi Zosen Corporation, Correspondence : hitzgiho001@hitachizosen.co.jp)
Hideyuki Suzuki Hideyuki Niizato Shigeki Okubo Shunsuke Mitani