

令和3年(第21回)海上技術安全研究所研究発表会

洋上・海底施設作業船と吊荷の 波浪中連成運動評価



海洋開発系 海洋システム研究グループ
大坪 和久



発表内容

1. 研究背景
2. 座標系
3. 研究対象船と吊荷の諸元
4. 吊荷懸下状態での波浪中動揺試験
5. 数値計算法
6. 感度解析
7. まとめ



研究背景

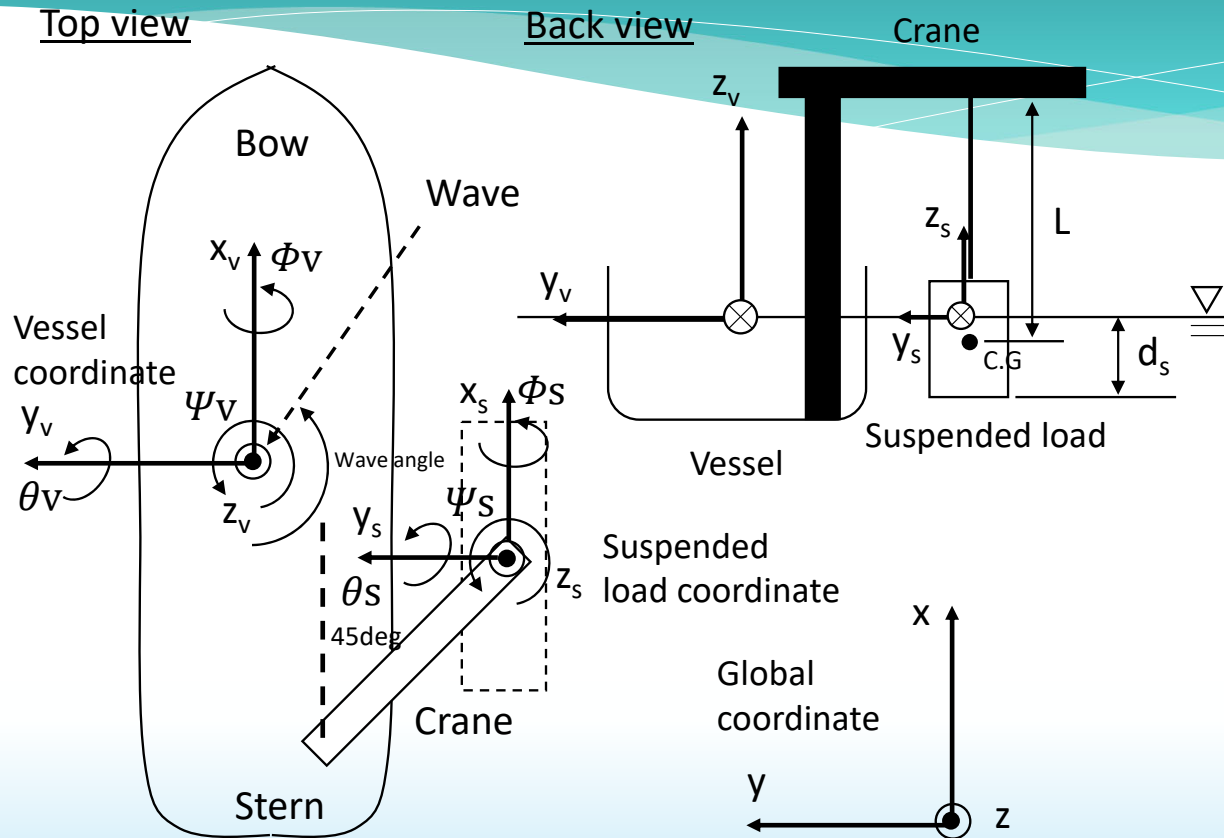
- 海洋石油・天然ガス開発、再生可能エネルギービジネスが活発になるにつれ、海洋構造物・施設や海底機器に関する海上工事が増えるものと考えられる。
- クレーン作業時に発生する吊荷の振れ回り運動は、事故発生リスクとなるために、吊荷と作業船の連成運動評価は不可欠である。

このような背景から

- 今中期計画から重点研究「海洋資源開発に係る基盤技術及び支援技術に関する研究」として、海上作業(マリンオペレーション)に関する研究を進めている。
- 本講演では、クレーン作業中の吊荷と作業船の連成運動評価の中で、吊荷の着水前後における作業船の横揺れ周期の変化について検討した結果について報告する。

