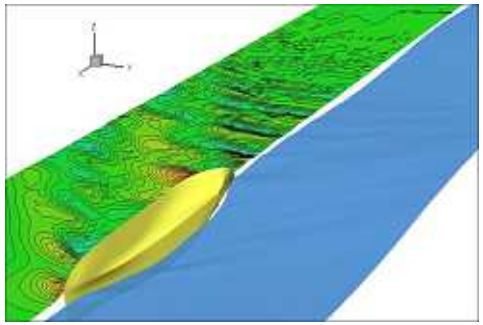
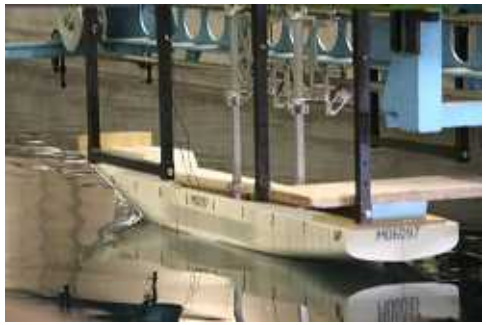
新来島どっくにおける
実海域推進性能向上に関する取組み

株式会社 新来島どっく
技術設計本部 基本設計部 性能チーム　片 岡 史 朗

内 容

- 新来島どっくにおける取組み
- 理論計算法の紹介
- 水槽試験結果の紹介
- 実船への適用





新来島どっくにおける取組み

新来島どっくの特徴

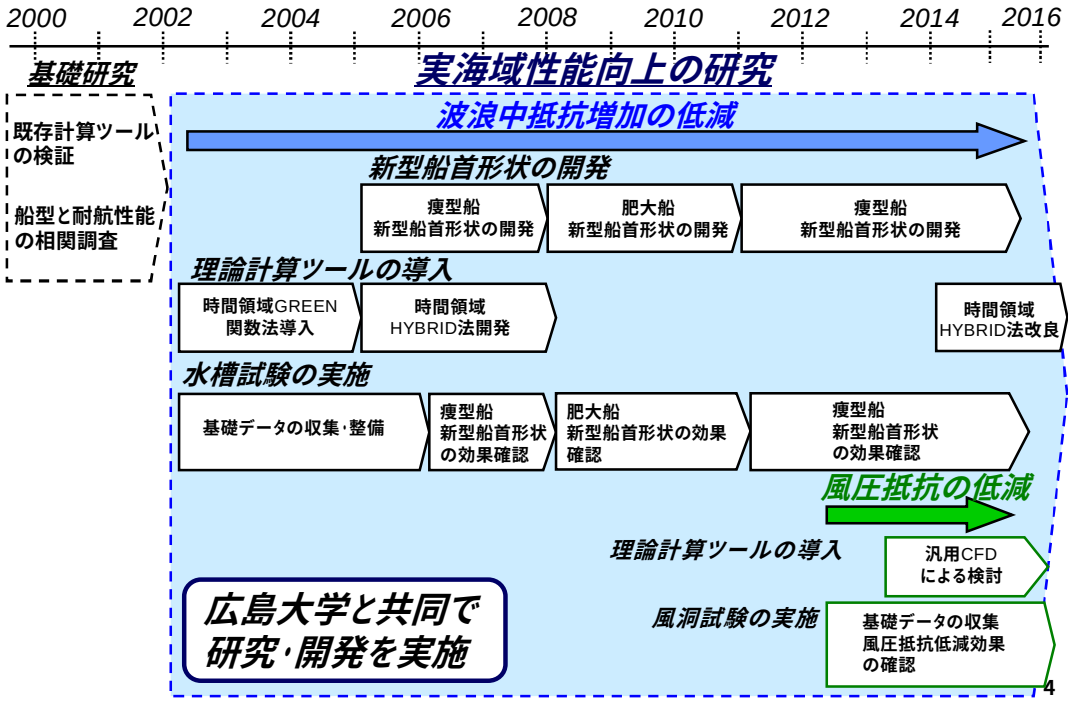
- 4本の建造ドックと4本の建造船台で年間 約40隻を建造
- 特定の船に偏らず、多種多用な船を建造（プロダクトミックス）

主力商品：ケミカル・プロダクトタンカー、自動車運搬船

ターゲット

- Lpp=160～200m、Cb>0.75の中型肥型船（ケミカル・プロダクトタンカー）
  ⇨ *短波長域における波浪中抵抗増加の低減*
- Cb<0.7の痩型船（自動車運搬船）、（Lpp<120mの小型船）
  ⇨ *船体運動低減による波浪中抵抗増加の低減*

