

PS-29 風車浮体一体型・一点係留式 FOWT の 波浪中応答解析手法の検討

海洋先端技術系 *羽田 絢

1. はじめに

日本国内でも実施された FOWT (Floating Offshore Wind Turbine) の実証事業研究を経て、FOWT 開発は新しいステップへと進んでいる。即ち、量産化に向けた統合的な設計の段階に到達しており、現在は多様なコンセプトの FOWT が提案されている。他方で、新コンセプトの FOWT では、浮体部へのコンクリート部材、1 点係留方式、合成繊維索など、挑戦的な技術を含むものも多く、既存の数値解析手法では詳細な問題を検討できない可能性が発生している。

本研究では、このような多様な特徴を有する FOWT に対して適用可能な解析手法の構築を目的とする。また、構築した手法の妥当性評価のための模型試験結果も合わせて示す。

2. FOWT コンセプト

本研究で検討対象とするドイツ、AeroDyns 社の FOWT コンセプト¹⁾を紹介する。図-1 に浮体の概要図を、表-1 に主要目を示す。本システムは風車、浮体を統合的に設計しており、構造全体の軽量化と、浮体全体を用いたパッシブヨー機構が特徴的である。具体的な構造的な特性を次に述べる。

風車はダウンウィンド型の 2 枚翼で、定格出力は 6MW である。軽量化のためにナセルヨー制御装置は廃している。これに代わり、系全体でのパッシブヨー機構を採用している。係留索を浮体端部に設置するタレット装置に集約して取り付けることで、一点係留方式のように浮体の触れ回りを可能とする。

浮体部分は、Y 字型に並ぶ 3 本の主要なハルと、各ハルの先端から延びるコラム部によって構成される。主要ハルはすべて水線面下にあり、軽量化のためコンクリート製を想定する。コラム部は GFRP 製を想定する。以上に示すように、浮体部は比較的柔軟な構造になっているため、全体の剛性を高めるためにタワー上部と各ハルの先端をワイヤで接続し、初期張力を与える。

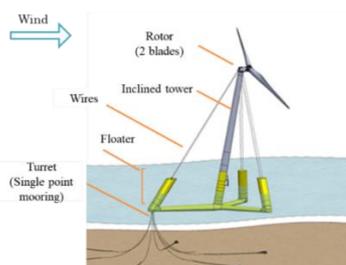


図-1 検討対象 FOWT 概要図¹⁾

表-1 検討対象主要目

Item	Unit	Value
Rated Rotor Power	MW	6
Num. of blades	-	2
Rotor Diameter	m	140
Max. Thrust	kN	810
Hub Height	m	95
Rotor Mass	ton	310
Displacement	ton	5400

3. 解析手法概要

本研究では FOWT 挙動の解析手法として、機構解析を採用した。機構解析とは、系を構成する要素間のつながりを未知数として系全体を表現し、要素の運動を中心に求める解析手法であり、FOWT の全体挙動と局所挙動を同時に考慮可能であることに加え、要素同士の接触・反射のような非線形の現象も取り扱うことができる。今回は、汎用の機構解析ソフトウェアとして、MSC 社製の Adams²⁾を採用した。先行研究³⁾では、同手法を用いたスパーFOWT の連成解析を実現している。

今回対象となる浮体は、主要構造部の弾性挙動に加えて、浮体端部に集約された係留が浮体挙動に及ぼす影響が特徴的であり、既存の解析手法では検討が困難な箇所である。特に弾性挙動は、ワイヤの存在によって通常よりも複雑となる。

解析の具体的なモデル化について示す。図-2 にモデル化の概要を示す。FOWT は 20 程度の要素を組み合わせてモデル化を実施した。中でも主要構造部である浮体 3 本のハルおよびタワーを弾性体として作成し、主要なたわみを考慮可能とした。ワイヤは線形バネ・ダンパとしてモデル化を実施した。弾性体は、外殻形状から板厚を有したシェルメッシュを作成し、MSC 社製 Apex⁴⁾を用いて固有値解析を実施し、その結果を Adams にインポートして利用した。また、係留は、ランプドマス法のように索を複数要素に分割して再現した。今回は 1 本の索を 120 分割してモデル化した。浮体部には計 24 点の荷重作用点を用意し、浮力 (復原力) およびポテンシャル理論により導出した流体力を作用させた。これには、付加質量による慣性力、造波減衰力、波強制力を含む。また、流体力の 2 次成分として浮体各部と係留各要素に流体抗力を加えた。空力荷重は、後述の模型仕様に合わせて、変動しない一様荷重として作用させた。

