

超大型風車を搭載したアドバンストスパー型浮体式洋上風力発電装置
の波浪外力および応答特性に関する考察

Analysis of Wave-Induced hydrodynamic Forces and Response Characteristics of an Advanced Spar-Type Floating Offshore Wind Turbine System with an Extra-Large Wind Turbine

○寺崎哉人¹, 居駒知樹², 譚雷², 増田光一³

*Kanato Terasaki¹, Tomoki Ikoma², Lei Tan², Koichi Masuda³

In recent years, there has been a rapid development in the technology of floating offshore wind power generation. With the increasing size of wind turbines and floating platforms, it is challenging to reduce the cost meanwhile maintaining sufficient safety. This study focuses on an advanced Spar type floating platform which has two footings that can significantly reduce the spar draft compared with the traditional designs. This is an important advantage for the applications towards shallow waters. The hydrodynamic performance of the advanced spar equipped with a 15MW wind turbine is examined via numerical analysis based on potential flow theory. The advanced spar foundation is found to have better seakeeping performance than the conventional cylindrical spar in terms of wave-induced hydrodynamic forces and motion response characteristics.

1. 緒言

欧州を中心に洋上風力発電の実用化が進んでいるが、我が国においても、特に浮体式洋上風力発電は、2050年までに洋上風力発電量 40GW⁽¹⁾の導入目標達成のために重要な技術開発となっている。しかし、採算の取れた設計のために、洋上風力発電に用いられる風車の大型化、および浮体構造の簡易化が重要な課題となっている。風車大型化の展望として、欧州では25MWの風車の検討も行われている。⁽²⁾ また、浮体構造の簡素化の提案として、スパー型浮体にフーチングを設けることで浮体長さを短縮したアドバンストスパー型⁽³⁾がある。フーチングがあることにより、特定の周波数において波なし周波数が存在する場合があります、茂筑⁽⁴⁾らにより波なし周波数において、上下運動を抑制することが示されている。しかし、超大型の風車を搭載したアドバンストスパー型浮体式洋上風力発電装置の波浪中性能に関する知見は十分とは言い難い。

そこで本研究では、15MWの風車を搭載することを想定したアドバンストスパー型の浮体式洋上風力発電装置の波浪外力および運動応答を数値計算により評価し、単純なスパー型との比較・考察を行うことを目的とする。

2. 計算手法

波浪外力の算定には大澤ら⁽⁵⁾の3次元特異点分布法プログラムを用いて評価した。Figure 1に座標系を示す。ここで、 Ω は流体領域、 S_F は自由表面、 S_H は物体表面、 S_B は水底、 S_R は無限遠方での境界を示す。また、入射波はX軸の負の方向から入射角度を0 rad/s

とし、X軸とのなす角を入射角度とする。

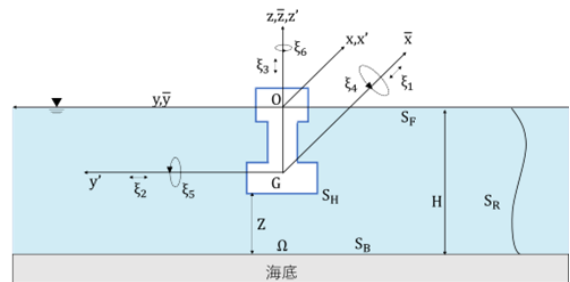


Figure 1. Coordinate system and advanced spar

また、周波数応答関数に関しては式(1)に示す等価線形化された運動方程式を運動変位に対する連立1次方程式を立て、繰り返し計算を行うことにより求める。

$$\sum_{j=1}^6 \{(m_{ij} + am_{ij})\ddot{\xi}_i + N_{ij}\dot{\xi}_i + C_{ij}\xi_j\} = F_i \quad (1)$$

m_{ij} は浮体の質量、 am_{ij} は浮体の広義の付加質量、 N_{ij} は造波減衰力係数、 C_{ij} は静的復原力係数、 F_i は1次波強制力、 ξ_j は入射波振幅である。

3. 計算モデルおよび計算条件

本研究で対象としたスパー型およびアドバンストスパー型浮体の概略仕様をTable 1に、Figure 2に浮体外形図を示す。Advanced sparは2点波なし周波数を持つアドバンストスパー、Traditional sparはAdvanced sparと同排水量のフーチングを持たないスパーである。水深は200 m、周波数は0.15から0.90 rad/sである。

4. 結果および考察

Figure 2, 3にHeave, Pitchの波強制力の計算結果を

1 : 日大理工・院(前)・海建 2 : 日大理工・教員・海建 3 : 日大・理工・上席研究員

示す。また Figure 4, 5 に Heave と Pitch の運動応答の計算結果を示す。図中の α は入射波振幅, D は浮体底面の直径, k は波数である。

