

scFLOW を用いた水柱崩壊解析と浮体構造物の運動応答解析

Water Column Collapse Analysis and Motion Response Analysis of Floating Structure Using scFLOW

大内南沙¹, ○大嶋瑠美¹, 藤澤佐翔², 恵藤浩朗³Nazuna Ouchi¹, *Rumi Ohshima¹, Yoshito Fujisawa², Hiroaki Eto³

Abstract: Offshore wind power generation faces the challenge of reduced power generation efficiency due to tilting of the turbine shaft caused by floating body motion. In contrast, cross-axis wind turbines (FCAWT) are expected to provide stable power generation with minimal variation in pressure-receiving area. This study aimed to validate the feasibility of gas-liquid two-phase flow analysis using scFLOW. Through water column collapse analysis and floating body modeling, the reproducibility of free surface fluctuations and wave force calculations was confirmed. Future work will proceed with evaluating the motion response of the entire FCAWT under wind and wave loading.

1. はじめに

洋上風力発電に関する研究では、水平および垂直軸型風車を対象とした運動応答や構造の評価が多く進められている。しかし、これらの風車は浮体式基礎を採用した場合、浮体の動揺により回転軸が傾斜し、受圧面積の変動により発電効率が低下するという課題がある。発電効率に関して、中條らは^[1]ダウンウィンド方式の風車模型を用いた傾斜試験を行い、風向や浮体動揺に伴う回転軸角の変化が発電効率に与える影響を評価した。その結果、発電効率は傾斜角の余弦の3乗に比例して減少することが示されている。

このため、近年では浮体動揺に対する制御システムや係留方法の改良が進められている。こうした課題を背景に、Figure 1 に示す浮体式交差軸型風車（以下、FCAWT）が株式会社 OKYA^[2]により提案された。FCAWT の回転軸は、風向きに対して Figure 2 に示すように交差しており、回転軸の傾斜による受圧面積の変化が非常に小さい。そのため、安定した発電が期待されている。また、FCAWT は浮体基礎と係留方法を工夫することで常に風向きに正対でき、風向に依存しない発電が可能となる。



Figure 1 Existing model

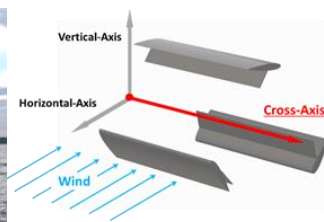


Figure 2 Rotation axis of FCAWT

2. 研究目的

これまでの FCAWT に関する研究は、流体解析ソフト scFLOW^[3]を用いた、風車部に作用する風荷重特性を把握するための検討に留まっている。しかし、FCAWT に無指向性を持たせるためには、浮体式構造物の形状や係留方法の工夫が求められる。そのため、本研究は scFLOW を用いた気液二層流解析により、FCAWT 全体に作用する波および風荷重を算出することを最終的な目標とする。その前段階として、まず気液二層流解析における自由表面の変化や、流体の流入出といった挙動、基本的な現象の適切な再現性についても検証し、scFLOW による浮体式構造物に波や風が作用した際の気液二層流解析の妥当性を確認することを本研究の目的とした。

3. 水柱崩壊による自由表面変化と波力評価

まず一つの検討として、流体の加速度が大きく自由表面の変動が大きい水柱崩壊の解析を実施することで、scFLOW による二層流解析の妥当性を評価する。具体的には、解析結果を陸田らの水柱崩壊実験^[4]と比較し、scFLOW による気液二層流解析の妥当性を確認する。

3.1. 計算条件

陸田らによる実験の諸元を参考に、Figure 3 に示す領域モデルを作成し、出力刻み 0.1s の非定常解析を実施した。Figure 4 に示す矩形の計測モデルに波を作用させ、P1 および P2 に作用する圧力の算出を行った。

3.2. 解析結果および考察

Figure 5, 6 に P1, P2 それぞれの計測点に作用する 0.0 秒から 4.5 秒間の圧力の時系列変化の比較を示す。解析結果と実験結果は完全には一致しないものの、同程度の圧力変動が確認された。また、実験結果との差

