

波浪中非線形運動・荷重解析ツール NMRIW_ver.2の開発と精度検証

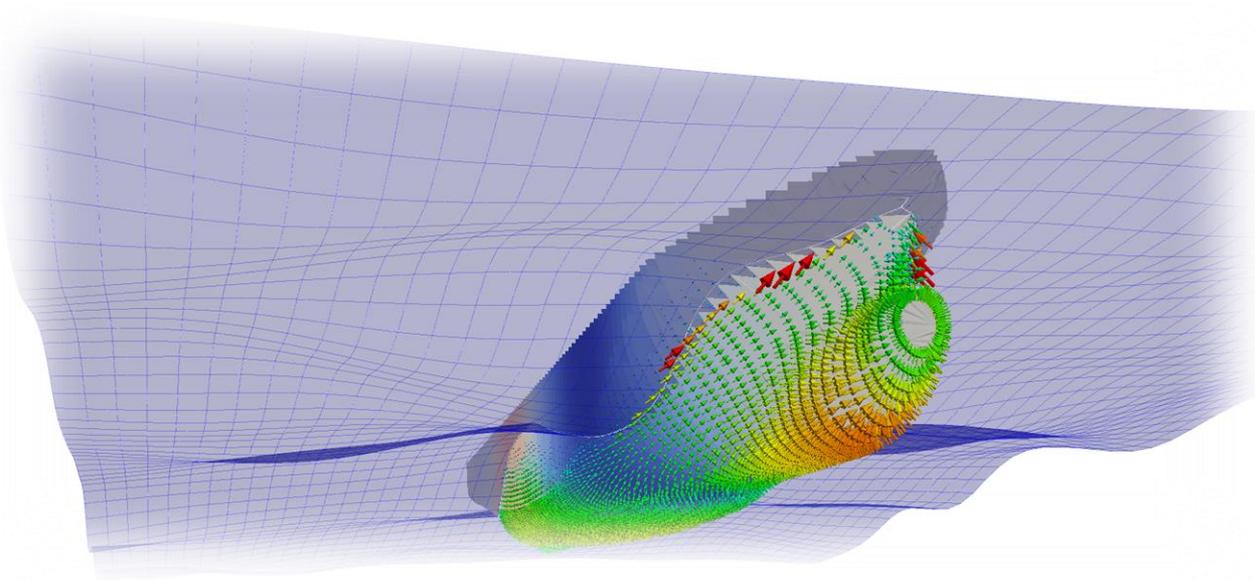
構造安全評価系

* 松井 貞興

村上 睦尚

花岡 諒

岡 正義



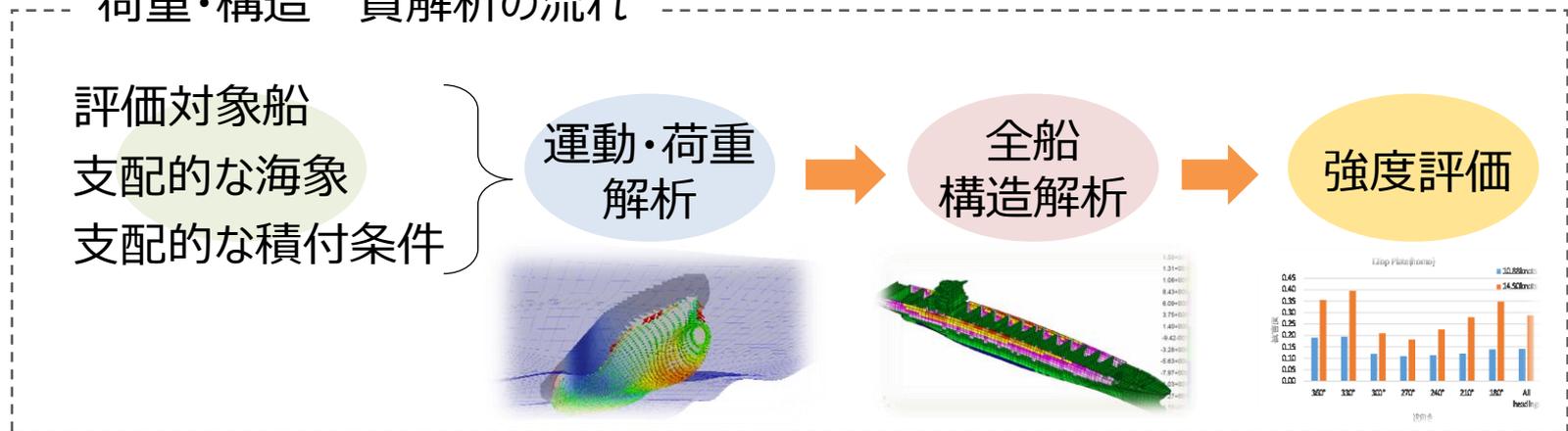
1. DLSA(全船荷重・構造一貫強度評価システム)

構造設計 ……船舶はその一生の中で様々な積荷状態、海象下におかれるが、想定されるあらゆる状況でも構造の安全性を担保するべき

→ 直接荷重・構造一貫解析

- 規則作成時に行われている解析を評価対象船に対して直接行う
- 直接的であるがゆえに、**近似・省略を行っている箇所が少なく、汎用性が高い**
- 設計者が解析を行うことで、**物理現象の理解の一助に (技術力の向上)**

