

流体-構造連成解析を活用した ホイットピング評価サービスの取組み

一般財団法人 日本海事協会 技術研究所

2022年10月

1. 背景・目的
2. 流体-構造連成解析
3. 弾性応答ベンチマーク水槽試験
4. まとめ

- コンテナ船の大型化が進み、さらなる安全性向上の確保



既存要件を満足しつつ、構造健全性、運航安全性のためのより良いサービス

コンテナ船のような船種に対しては…

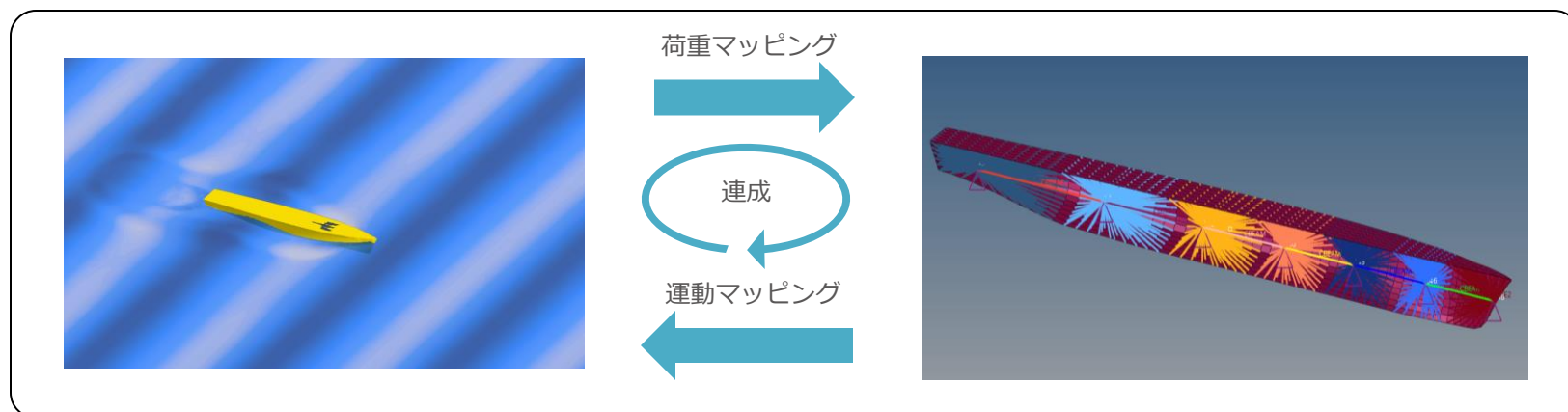
- パラメトリック横揺れ評価・運航支援

- **ホイッピング・スプリングング評価**

船体構造の強度評価

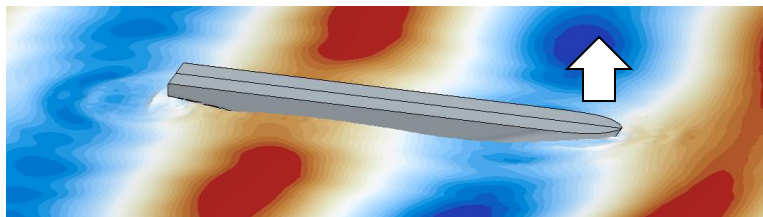


流体-構造連成 (Fluid-Structure Interaction/FSI) 解析



ホイッピング・スプリングングについて

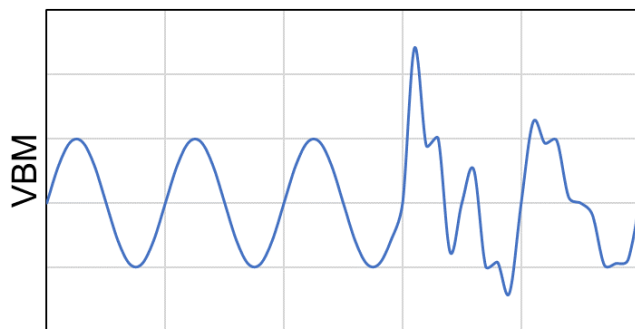
ホイッピング (Whipping)



船首/船尾スラミング衝撃力



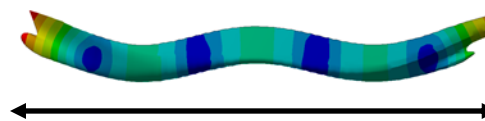
船体縦曲げの衝撃的応答 (過渡的な振動)



Time

縦曲げ最終強度

スプリングング (Springing)

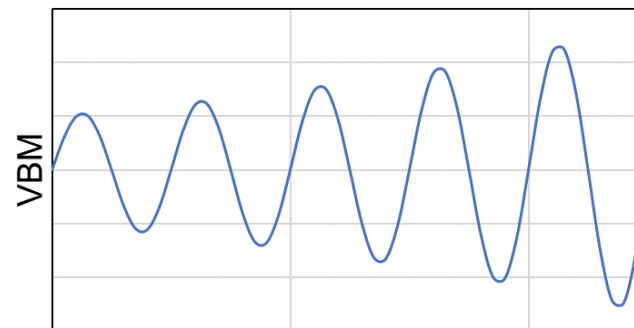


縦曲げ固有振動数 $\omega \propto \frac{1}{L_{pp}^2} \frac{1}{\sqrt{Mass}}$

周期的な波浪外力



船体縦曲げの共振現象 (定常的な振動)