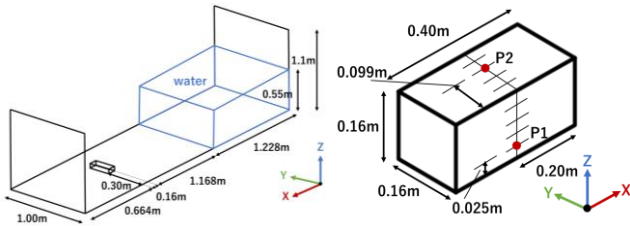


Figure 3 Water column collapse model

Figure 4 Measuring point

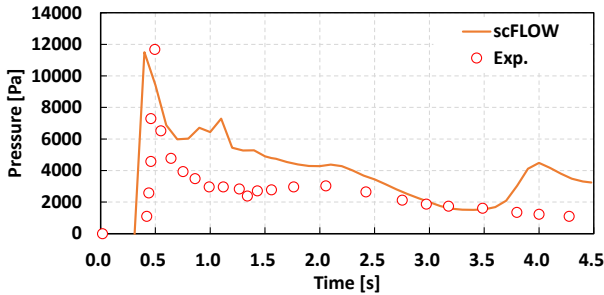


Figure 5 Time-series changes in pressure at P1

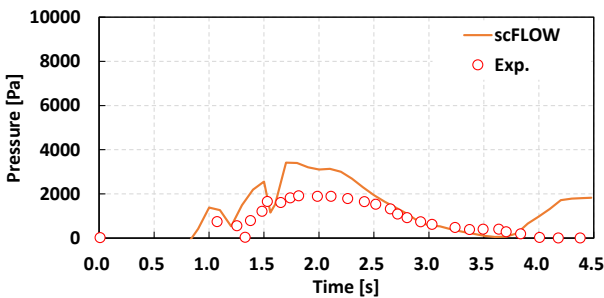


Figure 6 Time-series changes in pressure at P2

異はメッシュ分割の粗さや時間刻みの違いによる数値誤差によるものと考えられ、特に解析結果が実験結果を上回ったのはこれらの影響によると考えられる。誤差が大きい点は否定できないが、全体的な傾向が一致していることから、scFLOWを用いた気液二層流解析の妥当性は概ね確認された。

4. 浮体構造物の運動応答評価

気液二層流解析で浮体式構造物の運動応答を取り扱う一例として、水面上に設置された浮体構造物に対し、波および風荷重を作用させた解析を実施した。ここでは、浮体式構造物の Heave 方向の運動応答についての評価を実施する。

4.1 計算条件

Figure 7 に示すような寸法で双胴型の船舶モデルをここでは浮体構造物とし、Figure 8 に示す解析領域内での浮体の運動応答の確認を行った。浮体の比重は 0.3 と設定し、自然環境条件として、気層に流入させる風は風車が回転し始める風速 5.0m/s を一様流速として流入した。また液層に発生させる波は波高 0.1m、周期 1.0s

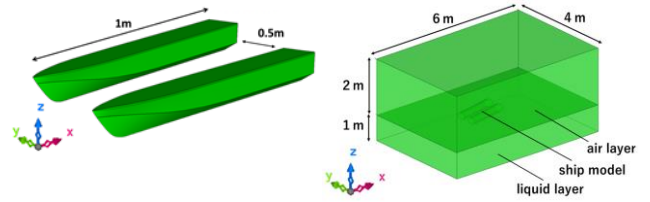


Figure 7 Ship model

Figure 8 Analysis area

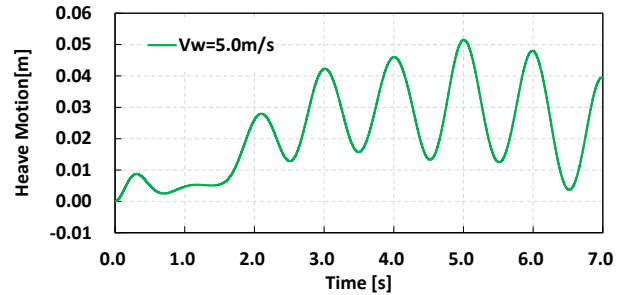


Figure 9 Time series of heave motion for floating structure

の 5 次ストークス波を入射した。ここで風も波も x 軸の負の値から正の値に向かう方向に入射していることを付記しておく。流体は非圧縮性流体とし、乱流は SST k- ω モデルに基づく RANS 法により取り扱った。

4.2 解析結果および考察

解析の結果、図などで示していないが気層、液層ともに流入面と流出面の質量が同じであることを確認し、解析の整合性についても確認した。ここで Figure 9 に浮体構造物の Heave 方向の運動応答の結果を示す。風速に変化を与えていないため風による影響についての考察は難しいが、波高 0.1m の波に対して、浮体の Heave 方向の運動応答の幅は入射 4 秒後以降、0.04m 程度の応答を示すことが確認された。

5. おわりに

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 水柱崩壊実験値と同程度の圧力変動が確認されたことから、scFLOW を用いた気液二層流解析の妥当性を確認した。
- 水面上に設置された浮体構造物に対し、波および風荷重を作用させた解析を実施したが、その応答量の評価については十分に考察できていないため、今後、風や波の条件に関する系統計算を行い、外力条件の変化が浮体の挙動に及ぼす影響を検討を実施する。

参考文献

- [1] 中篠俊樹：浮体式洋上風力発電における風車の動揺特性，風力エネルギー34 巻 4 号，p.97-101，2010
- [2] 浮体式交差軸風車-株式会社 OKYA : https://okya.jp/distinations/floating_crossaxis_windturbine/scflow : <https://www.cradle.co.jp/product/scflow.html>
- [3] 陸田秀実，清水雄，土井康明：SPH 法による流力弾性解析法と水面衝撃問題への適用，土木学会論文集 B，Vol.65，No.2，pp.70-80，2009.