荷重・構造一貫解析の流れ

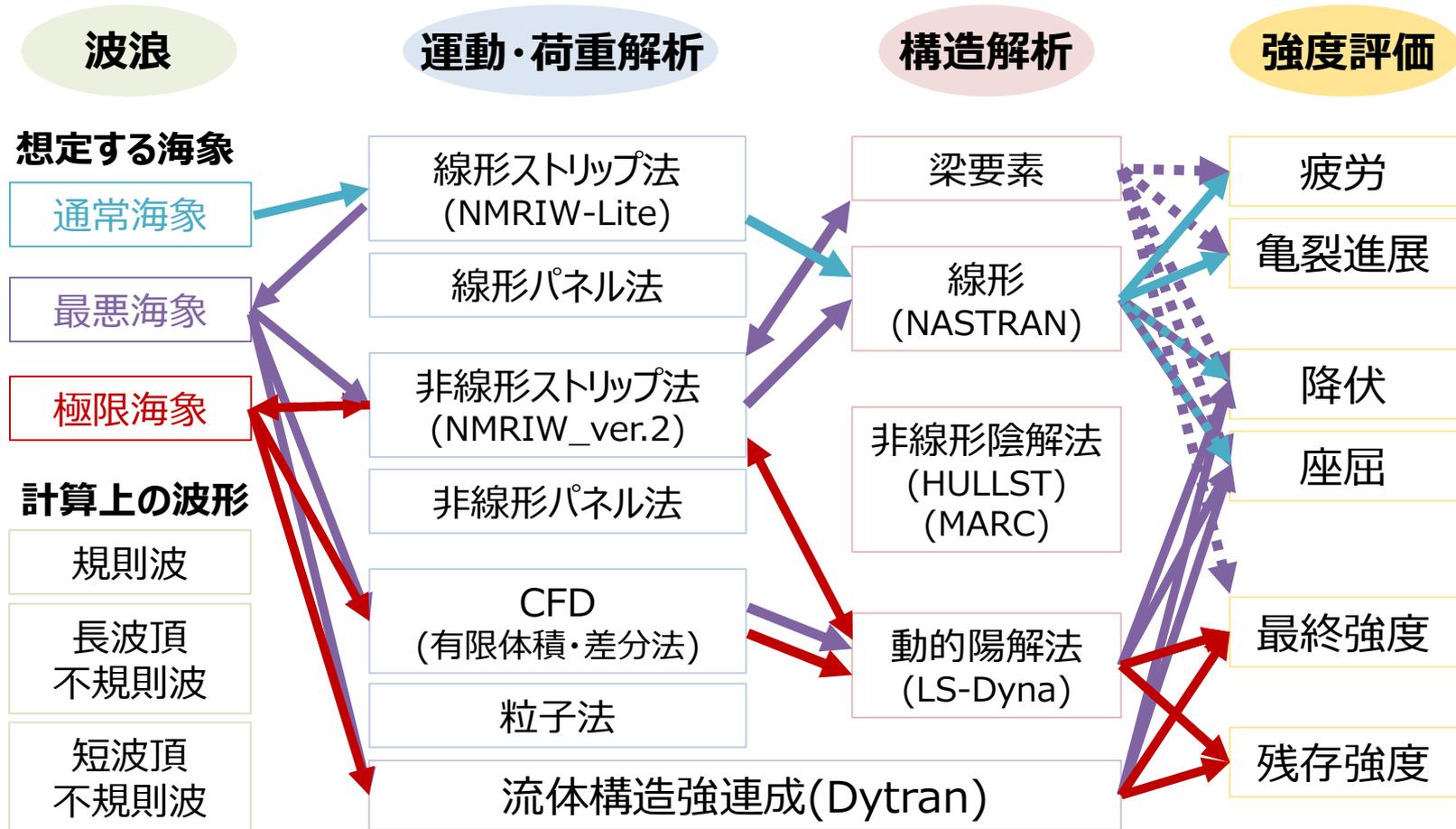


- **労力**がかかる
- 海象や積付条件の設定など、まだ**手段が確立していない部分**が大きい

1. DLSA(全船荷重・構造一貫強度評価システム)

→ DLSAシステム

- ・一貫解析をシームレスに行える一連のプラットフォームを用意、解析手順を提示
- ・大型船型、新形式船型の設計における標準プログラム化を目指す



2-1. NMRIW_ver.2について

- Nonlinear Motion in Regular and Irregular Wave
- NMRIで開発された船体運動・荷重推定プログラム
- ユーザーインターフェース、アニメーションを完備
- **6自由度非線形ストリップ法**
- **あらゆる波条件**を設定可能
- 水面衝撃力及び弾性モードを計算
→ **スラミング・ホイッピング**現象の再現が可能
- 水圧分布や加速度等を
FEM(NASTRAN)のインプットとして出力可

2-1. NMRIW_ver.2について

GUIを完備。形状を目視しながらOFFSETの作成が可能

The screenshot displays the NMRIW_ver.2 software interface, which is used for hull form analysis. The main window is titled "Hull Info&Offset - Weight". It is divided into several sections:

- Model Info:** Model No. 2032, Explanation C56500, Length between Perpendicular (Lpp) 283.800000 [m], Draft at Aft 14.000000 [m], Draft at Fore 14.000000 [m], Breadth (B) 42.000000 [m], Depth 26.000000 [m], Displacement 9456.000000 [ton], Block Coefficient (C_B) 0.629600, Prismatic Coefficient (C_p) 0.634700, Gravity Center of Ship (CG) -4.156900 [m], Metacentric Height Internal Calculation, Gyration Radius of Roll (K_{xx}/B) 0.244000, Gyration Radius of Y-axis (K_{yy}/L_{pp}) 0.244000, Gyration Radius of Z-axis (K_{zz}/L_{pp}) 0.244000, Young's Modulus 300.000000, Initial Trim 0.000000, Initial Sinkage 0.000000, Initial Heel 0.000000, Extra 1, Extra 2, Extra 3.
- Offset - Weight Distribution:** No. of Section 34, Station Input, Gravity Center (OG) Input, Uniform.
- Parameters of Computation:** Fluid Coefficient Table (No. of Mesh at Each section: 100, No. of Depth Intervals: 100, No. of Roll angle Intervals: 1, Maximum of Roll angle: 20.000000, logarithmic decrement: 0.054000, No. of Elastic Mode: 4, Input Elastic Mode Shape: Off, Regular/Irregular wave: Regular Wave), Series Calculation Parameter (Froude Number, Wave Height (m), Wave Direction (deg.), Wave Length), Slamming Calculation (checked), Hydrodynamic force calculation (NSM), Watanabe Method (checked), Auto-adjustment of Weight distribution (checked).
- Tables:** A table for "Weight Distribution" with columns: No., Station, Weight Distribu..., Geometrical Mo..., Gravity Center. A table for "Froude Number" with columns: OP, Froude Number, Linear, Non Linear. A table for "Wave Height" with columns: OP, Wave Height. A table for "Wave Direction" with columns: OP, Wave Direction. A table for "Wave Length" with columns: OP, Wave Length R....
- Check Of Hull Form:** Two windows showing "Body Plan" plots. The left window shows "Water Line(m)" vs "Hull Breadth [m]" for stations A.P., 112, 84, 56, 28, 0, 28, 56, 84, 112, F.P. The right window shows a similar plot with a legend for stations S.S.2 to S.S.34 and a "Station" list on the right.

2-3. NMRIW_ver.2の計算手法

Input : 船の情報と波条件

各断面で2次元流体カテーブルを作成

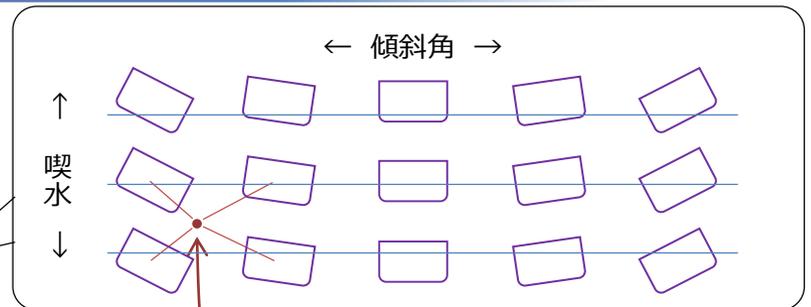
各断面で2次元流体力係数を内挿、
波浪外力及び浮力を計算

長さ方向に積分して3次元流体力に

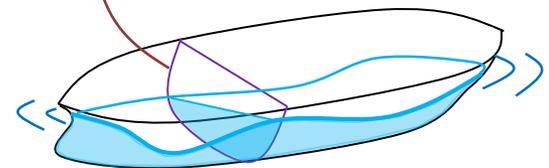
ルンゲクッタで運動方程式を解く

必要に応じて波浪荷重、
水圧分布、加速度等を計算

時系列データをフーリエ解析



現在の断面変位で内挿



波浪外力 + 浮力 + 重力

付加質量

減衰力係数

非線形横揺れ減衰

$$[M + A]\ddot{x} + [\eta K + B]\dot{x} + B|\dot{\phi}|\dot{\phi} + [K]x = f$$

質量

構造減衰

弾性係数

Output : 時系列データ

Output : 周波数応答関数及びスペクトル

波条件で繰り返し

時間ステップで繰り返し

3-1. 線形プログラムとの比較検証

NMRIW_ver.2(非線形ストリップ法)と
NMRIW-Lite(線形ストリップ法)の比較

それぞれが扱える現象

NMRIW_ver.2

| | | |
|--------|-------|----------|
| 大波高計算 | 弾性振動 | 青波 |
| 不規則波計算 | スラミング | 横揺れ非線形減衰 |