Time

疲労強度

ホイッピング解析に係るNKの取組み

- 3次元パネル法ベースのFSIツールの開発（～2023年）
 - 外部向けの実用的なアプリケーション
- CFDベースFSI解析方法の確立
 - 商用ソフトウェア（STAR-CCM+、ABAQUS）
 - スラミング等の強非線形現象でも精度高い

高精度な方法を併用して解析の信頼性を向上



流体-構造連成解析を活用した様々な解析・評価サービス

- 弾性応答ベンチマーク水槽試験
 - 仮想船型の設計
 - ホイッピング・スプリングング応答
 - 船首・船尾のフレアスラミング衝撃圧



業界関係者にご活用いただけるようデータ提供/公開

1. 背景・目的
2. 流体-構造連成解析
3. 弾性応答ベンチマーク水槽試験
4. まとめ

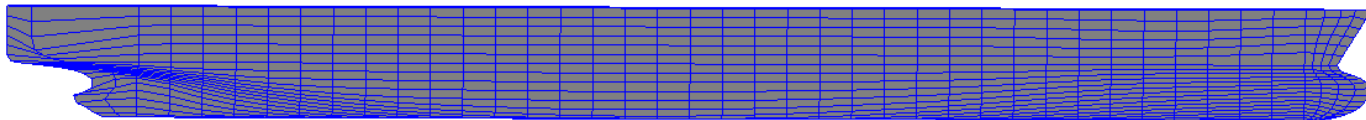
NKの3次元パネル法プログラム

□ 線形3次元パネル法 (3-DPM.L)

- 周波数領域計算
- 線形自由表面グリーン関数法

□ 非線形3次元パネル法 (3-DPM.NL)

- フルード・クリロフカと復原力の非線形性考慮
- 時間領域計算



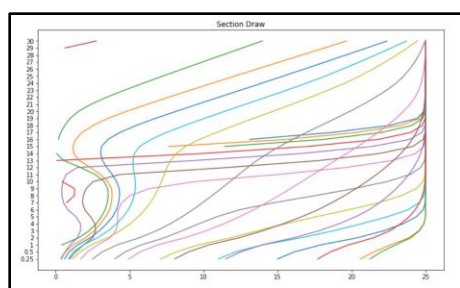
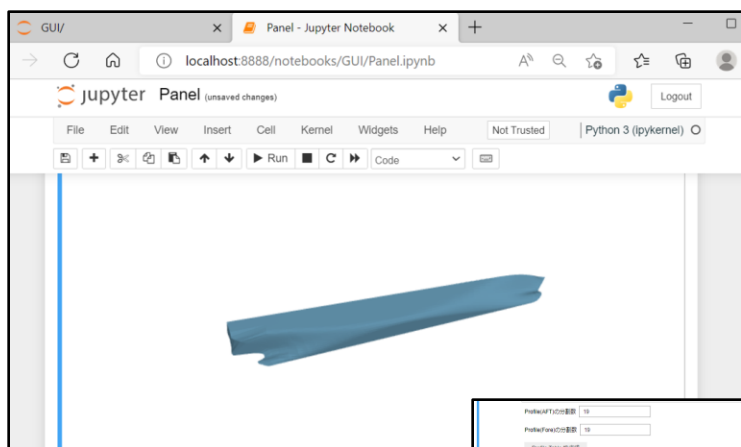
□ 非線形3次元パネル法ベースFSI

- スラミングモデル (Generalized Wagner Model)
- ティモシェンコ梁モデル

ホイッピング
解析ツール

簡便なGUIの開発 (Jupyter Notebook)

- インプット入力
- 計算用パネル作成



Profile/Factorの値

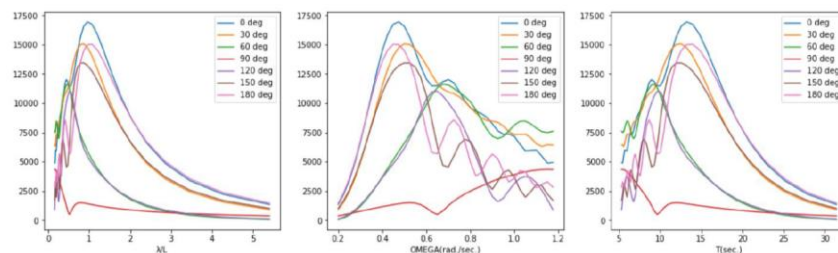
Profile Tableの作成

	A	B
1	1.047(0)	17.800
2	0.900	16.154
4	1.000	15.371
5	2.400	13.200
6	3.800	12.000
7	4.000	9.617
8	4.100	8.000
9	5.971	8.000
10	6.551	13.200

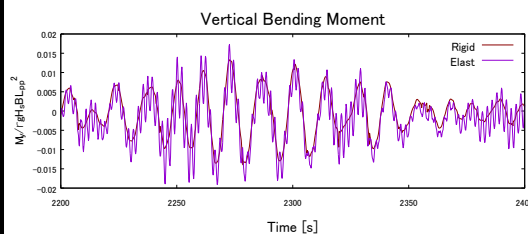
プロファイルの作成

	A	B
1	1.047(0)	17.800
2	0.900	-8.000
3	0.271	-8.000
4	0.900	0.000
5	1.578	2.200
6	2.479	4.400
7	3.772	6.600
8	4.666	8.000
9	6.500	9.143
10	10.000	8.000

