

セミサブ型浮体の部材断面力に関する基本検討

大成建設株式会社 正会員 ○大西 悠太
 正会員 橋本 貴之
 正会員 白谷 宏司

1. 概要

浮体式の洋上風力発電施設の設計においては、風車-浮体基礎-係留システムの荷重連成解析に基づき動的な挙動を精度よく予測するとともに、その挙動下における各部材の断面力を適切に算出し、設計基準で要求される安全・使用性能等を満足させる必要がある。本検討では、IEA Wind Research Task 30 の OC4 プロジェクトのセミサブ型浮体基礎 DeepCwind を対象に、まず、浮体のカラムを繋ぐブレスの断面力を算出できる荷重連成解析モデルの妥当性を検証した。次に、一部のブレスを削除した場合や、浮体の中心を固定した場合などの比較解析を行い、ブレスに生じる断面力の変化について考察した。

2. 検討対象と解析モデル

検討対象は、5MW の風車をセンターカラムに搭載し、3 本のサイドカラムを有するセミサブ型浮体である (図-1¹⁾)。OC4 では、世界の 24 の機関による荷重連成解析結果の比較が行われた。本検討では、解析ソフトウェアとして OrcaFlex Ver. 11.2 (Orcina) を用い、以下の要領で検討を行った。

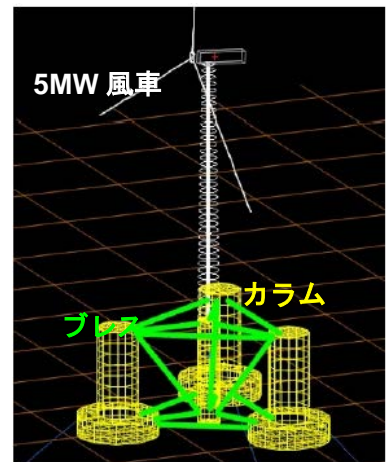


図-1 DeepCwind

- ① 浮体を 1 つの剛体としたシングルボディで、OC4 の主要な荷重ケースの
- ② 重連成解析を行い、各機関の解析結果との比較により、本解析の妥当性を検証した。カラムに作用する流体力はポテンシャル理論で算出し、粘性影響による抗力も文献 1) を参考に抗力係数を与えて評価した。また、カラム底部のヒーププレートの、鉛直方向の抗力も考慮した (抗力係数は文献 1) を参照して 4.8 とした)。ブレスの波力はモリソン式で算出した。浮体基礎、風車の構造条件や各機関の解析結果などは、OC4 の公開データ²⁾等を参考にした。風車の稼働時の制御システムは、OC4 に倣い、NREL が OC3 Hywind で開発した制御システムを用いた。
- ③ センターカラムと 3 本のサイドカラムを独立した浮体として、ポテンシャル理論に基づき各々の流体力を算出し、ブレスを弾性梁部材としてカラムと接合したマルチボディで荷重連成解析を行った。簡便のため風車は非稼働とした。まず、浮体の動揺量をシングルボディ解析結果と比較して、マルチボディ解析モデルの妥当性を確認し、その後、ブレスの有無や浮体の拘束条件を変えた比較解析を行った。

3. シングルボディ解析

図-2 は、風車稼働時のシングルボディ解析結果の一例として、OC4 の荷重ケース 3.6 (一定風速 : 8m/s, 規則波 :

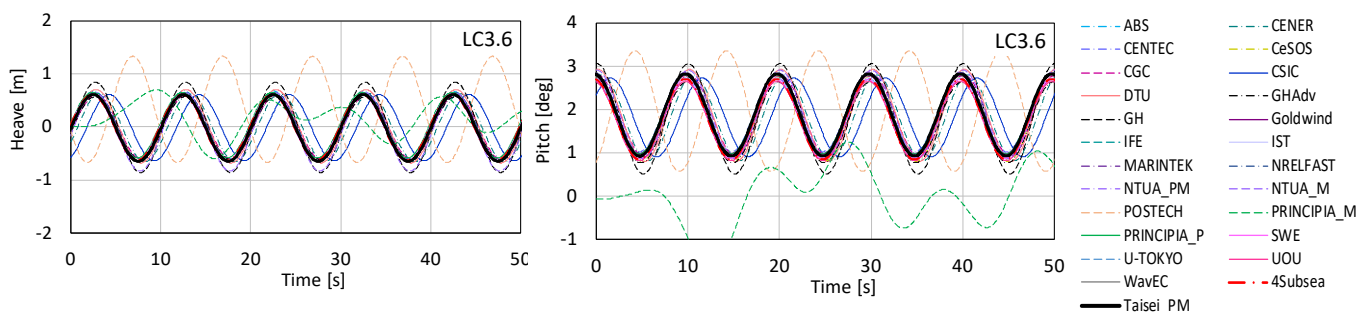


図-2 シングルボディ解析結果の一例

キーワード 洋上風力発電施設, 浮体, 荷重連成解析, 部材断面力

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株) 土木本部 土木設計部 洋上風力設計室 TEL03-6882-0792

波高 6m, 周期 10 秒) における Heave および Pitch の算出結果を, OC4 に参加した機関の解析結果と比較したものである. 本解析結果 (Taisei_PM) は他の機関の解析結果の概ね平均的な位置にある. Sway, Heave, Pitch, Yaw の自由減衰に対する解析結果や, 不規則波を与えたケースなどでも同様の傾向であったため, 本解析は, OC4 で行われた各機関の解析に近い水準にあると言える.