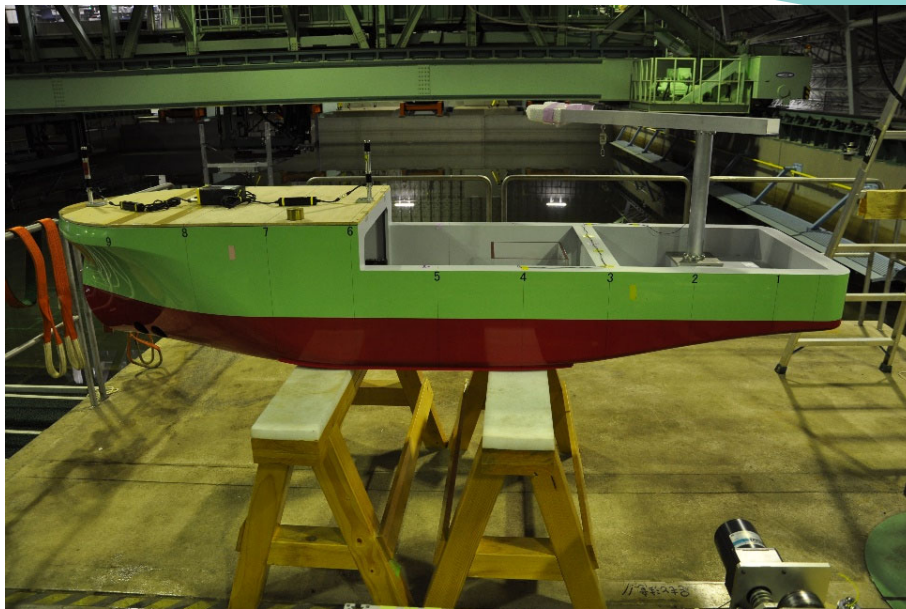
本研究における座標系

ミッドシップを中心としたグローバル座標(右手系)



研究对象船と吊荷

模型縮尺: 1/30



多目的作業船

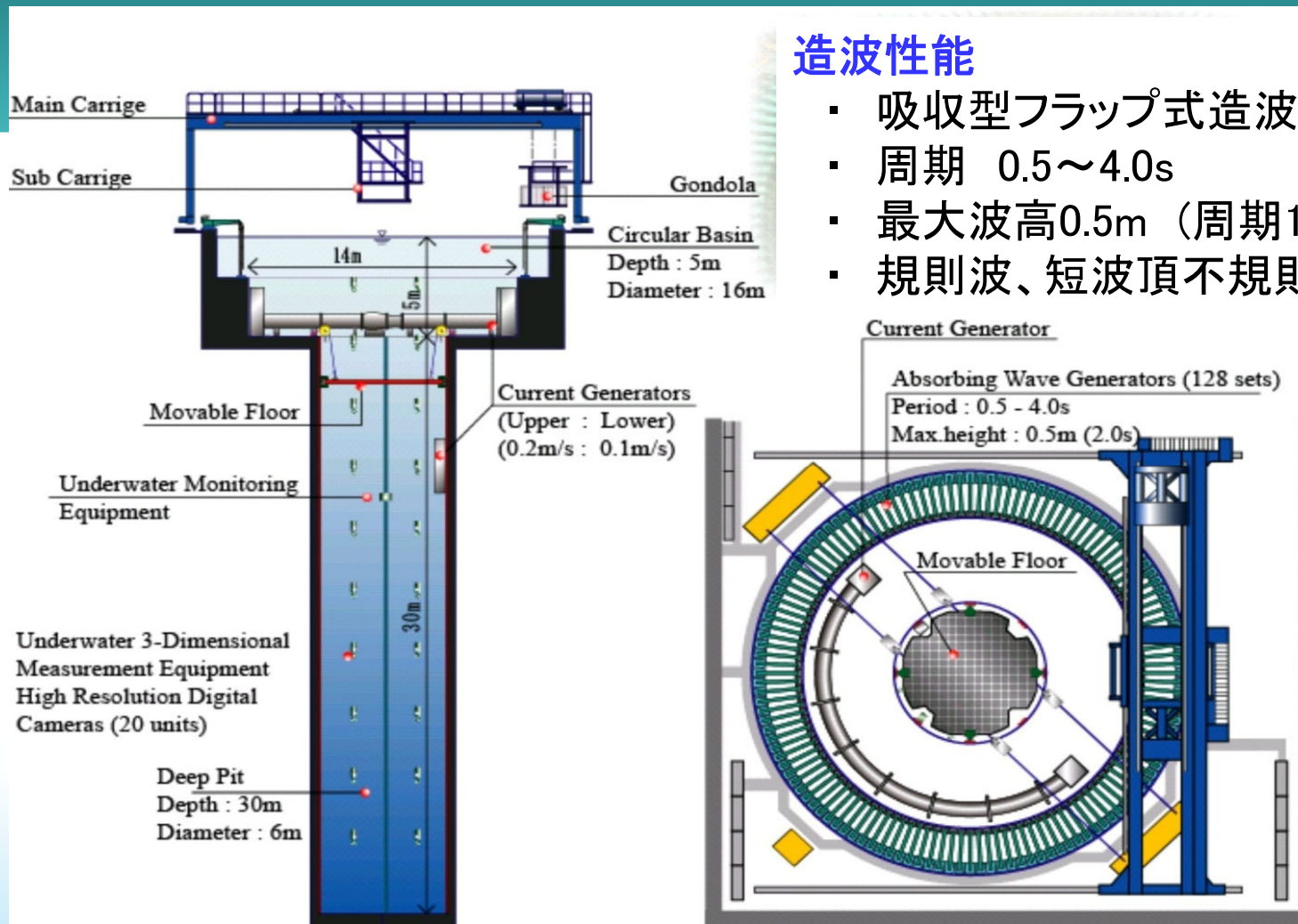


吊荷模型

研究対象船と吊荷の諸元

	実機	模型(1/30)	備考
(作業船)			
全長 Loa	78.00 m	2.60 m	
垂線間長 Lpp	75.20 m	2.51 m	
型幅 B	21.50 m	0.72 m	
型深 D	7.50 m	0.23 m	
喫水 d	5.61 m	0.19 m	稼働状態
排水量 W	6623 ton	239.00 kg	
吊能力	132 ton	4.33 kg	
(吊荷)			
縦 L	12.0 m	0.40 m	
横 B	3.60 m	0.12 m	
高さ H	4.50 m	0.15 m	
水中重量	176 ton	6.52 kg	排水量の4.0%

