

令和元年(第19回)海上技術安全研究所研究発表会

洋上における海洋構造物の建設オペレーションに関する研究



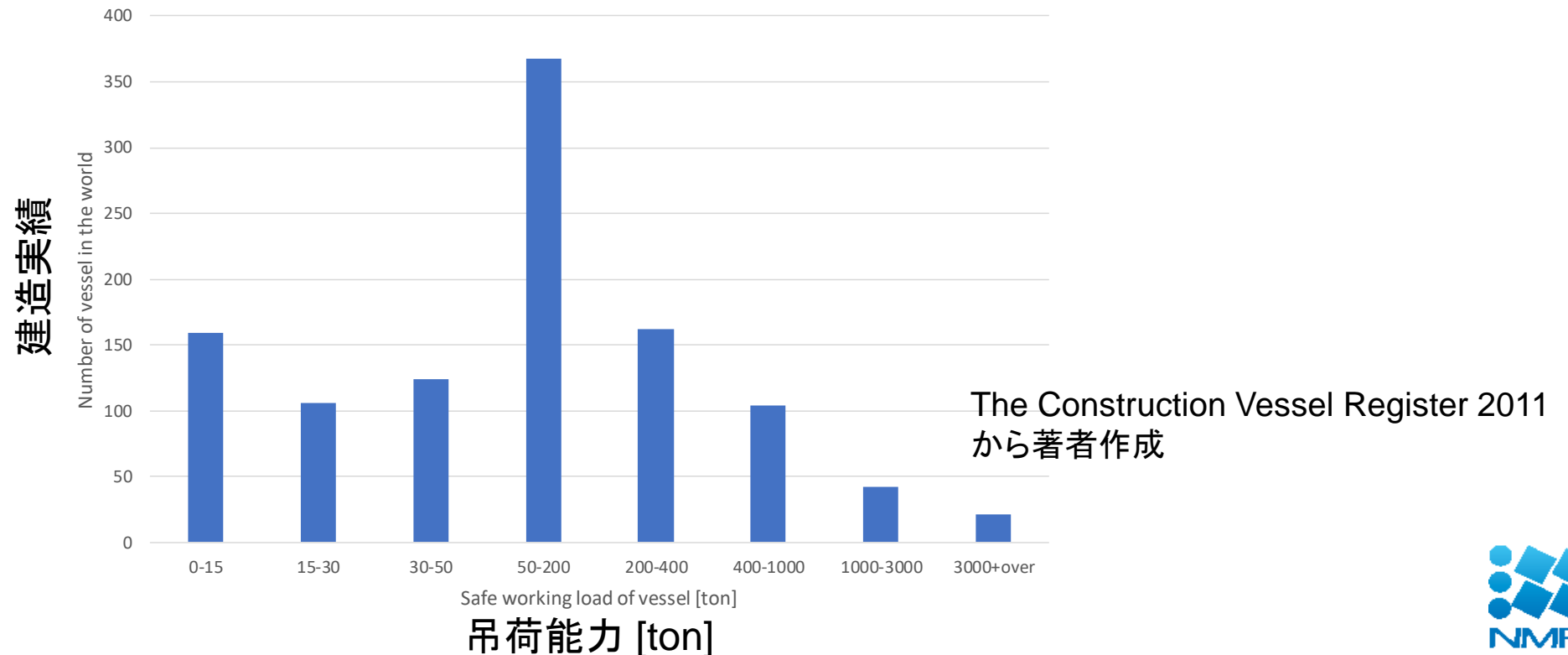
海洋開発系

大坪和久（発表者）、荒木元輝、長谷川賢太、石田圭、佐藤宏



1. 研究背景
2. 座標系
3. 研究対象船等の諸元
4. 吊荷懸下状態での波浪中動揺試験
5. 数学モデルと数値計算
6. 吊荷の感度解析
7. その他研究の取り組み
8. まとめ

- 海洋石油・天然ガス開発、再生可能エネルギービジネスが活発になるにつれ、海洋構造物・施設やサブシー機器に関する海上工事の需要が増えるものと考えられる。
- 洋上クレーン作業時に発生する吊荷の振れ回りは船上設備や作業員にとっては大きなリスクとなるために、その事前の評価は不可欠である。



- 多目的作業船においては様々な吊式(縦吊り、横吊り、ムーンプール吊り)が採用される。よって、吊荷が波浪中運動へ与える影響(感度)を把握することは重要。
- また、船級協会では吊荷が排水量の1~2%以下の場合には、船体と吊荷の連成を考慮せずに波浪中運動の評価をしても良いとしている。

DNVGL-RP-H103 : Modeling and Analysis of Marine Operations

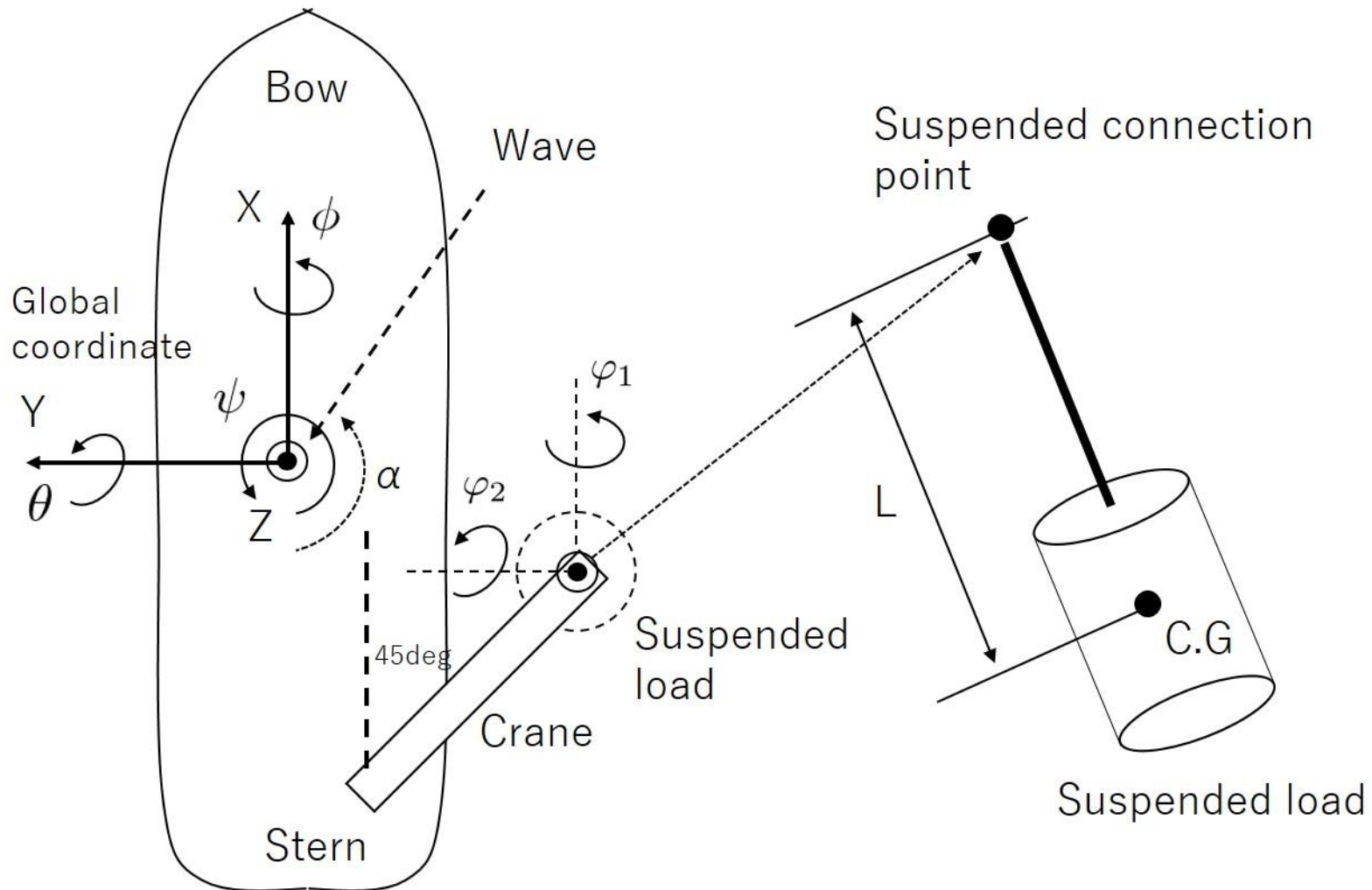
9.1.1.6 Usually, crane lifting operations are divided into two categories:

- *Light lifts* where the lifted object is very small compared to the crane vessel. The weight of the lifted object is less than 1-2% of the displacement of the crane vessel, typically less than a few hundred tons. In this case the motion characteristics of the vessel (at the crane tip) is not affected by the lifted object.
- *Heavy lifts* where the weight of the lifted object is more than 1-2% of the vessel displacement and typically more than 1000 tons. For such lifts the coupled dynamics of the vessel and the lifted object must be considered.

そこで、本講演では

- 本研究では多目的作業船でのクレーン作業に対し、吊式、重量が波浪中運動へ及ぼす影響について検討した結果を報告する。

ミッドシップを中心としたグローバル座標(右手系)

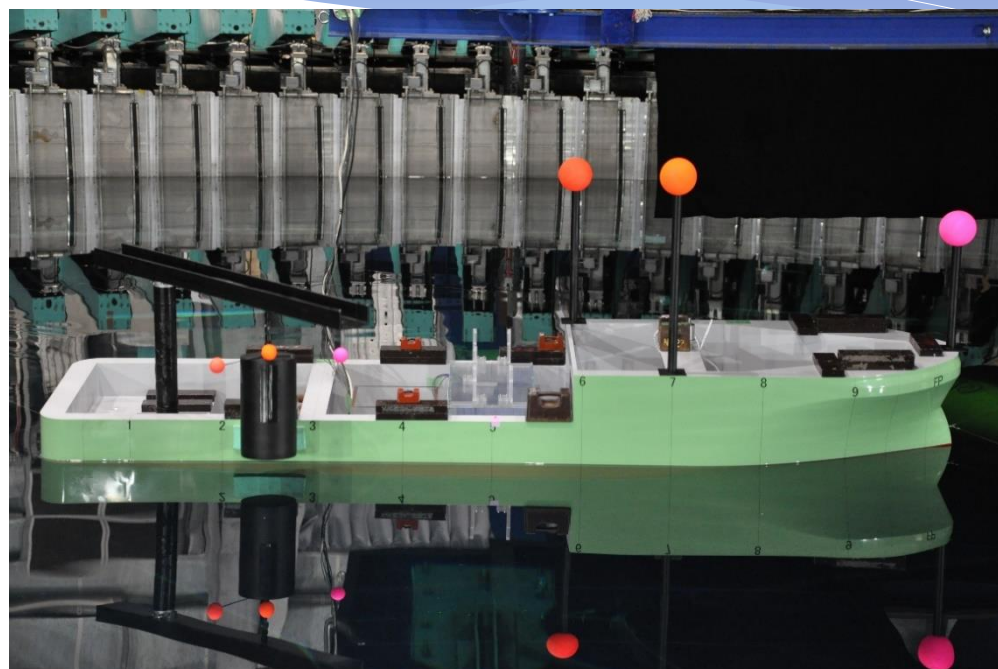
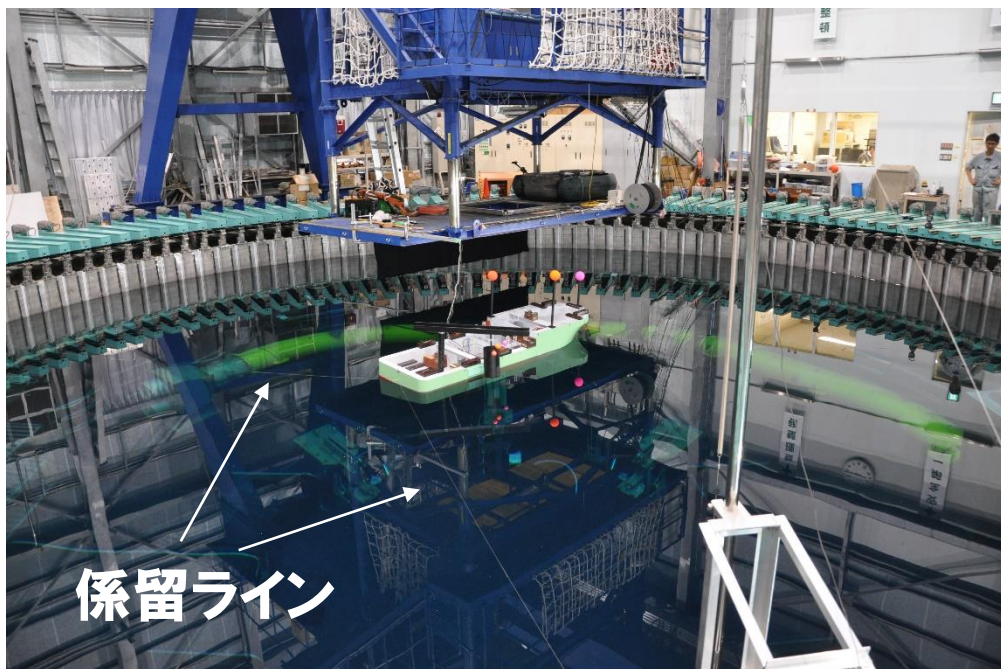


研究対象船等の諸元

	実機	模型	備考
(作業船)			
全長 Loa	78.00m	2.60m	
垂線間長 Lpp	75.20m	2.51m	
型幅 B	21.50m	0.72m	
型深 D	7.50m	0.23m	
喫水 d	5.61m	0.19m	稼働状態
排水量 W	6623ton	239.00kg	
吊能力	132ton	4.33kg	
(吊荷)			
直径 D	4.5m	0.15m	
高さ H	8.1m	0.27m	
空中重量	78.0ton	2.89kg	排水量の 1.2%

吊荷懸下状態での波浪中動揺試験

海上技術安全研究所深海水槽において実施



自由減衰試験から、

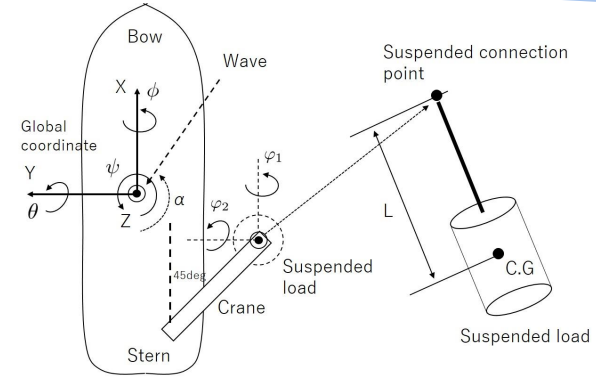
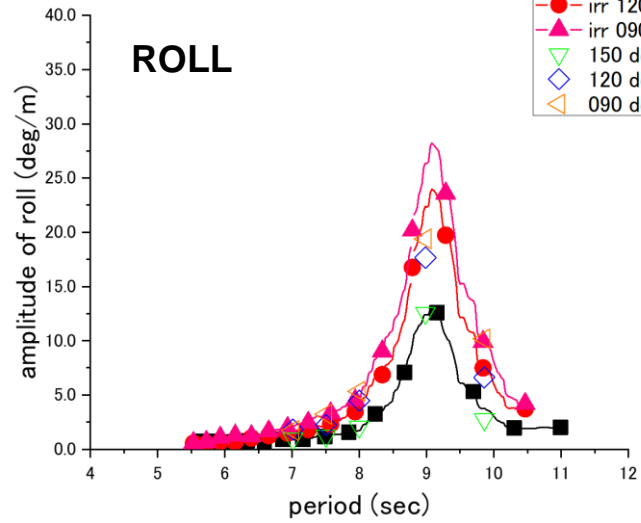
ロールの固有周期: **8.95 sec**