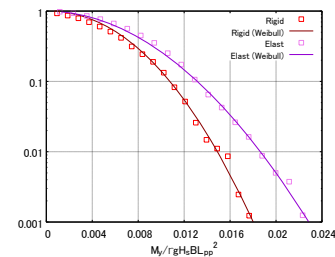
- 線形解析 (RAO)
- 短期・長期予測



- 非線形解析 (時系列計算)
- ホイッピング統計予測



時系列計算



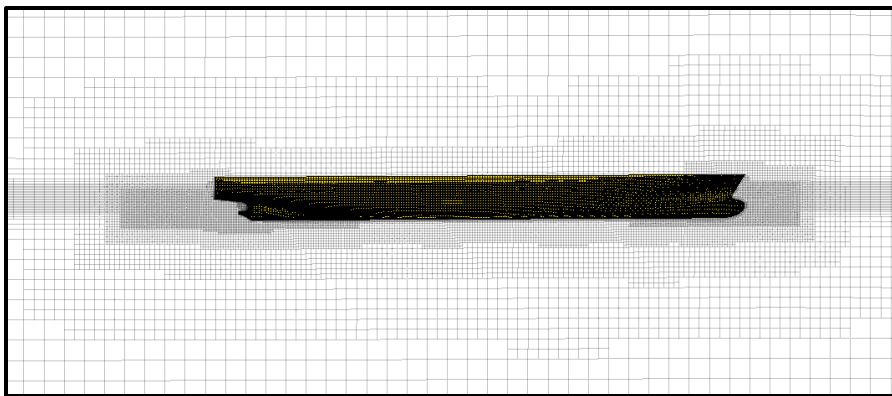
ホイッピング応答の統計予測

CFD (Computational Fluid Dynamics) 概要

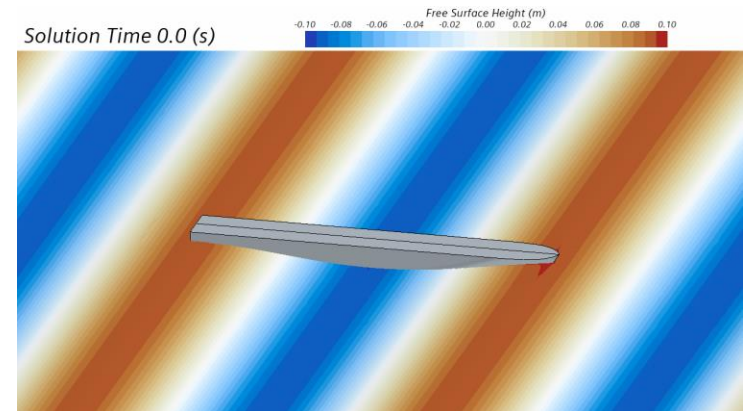
- 船体周辺の圧力場、自由表面、運動を時々刻々解く
 - 流れ場・圧力場 : Navier-Stokes方程式および連続の式
 - 波(水面位置) : VOF (Volume of Fluid) 値に関する移流方程式
 - 運動 : 船体を剛体として重心の運動方程式

- 大波高で顕著となる非線形影響を考慮
- スラミング衝撃圧力の直接考慮

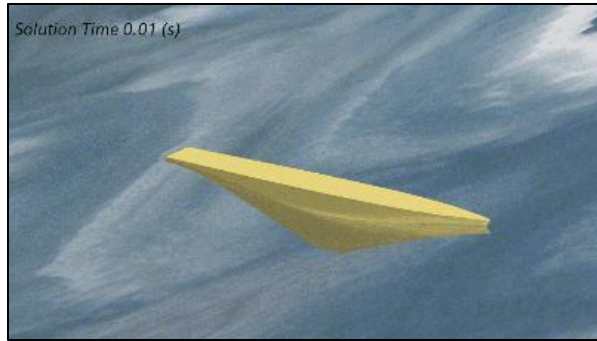
} パネル法よりも精度が高い



Fluid Mesh (Side View)



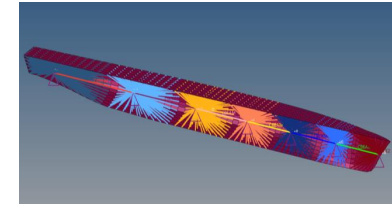
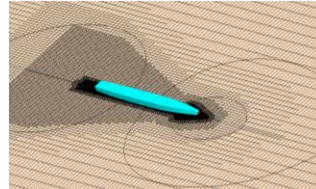
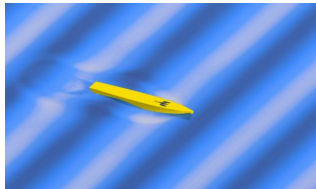
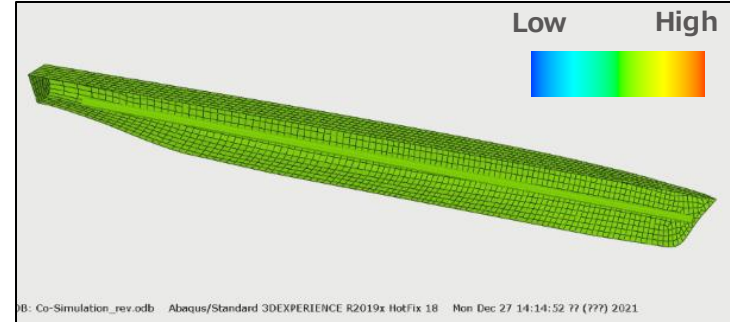
CFD/FSIのセットアップイメージ



