

双発式海流発電装置のクロスビームとナセルに働く流体力の数値的研究

A numerical study of hydrodynamic forces acting on nacelles and crossbeam of a twin-type ocean current generator

学籍番号 47186650 西山 和希
指導教員 高木 健 教授

(令和2年1月30日発表)

キーワード ; CFD, 海流発電装置, 流体力, 境界層剥離

Key words; Computer Fluid Dynamics, Current power generator, hydrodynamic force, boundary layer separation

1. 序論

1.1 研究目的

海流発電装置は海流によって流体力を受けるが常に黒潮の流れの方向に対して正面から受けるわけではなく、気象条件や事故時における過渡状態の流向変化を伴う。本研究では海流発電装置のナセルとクロスビーム部分に注目し、それらが流向変化時にどのような流体力変化の傾向があるのかを CFD (Computational Fluid Dynamics) を用いることで求める。また、CFD を用いることで流れ場の可視化による考察などで実験では得られなかった知見を得る。本研究では坂田[3]の実験と比較し、CFD が妥当なものであるのかを検証した。また、限定的であった条件を CFD を用いて拡張して計算を行い、それらから知見を得るのが目的である。

2. 実験概要

実機の海流発電装置を模擬した約 1/50 スケールの模型を用意し曳航試験を行っている。斜行試験 (Yaw 角) と縦傾斜試験 (Pitch 角) を行っている。斜行試験は-60 度から 60 度までの Yaw 角を 10 度ずつ変化させた場合の静止時の流体力を、縦傾斜試験は-20 度から 20 度までの Pitch 角を 5 度ずつ変化させた場合の流体力を計測している。CFD ではこれらの条件を延長して斜行試験は-90 度から 90 度まで、縦傾斜試験では-45 度から 45 度までの計算を行った。また、二軸傾斜を想定した計算を行うことでその傾向を把握した。

3. CFD (ANSYSFLUENTver18.2) による解析

3.1 ジオメトリ (形状) 作成およびメッシュ生成

解析領域は十分に大きくとり、流入流速 0.2m/s 一定、出口は圧力一定、側壁は slip wall で装置と流体との壁面は no slip wall とした。非構造格子を用いてメッシュを作成した。表面はプリズム要素、その他はテトラ要素で構成した。乱流モデルとしては一般的に用いられている RANS による SST-k- ω モデルでの計算を行っている。圧力と速度の連成手法としては SIMPLE 法を用いており、圧力と運動量は二次精度の風上差分法を、乱流運動エネルギーと比散逸率は一次精度の風上差分法を用いている。

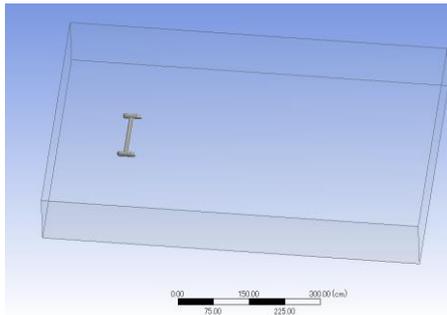


Fig. 1 解析領域

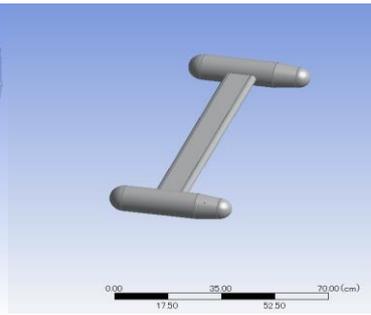


Fig. 2 実験模型

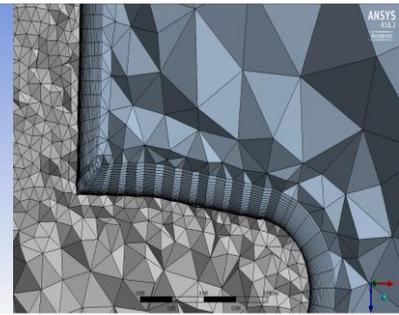


Fig. 3 境界層メッシュ

3.2 格子依存性検証

流体力の計算精度は境界層内の格子の細かさによるものである。そこで、格子によって解にどれほど影響がでるのかを検証するために4パターン用意し格子依存性を検証した。 $y^+ = 1$ のCASE3 に対してその1/10の第一層高さを持つCASE1と1/2の第一層高さを持つCASE2、5倍の高さを持つCASE4を作成した。流体力計算を行い、CASE4のメッシュではメッシュの粗さから流体力が小さくなったがCASE1~3のメッシュでは流体力の計算結果にさほど大きな影響を与えないことが分かった。そこで、より少ないメッシュで計算時間を削減でき十分な精度を持つと判断できるCASE3を採用した。