映像クリック

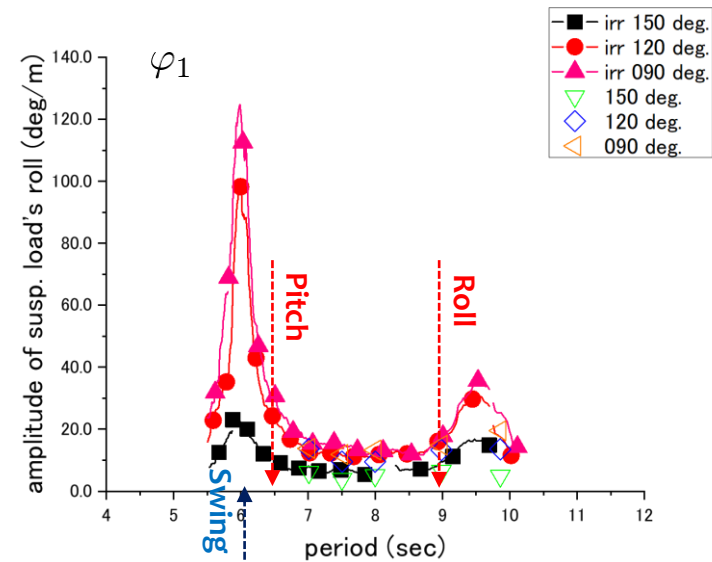
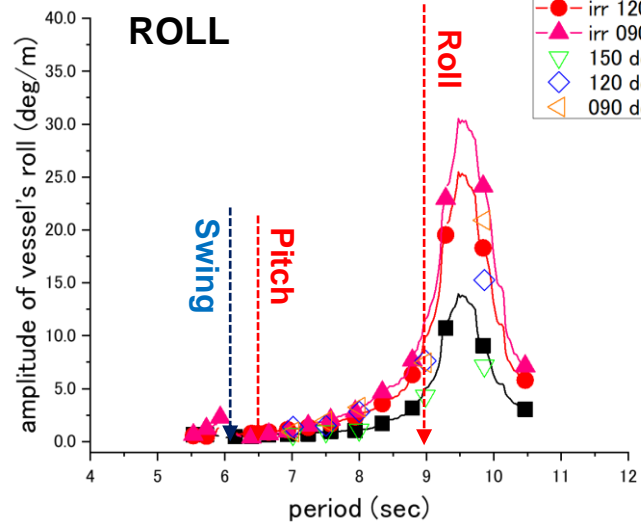
吊荷の単振子としての固有周期

$$T = 2\pi\sqrt{L/g} \quad \mathbf{6.10 \text{ sec}}$$

Vessel Only



Vessel + Suspended Load



数学モデル～吊荷と多目的作業船の連成運動方程式～

Lagrange方程式から吊荷と多目的作業船の連成方程式は次のように求められる。

$$\mathbf{X} = [x, y, z, \phi, \theta, \psi, \varphi_1, \varphi_2]^T$$

$$\bar{\mathbf{M}}(\omega) \ddot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} 0 & -mL \\ mL & 0 \\ 0 & 0 \\ -mL\bar{l}_3 & 0 \\ 0 & -mL\bar{l}_3 \\ mL\bar{l}_1 & mL\bar{l}_2 \\ mL^2 & 0 \\ 0 & mL^2 \end{bmatrix}$$

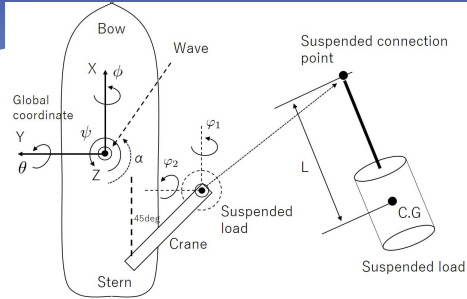
$$\tilde{\mathbf{M}}(\omega) = \begin{bmatrix} 0 & mL & 0 & -mL\bar{l}_3 & 0 & mL\bar{l}_1 \\ -mL & 0 & 0 & 0 & -mL\bar{l}_3 & mL\bar{l}_2 \end{bmatrix}$$

相互連成に寄与する項

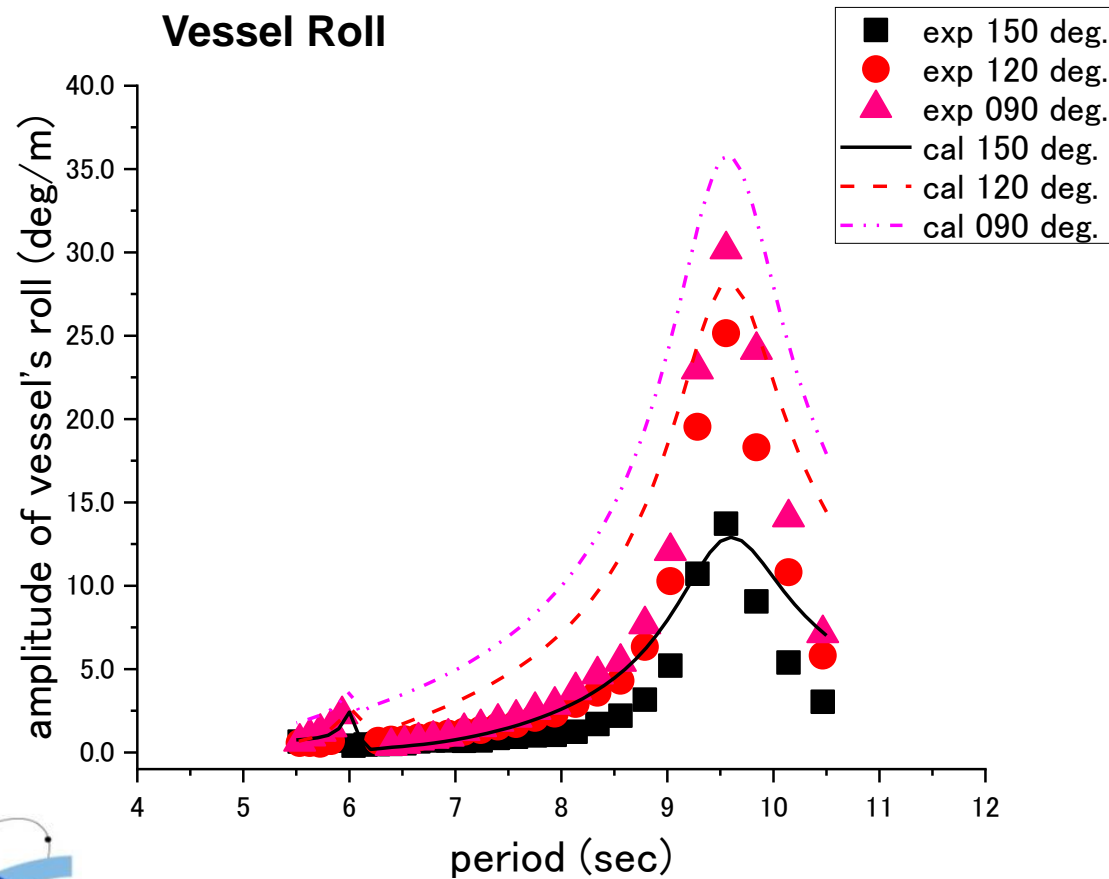
$$+ \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{D}_v(\omega) & \mathbf{0}_{6 \times 2} \\ \mathbf{0}_{2 \times 6} & \mathbf{D}_s \end{bmatrix}}_{\tilde{\mathbf{D}}(\omega)} \dot{\mathbf{X}} + \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{C}_v & \mathbf{0}_{6 \times 2} \\ \mathbf{0}_{2 \times 6} & \mathbf{C}_s \end{bmatrix}}_{\tilde{\mathbf{C}}} \mathbf{X} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{F}(\omega) \\ \mathbf{0}_{2 \times 1} \end{bmatrix}}_{\tilde{\mathbf{F}}(\omega)}$$