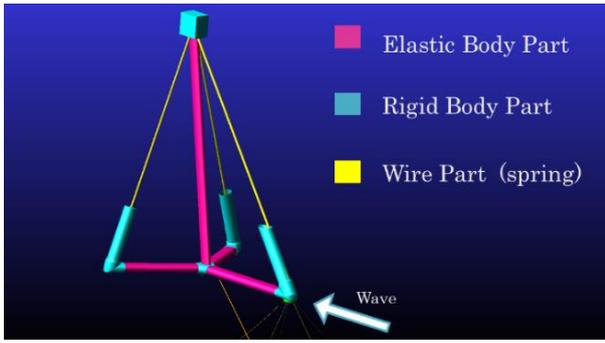


図-2 FOWT 主要部の構成要素

4. 解析結果

今回の数値解析は、別途実施した 1/15 スケールの模型試験⁵⁾に対応した計算である。実験風景を図-3 に示す。模型試験について 2 点追記する。当該試験に用いた模型は、製法を実機と同様にしたため、ローハル等浮体主要部について弾性はあるが、弾性相似模型ではない。次に、ロータ荷重は、ダクトファンを用いた一定荷重として与え、空力連成は考慮していない。

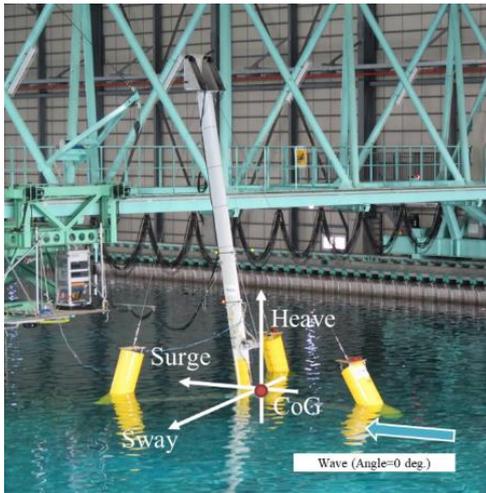


図-3 当所実海域再現水槽での実験風景

解析結果の一例として、規則波中の浮体ピッチ応答と上流側ワイヤの張力変動について示す。それぞれ、風荷重(一定荷重)がある場合と無い場合の値を模型試験の結果と合わせて示す。まず、ピッチ運動、ワイヤ張力ともに解析結果の全体傾向が概ね実験結果と一致していることが確認できる。詳細に確認すると、浮体運動については、特に風なし条件においてはピーク周辺以外の挙動もほぼ一致している様子が確認できる。それに対して、風荷重がある場合は、4s 近傍で差異があることが確認できる。ワイヤ張力についても詳細を確認すると、ピーク値はとらえられているが、それ以外の部分についてすべて一致しているとはいえない。特に、風なしの 3.5s 近傍では差が大きく表れた。

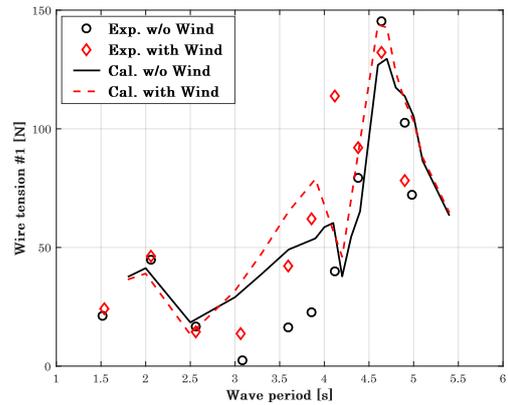
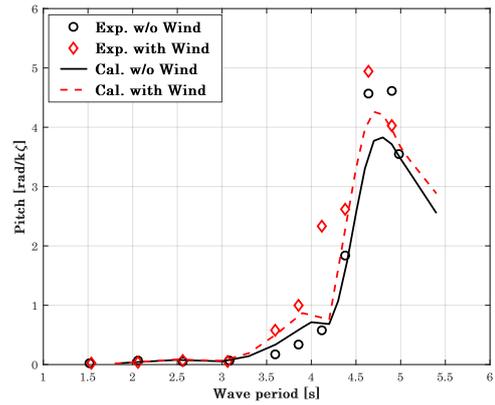


図-4 波浪中応答 (上: ピッチ運動, 下: 上流側ワイヤ張力)

5. まとめ

FOWT の新しいコンセプトの中から、一体型設計、一点係留方式の FOWT に着目し、機構解析を用いた解析手法を提案した。浮体の主要部およびタワーの弾性や、ガイワイヤを考慮して FOWT モデルを構築し、規則波浪中での応答について検討した。その結果、系全体の浮体応答および各弾性応答の影響が集約されるワイヤ張力変動について相応の一致を確認できた。今後、様々な形式の FOWT 解析に対して本手法が有効活用できることが見込まれる。

参考文献

- 1) https://www.aerodyn-engineering.com/fileadmin/Download/aerodyn_engineering_Data_sheet_SCD_nezzy.pdf
- 2) Adams, <https://www.mscsoftware.com/product/adams>
- 3) 石田茂資ら, 浮体式洋上風力発電システムの技術開発・安全性評価, 海上技術安全研究所報告第 16 巻第 2 号特集号 (平成 28 年度)
- 4) Apex, <https://www.mscsoftware.com/product/msc-apex>
- 5) 中條俊樹, 羽田絢, 井上俊司, 大縮尺模型を用いた浮体式洋上風力発電の水槽試験, 第 27 回海洋工学シンポジウム (2018), OES27-059