Table 1 境界層内の格子依存性検証

CASE	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
境界層第一層高さ[m]	0.0000193	0.0000965	0.000193	0.000965
境界層積層数	30	25	25	25
境界層内の成長率	1.2	1.1	1.1	1.1
抗力係数	0.3345	0.3489	0.3665	0.1782
メッシュ数	6017059	3136542	2421252	785739

4. 解析結果

4.1 斜行試験 (Yaw 角) の解析結果

摩擦力を算出し、全流体力と比べ実験値、CFD 計算値ともに摩擦抗力のほうが小さいことを確認した。Yaw 角の変化による流体力の変化は X' 方向、 Y' 方向ともによく捉えられていた。しかし、実験値と CFD の値には大きな差があることが確認できた。また、 X' 、 Y' 、 Z' 座標は物体固定の座標系であり X' は流れ方向、 Y' は横方向、 Z' は右手系で定義される上方向座標軸である。

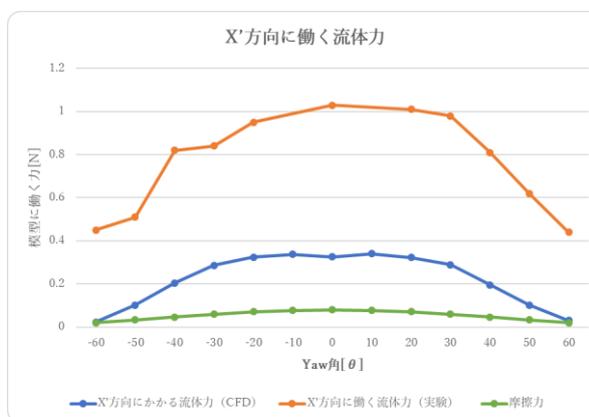


Fig. 4 X' 方向流体力解析結果

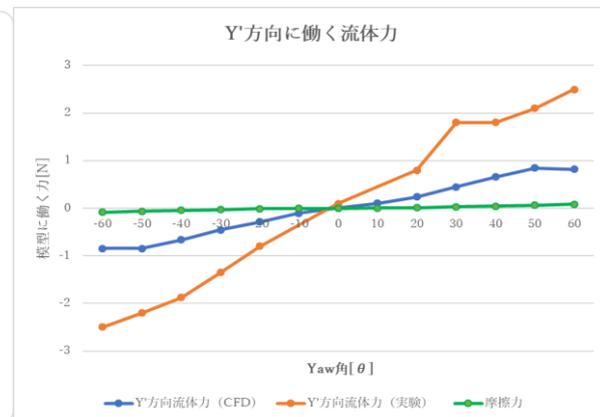


Fig. 5 Y' 方向流体力解析結果

4.2 縦傾斜試験の解析結果

縦傾斜試験も同様に X' 方向に働く流体力は実験値と CFD では実験値のほうが大きかった。Z' 方向の流体力は Pitch 角が 5 度から 10 度に変化する時に減少していることが分かった。これは CFD によって流れ場を可視化すると剥離による失速がクロスビームの流れの後方で起きているからと考えられる。