深海水槽（海上技術安全研究所）

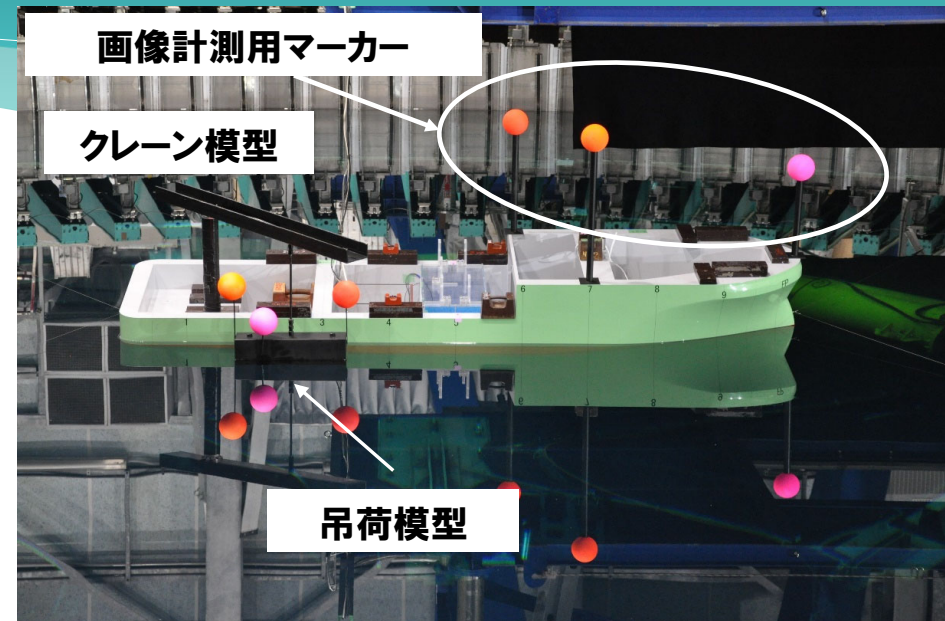
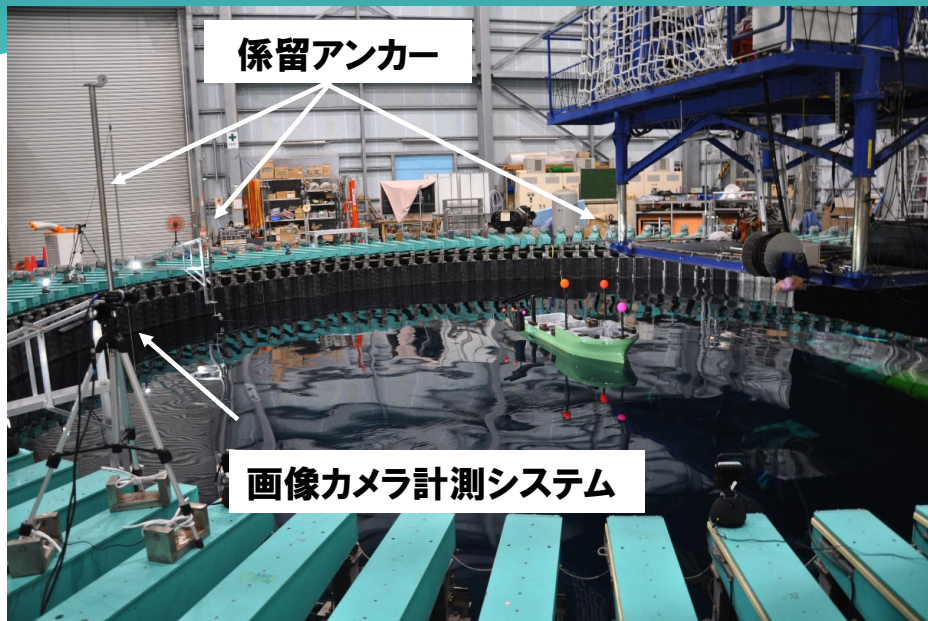