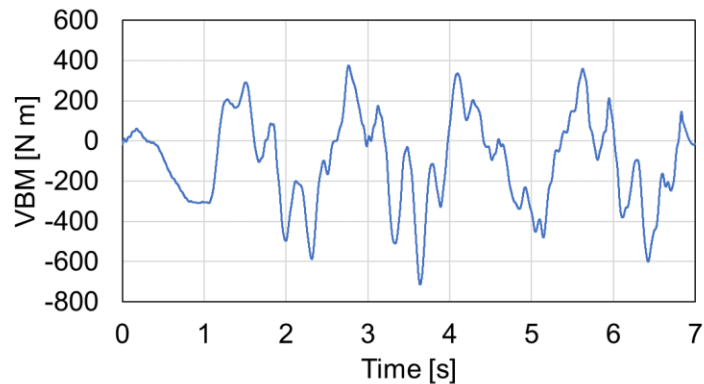
荷重マッピング



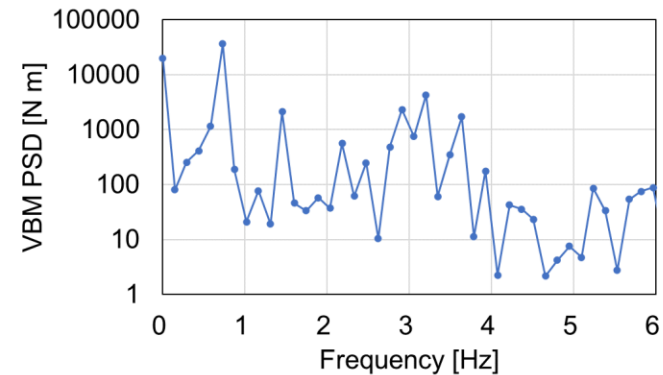
運動マッピング



VBM (縦曲げモーメント) 時系列

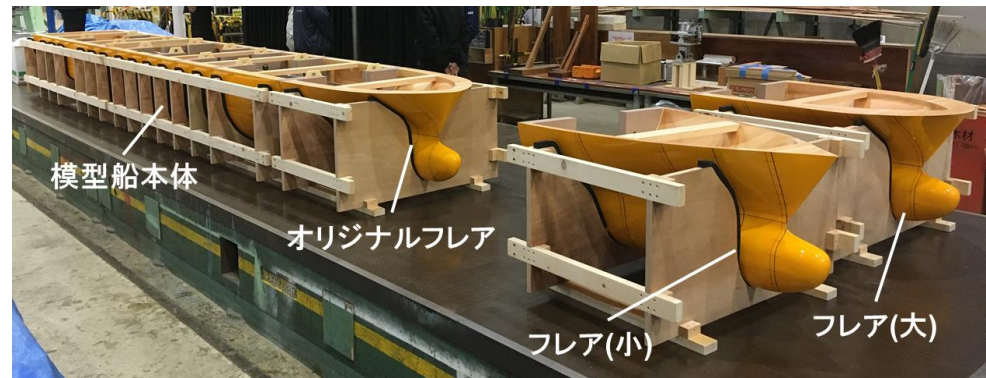
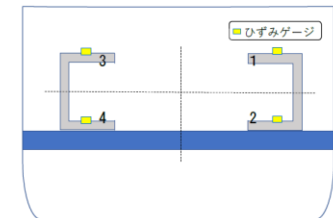
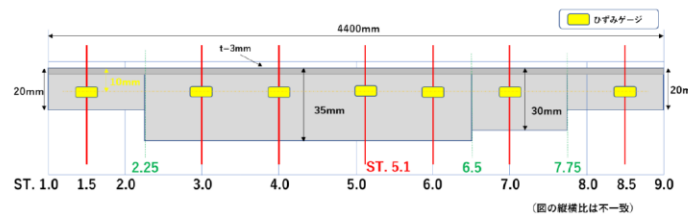
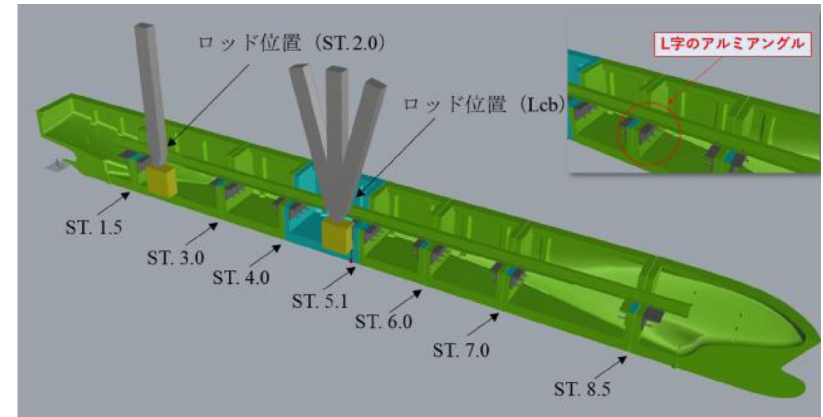