新来島どっくにおける取組み



理論計算法の紹介

① ハイブリッド法の概要
② 基礎理論
③ 数値計算結果
④ ハイブリッド法のまとめ

① ハイブリッド法の概要

船舶の波浪中性能推定精度の向上

耐航性能に関する高精度推定の要求

- 波浪外力の高精度推定
- 荒天時運航性能の評価
- 波浪中性能を考慮した船型開発

⇨ ***非線形影響を考慮した新しい実用理論計算法の開発***

実用理論計算の開発

一般商船への適用性
計算時間の制約
非線形条件の導入
⇨ ***3次元時間領域解法 (ポテンシャル理論ベース)***

周波数の制限
斜波中問題への適用
非線形条件適用
⇨ ハイブリッド法

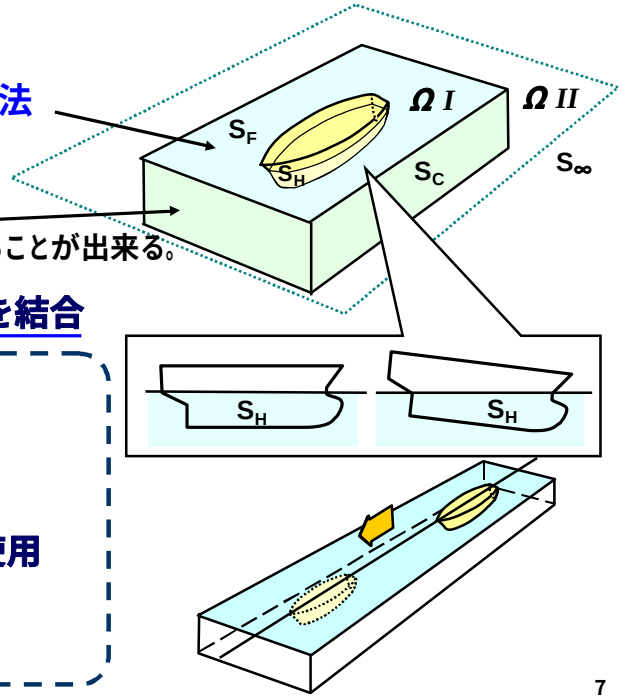
① ハイブリッド法の概要

ハイブリッド法

内部領域 ：ランキンパネル法
非線形境界条件の適用が可能。
(自由表面条件, 船体表面条件)

外部領域 ：Green 関数法
波の放射条件を厳密に満足させることが出来る。
(波の減衰領域が不必要)

仮想境界面(Sc)上で両方法を結合



本ハイブリッド法

船体非線形条件を適用
- *水面下の船体形状変化影響を考慮可能*

空間固定の仮想境界面を使用
- *線積分項が不要*
- *時間微分演算が容易*

② 基礎理論

境界条件式

速度ポテンシャル

$$\begin{cases} \Psi(x,y,z;t) = \phi(x,y,z;t) + \phi_0(x,y,z;t) & \text{in } \Omega_I \\ \tilde{\Psi}(x,y,z;t) = \tilde{\phi}(x,y,z;t) + \phi_0(x,y,z;t) & \text{in } \Omega_{II} \end{cases}$$

$$[L] \quad \nabla^2 \begin{Bmatrix} \phi \\ \tilde{\phi} \end{Bmatrix} = 0$$

$$[F] \quad \left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} + g\frac{\partial}{\partial z}\right) \begin{Bmatrix} \phi \\ \tilde{\phi} \end{Bmatrix} = 0 \quad \text{on } z = 0 \text{ at } t > 0$$

$$[B] \quad \frac{\partial \phi}{\partial n} = V_n - \frac{\partial \phi_0}{\partial n} \quad \text{on } S_H \text{ at } t > 0$$

$$[I] \quad \begin{Bmatrix} \phi \\ \tilde{\phi} \end{Bmatrix} = \frac{\partial}{\partial t} \begin{Bmatrix} \phi \\ \tilde{\phi} \end{Bmatrix} \quad \text{on } z = 0 \text{ at } t < 0$$

$$[C] \quad \phi = \tilde{\phi}, \quad \frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial \tilde{\phi}}{\partial n} \quad \text{on } S_C \text{ at } t > 0$$