造波性能

- 吸収型フラップ式造波機(128台)
- 周期 0.5~4.0s
- 最大波高0.5m (周期1.5s)
- 規則波、短波頂不規則波

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



自由動揺試験から、

ロールの固有周期: **9.0 sec**

吊荷の単振り子としての固有周期

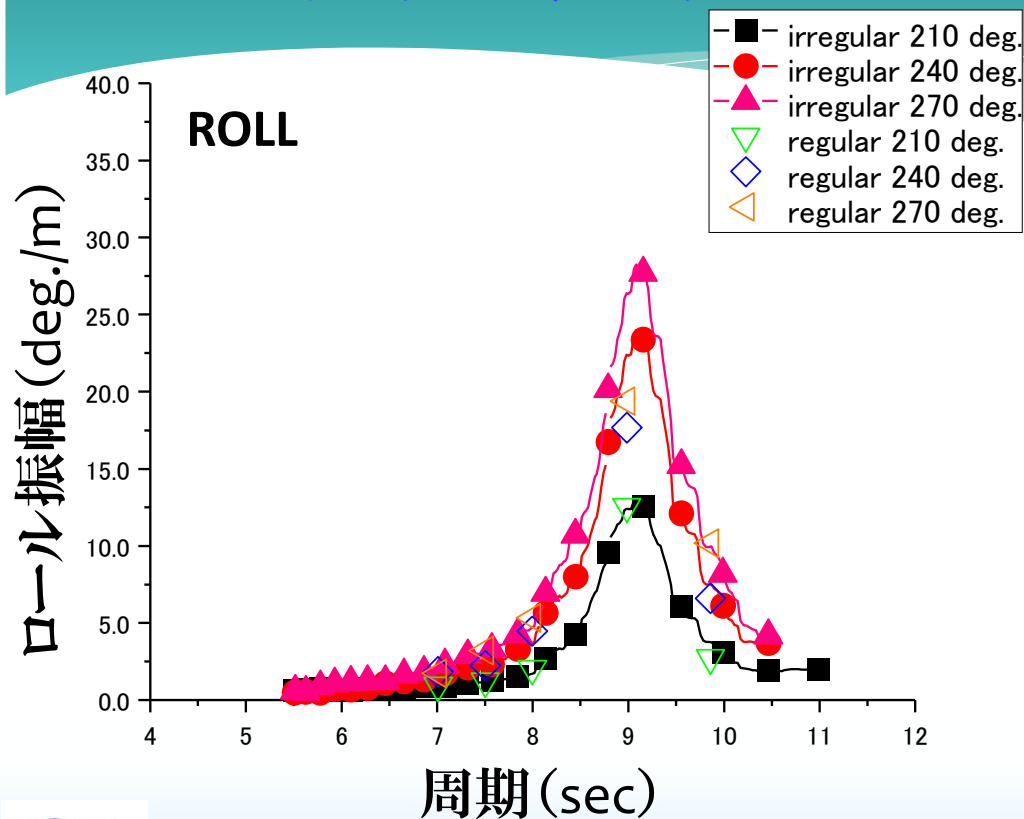
$$T = 2\pi\sqrt{L/g} \quad \mathbf{7.3 \text{ sec}}$$