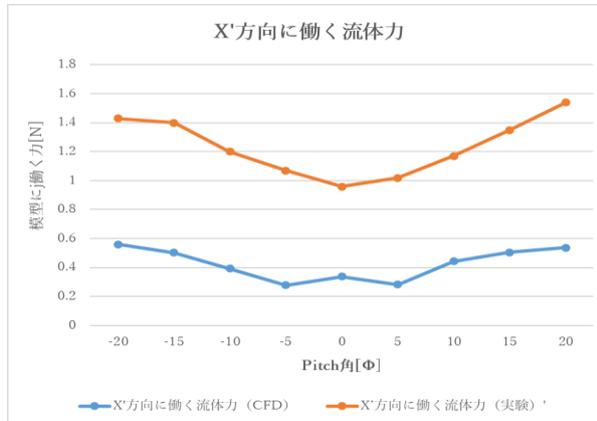


Fig. 6 縦傾斜試験 X' 方向の流体力

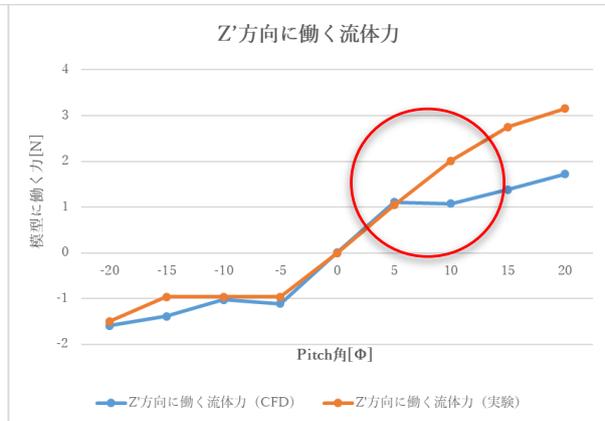


Fig. 7 縦傾斜試験 Z' 方向の流体力

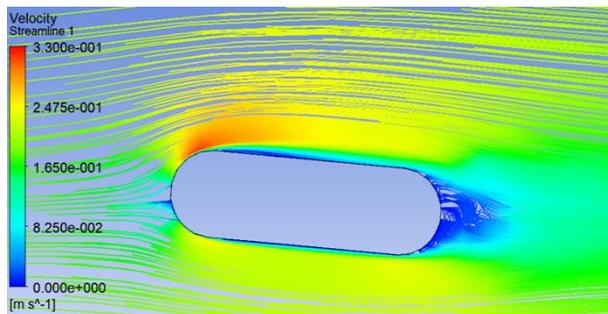


Fig. 8 Pitch 角 5 度時クロスビーム流線図

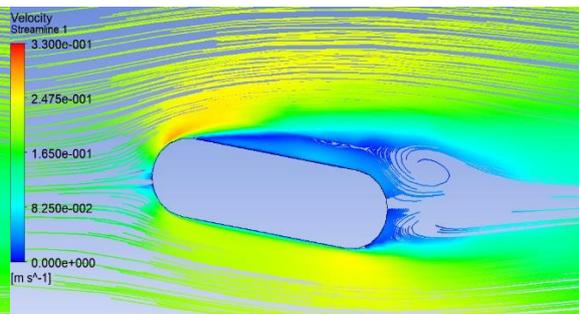


Fig. 9 Pitch 角 10 度時クロスビーム流線図

5 実験結果に対する検証

実験と CFD で大きな差が見られたため、実験結果の流体力が妥当なものであるか検証した。実験結果では Pitch 0 度の時に実験装置に働く抗力からクロスビームのみに働く流体力の実験値を引いてナセルに働く流体力を推定し、抗力係数を求めた。その結果、実験値の抗力係数は 1.94 と非常に高い値を示しており、剥離を防ぐ流線形に近いナセルの形状からは考えられない値であることを確認した。また実験値が必ずしも正しいものではないと考えた。

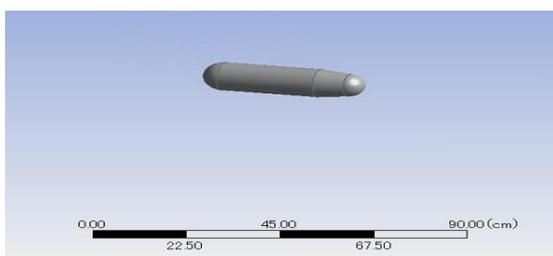


Fig. 10 ナセル形状

ナセル	実験	CFD (計算)
抗力 (推定)	0.305 [N]	0.0335 [N]
投影面積	78.5 [cm ²]	78.5 [cm ²]
抗力係数	1.94	0.214