4. マルチボディ解析

マルチボディ解析では, 図-3 に示すカラム (UC, BC, MC) 以外のブレスを全て弾性梁でモデル化した. なお, 別途実施した試解析より, 前述のシングルボディ解析とマルチボディ解析の, 浮体の動揺量はほぼ一致していることを確認している. 本検討では, 図-3 の X 方向の規則波のみを与え, 無風の条件とした. 波周期は, ①Pitch の固有周期よりやや短い 22 秒, ②50 年確率波を想定した 15 秒, ③常時に頻繁に生じると想定される 8 秒の 3 ケース, 波高は 5m で一定とした. 以下に, 解析ケースを示す.

- Case 1 : 図-3 の通り, 全てのブレスが配置されたケース
- Case 2 : サイドカラムを繋ぐブレス DU1~3, DL1~3 を削除
- Case 3 : Case 2 から, さらにセンターカラムとサイドカラムを繋ぐ斜めブレス CB1~3 を削除
- Case 4 : Case 3 と同じブレス配置で, センターカラムを静水面で固定

図-4 は, センターカラムとサイドカラムを繋ぐ下側の水平ブレス YL1, YL2 の, 時刻歴解析による最大曲げモーメントの比較である. サイドカラムを繋ぐブレスの削除により, Liu らの検討³⁾と同様, YL1 の水平曲げが大きくなり鉛直曲げよりも支配的になる傾向が見られる. また, Case 3 (係留) と Case 4 (センターカラム固定) を比較すると, 鉛直曲げモーメントは全周期で固定の場合の方が大きい, YL1 の水平曲げモーメントは短周期で係留の場合の方が大きくなっている. 一般には浮体を固定した方が波力が大きくなると考えられるが, 今回のように浮体の係留動揺を考慮した場合に部材断面力が大きくなる場合もあるため, 設計時には注意が必要である.

5. まとめ

本検討は限られた条件下での簡易検討ではあるが, ブレスを弾性梁部材としてモデル化した荷重連成解析により, セミサブ型浮体の構造安定性に対する各ブレスの寄与や浮体の拘束状態による影響などの傾向が把握できた.

本検討におきましては, 石原孟東京大学大学院教授よりご指導を賜りました. ここに深甚の謝意を表します.

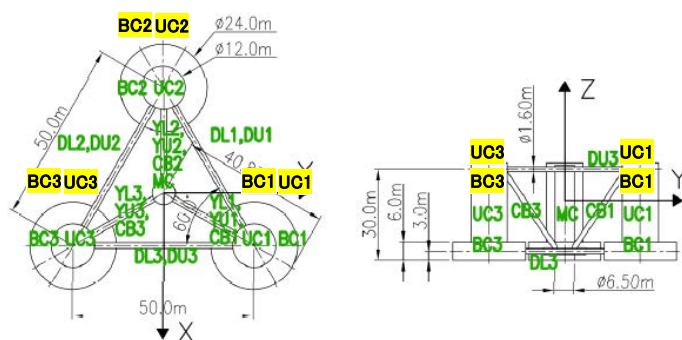


図-3 浮体の部材名称¹⁾

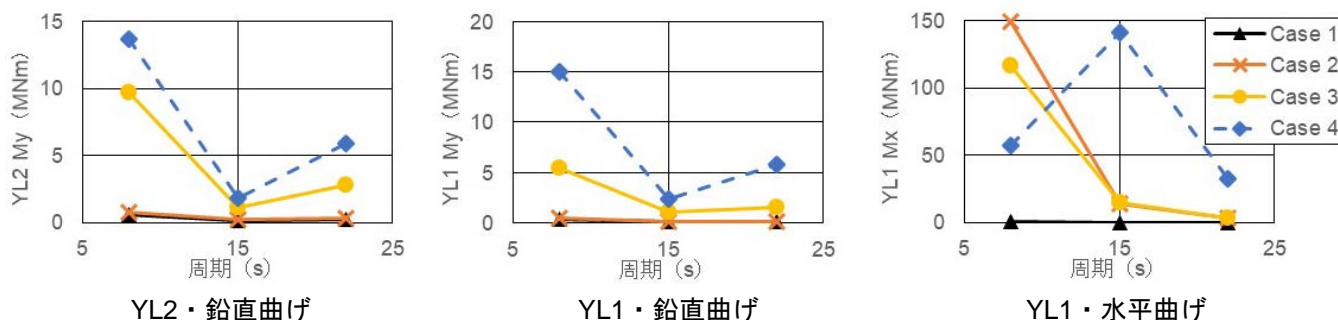


図-4 ブレスの最大曲げモーメント (センターカラム側端部)

参考文献

- 1) A. Robertson et al., Definition of the Semisubmersible Floating System for Phase II of OC4, *Technical Report NREL/TP-5000-60601*, 2014
- 2) OC4 公開データ : Google Drive ([https://drive.google.com/drive/folders/ ...EZLdDRxX2s](https://drive.google.com/drive/folders/...EZLdDRxX2s))
- 3) Y. Liu and T. Ishihara, Numerical Study on Sectional Loads and Structural Optimization of an Elastic Semi-Submersible Floating Platform, *Energies* 14, 182, 2021