VBM スペクトル

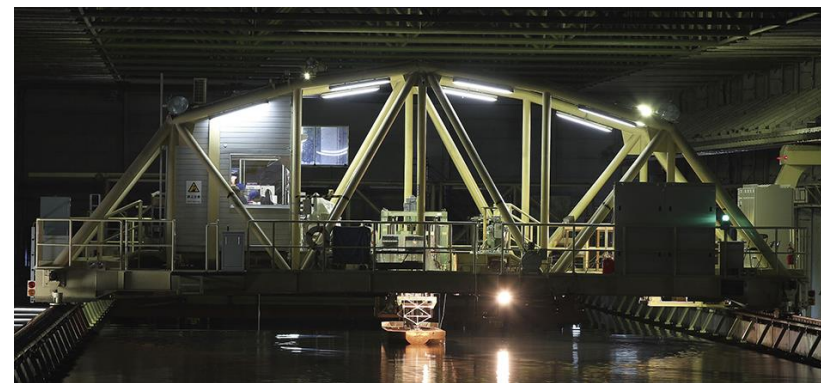


1. 背景・目的
2. 流体-構造連成解析
- 3. 弾性応答ベンチマーク水槽試験**
4. まとめ

- 14,000個積み仮想コンテナ船型
(Lpp x B x D: 352 x 50 x 30m)
- 模型船長 5.5m (実船の1/64)
- 8分割 + 変断面バックボーン模型
- 船首フレア : 3種類
- 船体表面の圧力計 (船首尾に重点)
 - ひずみゲージ式 23点
 - FBG式 161点

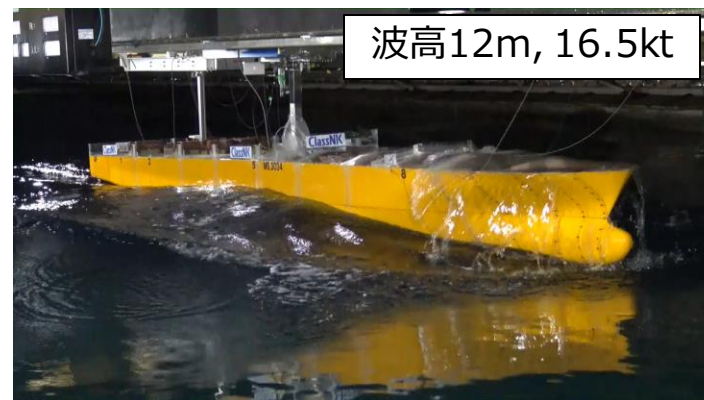
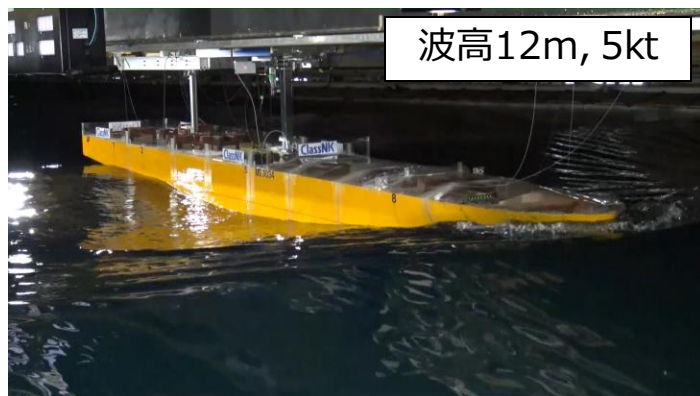


- 三井造船昭島研究所 大水槽
(長さ220m×幅14m×深さ6.5m)
- バックボーン検定のための予備検討
 - 三点曲げ試験
 - ハンマリング試験
- 向波中曳航試験
 - 規則波中試験 : 波高 3~12m
 - 不規則波中試験 : 有義波高 9, 12m
 - 規則波中スプリングング試験 : 波高 3m



(写真：三井造船昭島研究所HPより)