Fig. 11 ナセル部分の抗力係数

6 二軸傾斜 (Pitch, Yaw 角傾斜) による CFD 計算

一軸傾斜での縦傾斜試験と同じく二軸傾斜の X' 方向の流体力は傾斜角が大きくなるにつれて流体力が大きくなる傾向が見られた。また、 Y' 方向流体力は一軸傾斜試験と同じく斜行角の増減とともに流体力が変化する傾向が一致していた。 Z' 方向の流体力も一軸縦傾斜試験が 5 度から 10 度になる時に剥離による失速によって流体力が減少する傾向が見られたが、それと同様に二軸傾斜でも 5 度から 10 度になる時に流体力の増加が大きくは起こらなかった。

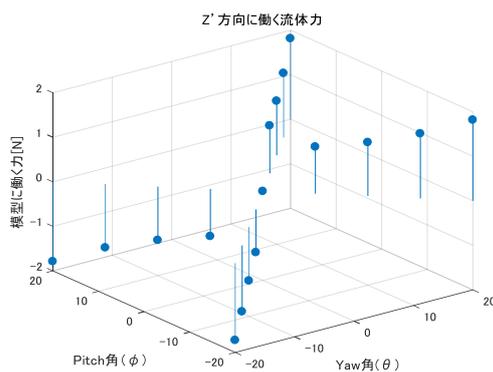
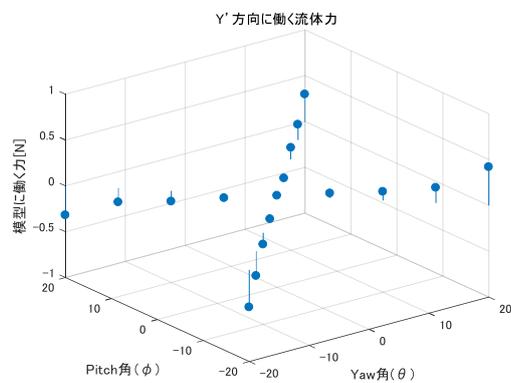
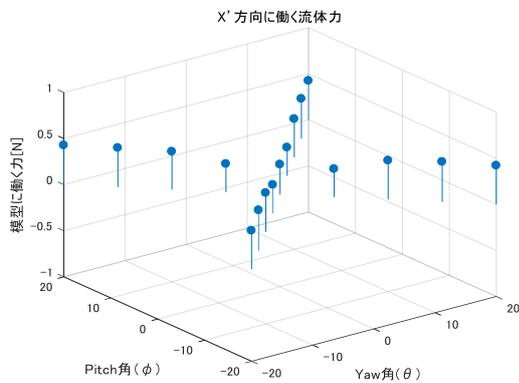


Fig. 12 (左上) 二軸傾斜 (Pitch 角, Yaw 角傾斜) での X' 方向流体力

Fig. 13 (右上) 二軸傾斜 (Pitch 角, Yaw 角傾斜) での Y' 方向流体力

Fig. 14 (左) 二軸傾斜 (Pitch 角, Yaw 角傾斜) での Z' 方向流体力

7. 結論

CFD で流体力計算を行い、実験と異なる結果が得られた。しかし、実験結果もナセル部分の抗力係数が 1.94 と高く、必ずしも信用できる値ではないと考えられる。また、CFD で二軸傾斜の流体力を計測したところその傾向は一軸傾斜で説明できることを示した。さらに、実験装置の取り付けミスや測定する方向を誤ったとして CFD で計算したところ実験と一致する値が得られたため実験値の再検証が必要であると結論付けた。

8. 参考文献

- [1] H. K. Versteeg & W. Malalasekera, 「数値流体力学」、森北出版、(2011 年)
- [2] H. Schlichting & K. Gersten, 「Boundary Layer Theory」 Springer Chapter 2
- [3] 坂田和輝: 双発タービン海流発電装置運動シミュレータで用いられる流体力に関する研究, 東京大学修士論文, (2013 年)
- [4] 船体抵抗と推進, 日本船舶海洋工学会シリーズ②