

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

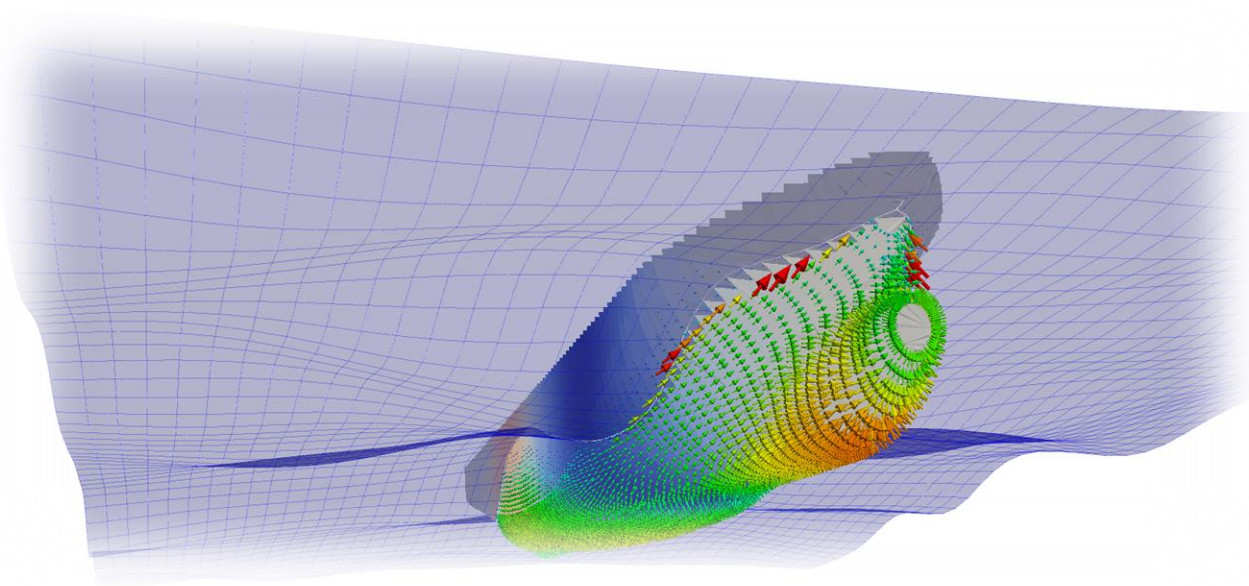
構造安全評価系

* 松井 貞興

村上 睦尚

花岡 諒

岡 正義



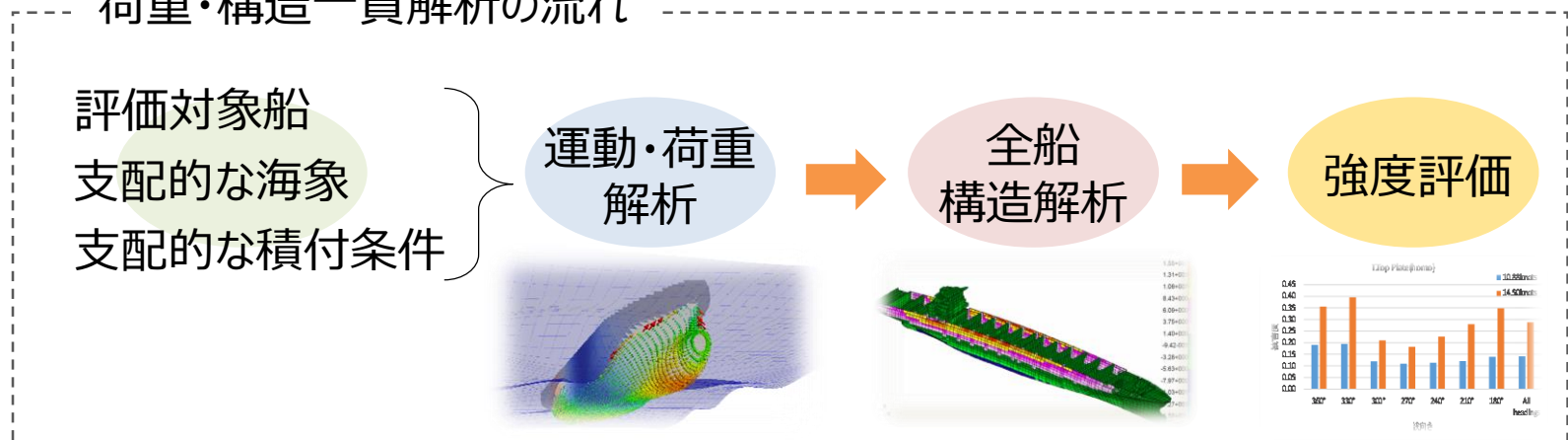
1. DLSA(全船荷重・構造一貫強度評価システム)