吊荷懸下状態での波浪中動揺試験（場所 深海水槽）

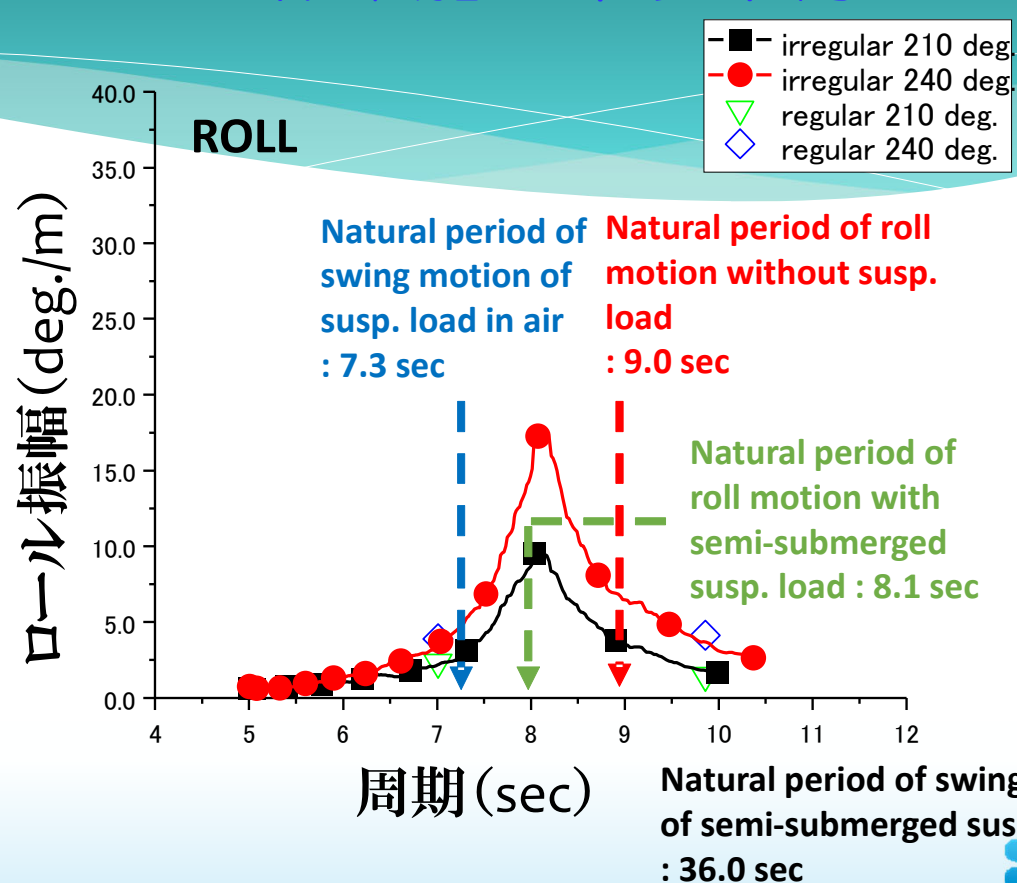


試験結果（波浪中動揺応答関数（RAO））

作業船单独状態

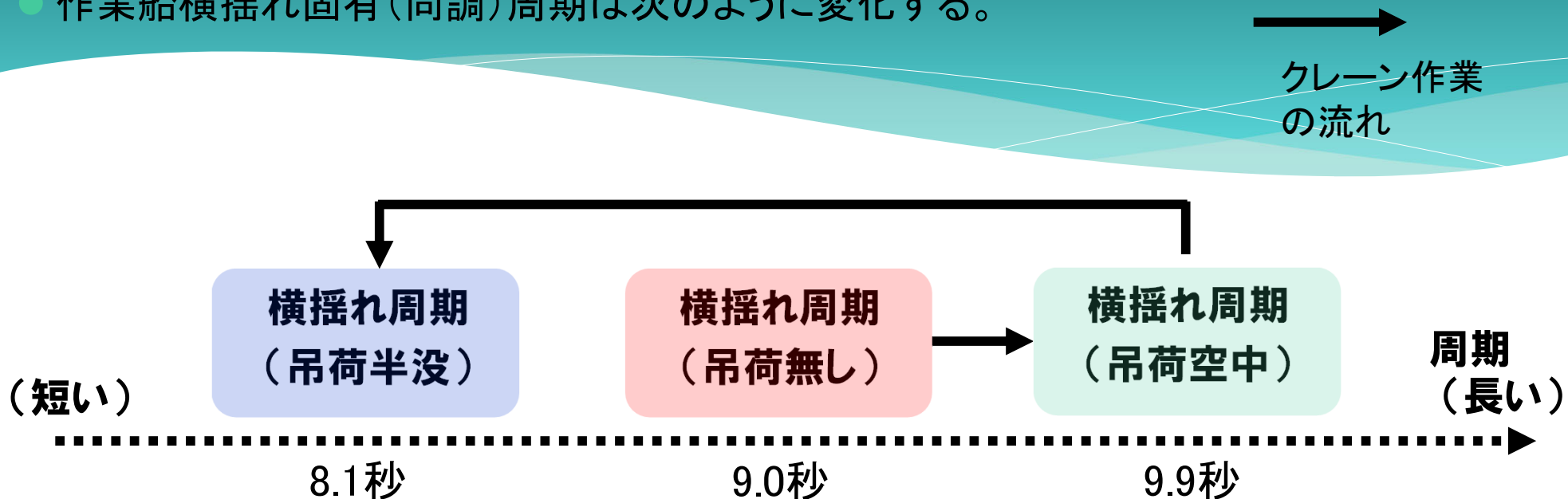


作業船+半没吊荷



考察（クレーン作業の流れで見た時の横揺れ周期変化）

- 作業船横揺れ固有（同調）周期は次のように変化する。

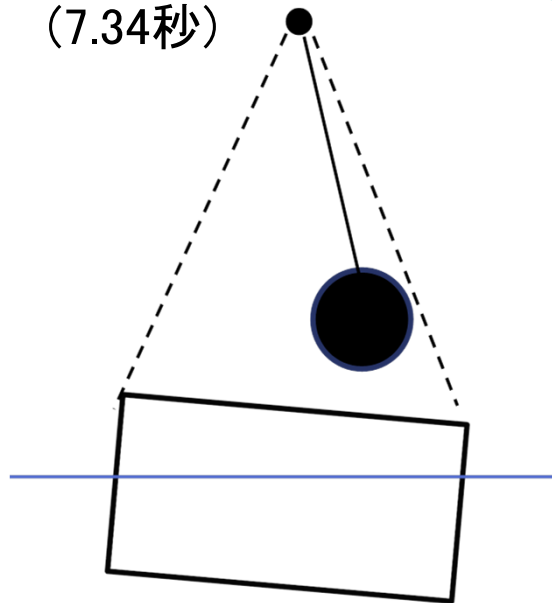


参考：連成運動による運動周期の変化

1) 吊荷が空中の場合

吊荷周期 < ロール周期

(7.34秒)



吊荷がロールに追従

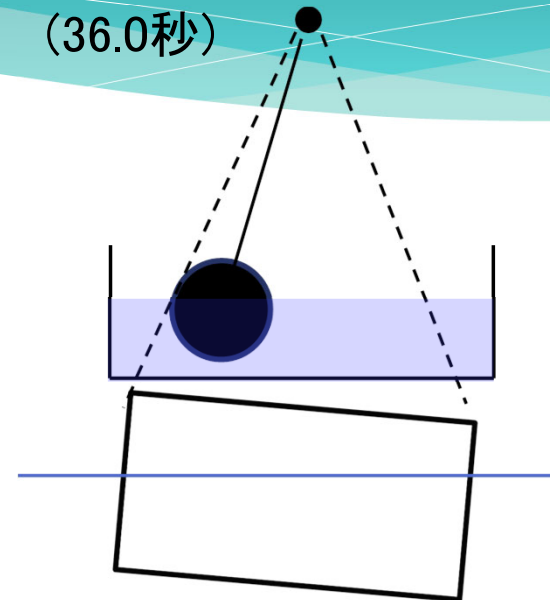
→ (見掛け上) GM **減少** → ロール周期が**長くなる**



2) 吊荷が半没の場合

吊荷周期 > ロール周期

(36.0秒)



吊荷が半没することで周期が長くなる

→ 吊荷がロールに追従出来ない(遅れる)