作業船が前後対称浮体であれば、吊点位置に関係なく、吊荷とヒープ運動の連成はない。

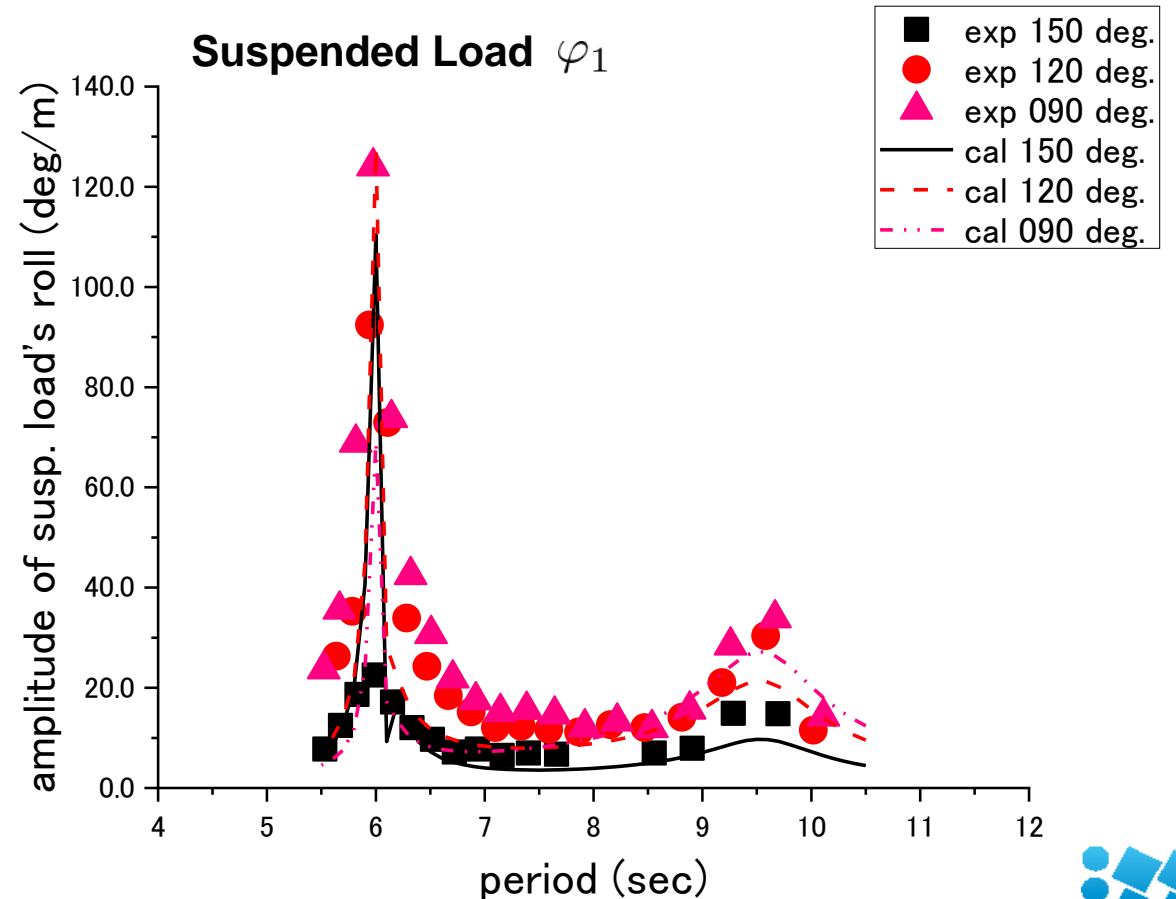




Vessel Roll



Suspended Load φ_1



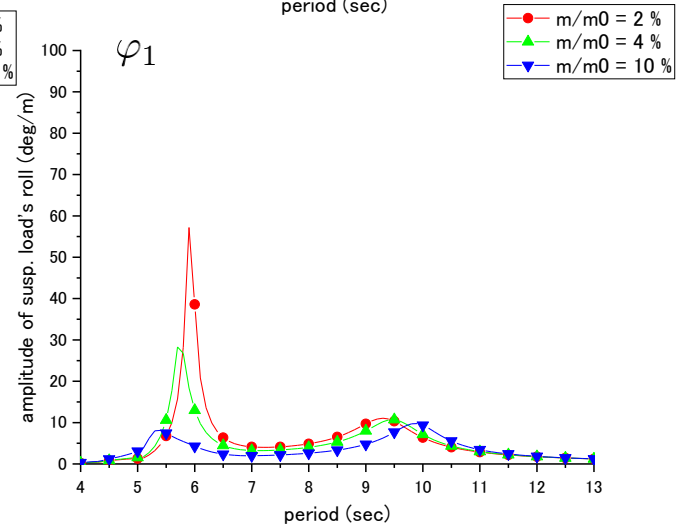
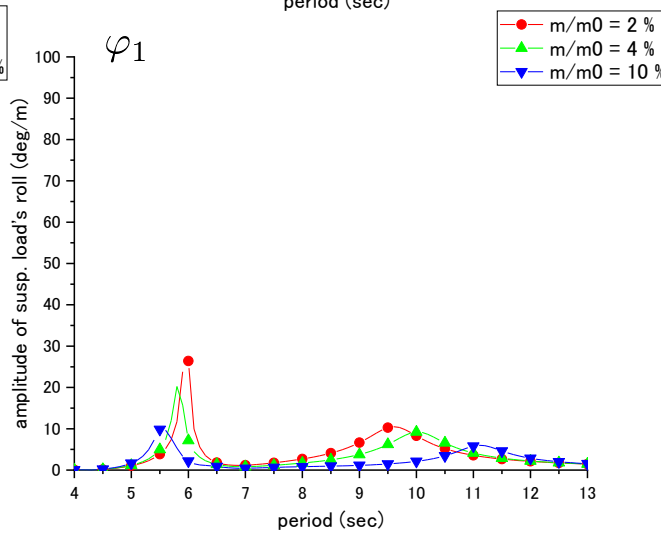
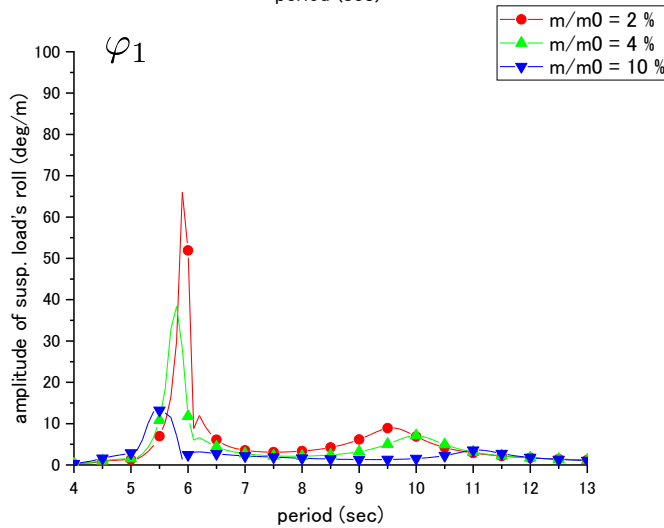
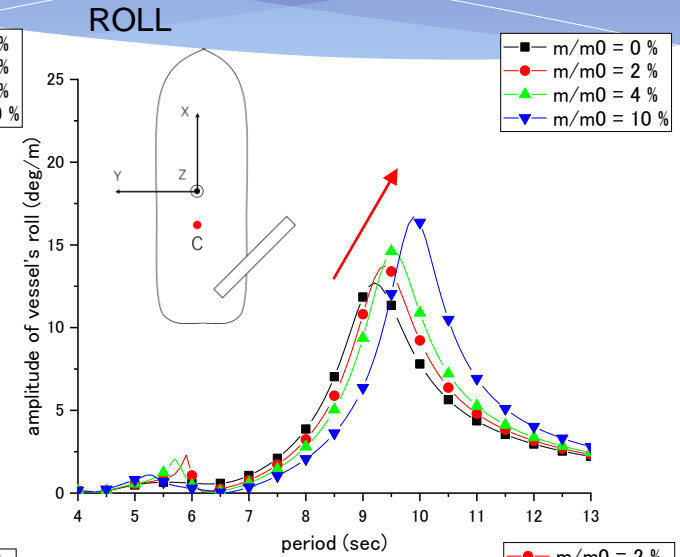
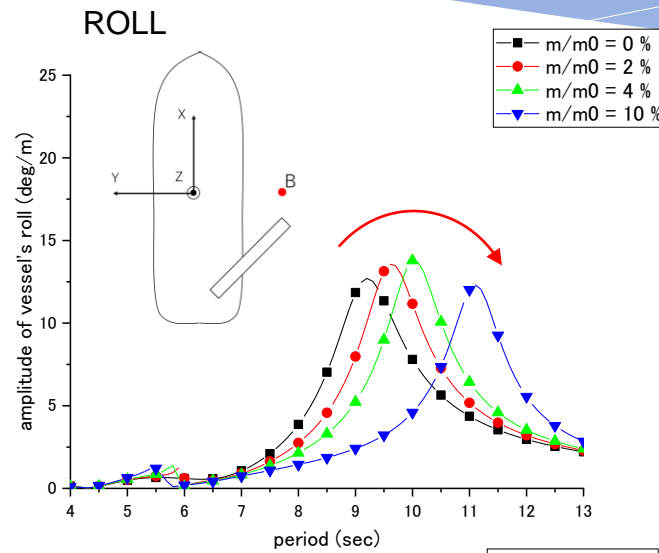
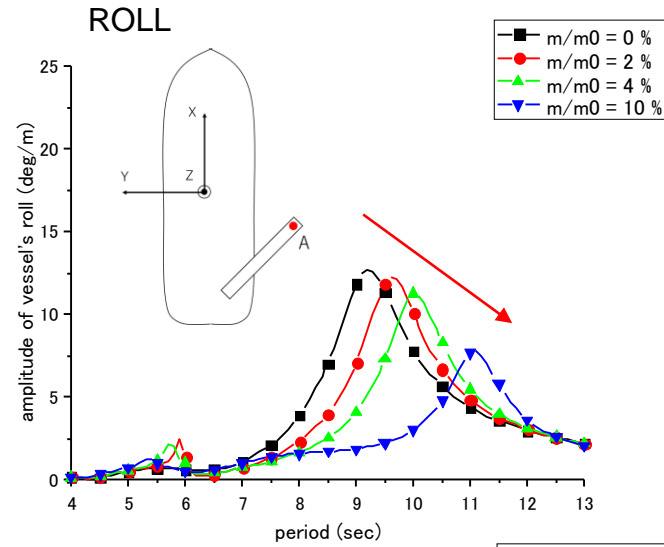
吊荷の感度解析(応答関数)～吊点比較～