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

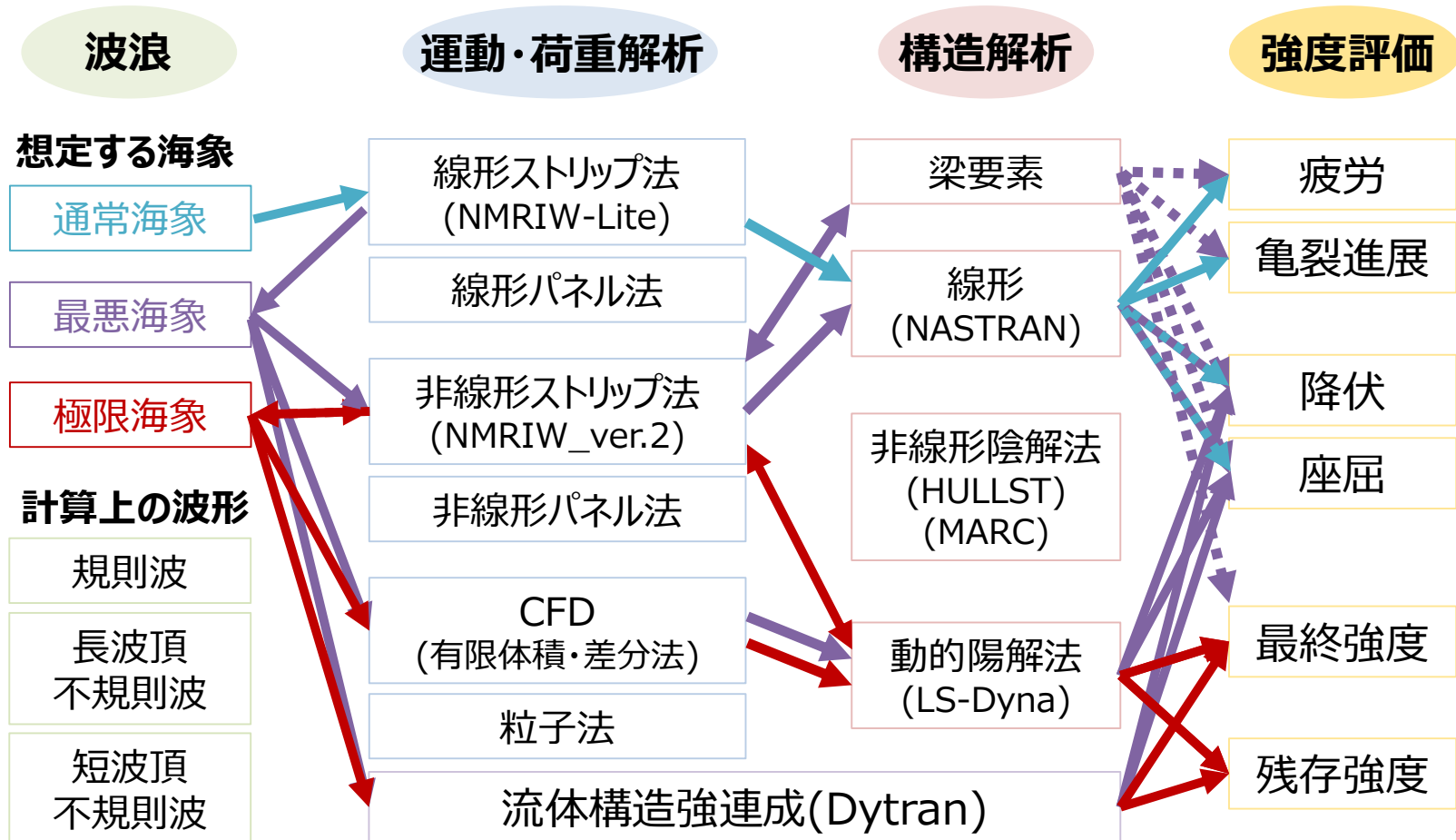


- ・**労力**がかかる
- ・海象や積付条件の設定など、まだ**手段が確立していない部分**が大きい

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

- **N**onlinear **M**otion in **R**egular and **I**rrregular **W**ave
- 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, Hydrodynamic force calculation (STFM, NSM), Watanabe Method, Auto-adjustment of Weight distribution.
- Tables:** A table showing station data (No., Station, Weight Distribu..., Geometrical Mo..., Gravity Center) and a table for Series Calculation Parameter (OP, Froude Number, Linear, Non Linear, OP, Wave Height, OP, Wave Direction, OP, Wave Length R...).
- Check Of Hull Form:** Two windows showing the hull form in the [Body Plane]. The left window shows the hull form with Water Line(m) on the y-axis (0 to 28) and Haft Breadth [m] on the x-axis (A.P., 112, 84, 56, 28, 0, 28, 56, 84, 112, F.P.). The right window shows the hull form with Water Line(m) on the y-axis (0 to 32) and Haft Breadth [m] on the x-axis (20, 15, 10, 5, 0, 5, 10, 15, 20). Both windows include an "Export" button and a "JPG" button.

