

ポンツーン周りの渦影響による浮体式洋上風車の Heave・Roll・Pitch に関する研究

学籍番号 47-216638 内藤 悠基

指導教員 平林 紳一郎 准教授

(令和5年1月30日)

キーワード；換算流速，渦励起運動，Heave，Roll，Pitch，浮体式洋上風車，ポンツーン

1. 序論

流れの中に置かれた円柱のような鈍い形状の構造物には、境界層剥離によりカルマン渦ができる。この渦の影響により浮体に振動を及ぼすことが報告されている[1]。この渦励起運動による振動の大きさは換算流速 V_r という指標によって決まる。換算流速は以下の式で表される。

$$V_r = \frac{U}{f_c D} \quad (1)$$

U は流速、 f_c は浮体の固有周波数、 D は物体の直径である。この換算流速が5～8の付近で流れに対して、垂直な振動が大きくなることが報告されている[1]。セミサブ型の浮体式洋上風車ではこの渦励起運動を無視することができない。この浮体式洋上風車に対する渦励起運動の影響は、過去にいくつかの研究がなされている。Goncalves[2]らによって、水面と垂直方向のカラムにかかる渦励起振動の影響の研究がなされ、セミサブ型の浮体モデルに Sway などの水平運動が発生することがわかっている。李ら[3]はカラムにかかる渦励起影響にポンツーンが与える影響を研究しているが、ポンツーンそのものにかかる渦励起運動について、Heave、Roll、Pitch を調べていない。このように先行研究では、ポンツーンに対する渦励起運動の研究は報告されていない。

ポンツーン周りに渦が発生する場合、鉛直方向に振動力が発生するため、揺れは Heave、Roll、Pitch の垂直成分で起こるはずである。本研究は、1/60 モデルの浮体に対し流れを当てる実験を行い、その流速と浮体の角度を変化させることによりポンツーン周りに発生する渦が、浮体の Heave、Roll、Pitch に与える影響を調べる。実験は浮体を曳引台車に係留した状態で曳航する曳航実験の形式をとった。

2. 実験の条件

2.1 実験模型

本研究の実験では、Fig. 1 のようなセミサブ型の模型を用いた。模型の寸法を Table 1 に示す。

Table 1 Scale of model.

	Scale of model
Scale	1/60
Pontoon diameter D(m)	0.100
Draft(m)	0.250
Mass(kg)	27.2
KG(m)	0.312
GM _x (m)	0.124
GM _y (m)	0.124
I _{xx} (kg m ²)	7.54
I _{yy} (kg m ²)	7.54

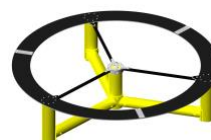


Fig. 1 Top and side view of experimental model

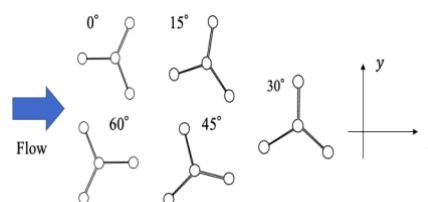


Fig. 2 Angle condition of experiment.

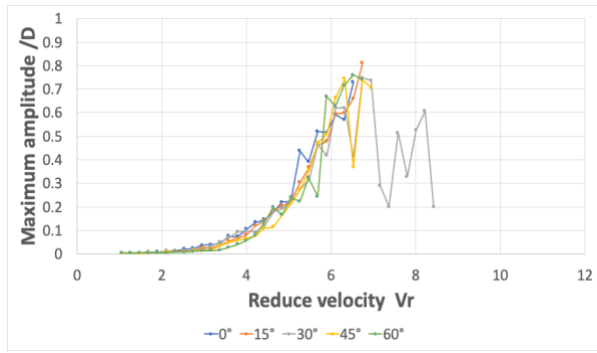
2.2 実験条件と分析手法

本実験では、渦励起運動について調べるため、曳航速度(流速)、浮体角度の2つの条件を変化させて実験を行った。流速は $0.05m/s$ から $0.40m/s$ までを $0.01m/s$ ずつ、また角度条件はFig. 2のように、 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ について行った。

