

コンクリート製セミサブ型浮体洋上風力発電施設基礎の曳航時挙動について

大成建設株式会社 正会員 ○石河 亮
 正会員 大西 悠太
 正会員 織田 幸伸

1. はじめに

浮体式洋上風力発電施設の施工上のメリットは、基地港にて浮体・タワー・風車を一体化出来る点である。一連の施工の中でも、施工サイクルに影響の大きい工種として、一体化した浮体を設置位置まで輸送する曳航作業が挙げられる。搭載された風車には輸送時における加速度に対する制限があるため、風車に生じる加速度を制限値以下に抑える必要がある。その一方で、浮体喫水を大きくし浮体全体の動揺に対する抵抗力を高める事は、曳航するために必要な牽引力（馬力）の増加につながり、曳航船費用の増加を招く。よって、風車に生じる加速度を制限値以下に抑え、かつ、浮体喫水を小さくすることが望ましい。また、これまで曳航時の検討は、経験式に基づいて、静的に牽引力（馬力）を算出しているだけであり、それだけでは、不規則波中を曳航する際の浮体動揺による風車に生じる加速度を計算できない。

そこで本論文では、浮体・タワー・風車を一体化したモデルを曳航船で牽引する動的解析を実施し、風車に生じる加速度（検討項目①）と、曳航船団の必要馬力（検討項目②）を検討した。

2. 検討対象と解析モデル

検討対象は、COREWIND プロジェクト¹⁾の対象構造物である 15MW 風車を搭載した ActiveFloat とした。図-1 に、ActiveFloat の鳥観図を示す。解析ソフトは、OrcaWave・OrcaFlex Ver. 11.2（Orcina 社）を用いて、ポテンシャル解析、荷重連成解析を行った。

本検討は以下の要領で実施した。

i 環境条件は、浮体式洋上風力発電導入マニュアル²⁾の曳航作業における作業中止基準例を参考に、以下の通りとした。

- ・波浪：有義波高 2.0m、周期 7.0s の不規則波
- ・潮流：1.0m/s
- ・風速：15.0m/s

ii 仮想の曳航距離 300km を 3 日間で曳航すると想定し、曳航速度は、1.2m/s（＝300km÷72 時間）とした。

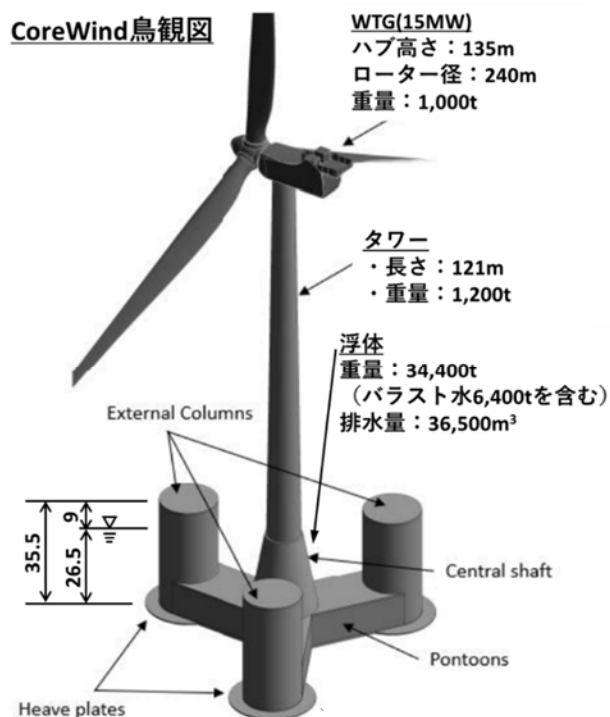
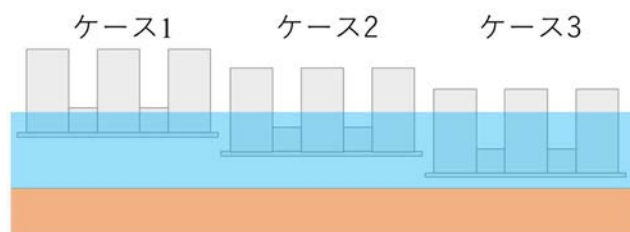
図-1 ActiveFloat 鳥観図¹⁾