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

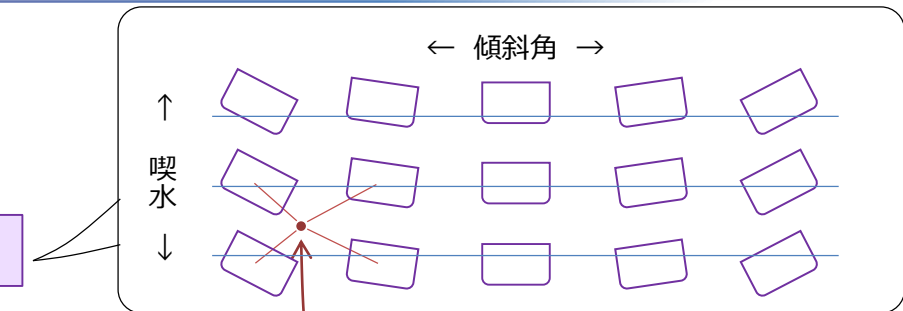
各断面で2次元流体力係数を内挿、
波浪外力及び浮力を計算

長さ方向に積分して3次元流体力に

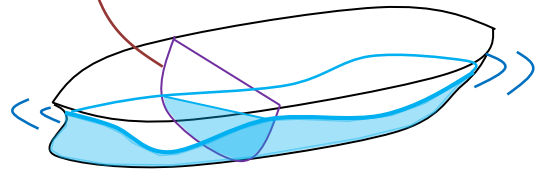
ルンゲクッタで運動方程式を解く

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

時間ステップで繰り返し
波条件で繰り返し

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

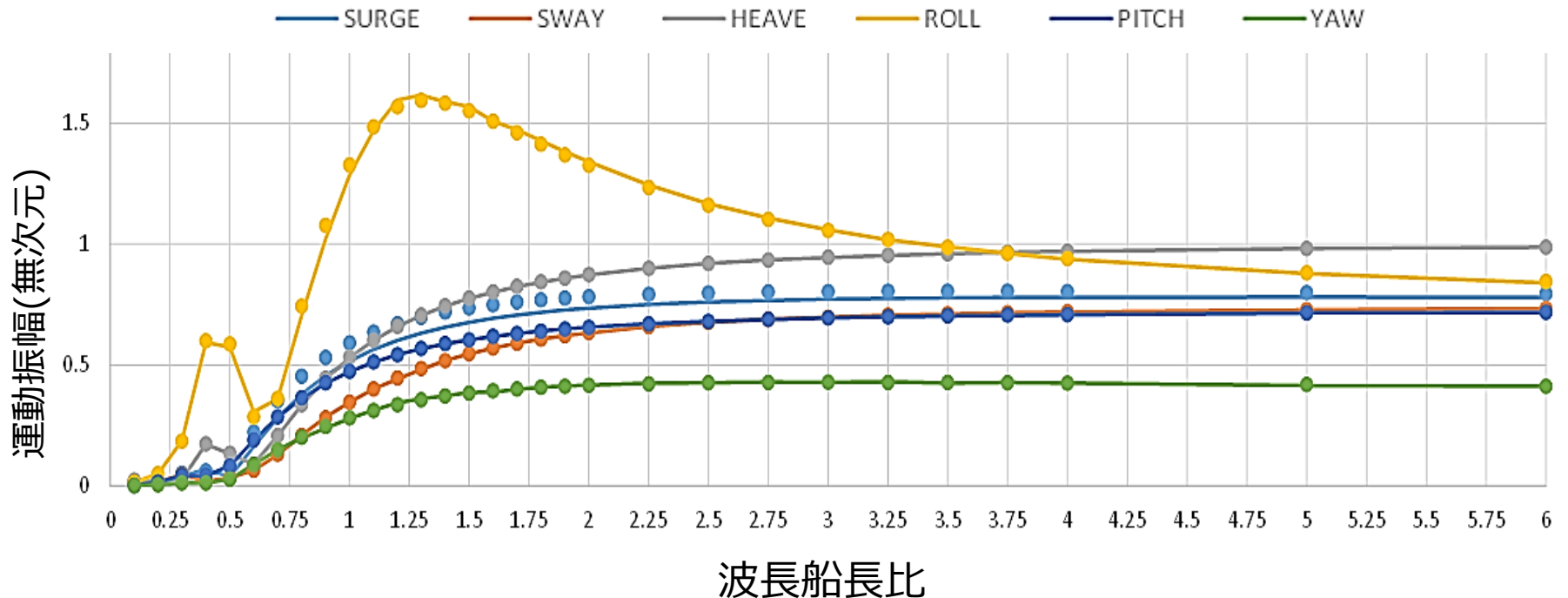
規則波計算

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

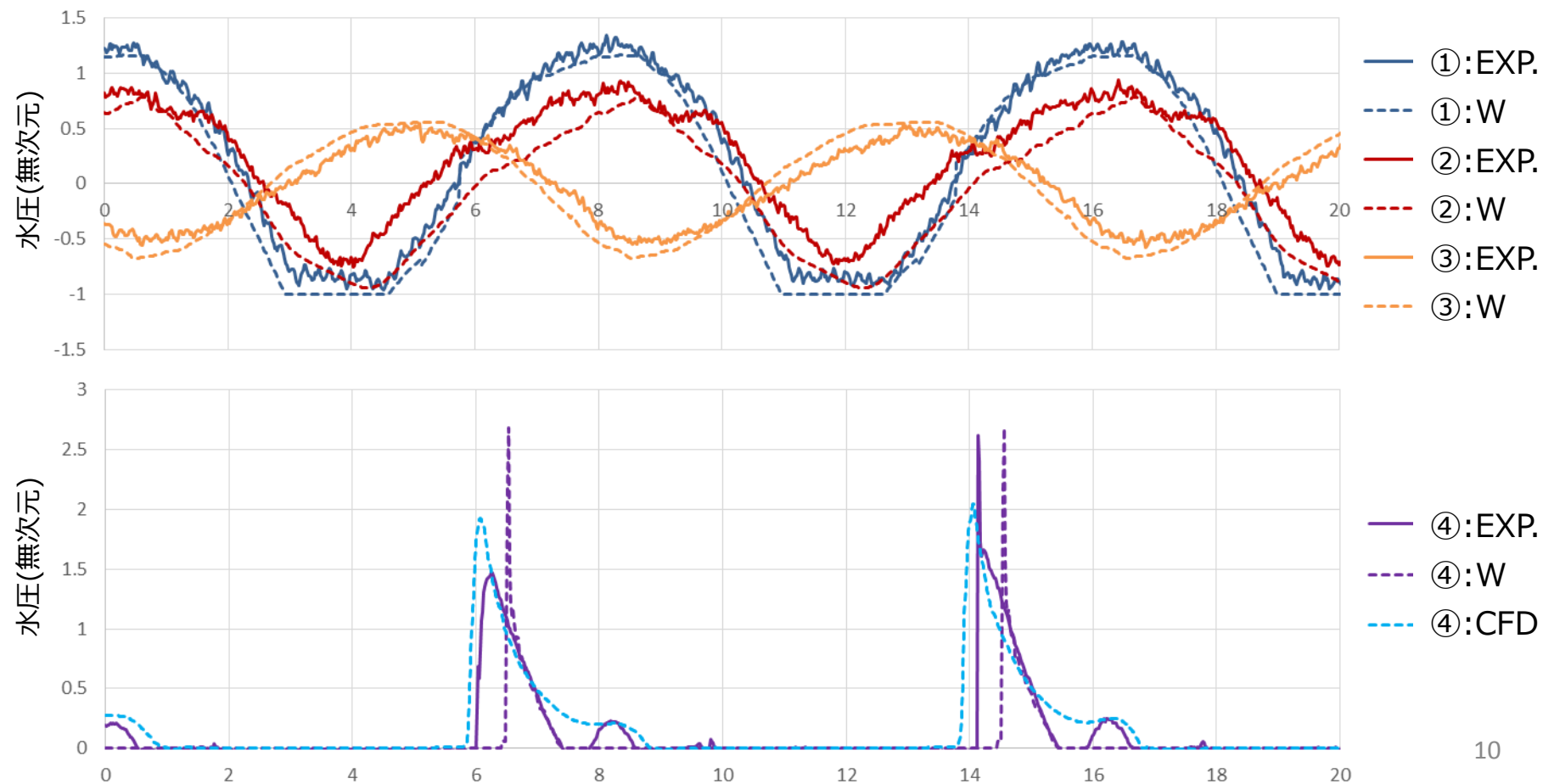
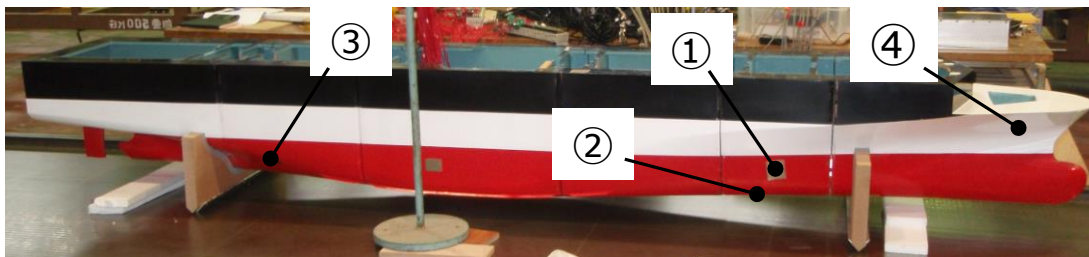
計測項目

- ・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



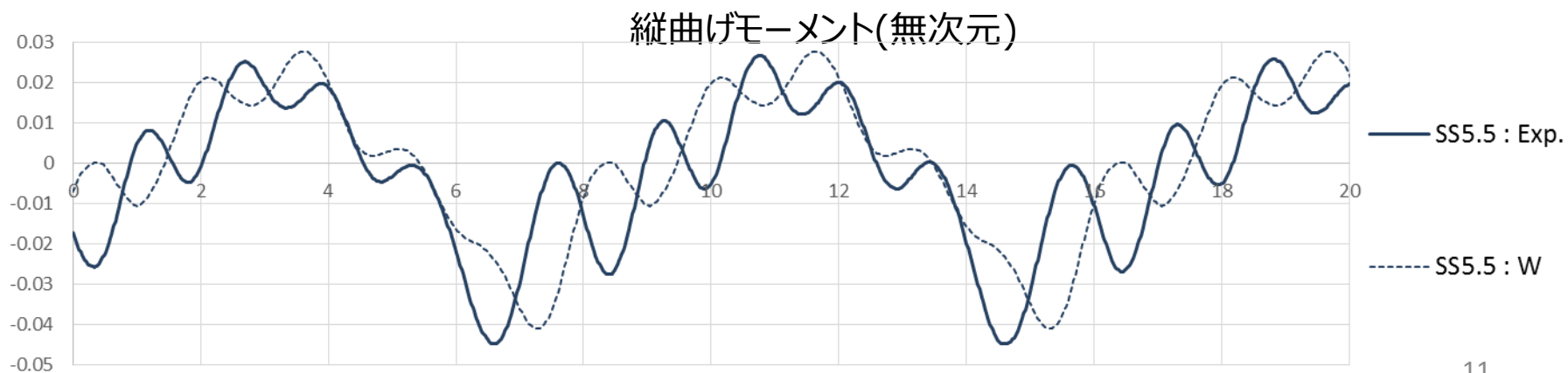
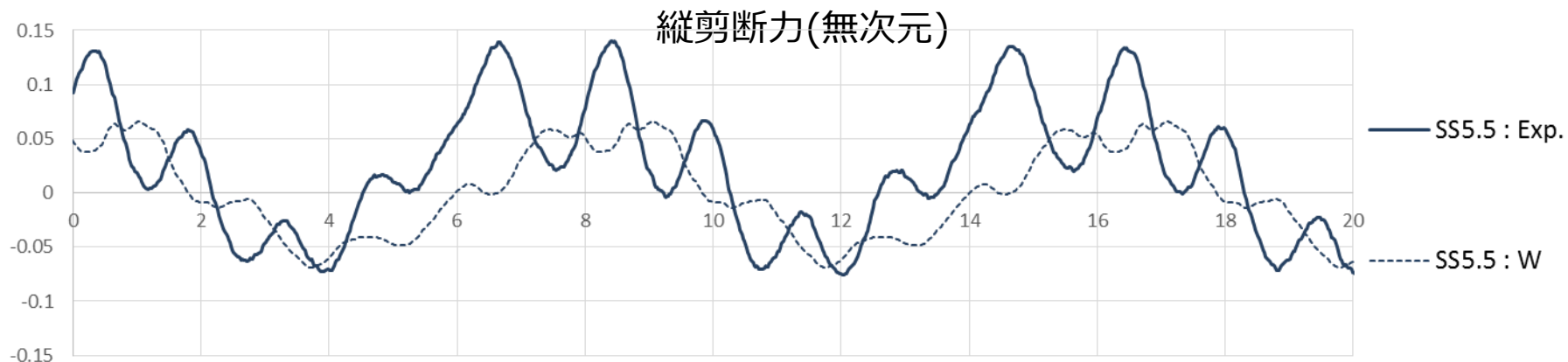
3-2. 実験との比較検証 (規則波中)