波向き 150deg.

A (-17.76m, -16.26m)

B (0.00m, -16.26m)

C (-17.76m, 0.00m)



吊荷の感度解析(応答関数)～吊式比較～

波向き 150deg. **横吊り**

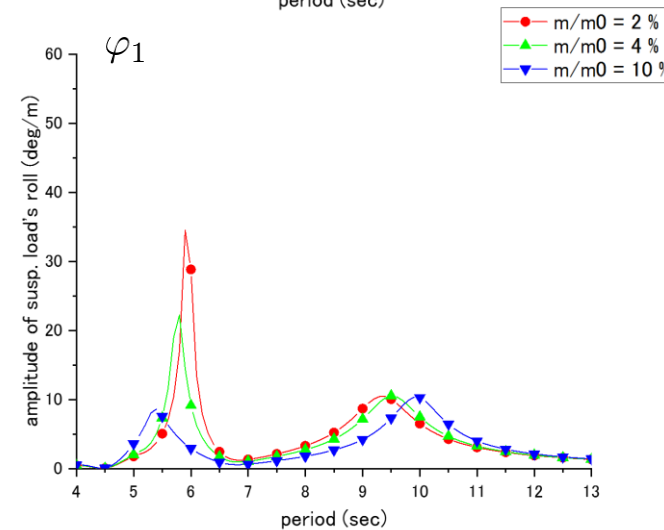
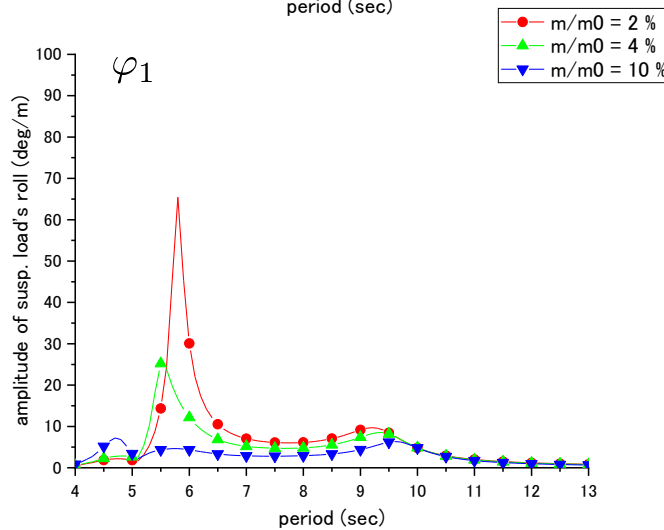
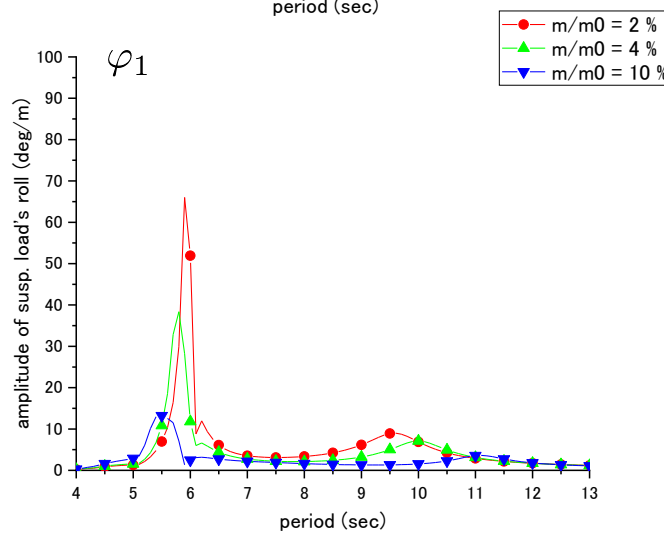
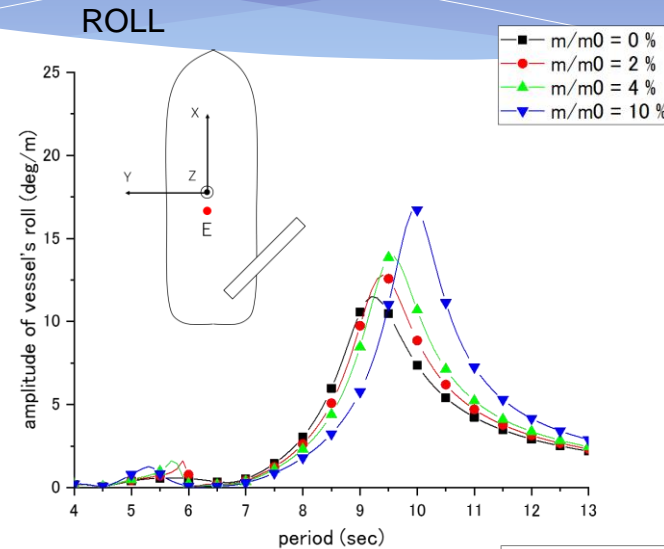
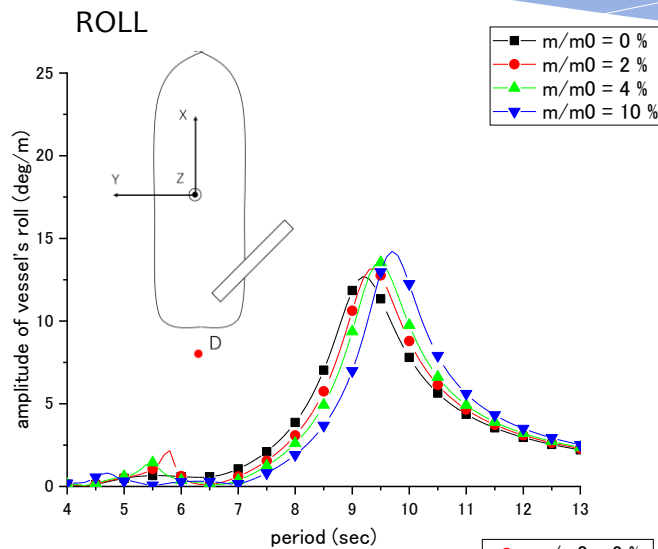
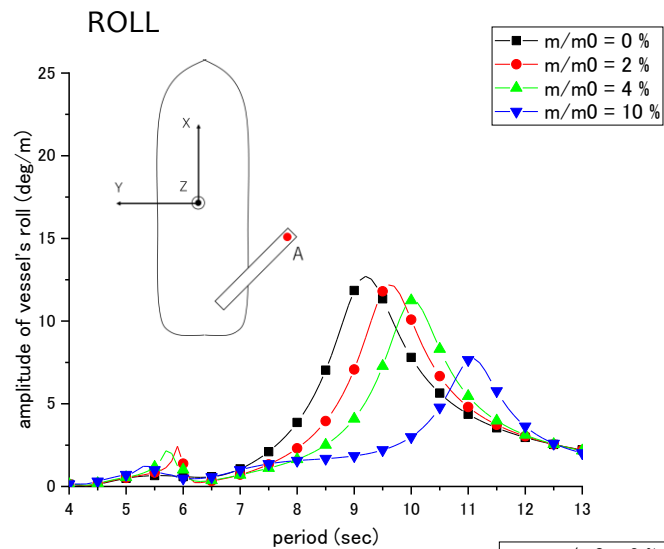
A (-17.76m, -16.60m)