Figure 2 より, 周波数 0.27, 0.66 rad/s において波なし周波数が確認できた。また極値の値も周波数 0.42 rad/s で 0.06 程度であった。高周波数側においては大きな差は見られないが, 長周期側においてはその差が顕著に表れた。

Figure 3 から Pitch の波強制力は明らかに Advanced spar が小さくなる結果となった。Traditional spar の極値である周波数 0.75 rad/s においては無次元化された波強制力は 37 分の 1 となった。

Figure 4 より, どちらの形状においても周波数 0.23 rad/s 付近で大きく跳ねる結果が確認できるが, これは Heave の固有周期との共振現象であり, 粘性減衰を考慮していないことが原因である。Advanced spar において波強制力の 2 つの波なし周波数において, 運動応答はほとんどゼロになった。また, 極値は周波数 0.36 rad/s において 0.14 であった。

Figure 5 より, Traditional spar において周波数 0.3 rad/s において大きく跳ねているが, これは Heave と同じ原因である。今回対象とした範囲においては一貫して優位な性能であることが確認できる。

5. 結言

15MW の風車を搭載したアドバンスドスパー型浮体式洋上風力発電装置の波浪中性能を明らかにすることを目的として, 本研究では波浪外力と運動応答を明らかにし, 同排水量のスパー型浮体との比較を行った。喫水を小さくし, フーチングを設けることでスパー型に比べ必要な水深を小さくでき, かつ波強制力を抑えることができることを明らかにした。運動応答に関しても抑制または同程度であることを示した。

参考文献

[1] 経済産業省：エネルギー基本計画, 2021
 [2] Chao (Chris) Qin et al : Active rotor coning for a 25 MW downwind offshore wind turbine, Journal of Physics, Vol.2265, Conf. Ser, 2022
 [3] 石原孟, 山口敦, 滝滋：世界初の浮体式洋上風力ウインドファームへの挑戦, 風力エネルギーシンポジウム, vol.36, pp.493-496, 2014
 [4] 茂筑雄大, 居駒知樹, 相田康洋, 増田光一：2点波なし形状の流体力と運動応答についての考察, 日本沿岸域学会, 研究討論会, 2022

[5] 大澤宏敬, 増田光一：岸壁近傍の浮体式建築物に作用する定常波漂流力に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術梗概集, No.10038, pp.1501-1502,1993

Table 1. Principal particulars of Spar-type FOWT

	Advanced spar	Traditional spar
Turbine mass [t]	1877	
Hub Hight [m]	150	
Displacement [m ³]	4.05 × 10 ⁴	
Waterline Area [m ²]	3.20 × 10 ²	2.71 × 10 ²
KG [m]	20.35	56.59
Moment of Inertia (I _{xx} , I _{yy}) [kg·m ²]	2.27 × 10 ¹⁰	1.55 × 10 ¹¹
Moment of Inertia (I _{zz}) [kg·m ²]	8.00 × 10 ⁹	1.90 × 10 ⁹

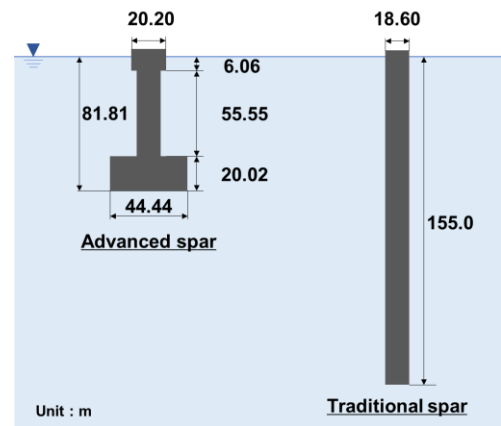


Figure 2. Sketch of the Spar designs

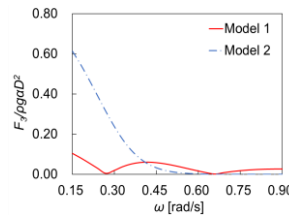


Figure 3. Wave exciting forces in heave

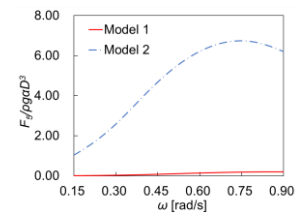


Figure 4. Wave exciting moments in pitch

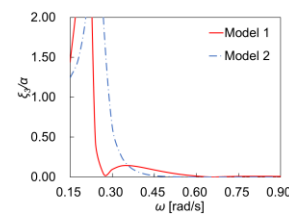


Figure 5. Heave RAO

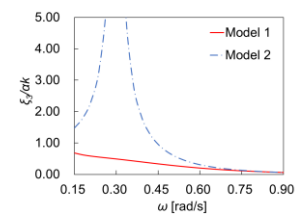


Figure 6. Pitch RAO