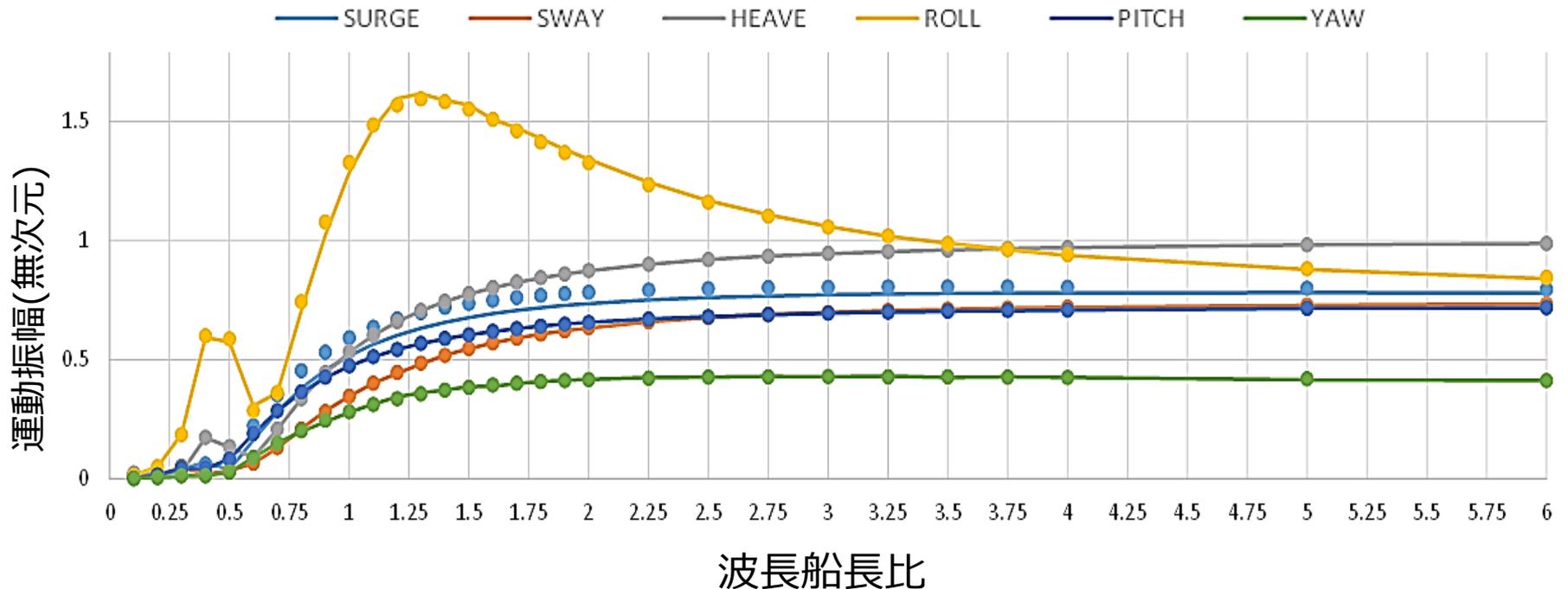
NMRIW-Lite

| | | |
|--------|------|------|
| 微小波高計算 | 剛体運動 | 波浪荷重 |
| 規則波計算 | 水圧分布 | |

→ NMRIW_ver.2における微小波高計算はLiteによる線形計算と等価

3-1. 線形プログラムとの比較検証

コンテナ船の6自由度運動の周波数応答関数（斜め追い波、10kt）
実線がLite、マーカーがNMRIW_ver.2による結果



※NMRIW_ver.2では入射波の波高を0.01mに設定
NMRIW_ver.2とLiteの流体力計算は同じ理論に基づく

3-2. 実験との比較検証

6600TEUコンテナ船のバックボーン模型実験



実験条件

- ・全波方位 (0~180度の30度刻み)
- ・規則波及び不規則波中試験

計測項目

- ・6自由度運動
- ・水圧 (没水部の水圧、フレアブのスラミング衝撃水圧)
- ・波浪荷重 (ホイッピングを含む縦曲げ、水平曲げ、振りモーメント)

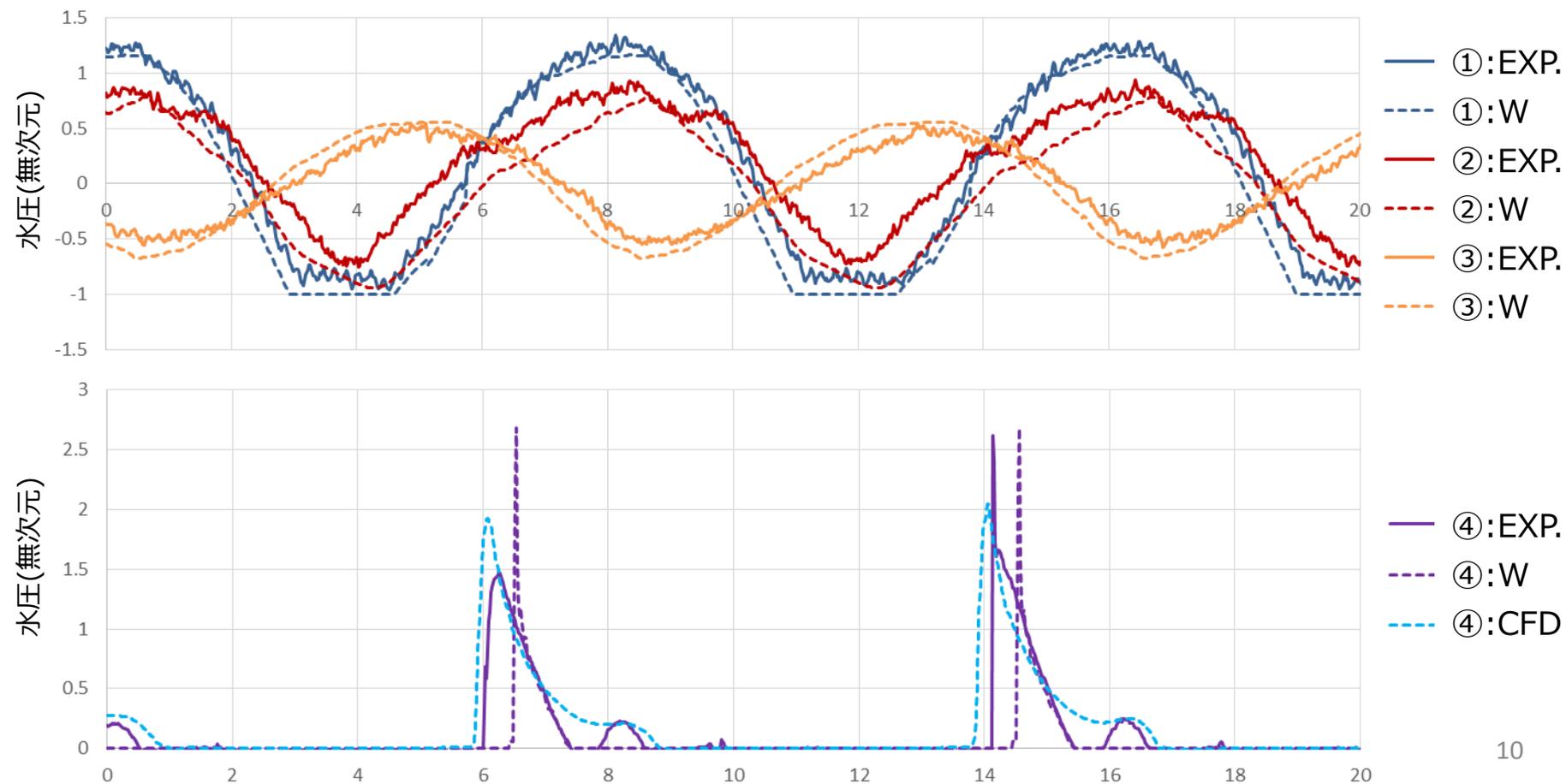
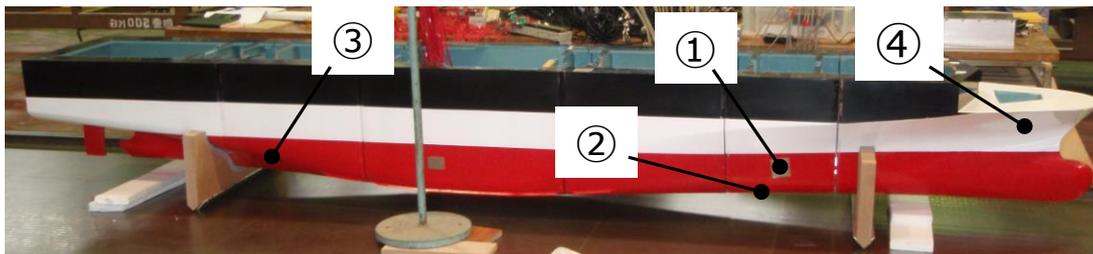
3-2. 実験との比較検証 (規則波中)