→ (見掛け上) GM **増大** → ロール周期が**短くなる**



数値計算法（線形周波数解析）

- 拘束条件(吊索)を周波数毎に随伴させて解くことで連成運動を評価
作業船

$$\begin{bmatrix}
 (j\omega)I_{6 \times 6} & -J_{6 \times 6}(\eta_v) & 0 & 0 & 0 \\
 G_v & (j\omega)M_v + D_v & 0 & \text{吊荷} & 0 \\
 0 & 0 & (j\omega)I_{6 \times 6} & -J_{6 \times 6}(\eta_s) & 0 \\
 0 & 0 & G_s & (j\omega)M_s + D_s & 0 \\
 0 & (j\omega)\bar{\Gamma}_v(\eta) & 0 & (j\omega)\bar{\Gamma}_s(\eta) & 0
 \end{bmatrix}
 \times \underbrace{\begin{bmatrix} \hat{\eta}_v & \hat{\nu}_v & \hat{\eta}_s & \hat{\nu}_s & \Lambda \end{bmatrix}^T}_{X^T}
 \stackrel{A}{=}
 \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & \hat{F}_v & 0 & \hat{F}_s & 0 \end{bmatrix}^T}_{b^T}$$

 拘束条件



参考文献 拘束条件はマルチボディダイナミクスの考え方に基づき定式化

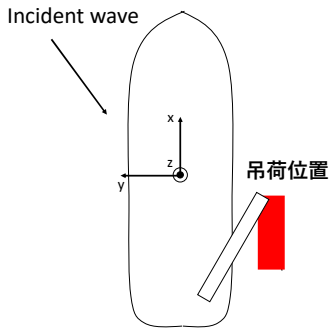
大坪, 長谷川: クレーン作業中の多目的作業船と吊荷の波浪中連成運動評価 第2報, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.33, 2021



計算検証

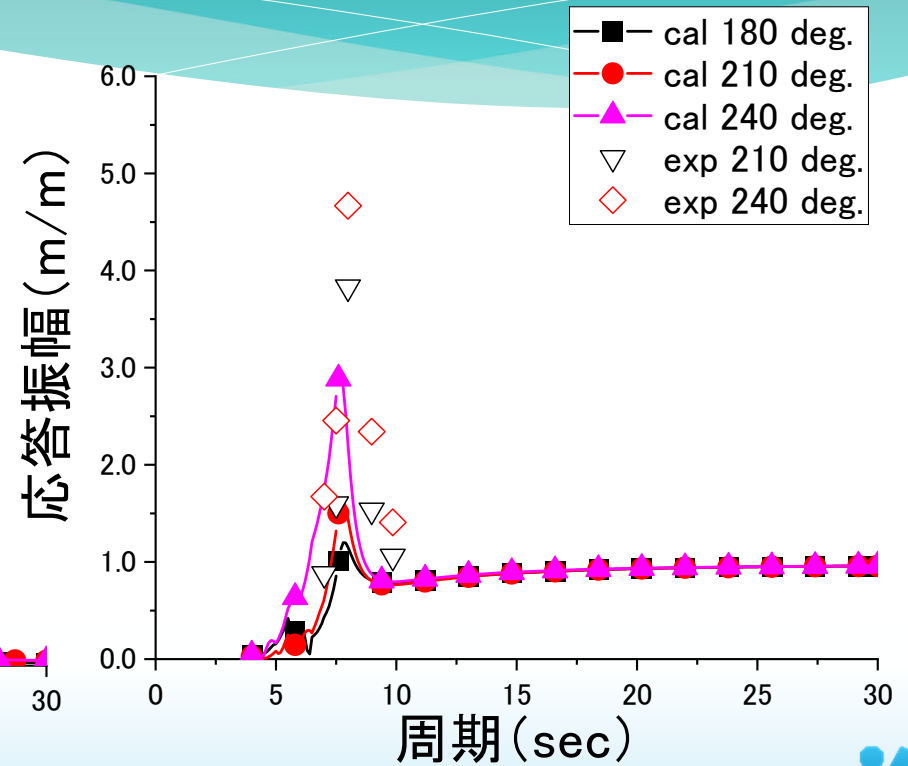
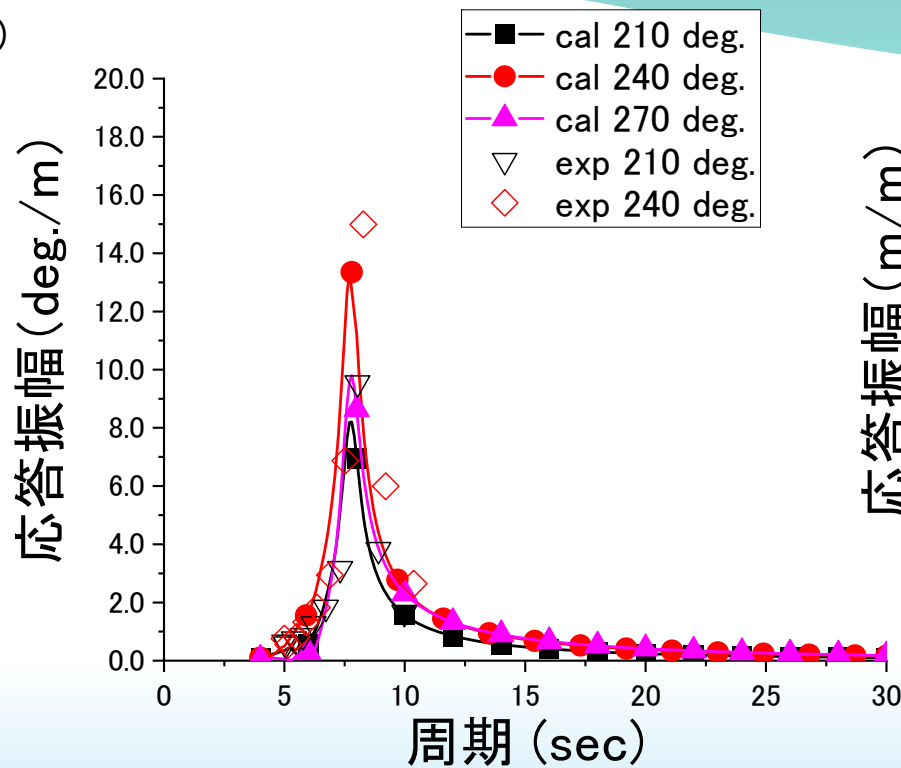
計算条件
(水槽試験と同じ)

