

セミサブ型浮体の VIM におけるポンツーン影響に関する数値的研究
 Numerical Study of the Effect of Pontoon on Vortex-Induced Motions of a Semi-Submersible Platform

学籍番号 47186660 李 智淵
 指導教員 平林 紳一郎 准教授

(令和3年1月27、28日発表予定)

Keywords: 浮体式洋上風車, CFD, ポンツーン影響, 渦励起運動

Keywords: Floating Wind Turbine, CFD, Effect of Pontoon, Vortex-induced Motion

1. 序論

1.1 浮体式洋上風車

再生可能エネルギーの中で、発電コストが低く、導入ポテンシャルが高い理由から風力発電に注目が集まっている。風力発電には陸上風力発電と洋上風力発電の2種類があるが、一般に陸上よりも洋上のほうが風況が良い。風力エネルギーは風速の3乗に比例して増大するため、経済性の向上には風況の良い場所の選定は重要である。また、洋上風力発電は、陸上に比べて景観や騒音といった環境問題が少なく、設備を運搬するのに道路の制約を受けない等のメリットがある。それに加えて日本は広大な排他的経済水域を持っており、洋上風力発電の導入ポテンシャルは大きい。

洋上風力発電には着底式と浮体式の2つの形式がある。着底式洋上風車の適用水深は経済的な理由から40m程度までとされており、ヨーロッパの北海などの遠浅な地形では早くから導入が進められ、世界の洋上風車のうち9割以上がヨーロッパに設置されている。しかし、日本では岸から離れるにしたい急激に水深が増すという地理的な特徴があるため浮体式洋上風車が有望視されている。

1.2 渦励起運動(VIM)

浮体式洋上風車は風の影響と波、海流、潮流の影響を受け、複雑な挙動を示す。特に、海水に浸かる部分から、流れの影響で渦を放出するという現象がある。渦放出の周期と構造物の固有周期が同期する場合、浮体式洋上風車は大きく運動することがある。これは Vortex Induced Motion(VIM) 渦励起運動と呼ばれる流体現象であり、VIM が起こると風車の位置を保持するための係留索に繰り返し応力を与えてしまい、係留索の寿命短縮が懸念される。そのため、メンテナンス費用の面から、VIM を抑えることでコストを低減することが図られる。

2. 研究目的

2.1 先行研究

Goncalves ら[1]は4本の角柱カラムを用いて、ポンツーン材を2枚または4枚を加え、入射角度やポンツーン材の厚さを調整しつつ、構造物の応答について解析した。Fig.1 に示したように、入射角度が0°の場合、ポンツーン材4つとポンツーン材2つと換算速度10から15までの範囲でほとんど差がない。また、入射角度が90°の場合、ポンツーン材2つとポンツーン材なしとも概ね同じようなy方向の振幅を示している。

2.2 本研究の目的

本研究の目的は三次元な流場情報が得られる数値計算を使用し、その情報を利用して各ポンツーン材が浮体構造物の動揺にどのような影響を与えているか考察することである。複数角柱カラム間にあるポンツーン材がどのような役割を果たすか調べることによって浮体構造物の動揺が抑制されるようなポンツーン材配置が考えられるようになる。

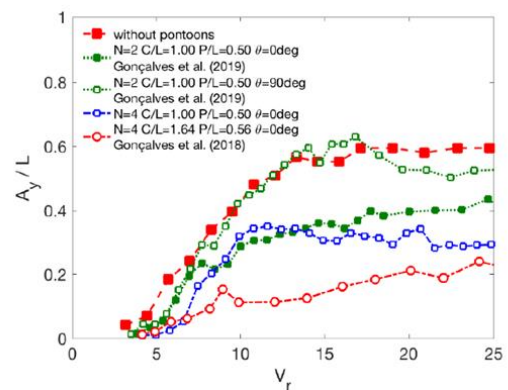


Fig. 1 Nominal dimensionless amplitudes for the motions in the transverse direction [1]

3. 単角柱運動シミュレーション

単角柱について運動シミュレーションをし、V&Vを行うことによってこれからの数値シミュレーションにおいて使用する格子間隔および時間刻みを決める。

3.1 計算条件

計算領域、パラメータ設定と境界条件の設定はそれぞれ Fig. 2、Table 1 と Table 2 が示すようになっている。

運動シミュレーションにおいて使用するソルバーは OpenFOAM の移動格子ソルバーである。移動格子ソルバーにおいて浮体の運動は格子の変形によって再現される。格子はトポロジー的变化はなしで伸び縮みすることで変形し、それぞれの格子頂点の初期位置からのずれが pointDisplacement として出力される。