・水圧の時系列

向い波、波高10m

船速15knot

波長船長比0.8



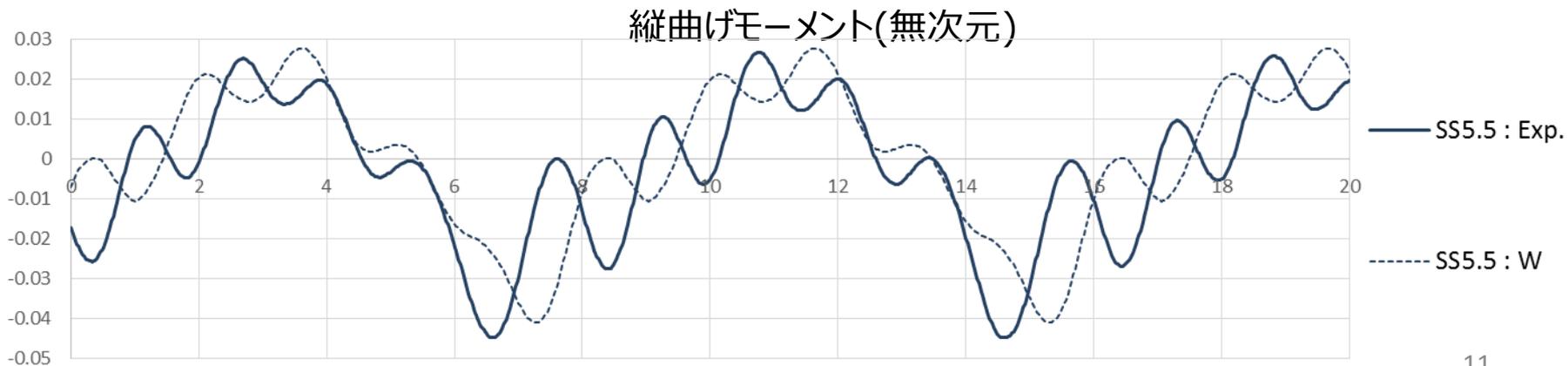
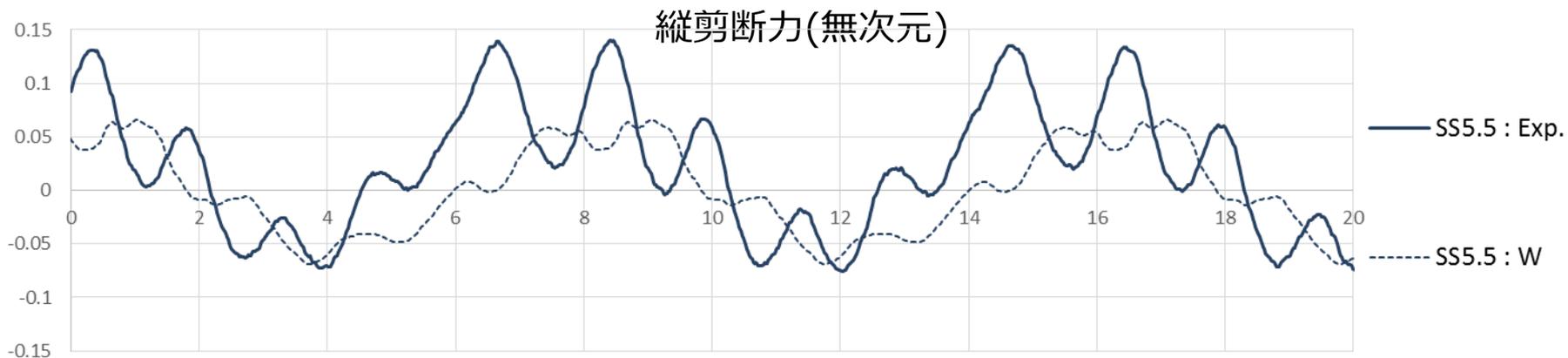
3-2. 実験との比較検証 (規則波中)