・縦荷重の時系列

向い波、波高10m

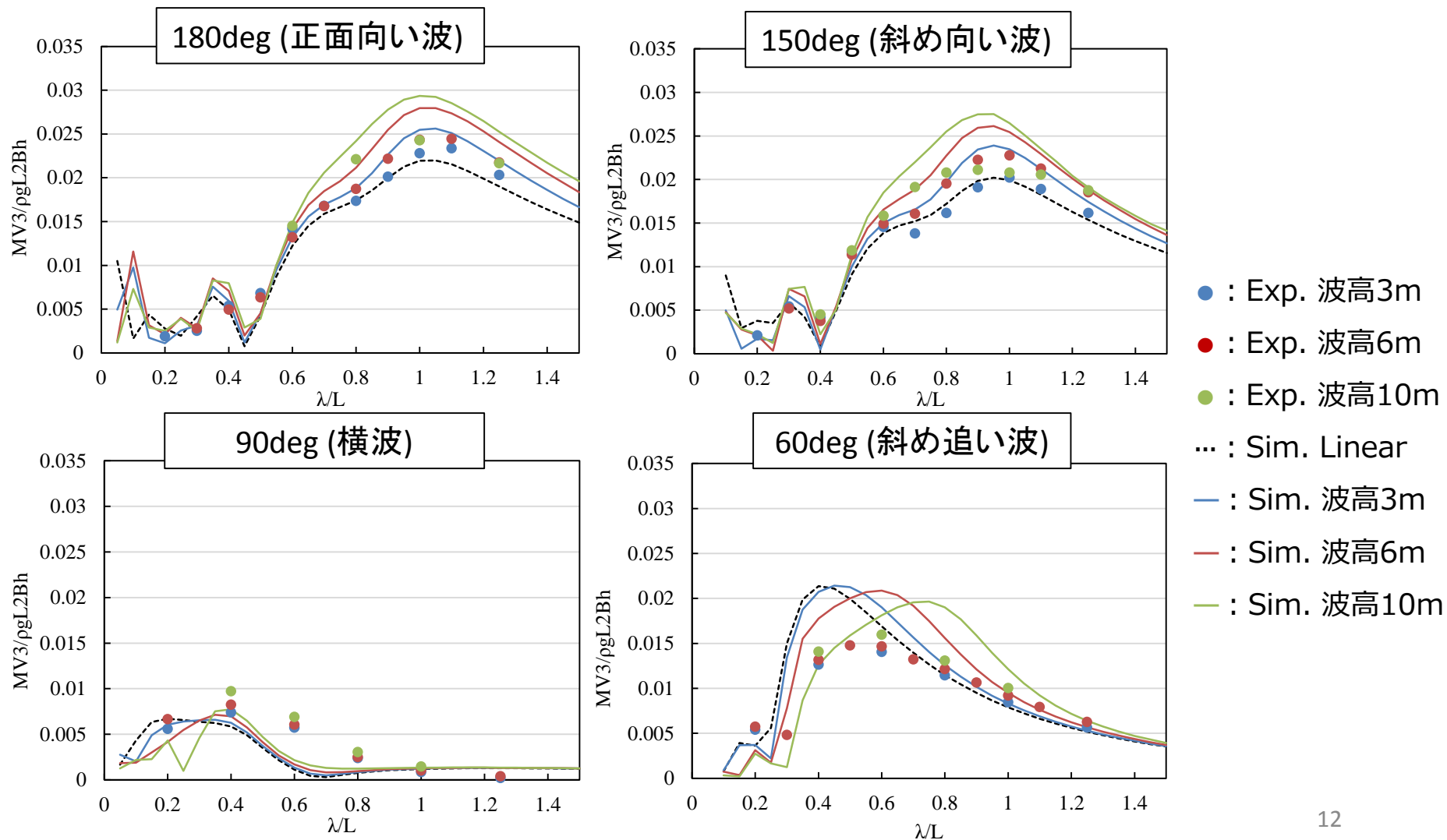
船速15knot

波長船長比0.8



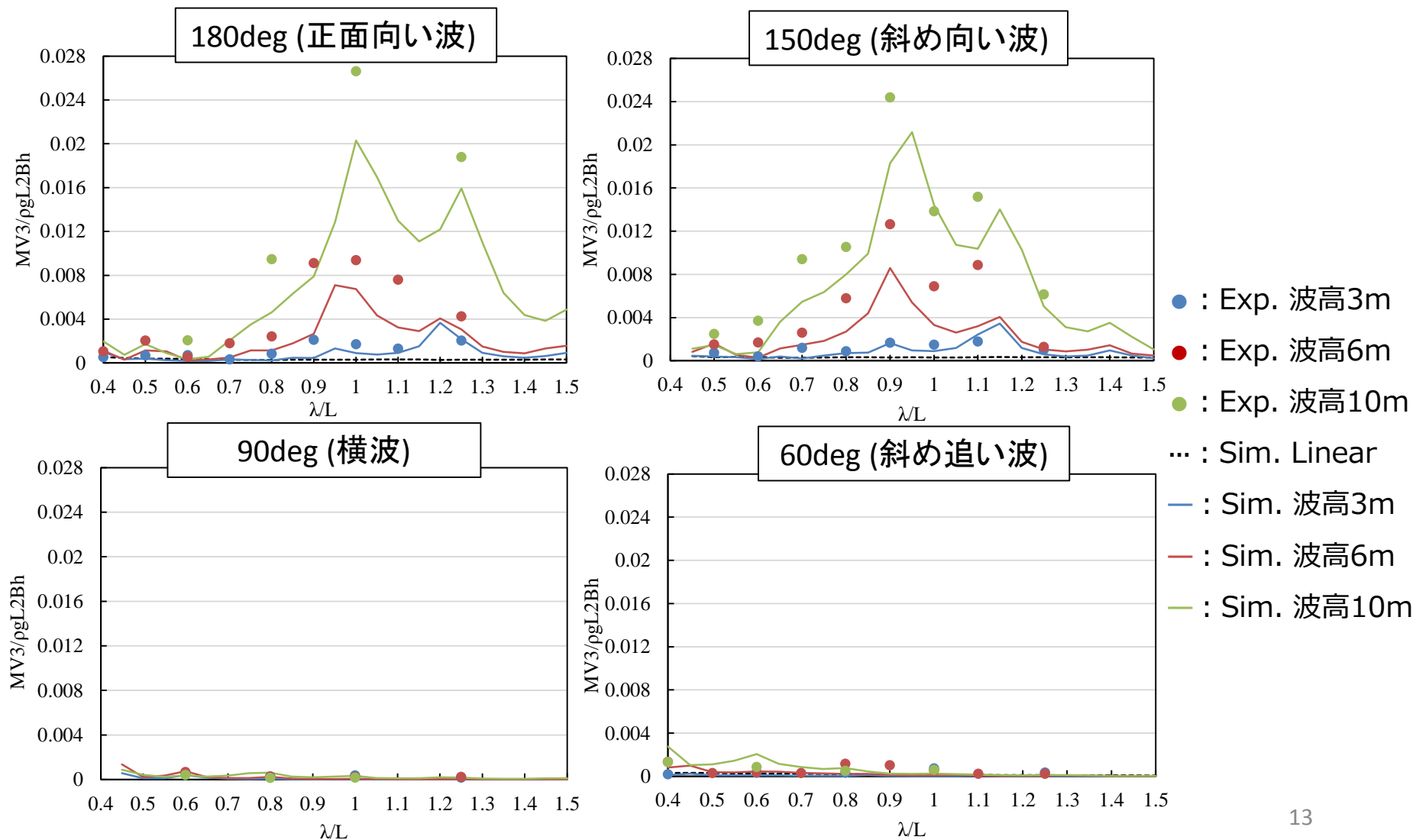
3-2. 実験との比較検証 (規則波中)

・縦曲げモーメントの応答関数 (船速18.4knot)

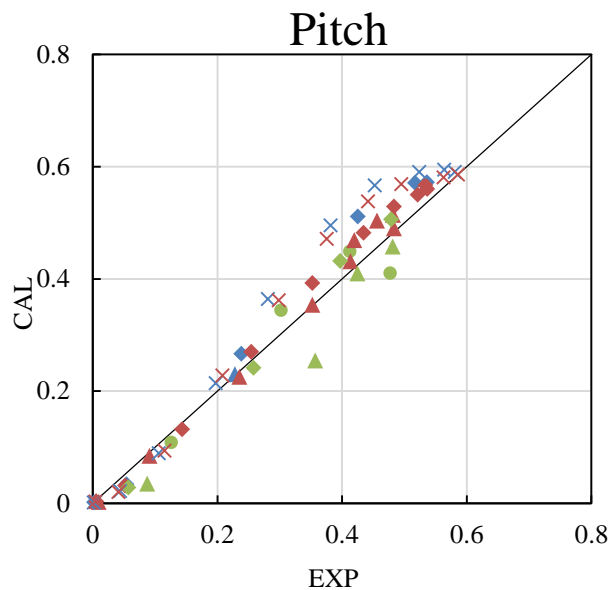