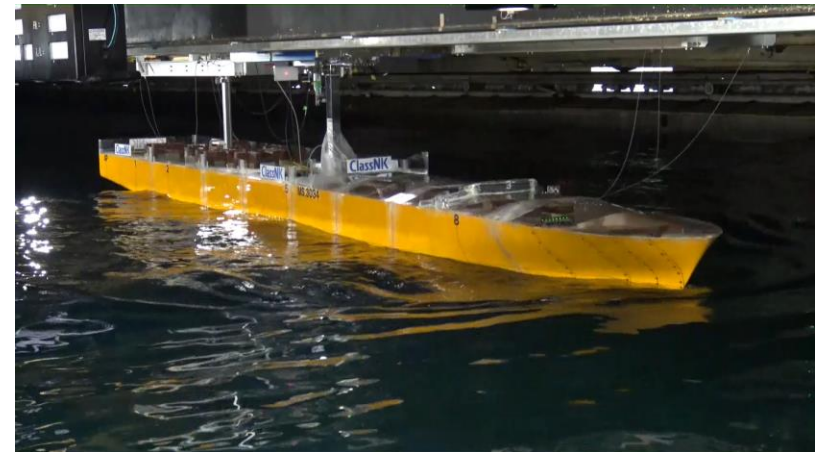
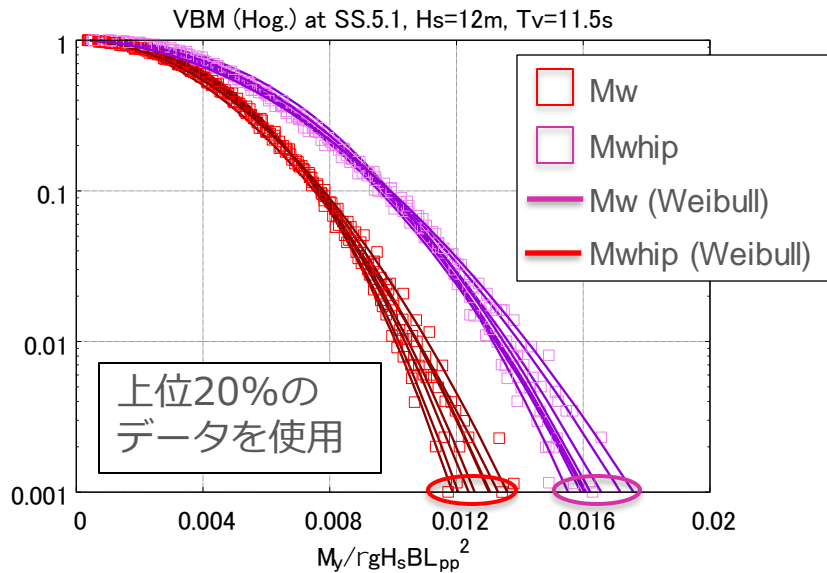
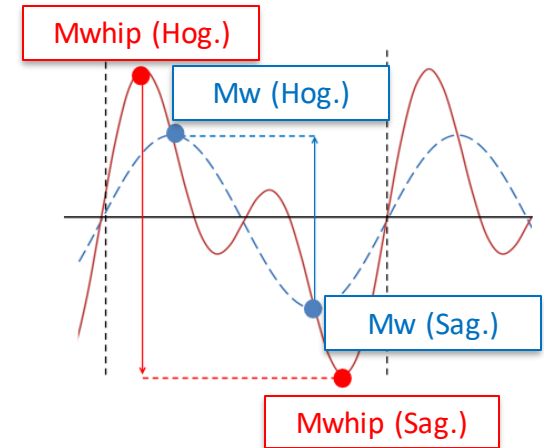
} ホイッピング応答含む



不規則波中試験 / Fn=0.044, V=5knot, Hs=12m, Tv=11.5s

- ローパスフィルタで波浪成分を分離
- ゼロアップ解析で1波毎の最大・最小値を導出
- 同一条件で複数回曳航して統計解析
- 下記結果は、1000波×8回分の統計値

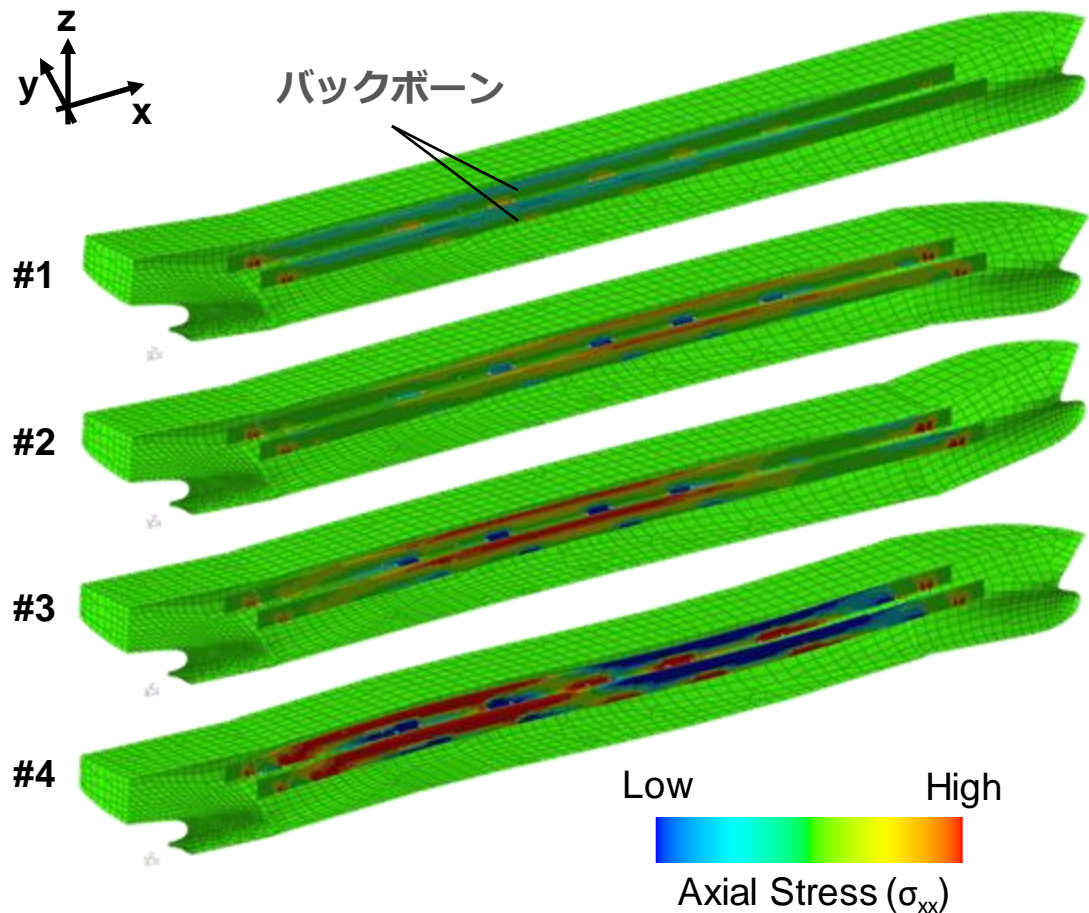
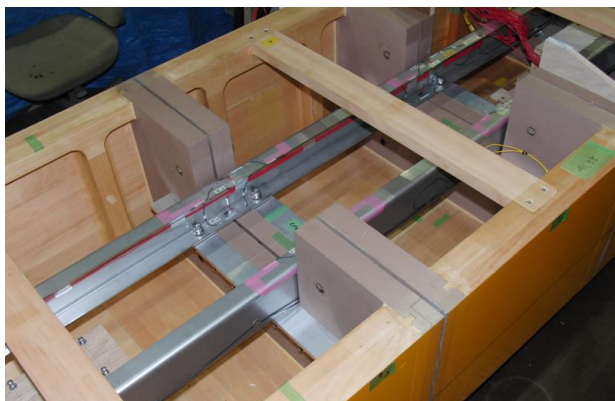
$$\frac{M_{whip}(Q = 10^{-3})}{M_w(Q = 10^{-3})} = 1.29 \pm 0.063$$