吊荷：有り
(半没状態)



作業船のRoll

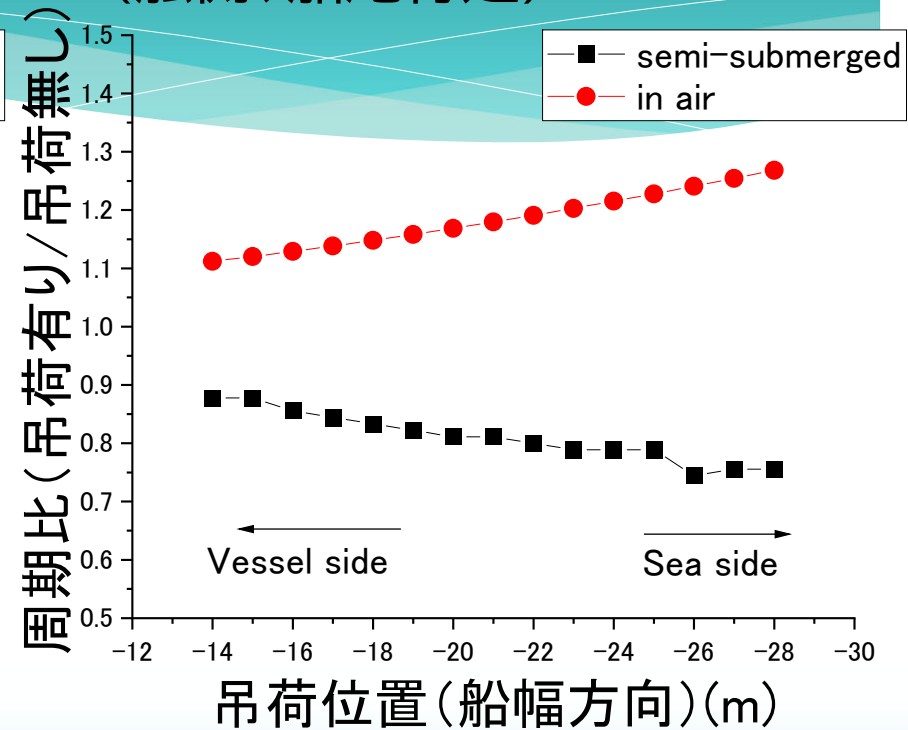
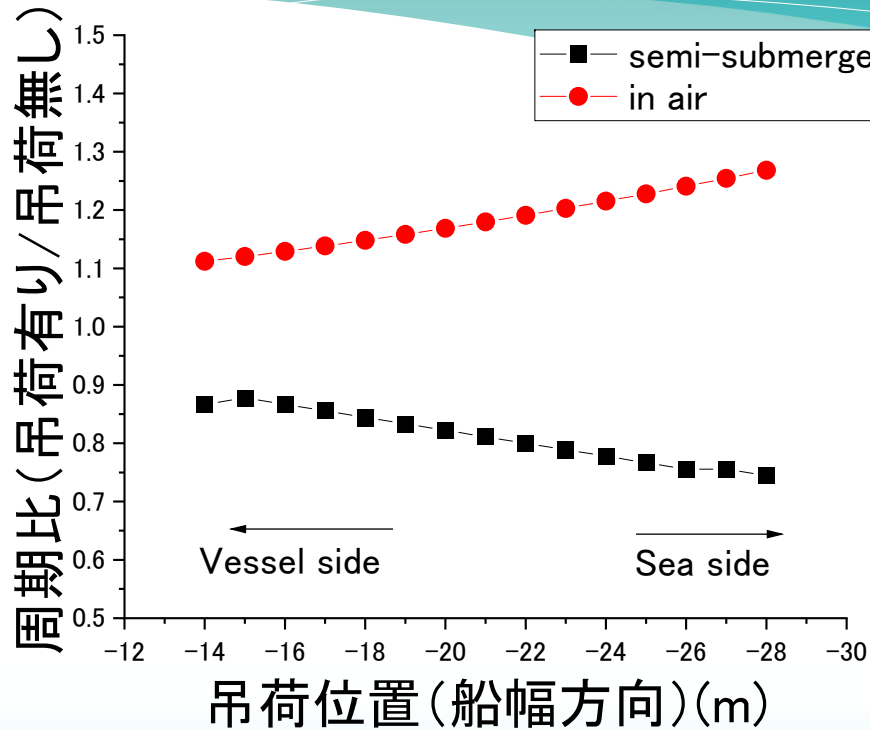
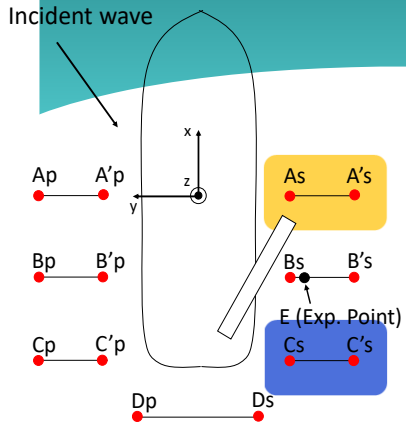
吊荷のHeave