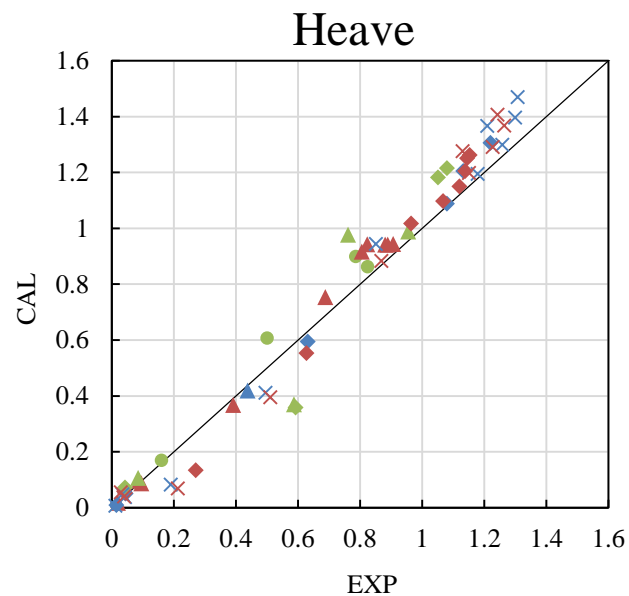


3-2. 実験との比較検証 (規則波中)

・縦曲げモーメントの高周波成分の標準偏差 (船速18.4knot)

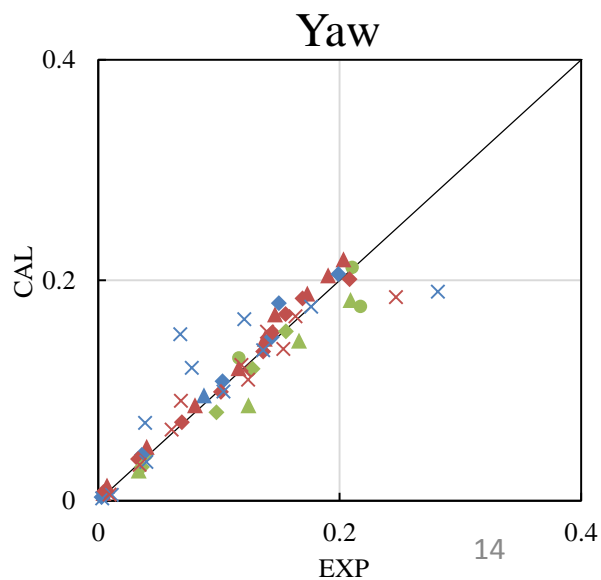
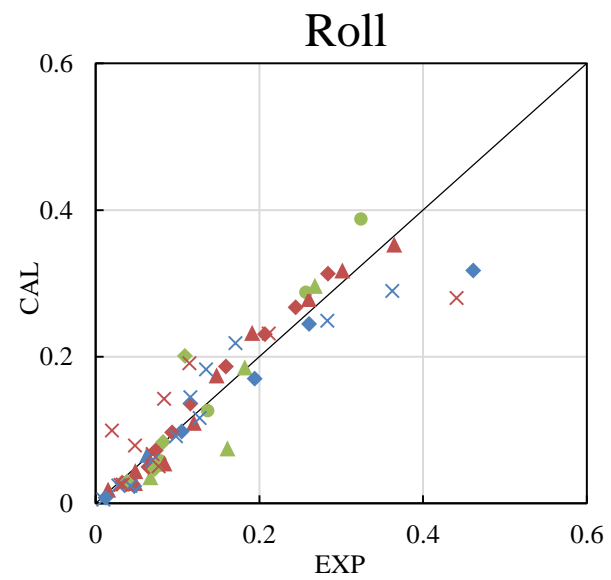
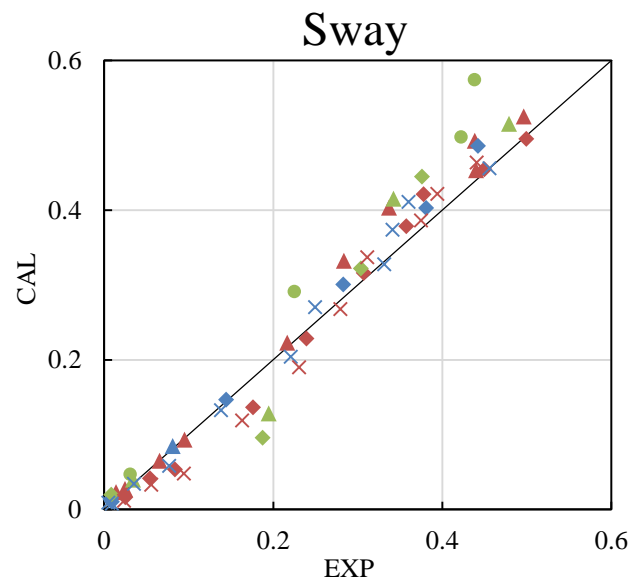