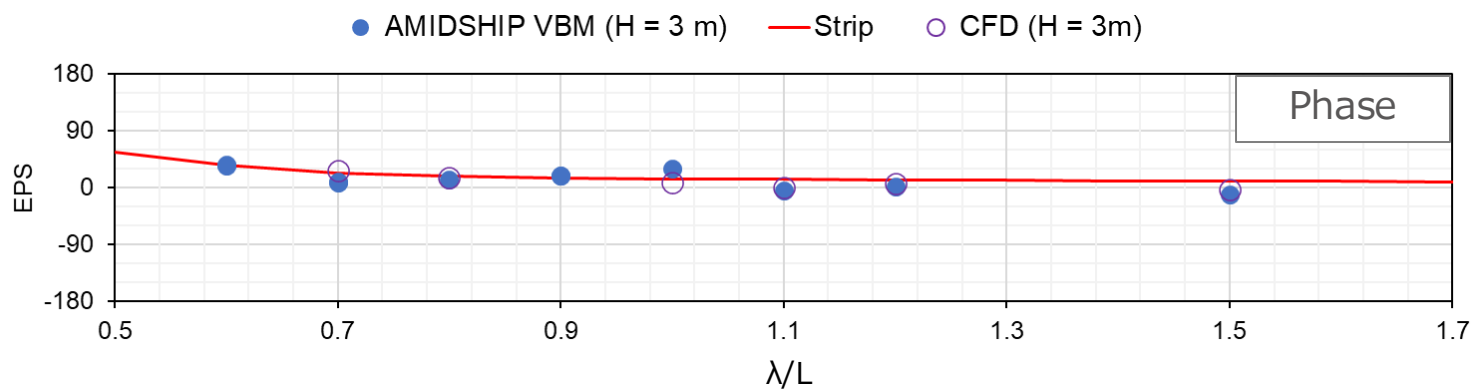
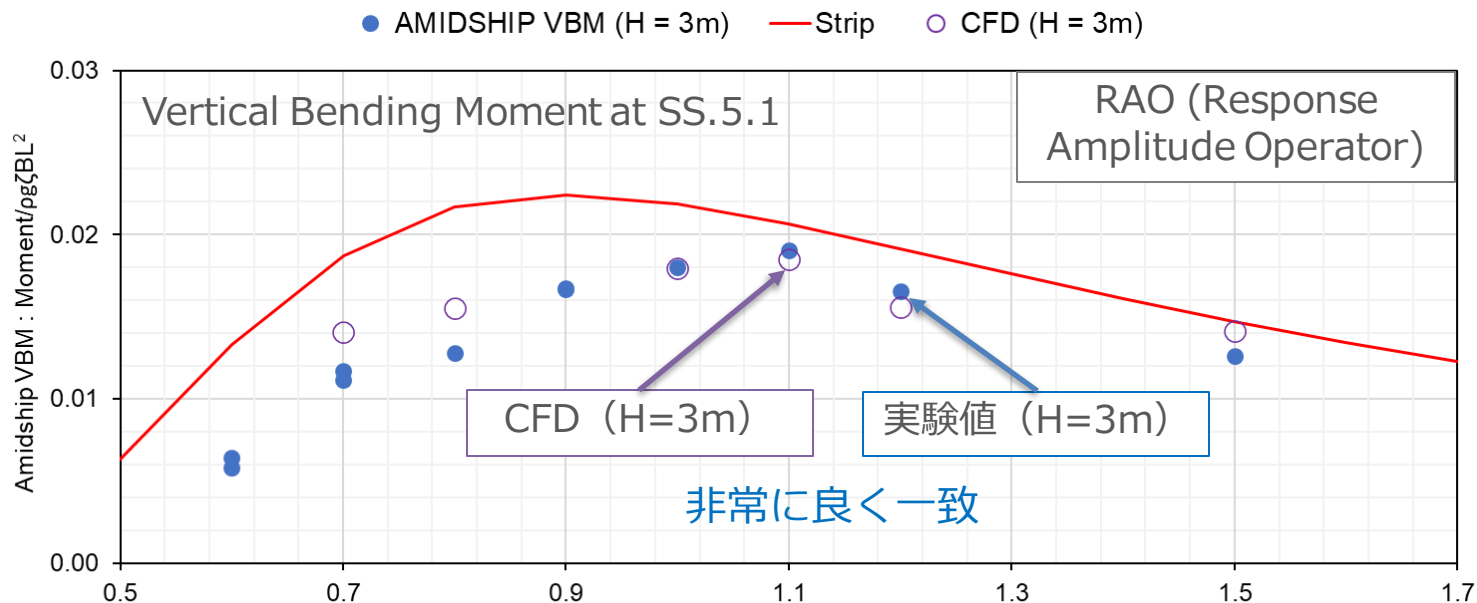
ハンマリング試験 (Wet)