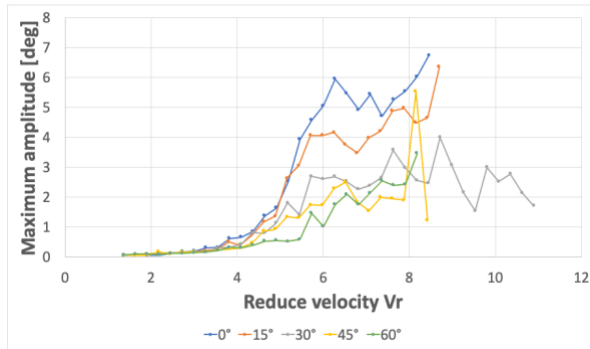
本研究では、最大振幅、標準偏差、周波数の3つに着目した解析を行う。

3. 実験結果

3.1 動揺応答



a)



b)

Fig. 3 Maximum amplitude of (a)Heave, and (b)Pitch

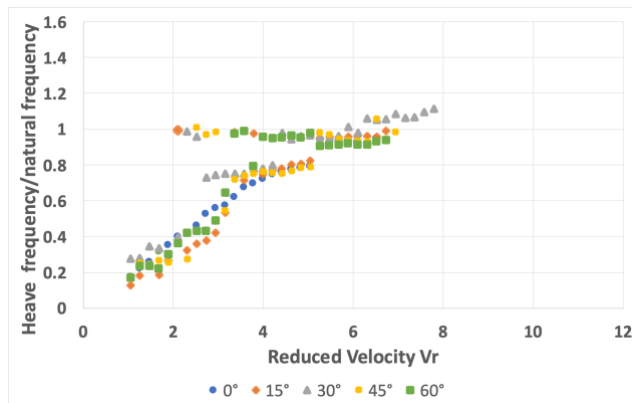


Fig. 4 Frequency of Heave

周波数はストローハル数を 0.2 とした時の渦に周期とほぼ等しい。換算流速 5~8 で振動周期が固有周期と重なるロックイン現象が見られる。

Heave, Roll, Pitch 間で、他の振動のロックインと同じ周波数で振動する連成運動も見られた。

4. 結論

本研究では、渦影響により、長いポンツーンを有するセミサブ浮体式洋上風車に対して、Heave、Roll、Pitch の各運動が励起されることが明らかとなった。ロックインにより、Heave、Roll、Pitch の各運動が連成することも確認された。

更には角度条件について、0° と 60° では、Roll、Pitch の振動傾向が異なることを示した。これは、後流の干渉効果によるものと考えられる。

参考文献

- [1] 日本機械学会：流体力学(JSME テキストシリーズ)、2005.
- [2] Rodolfo T. Gonçalves and Maria E. F. Chame and Leandro S. P. Silva *et. al.*, : Experimental Flow-Induced Motions of a FOWT Semi- Submersible Type , Transactions of the ASME , Vol143, pp012004-1-012004-10, 2021.
- [3] 李 智淵、平林紳一郎：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、東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻修士論文要旨、pp1-4、2021

Heave、Roll、Pitch の最大振幅を Fig 3(a),(b) に示す。横軸は換算流速、縦軸は最大振幅となっている。

全ての結果において換算流速が 5 を超えたあたりで振幅が増大し、7 付近で最大となっていることがわかる。

また角度別で見ると、Heave ではどの角度もほとんど同じ振幅であるが、Roll、Pitch は角度によって振動の大きさが異なる。Roll では 60° や 45° などの角度の大きい条件でやや振幅が大きくなる傾向が見られる。Pitch では Roll とほぼ逆の 0° や 15° の角度の小さい条件で振動が大きくなる傾向が見られた。これは渦の干渉が原因であると考えられる。0° はポンツーン交流の流れが集まり干渉することで同期し、位相が等しくなる。これにより Pitch の振動が大きくなる。逆に 0° はポンツーン交流の流れが離れ干渉が起こらないので同期せず、位相が異なる。これにより Roll の振動が大きくなると推測できる。

Pitch の振幅は換算流速が 6~7 付近で最大を迎えてから一度減少し、その後また増大する傾向にある。これは 3 本のポンツーンに対して流れが異なる角度から流入しているためであると考えられる。本来換算流速の(1)式に用いる流速 U は、円柱に直行成分の流速を用いなくてはならない。その場合、ポンツーンごとに換算流速が変化する。換算流速が 8 付近で振幅が増大傾向にあるのは異なる角度のポンツーンでロックインが起こっているためだと考察できる。

標準偏差でも同様の結果が見られた。

3.2 周波数

Heave の振動周期を Fig. 4 に示す。横軸は換算流速、縦軸は振動周期を固有周期で割った値となっている。

0°、15° の角度の小さい条件は流速が上がるにつれて振動周期が上昇している。この振動