3-2. 実験との比較検証 (規則波中)



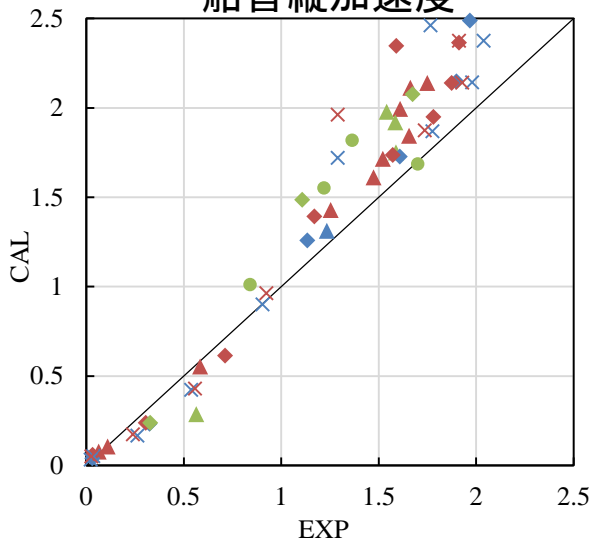
120deg(斜め向い波)

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

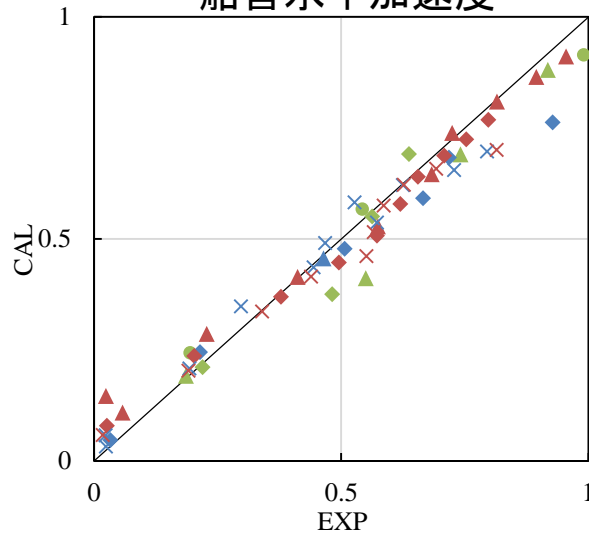


3-2. 実験との比較検証 (規則波中)

船首縦加速度



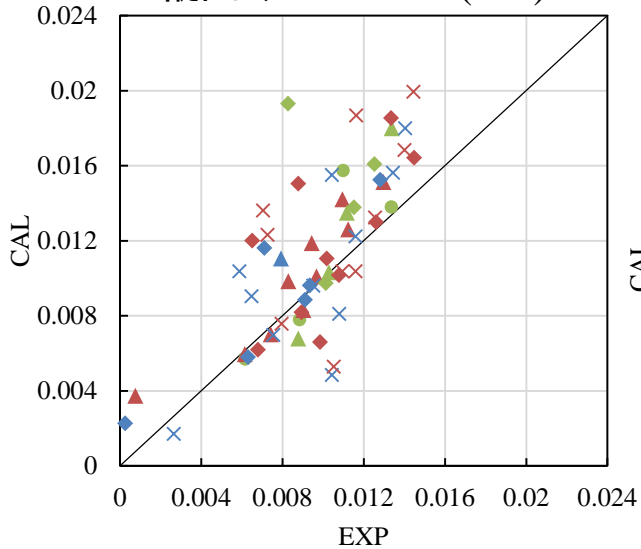
船首水平加速度



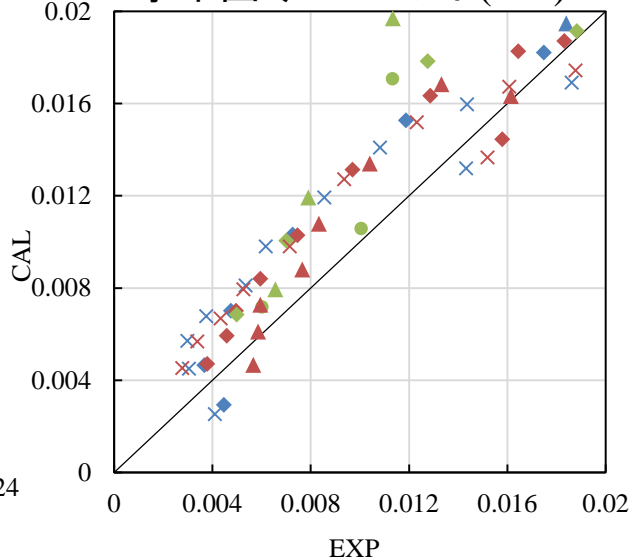
120deg(斜め向い波)

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

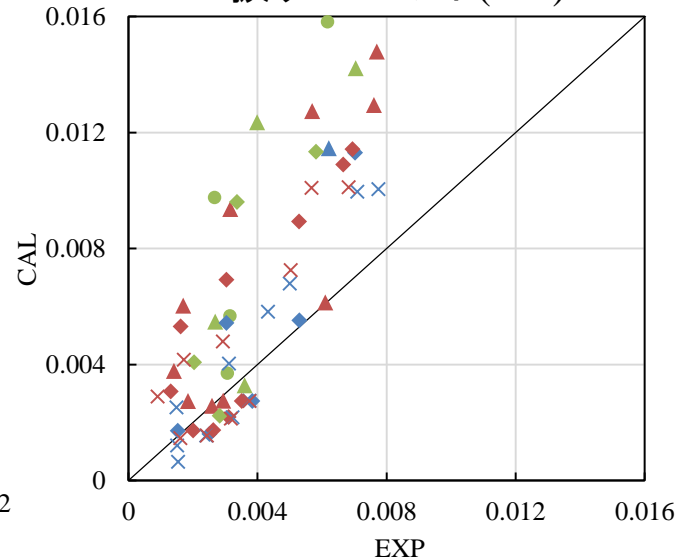
縦曲げモーメント(MS)