・縦荷重の時系列

向い波、波高10m

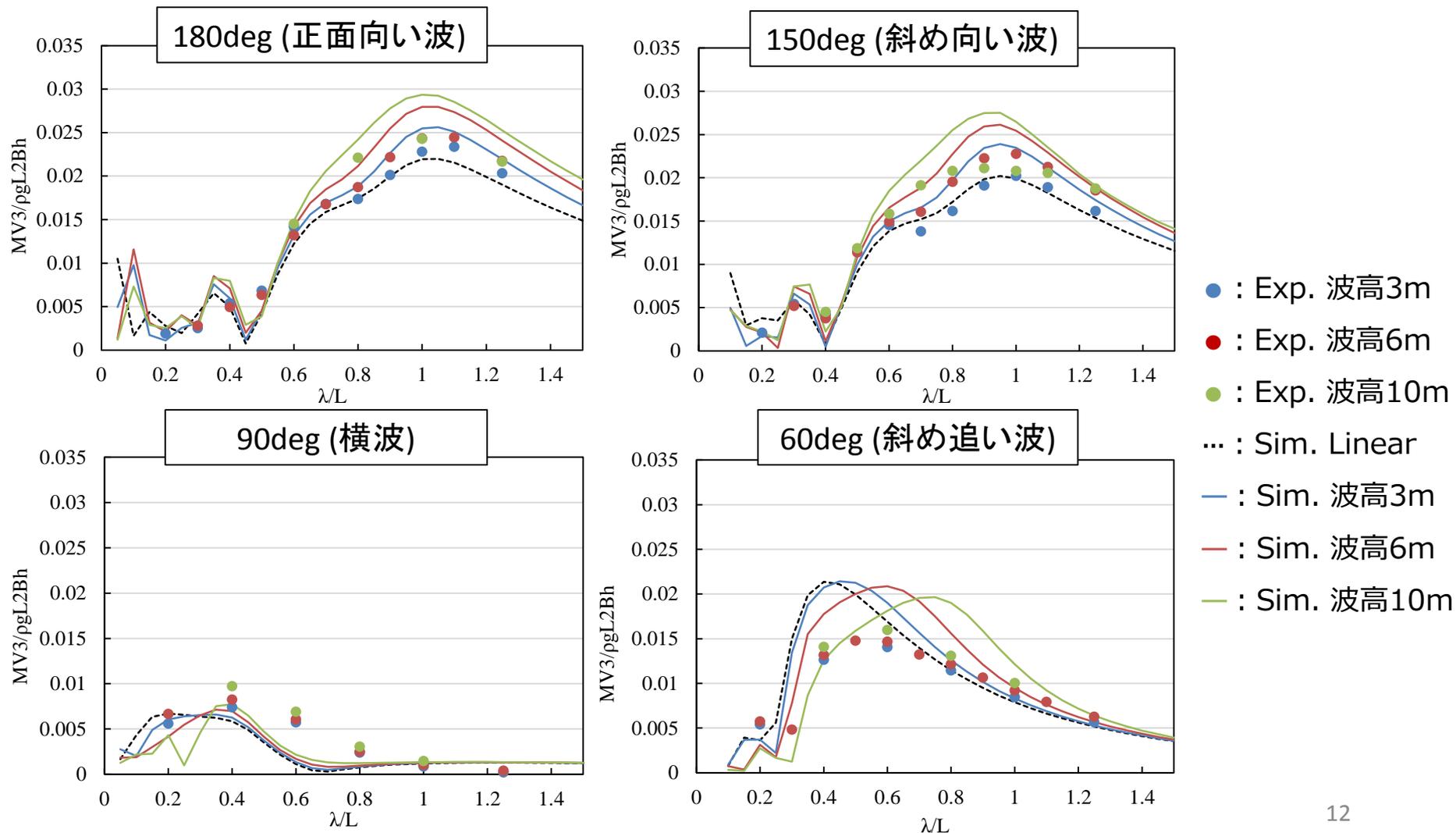
船速15knot

波長船長比0.8



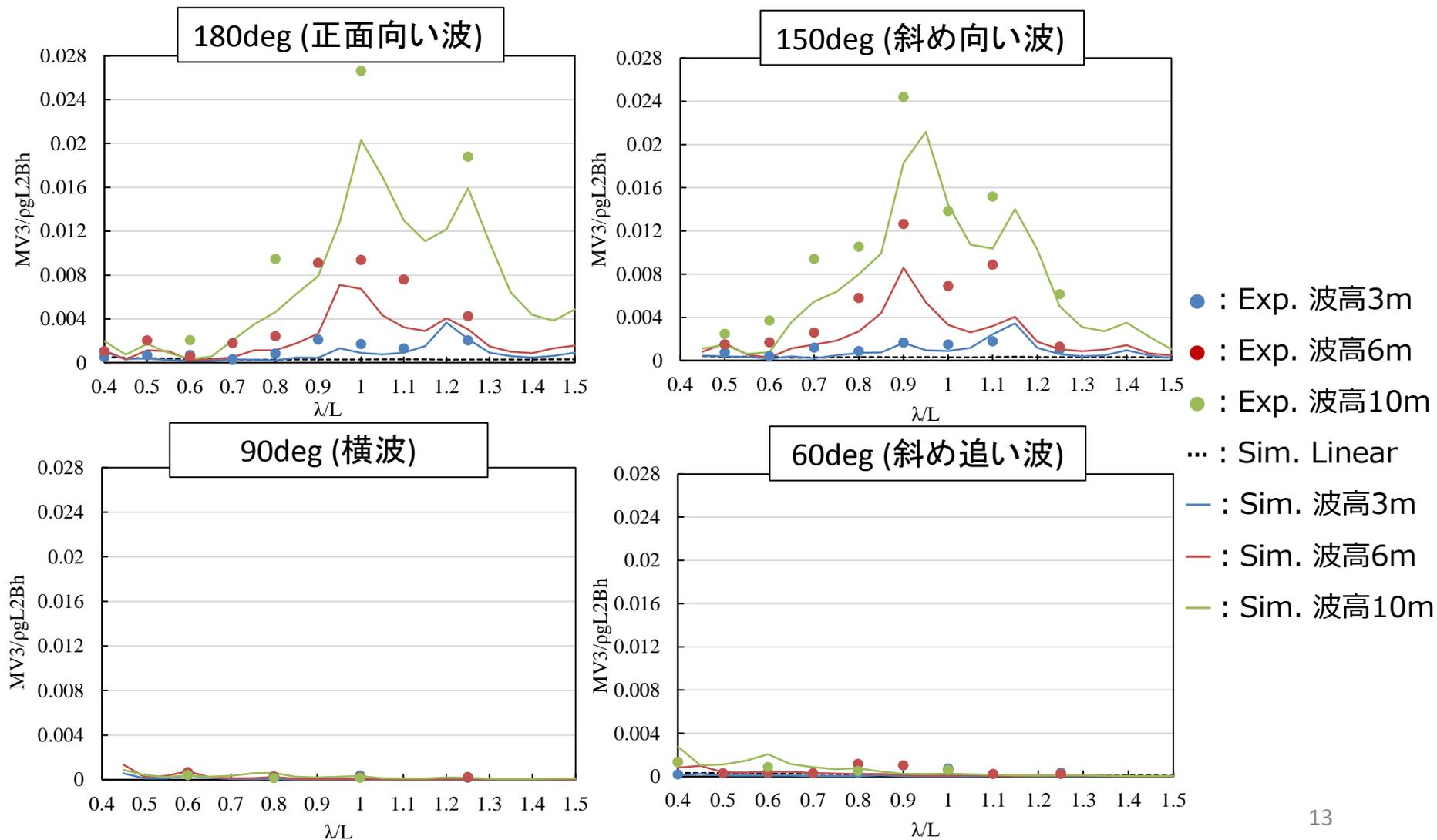
3-2. 実験との比較検証 (規則波中)

・縦曲げモーメントの応答関数 (船速18.4knot)

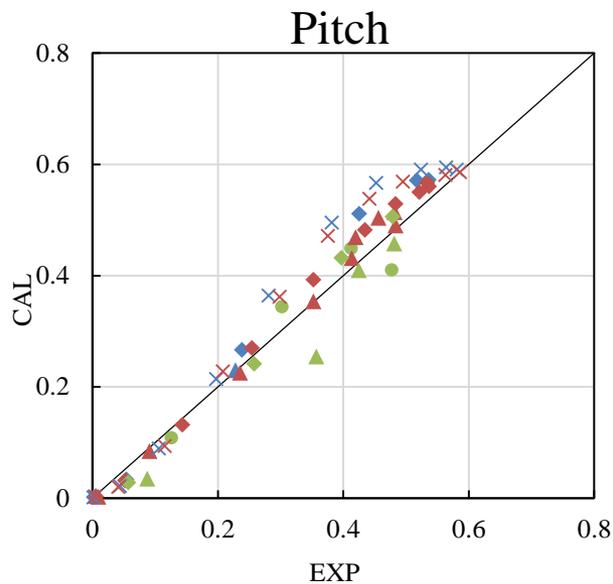
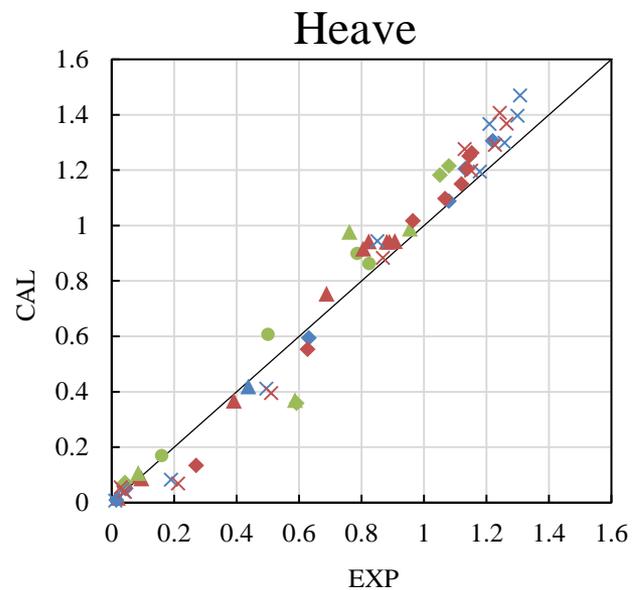


3-2. 実験との比較検証 (規則波中)

・縦曲げモーメントの高周波成分の標準偏差 (船速18.4knot)