- Shell要素でバックボーンを再現した模型船のFEM解析との比較
- 縦曲げ2節～4節まで十分な精度を再現

モード	縦曲げ固有振動数 (Wet) [Hz]	
	Exp.	FEM
#1 (2節)	3.5	3.6
#2 (3節)	5.4	5.4
#3 (4節)	7.2	7.5
#4 (5節)	12.6	15.6

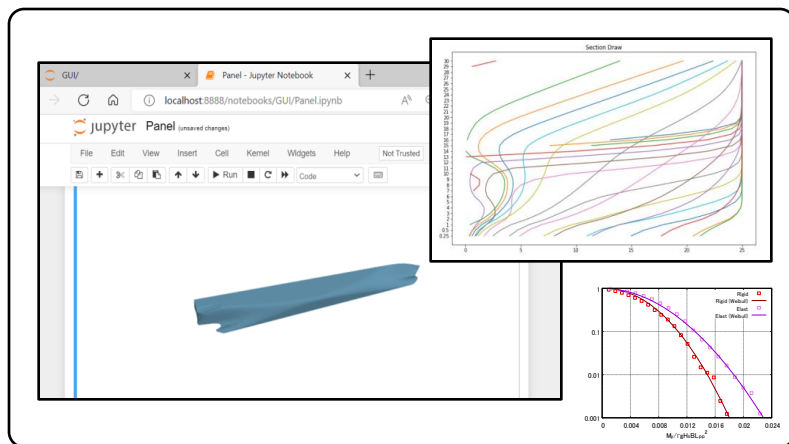


規則波中試験 / $F_n=0.044$, $V=5\text{knot}$, $H=3\text{m}$, $\lambda/L=0.6\sim 1.5$



1. 背景・目的
2. 流体-構造連成解析
3. 弾性応答ベンチマーク水槽試験
4. まとめ

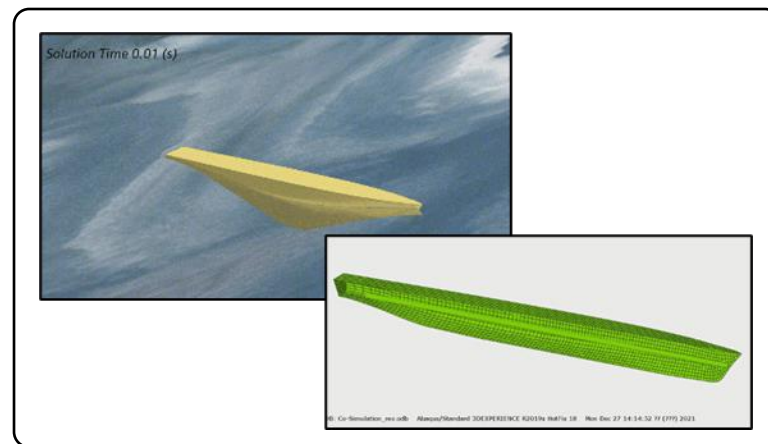
3次元パネル法ベースFSI（外部向け）



補完



CFDベースFSI



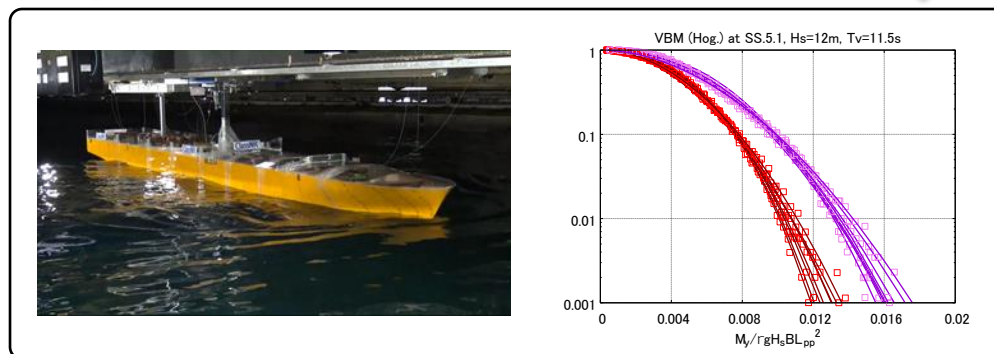
検証



ベンチマーク水槽試験（提供/公開）



検証



弊会は、コンテナ船のホイッピング解析以外にも、流体-構造連成解析を活用した様々な解析・評価サービスの向上に取り組んでおります

THANK YOU

for your kind attention