縦吊り

D (-43.10m, 0.00m)

ムーンプール吊り

E (-8.50m, 0.00m)

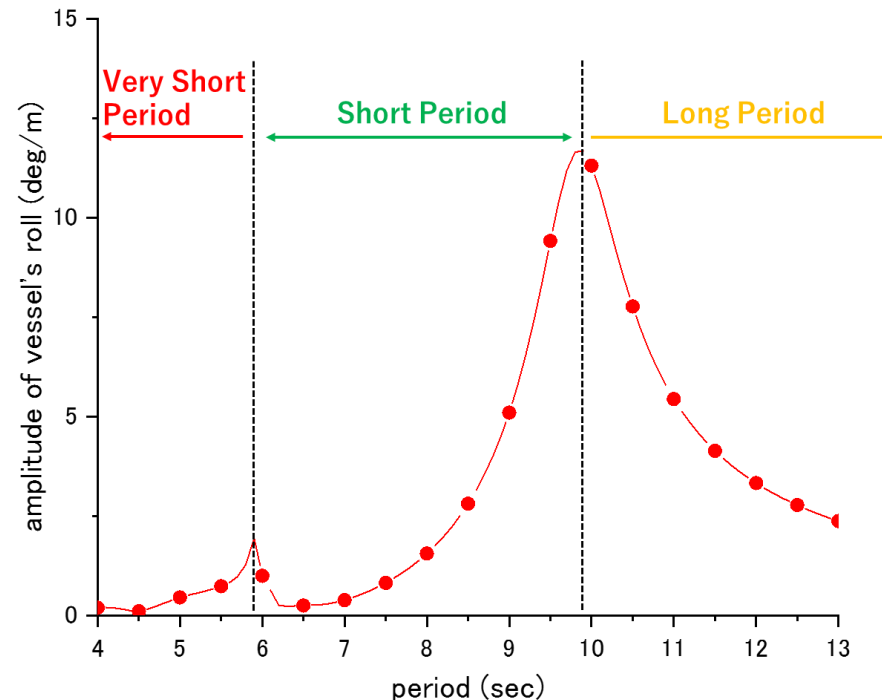


- 不規則波中においては次式で評価する

$$\bar{\phi}_{\frac{1}{3}} = 4.0\sqrt{m_0}, \quad m_0 = \int_0^{\infty} |H(\omega)|^2 \Phi(\omega) d\omega$$