水平曲げモーメント(MS)



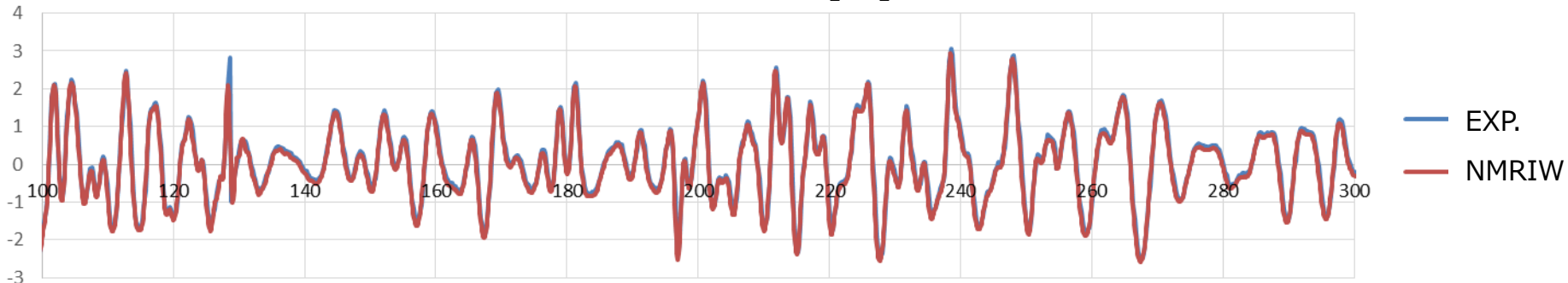
振りモーメント(MS)



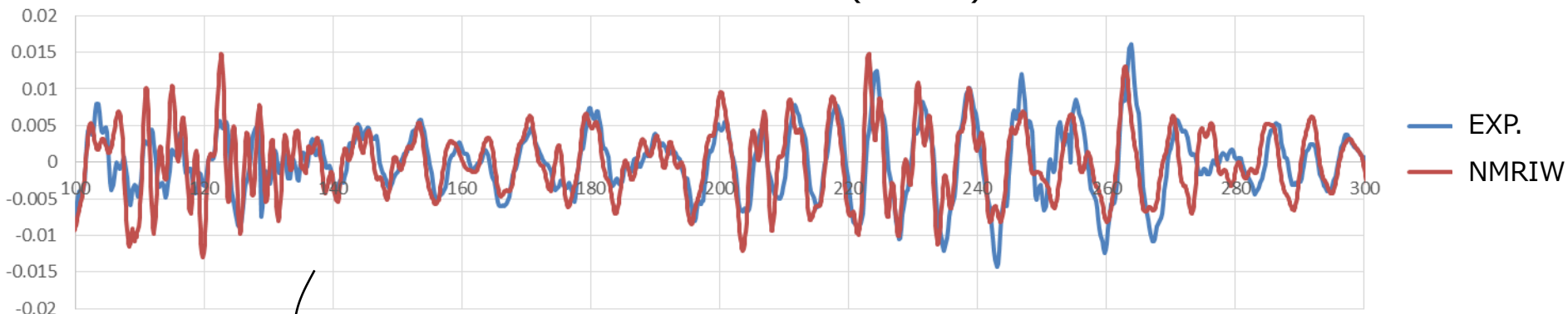
3-2. 実験との比較検証 (不規則波中)

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]



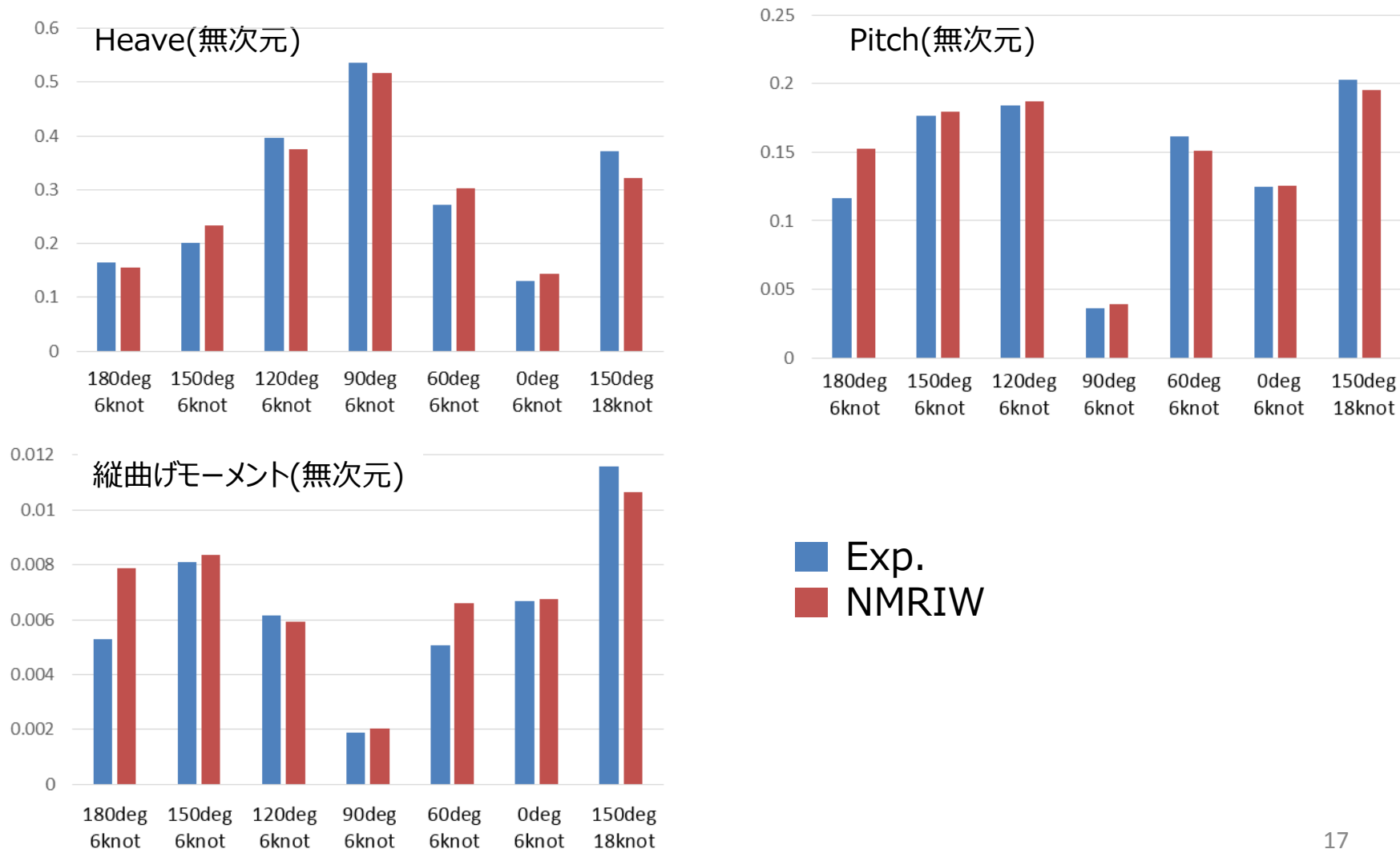
縦曲げモーメント時系列(無次元)