角柱を自由に運動させるには、係留システムが必要であるため、係留ばねを導入する。

3.2 V&V

CFD 結果の評価に関し、二つの概念として、Validation と Verification がある。通称 CFD V&V である。それぞれ以下のように特徴づけられる。

- 1) Validation : 正しいモデルを解いているか。
 - 2) Verification : モデルを正しく解いているか。
- Validation における正しいモデルとは、現実世界の研究対象を相応しくモデル化しているかどうかのことである。Table 3 が示しているように、三つの格子間隔と三つの時間刻みで計 9 ケースの計算を行なう。流れの数値解の格子依存性を評価する指標として Grid Convergence Index(GCI) が Roache[2]により提案されている。本研究では、The American Society of Mechanical Engineers(ASME)による V&V のスタンダード[3]を参考にし、GCI を算出する。

CGI の結果は Table 4 に示す。各時間刻みにおける GCI が求まり、誤差範囲が分かるようになった。T1 に関して計算コストが非常に高くなっているため、今回は参考用のデータとして載せるだけにする。残り T2 と T3 で、明らかに T2 のほうが誤差範囲が小さいため時間刻みを T2(dt=0.002s)にすると決めた。格子間隔に関しては、真の CFD の結果に対する誤差率が小さいかつ計算コストが妥当な M2 にした。

4. 複数角柱運動におけるポンツーン影響

4.1 計算条件

各要素のネーミング及び各計算ケースにおけるポンツーン材の配置の仕方について Fig. 3 と Fig.4 に示す。また、パラメータ設定と計算領域は Table 5 と Fig. 5 に示す。

Table 1 Parameter for the simulation.

Parameter	Value	
Diameter	D	0.25[m]
Aspect ratio	Ar	1.5
Velocity	Vref	0.3[m/s]
Reynolds number	Rn	75000
incident angle	θ	0-deg

Table 2 Boundary condition.

boundary	Pressure	Velocity
inlet	zero gradient	fixed value
outlet	fixed value	zero gradient
south	zero gradient	free slip
north	zero gradient	free slip
upper	zero gradient	free slip

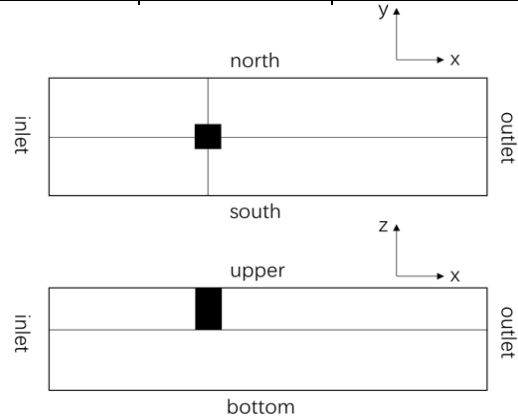


Fig. 2 The sketch of computational region.

Table 3 Space discretization and time discretization.

Name	Expansion ratio	Cell number	hi
M1	r=1.1	290000	1
M2	r=1.15	420000	2
M3	r=1.2	740000	3
Name	dt		
T1	0.001s		
T2	0.002s		
T3	0.004s		

Table 4 The results of GCI

	T1(dt = 0.001s)	T2(dt = 0.002s)	T3(dt = 0.004s)
GCI	4.70%	0.80%	8.60%

Table 5 Parameter for the simulation.

Parameter	Value	
Diameter	D	0.25[m]
Aspect ratio	Ar	1.5
Distance between columns	S/D	4
Solver	pimpleDyMfoam	
Turbulence model	IDDES	
Degree of freedom	Surge, Sway, Yaw	
Reduced velocity	Vr	10.4
Thickness of pontoon	P/D	0.5
incident angle	θ	0-deg

4.2 計算結果

各ケースにおける x 方向の運動の振幅 A_x/D と y 方向の運動の振幅 A_y/D をプロットしたものを Fig. 6 に示す。また、各ケースにおいて各要素が受ける y 方向の力の RMS の値を Fig. 7 に示す。