応答関数 波スペクトル
↓ ↓

- スペクトルのピーク周期の選定

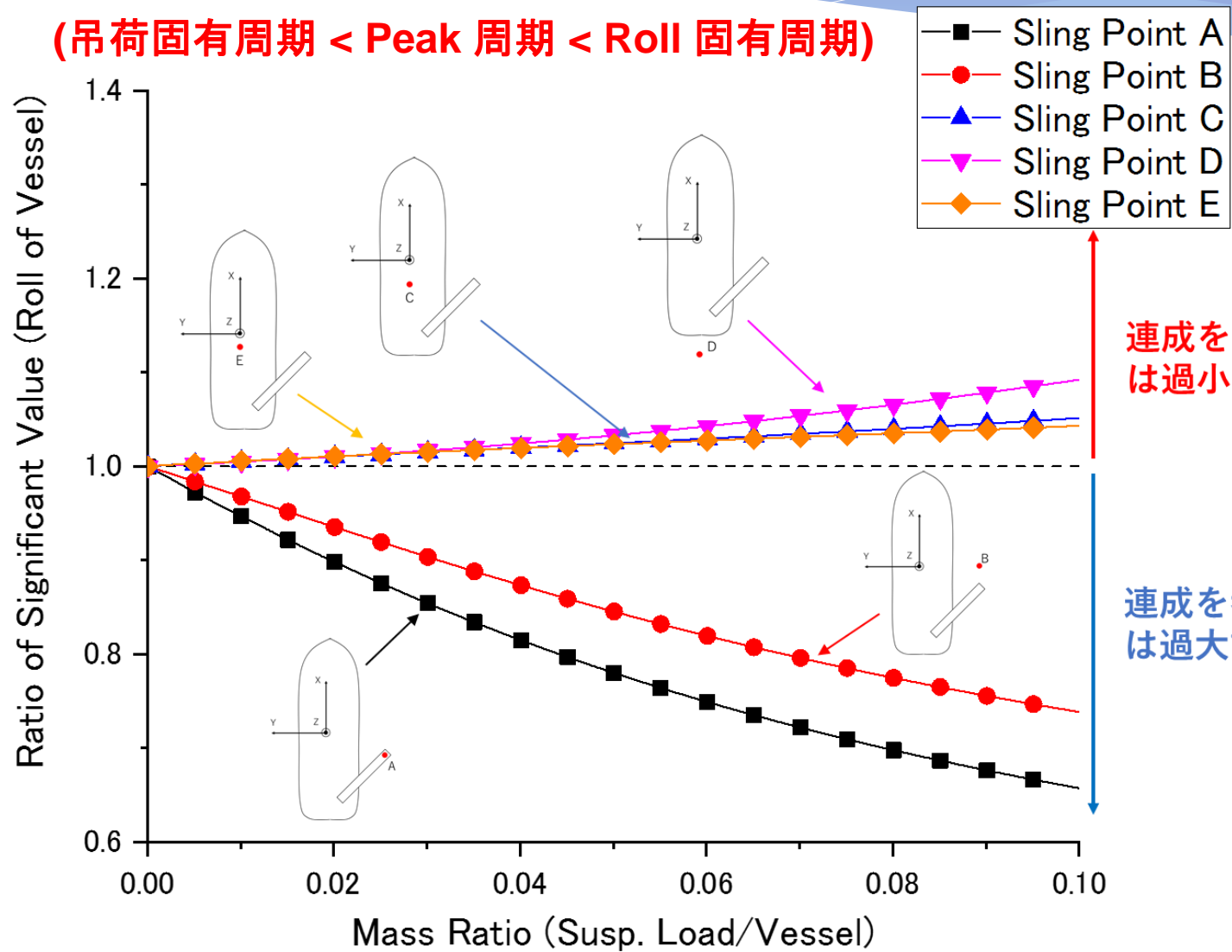
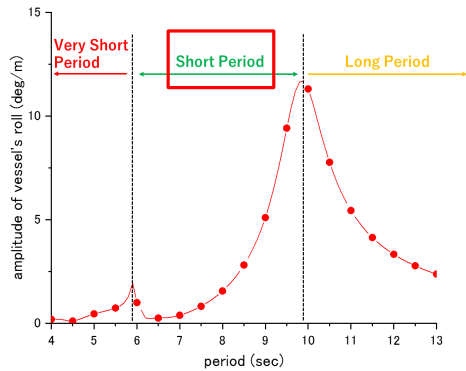


極短周期域の波エネルギーは小さいため、本研究では短周期と長周期域の周期を評価対象とする。

吊荷の感度解析(不規則波、短周期域の場合)

JONSWAP Spectrum(有義波高 2.0 m Peak 周期 7.53 sec)

(吊荷固有周期 < Peak 周期 < Roll 固有周期)

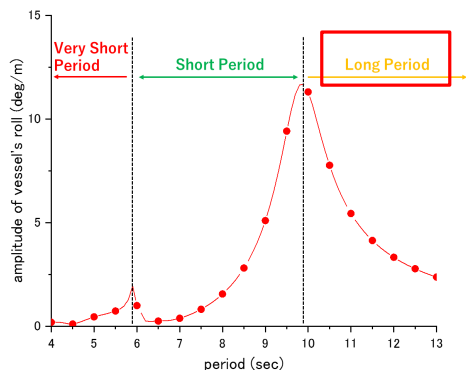


連成を考慮しない評価法は過小評価(非安全側)

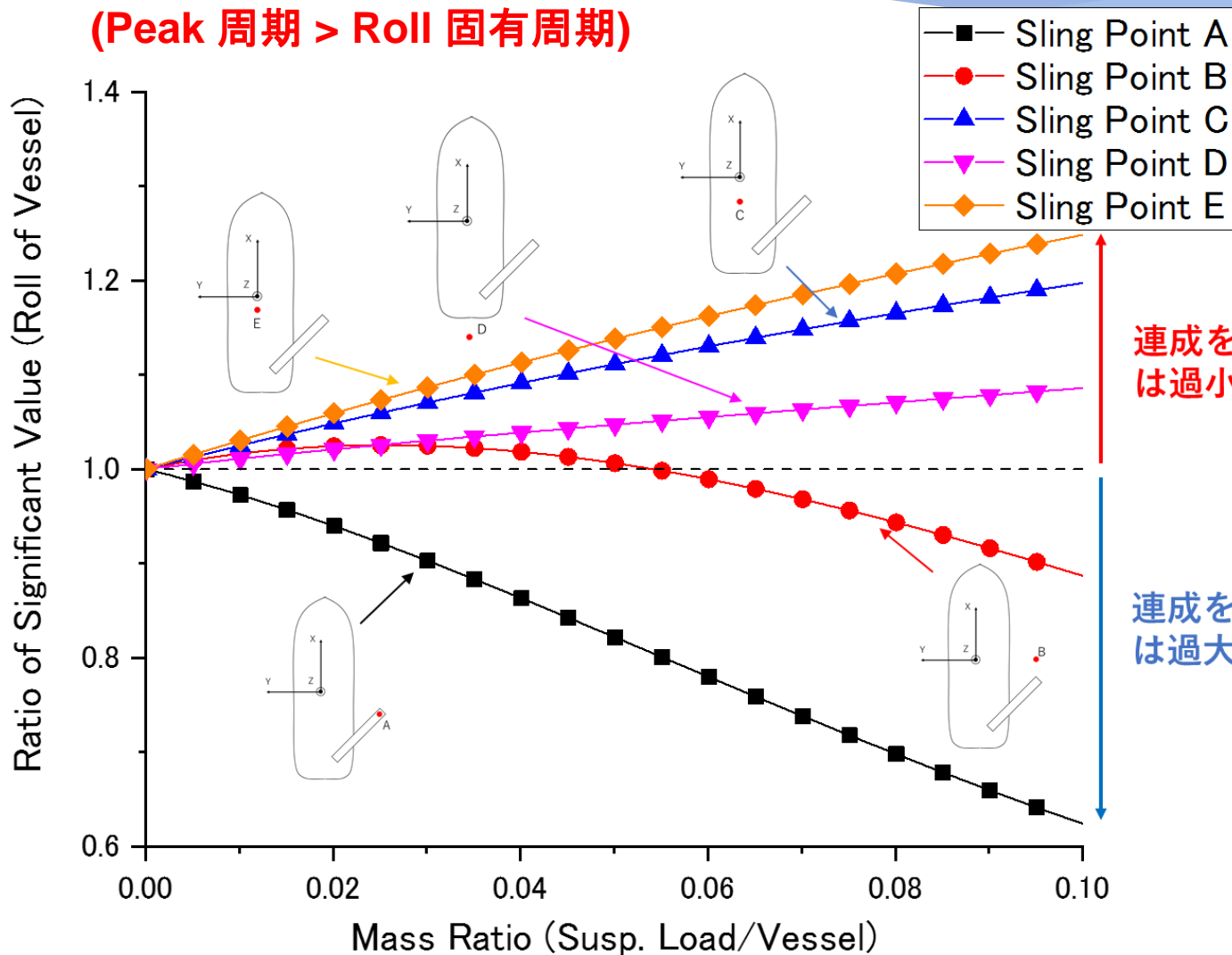
連成を考慮しない評価法は過大評価(安全側)

吊荷の感度解析(不規則波、長周期域の場合)

JONSWAP Spectrum (有義波高 2.0 m Peak 周期 12.0 sec)