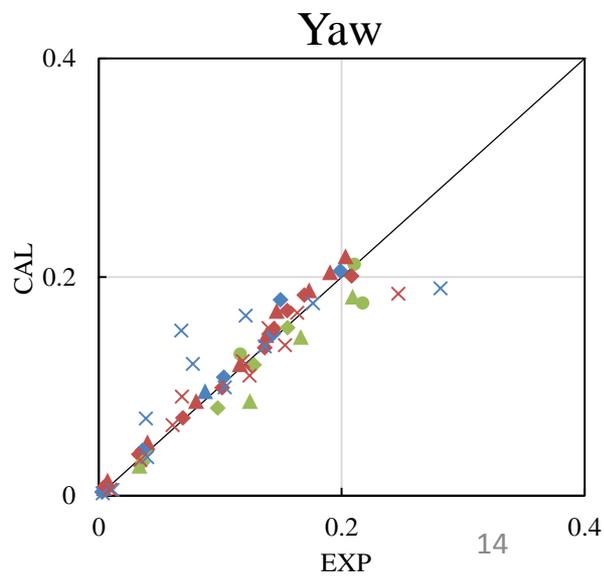
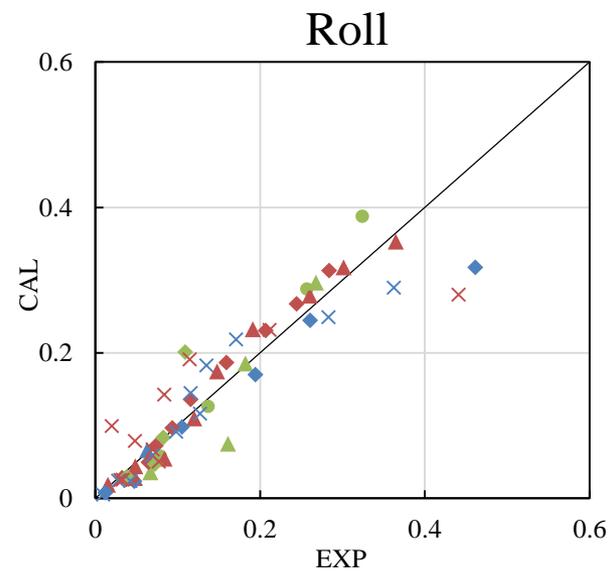
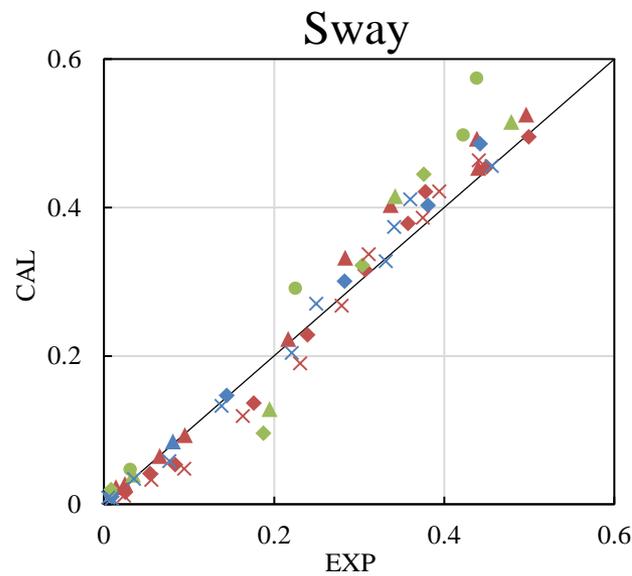


3-2. 実験との比較検証 (規則波中)



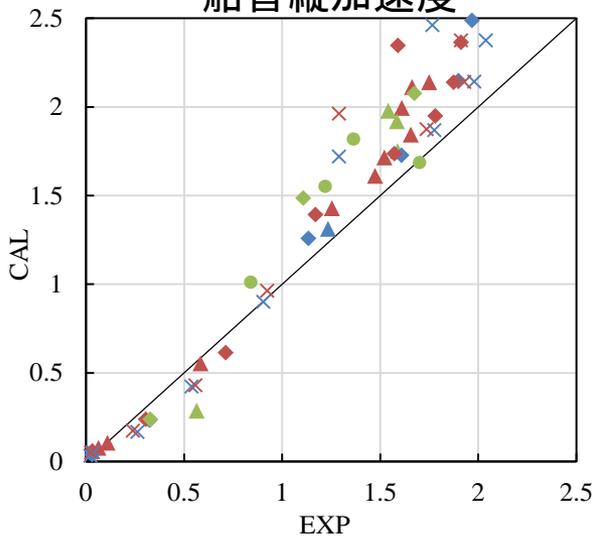
120deg(斜め向い波)

- 0knot
- ▲ 6.1knot
- ◆ 18.4knot
- ×
- Hw=3m
- Hw=6m
- Hw=10m
- Hw=15m

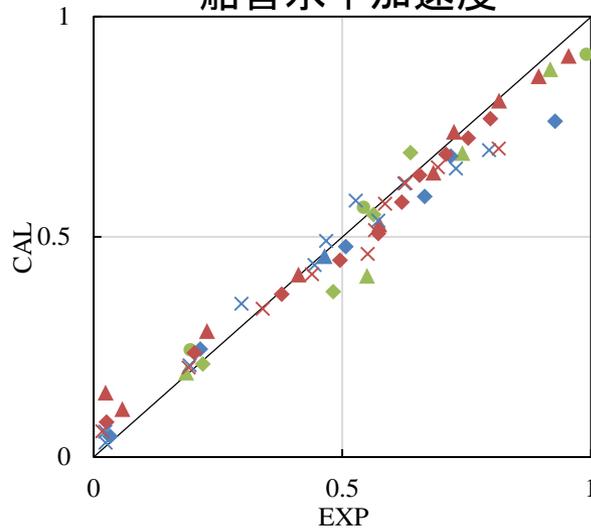


3-2. 実験との比較検証 (規則波中)

船首縦加速度



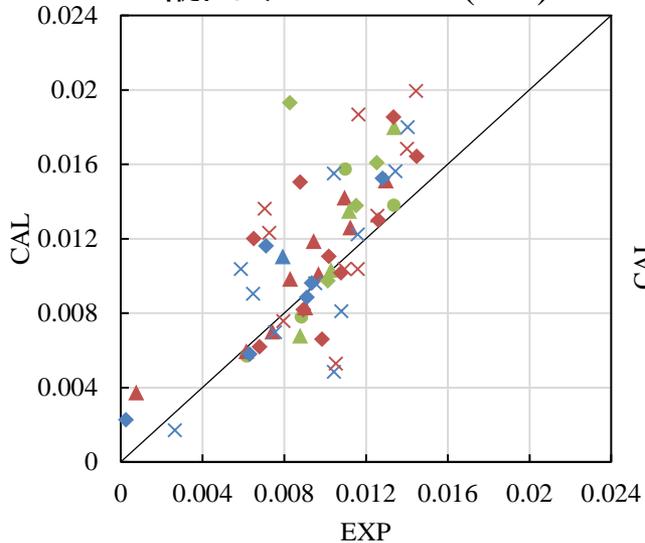
船首水平加速度



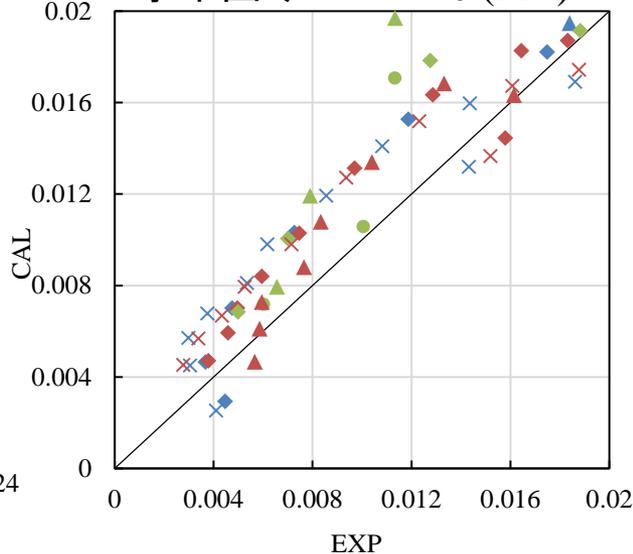
120deg(斜め向い波)

- ... 0knot
- ▲ ... 6.1knot
- ◆ ... 18.4knot
- × ... 24.5knot
- ... Hw=3m
- ... Hw=6m
- ... Hw=10m
- ... Hw=15m