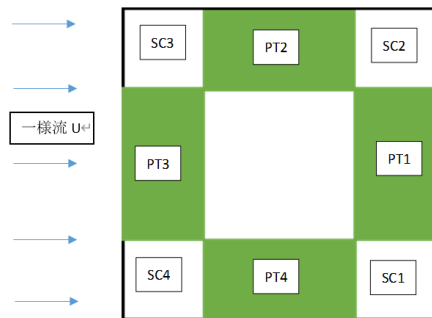


Fig. 3 The name of columns and pontoons

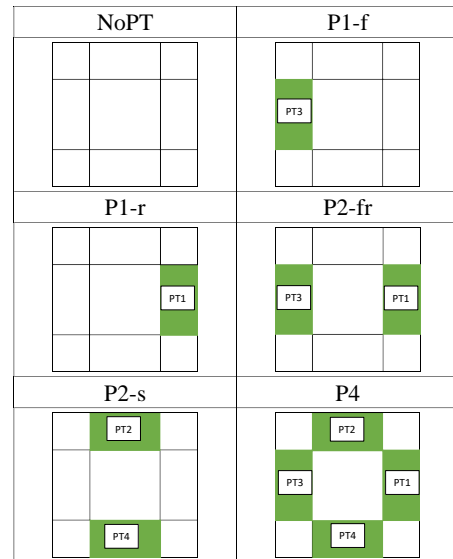


Fig. 4 The name of cases

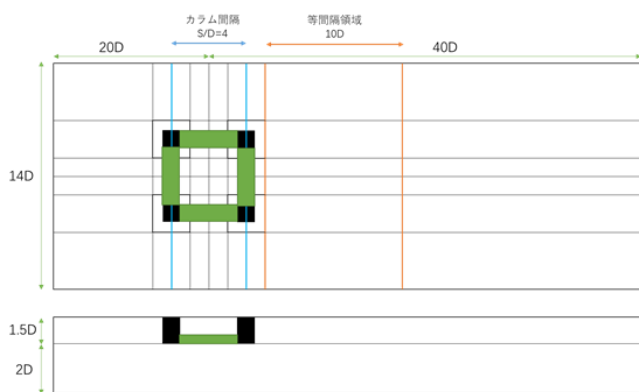


Fig. 5 The sketch of computational region

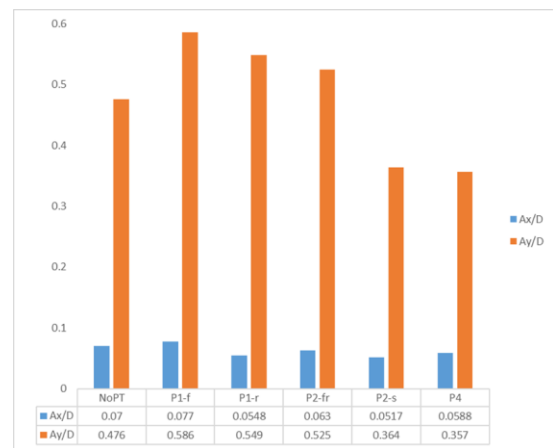


Fig. 6 A_x/D and A_y/D of all cases

5. 考察と結論

本研究では 4 本のカラムで構成される浮体構造物の一樣流中での運動について、ポンツーン材の有無や配置による影響について CFD を用いて評価を行った。その考察と結論は以下ようになる。

一樣流に垂直なポンツーン材について

- i. PT1 と PT3 のような一樣流に垂直のポンツーン材は構造物における y 方向の運動を抑える働きを持っていない。
- ii. PT1 と PT3 でどれか一つ配置した場合、構造物はポンツーン材なしの場合よりも y 方向