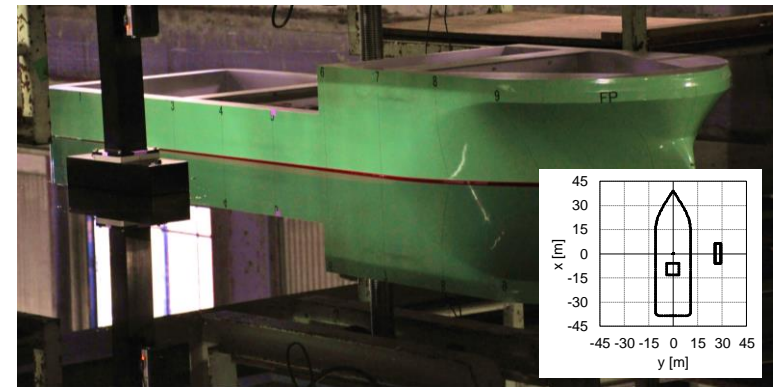
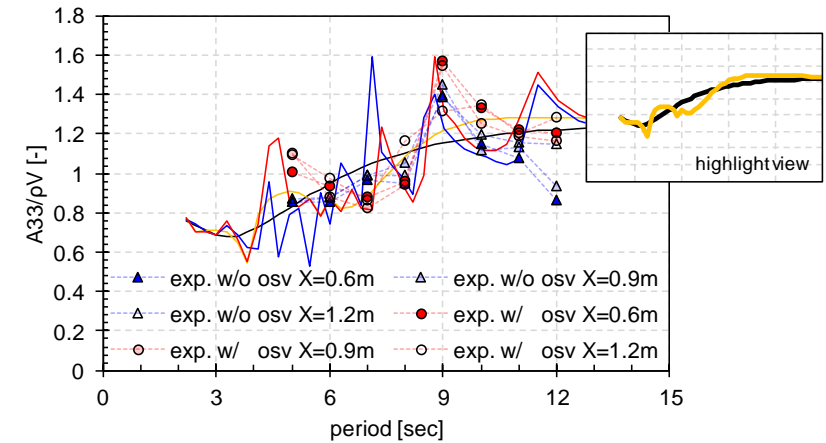
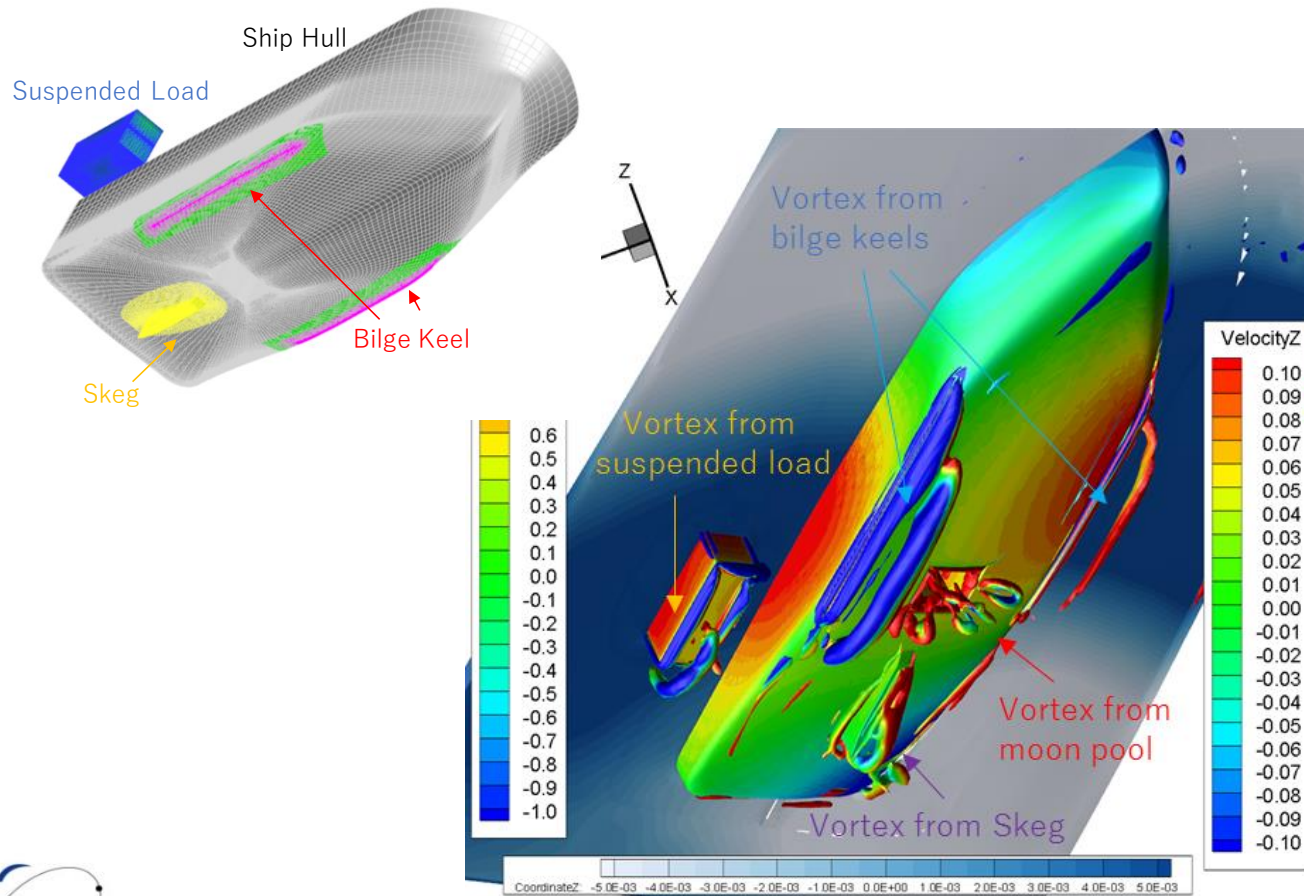
(Peak 周期 > Roll 固有周期)



連成を考慮しない評価法は過小評価 (非安全側)

連成を考慮しない評価法は過大評価 (安全側)

吊荷に作用する変動流体力評価



- 吊荷の質量比や吊式によって、吊荷と作業船の波浪中運動は大きく変化する。クレーンジブの可動範囲や吊荷の移動計画をしっかりと把握した上で評価する必要がある。
- 連成を考慮しない評価は吊荷が軽量であっても運動を過小評価することがある。特に長周期域にピークを持つ不規則波中ではそれが顕著になる。
- 吊荷が排水量の1～2%以下であっても、安全・稼働性評価においては吊荷と作業船の連成を考慮した解析を行う方が良い。
- 多目的作業船を使った作業が今後増えると考えられるため、関連する研究も含めて加速させる。

御静聴ありがとうございました。

慣性行列 (船体) 付加質量行列



$$\bar{\mathbf{M}}(\omega) = (\mathbf{M} + \mathbf{M}_A(\omega)) +$$

吊荷が存在することによる付加行列

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & m\bar{l}_3 & -m\bar{l}_2 \\ 0 & m & 0 & -m\bar{l}_3 & 0 & m\bar{l}_1 \\ 0 & 0 & m & m\bar{l}_2 & -m\bar{l}_1 & 0 \\ 0 & -m\bar{l}_3 & m\bar{l}_2 & m(\bar{l}_2^2 + \bar{l}_2^2) & -\bar{l}_1\bar{l}_2m & -\bar{l}_1\bar{l}_3m \\ m\bar{l}_3 & 0 & -m\bar{l}_1 & -m\bar{l}_1\bar{l}_2 & m(\bar{l}_1^2 + \bar{l}_3^2) & -\bar{l}_2\bar{l}_3m \\ -m\bar{l}_2 & m\bar{l}_1 & 0 & -m\bar{l}_1\bar{l}_3 & -m\bar{l}_2\bar{l}_3 & m(\bar{l}_1^2 + \bar{l}_2^2) \end{bmatrix}$$