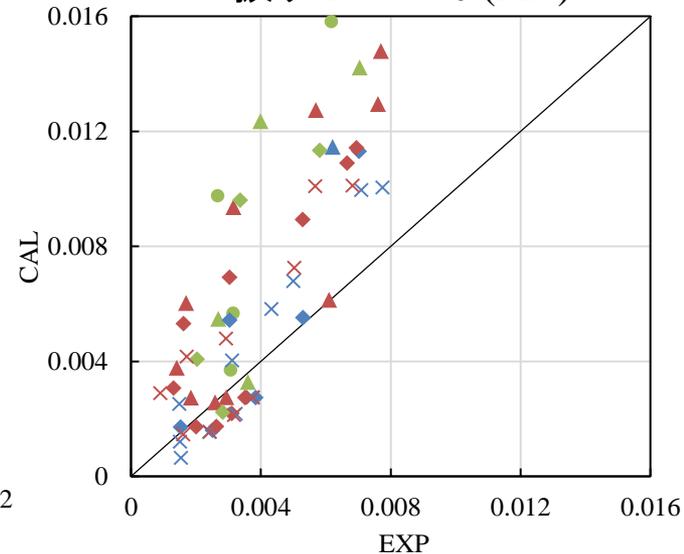
縦曲げモーメント(MS)



水平曲げモーメント(MS)



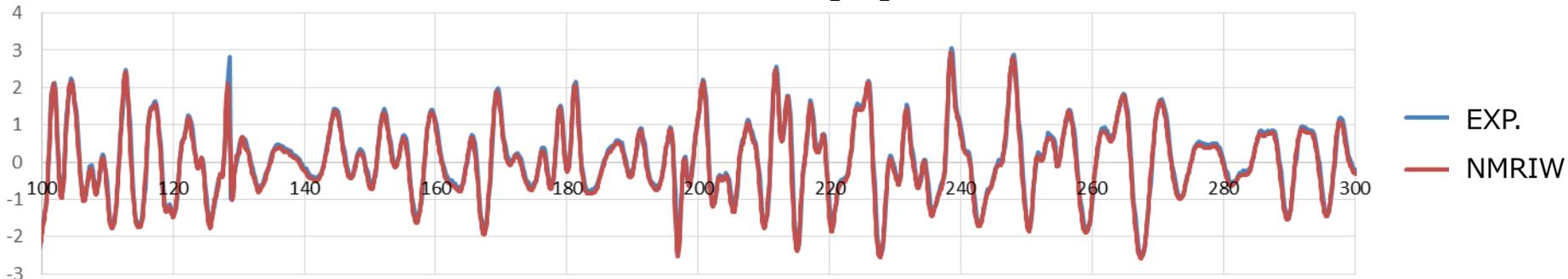
振りモーメント(MS)



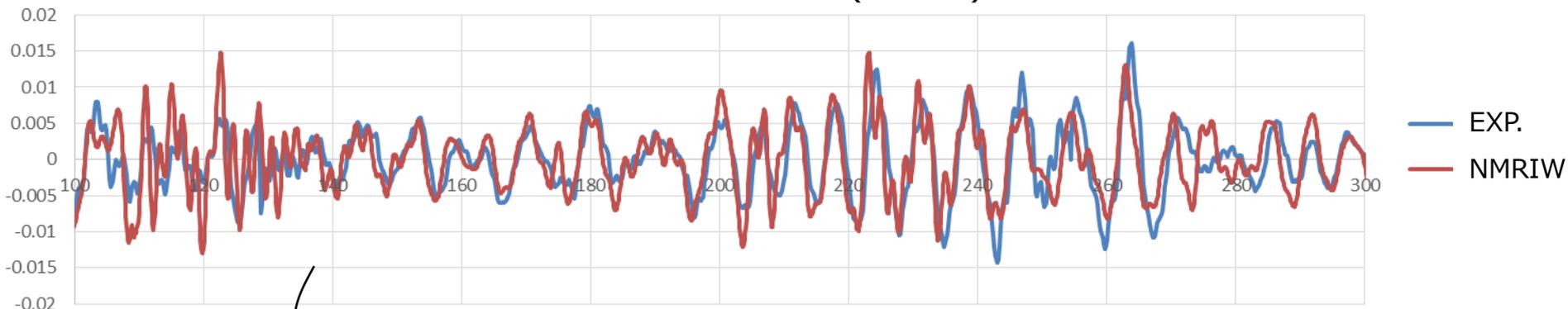
3-2. 実験との比較検証 (不規則波中)

実験と同一の不規則波列を発生させ、NMRIWで応答の標準偏差を計算

入射波の時系列[m]



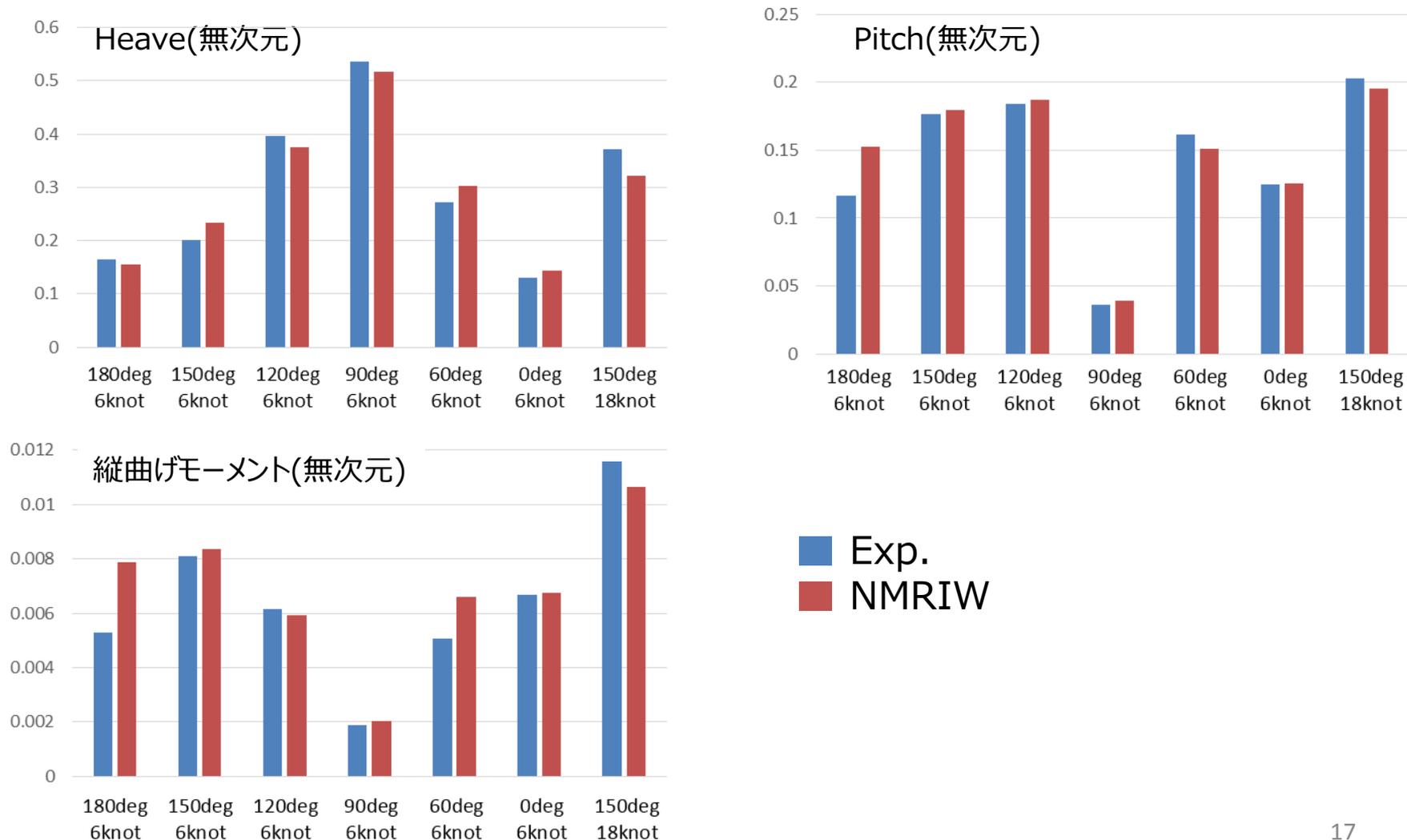
縦曲げモーメント時系列(無次元)