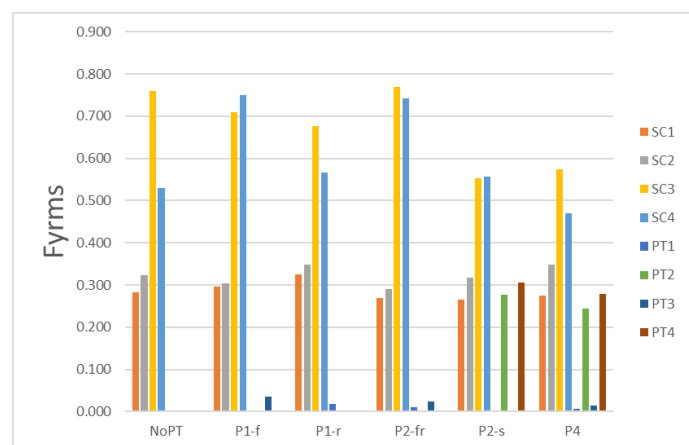


Fig. 7 $F_{y rms}$ of objects of all cases

の振動振幅 A_y/D が大きくなる。原因はそのポンツーン材に繋がる二つの角柱カラムはより大きな y 方向の力を受けているからである。可視化処理の結果によりポンツーン材とつながっている 2 つの角柱カラムが一体化となり、端部付近で部分的に大きな渦の放出が見られた。そのため y 方向に受ける力が大きくなったと考えられる。

一様流に水平なポンツーン材について

- iii. PT2 と PT4 のような一様流に水平のポンツーン材は構造物における y 方向の運動を著しく抑えることができる。
- iv. PT2 と PT4 は、角柱カラム SC3 と SC4 の端部から放出される渦を遮断している。そのため SC3 と SC4 はそれに起因する圧力の変動が小さくなるため y 方向に受ける力が小さくなる。
- v. PT2 と PT4 における y 方向の力の位相と角柱カラム SC3 と SC4 における y 方向の力の位相とがずれており、構造物全体に働く力として一部が打ち消されている。そのためポンツーン材 PT2 と PT4 を配置したケースにおいて y 方向の振動振幅 A_y/D が小さくなる。Fig. 8 は各要素が y 方向に受ける力の時系列のグラフである。グラフを見てわかるように、ポンツーン材 PT2 と PT4 における y 方向の力の位相と上流側にある角柱カラム SC3 と SC4 における y 方向の力の位相とが約 90 度ずれている。

また、PT1 と PT3 を両方加えた場合、構造物における y 方向の運動に全く影響を与えていないようであるが、PT1 だけあるいは PT3 だけ配置した場合はそうではないことが分かった。つまり、PT1 と PT3 を両方配置した場合には、2 つのポンツーン材の効果が結果的に打ち消され、構造物の運動に影響を与えなくなったと考えられる。

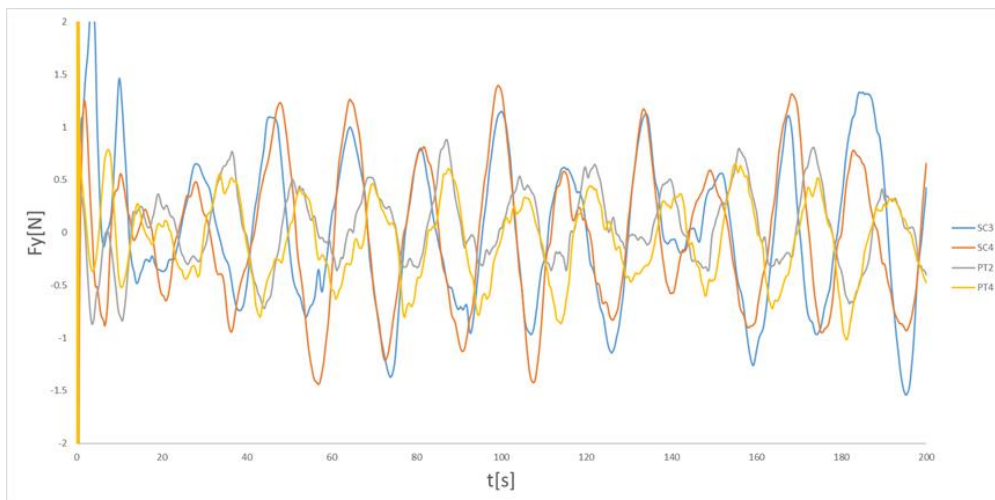


Fig. 8 Time series of drag component in the transverse direction

参考文献

- [1] Rodolfo T. Gonçalves, Hideyuki Suzuki, Shinichiro Hirabayashi, Leandro S. P. Silva, Matheus A. Marques, Chenling Tian, “Experimental study of the effect of the pontoon dimensions on the flow-induced motions (fim) of a semi-submersible platform with four square columns” 2020
- [2] P. J. Roache, Perspective: A Method for Uniform Reporting of Grid Refinement Studies, Trans. ASME, J. Fluids Eng. 116 (1994) 405–413.
- [3] ASME “Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer” ASME V&V 20-2009