吊点感度解析（横吊りの場合）

● $X=0.0\text{m}$
（舷側、ミッドシップ付近）

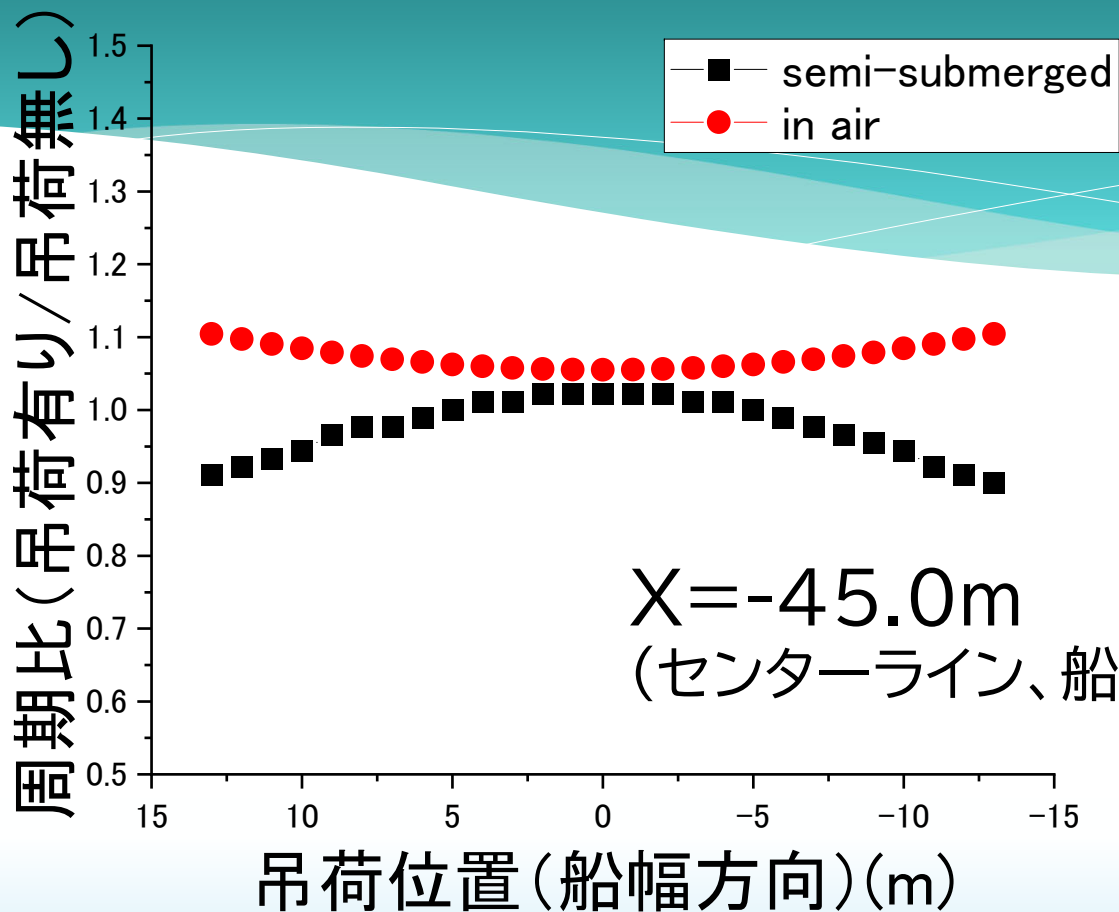
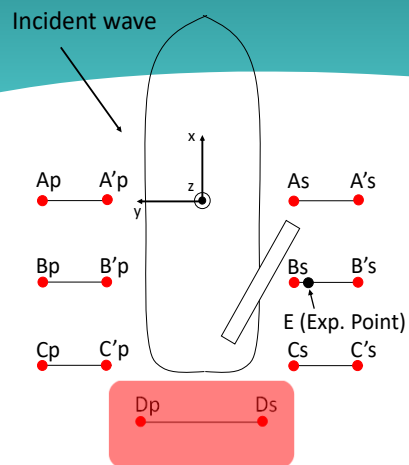
● $X=-40.0\text{m}$
（舷側、船尾付近）



船体から遠ざかるほど固有周期の反転が顕著になる



吊点感度解析（縦吊りの場合）



横吊りの場合と比べると着水前後での固有周期変化は軽微

まとめ

- 吊荷着水後には作業船の横揺れ固有(同調)周期が短周期側にシフトする。吊荷に流体力が作用し、振り子としての周期が長周期側に変化し、作業船の横揺れ周期との相対関係が変化したことが原因と考えられる。
- 吊荷が着水する前後で作業船のロール固有周期が反転する。吊荷が着水する際には、吊荷の振れ回りや波面衝撃のみならず、作業船の横揺れ周期が変化することで入射波と同調する可能性にも注意を払う必要がある。
- 作業船の固有周期の変化に関する感度解析を行った結果、吊点位置が固有周期の反転に大きな影響を与えることが分かった。特に横吊りの場合に顕著である。クレーン作業者は横吊りの場合には作業安全に特に注意する必要がある。

謝 辞

- 本研究の一部は、JSPS科研費JP20H02378の助成を受けました。
- 関係者の皆様に感謝申し上げます。