図-2 各ケースの曳航時喫水

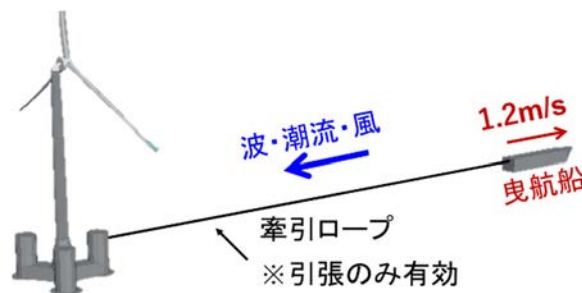


図-3 曳航時荷重連成解析状況図

キーワード 洋上風力発電施設、浮体、曳航、荷重連成解析

連絡先 〒163-0918 東京都新宿区西新宿 2-3-1 大成建設株式会社 TEL 03-6882-0792

表-1 検討結果一覧

ケース	喫水	固有周期 (sec)		検討項目①	検討項目②		
		Pitch	Heave	風車に生じる 加速度(m/s ²)	牽引ロープ 最大張力(kN)	必要馬力(ps)	想定曳航船団
ケース1	d=10.0 m	23	6	0.61 >0.6...NG	5231	18958	5,000馬力×4隻
ケース2	d=18.0 m	30	11	0.55 <0.6...OK	6760	24501	5,000馬力×5隻
ケース3	d=26.5 m	31	13	0.30 <0.6...OK	7746	28076	6,000馬力×4隻 5,000馬力×1隻

※必要馬力(ps) = 最大張力(kN) × 1.2m/s(曳航速度) ÷ (0.075ton × 9.81m/s²) ÷ 0.45(推進効率)

iii 曳航時喫水は以下の3ケース(図-2)とした。浮体重量を調整する事で各ケースの喫水に合わせた。

ケース1：10.0m（岸壁係留時喫水）

ケース2：18.0m（ケース1とケース3の中間程度の喫水）

ケース3：26.5m（本設置時喫水）

iv ポテンシャル解析後、そのポテンシャル解析結果を OrcaFlex に引き継ぎ、荷重連成解析を行った。曳航時の荷重連成解析状況図を図-3 に示す。浮体・タワー・風車を一体化したモデルと曳航船をモデル化し、それらを引張のみ有効な牽引ロープで繋いだ。また、曳航時における風車のブレードは、風による抗力が最小となるフェザリング状態でモデル化した。曳航船は1.2m/sで航行し、向かい方向に波・潮流・風を作用させた。

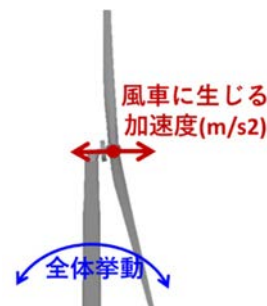


図-4 風車に生じる加速度

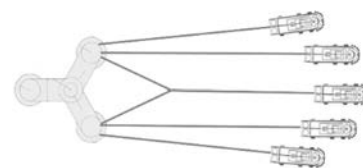


図-5 曳航船団配置イメージ

3. 検討結果

表-1 に検討結果一覧を示す。

検討項目①は、風車に生じる加速度(図-4)が、COREWIND プロジェクト¹⁾にて示されている輸送時の風車加速度の許容値 0.6m/s² 以下であることを確認する。浮体喫水が最も浅いケース1のみ風車に生じる加速度が許容値を超過する結果となった。喫水が小さくなるほど、風車に生じる加速度が大きくなる原因は、喫水が小さくなるにつれ、Pitch、Heave 方向いずれも固有周期が短くなる事が原因である。

検討項目②である曳航船団の必要馬力は、牽引ロープに発生する最大張力より算定する。表-1 より、浮体喫水が小さいほど牽引ロープの最大張力は小さくなり、それに伴い必要馬力も小さくなる事が確認出来た。また、同条件にて、風荷重、抗力、波漂流力を考慮した経験式に基づく静的な牽引力（馬力）の計算も実施したが、解析結果との差異は数%であったため、解析結果の妥当性も確認できた。

検討項目①及び②より、浮体喫水 18.0m のケース2を採用する事で、風車に生じる加速度を許容値以内に抑え、必要となる曳航船団のコストも抑える事が出来る。想定曳航船団は、調達性を考慮し 6,000 馬力以下の曳航船とした。曳航船団の配置イメージ図を図-5 に示しているが 5 隻程度であれば、問題なく配置可能と思われる。

4. おわりに

本検討では、浮体・タワー・風車を一体化した荷重連成解析を行い、風車に生じる加速度と必要馬力を検討した。今後の課題としては、多方向からの荷重に対する検討や、曳航船配置の最適化などといったより詳細な施工時検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) Public design and FAST models of the two 15MW floater-turbine concepts USTUTT / UPC / COBRA / ESTYCO / DTU April 2020
- 2) 浮体式洋上風力発電導入マニュアル 2019年3月 福島洋上風力コンソーシアム