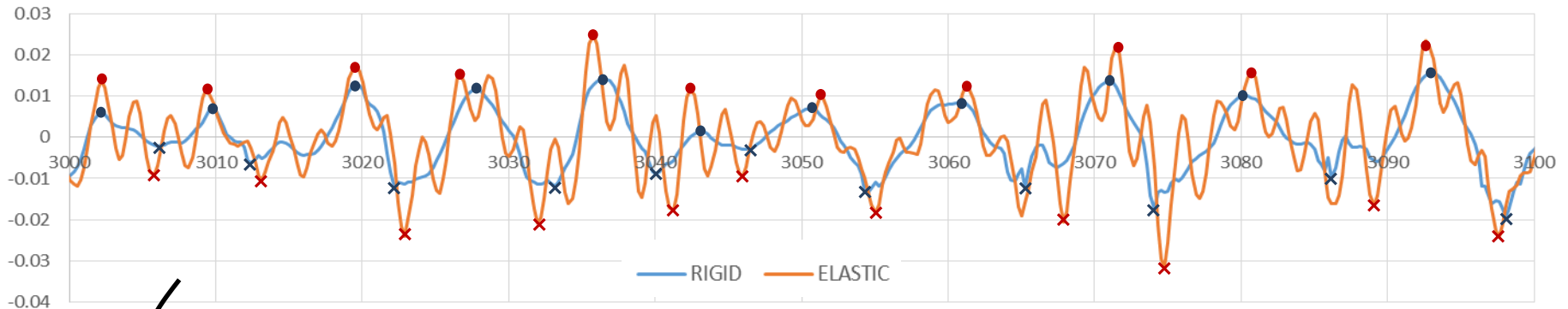
応答 $x(t)$ の標準偏差(RMS) $\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$ を比較

3-2. 実験との比較検証 (不規則波中)

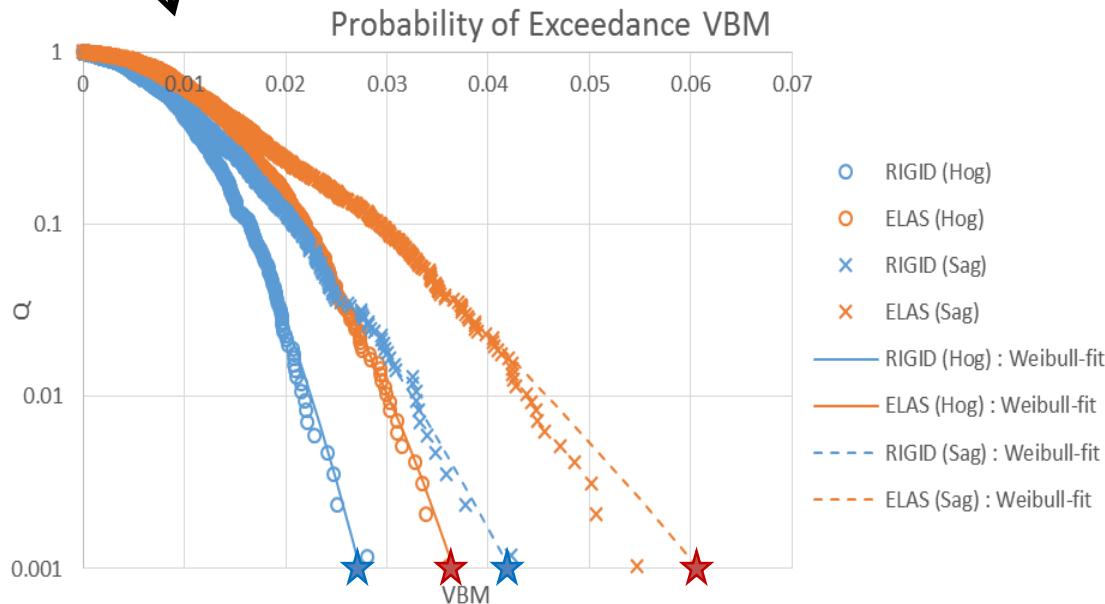
- 標準偏差の比較 (有義波高10m、平均波周期10.5s)



4-1. ホイッピング影響の検証



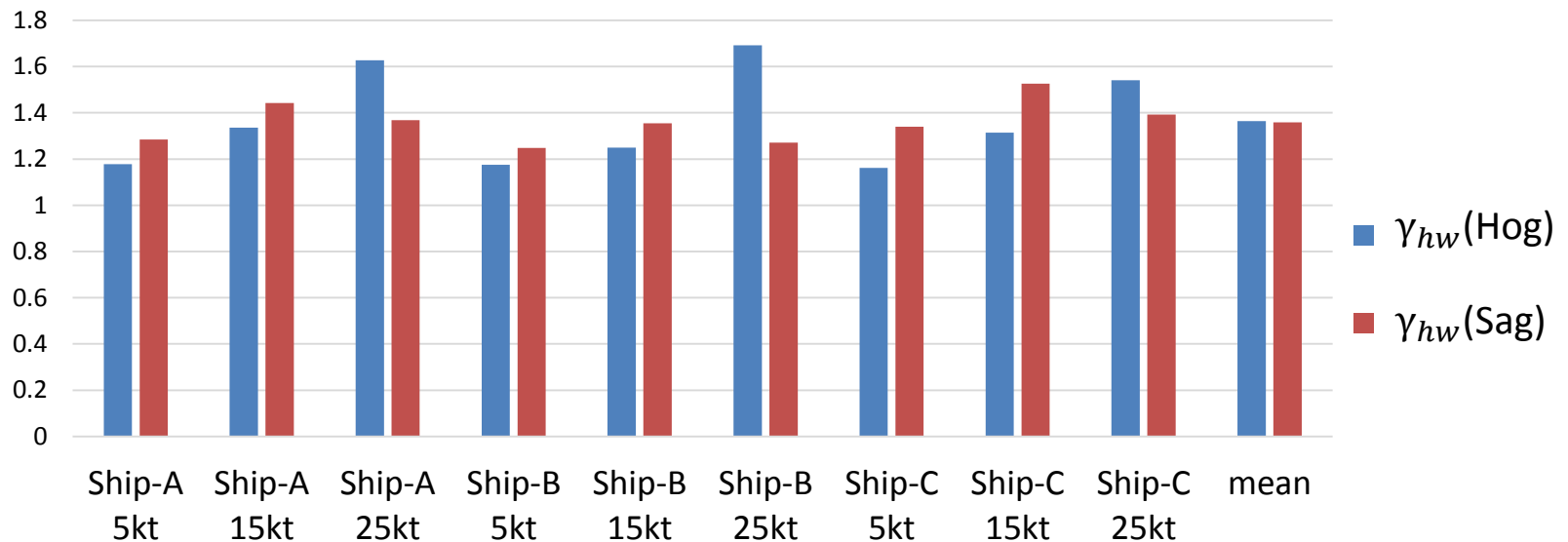
最悪短期海象下の縦曲げモーメントのピーク値を読み取り、
剛体・弾性体のHog・Sagの極値をそれぞれ小さい順に並べる（超過確率分布）



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