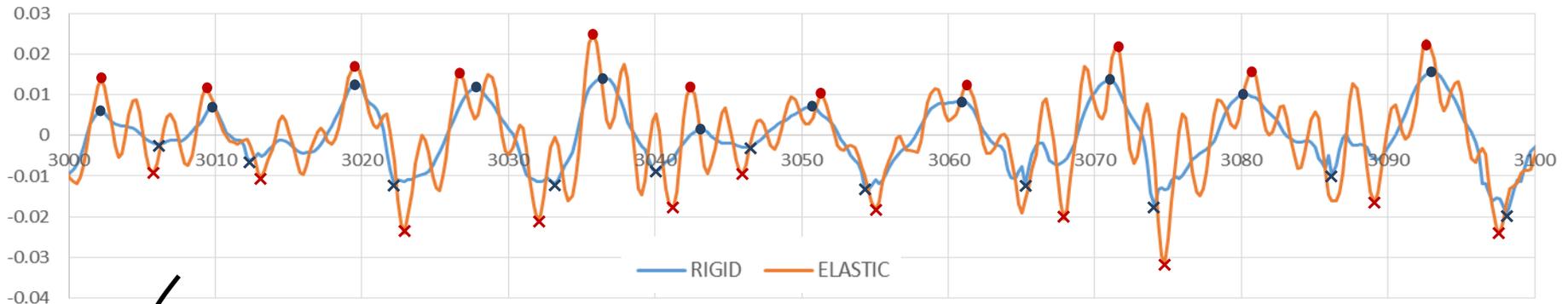
応答 $x(t)$ の標準偏差(RMS) $\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$ を比較

3-2. 実験との比較検証 (不規則波中)

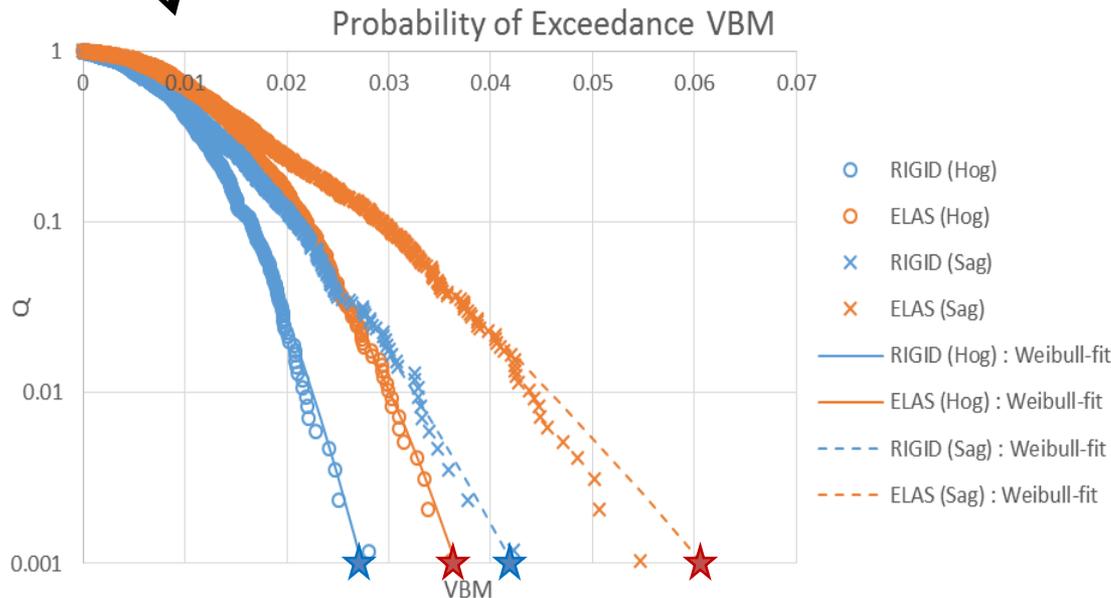
- 標準偏差の比較 (有義波高10m、平均波周期10.5s)



4-1. ホイッピング影響の検証



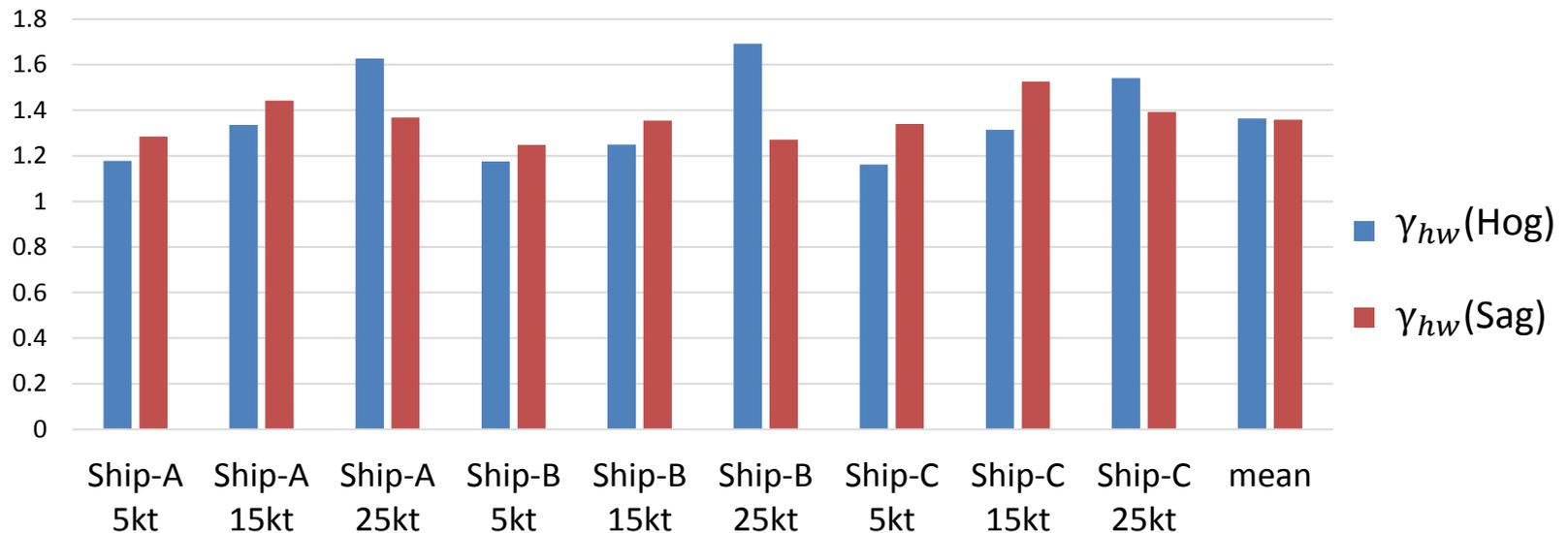
最悪短期海象下の縦曲げモーメントのピーク値を読み取り、
剛体・弾性体のHog・Sagの極値をそれぞれ小さい順に並べる（超過確率分布）



Weibull分布でCurve-Fitを行い、
1/1000最大期待値
(船の生涯のうち受ける最大荷重)
を求める

4-1. ホイッピング影響の検証

$$\text{ホイッピング影響係数 } \gamma_{hw} = \frac{\text{弾性体の縦曲げモーメント1/1000最大期待値}}{\text{剛体の縦曲げモーメント1/1000最大期待値}}$$



- NMRIWで得られた係数の平均値：1.36
- 論文※にて7隻のコンテナ船に対する同様の解析により得られた係数：1.35

※大型コンテナ船のホイッピングによる波浪中縦曲げモーメントへの定量的影響の推定 (JASNAOE2016春季 河邊寛他)

5. 今後の展望

- NMRIW_ver.2の推定精度の向上
 - ・不規則波中計算
 - ・斜め追い波中の安定性
- NMRIW_ver.2の計算速度を活かした種々の検討手法の確立
 - ・NMRIWのみを用いた簡易構造評価手法の確立
 - ・非線形性を考慮した最悪短期海象の選定
 - ・荷重の観点から見た船型の最適化