積分方程式

内部領域

$$\frac{\partial \phi(P;t)}{\partial n_P} = \frac{\sigma(P;t)}{2} - \iint_{S(t)} \sigma(Q;t) \frac{\partial G_R(P,Q)}{\partial n_P} dS_Q$$

外部領域

$$\frac{\phi(P;\tau)}{2} - \iint_{S_{H(\tau)}} \phi(Q;\tau) \frac{\partial \tilde{G}_R(P,Q)}{\partial n_P} dS = -\iint_{S_{H(\tau)}} \frac{\partial \phi(Q;\tau)}{\partial n_P} \tilde{G}_R(P,Q) ds - \int_{-\infty}^{t} \left\{ \iint_{S_{H(\tau)}} \left[\frac{\partial \phi(Q;\tau)}{\partial n_P} \tilde{G}_W(P,Q;t-\tau) - \phi(Q;\tau) \frac{\partial \tilde{G}_W(P,Q;t-\tau)}{\partial n_P} \right] dS \right\} d\tau$$

核関数

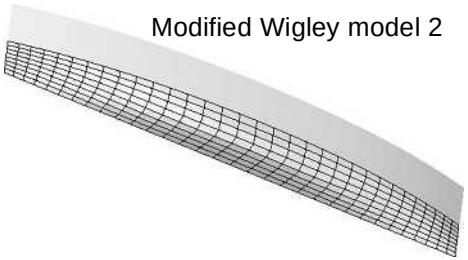
$$G_R(P,Q) = \frac{1}{4\pi r}$$

$$\tilde{G}_R(P,Q;t-\tau) = \frac{1}{4\pi}\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'}\right)$$

$$\tilde{G}_W(P,Q;t-\tau) = +\frac{1}{2\pi}\int_0^\infty \sqrt{gk}\sin(\sqrt{gk}(t-\tau)) e^{k(z+z')} J_0(kR) dk$$

$$\left.\begin{matrix} r \\ r' \end{matrix}\right\} = \sqrt{R^2 + (z \mp z')^2}, R = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}$$

③ 数値計算結果

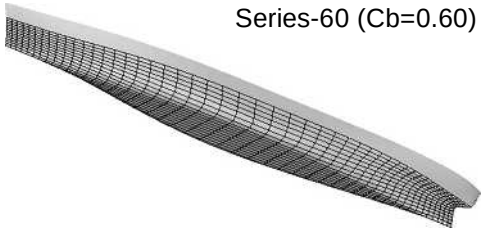


Modified Wigley model 2

NH=512 (32×16)

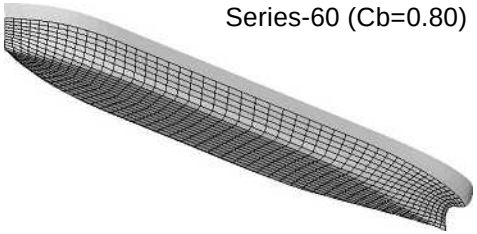
SR108 (Container)

NH=1344(48×28)



Series-60 (Cb=0.60)

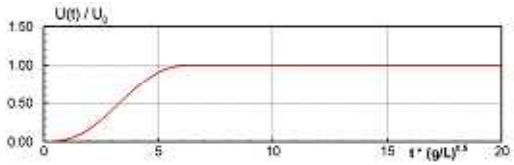
NH=1152(48×24)



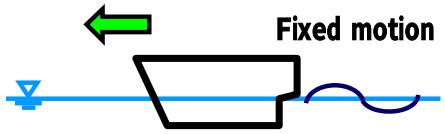
Series-60 (Cb=0.80)

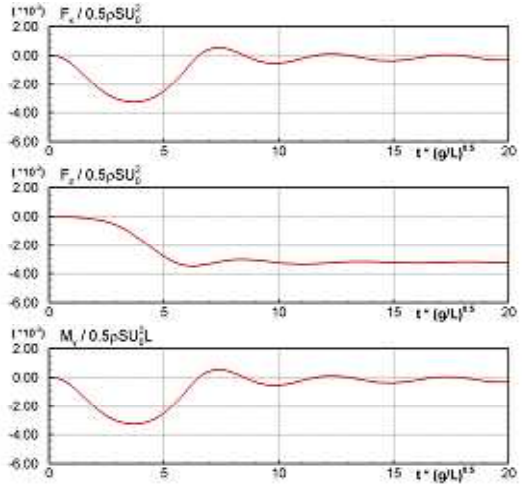
NH=1152(48×24)

③ 数値計算結果 －定常問題－



Contour plots of steady wave around SR108 model

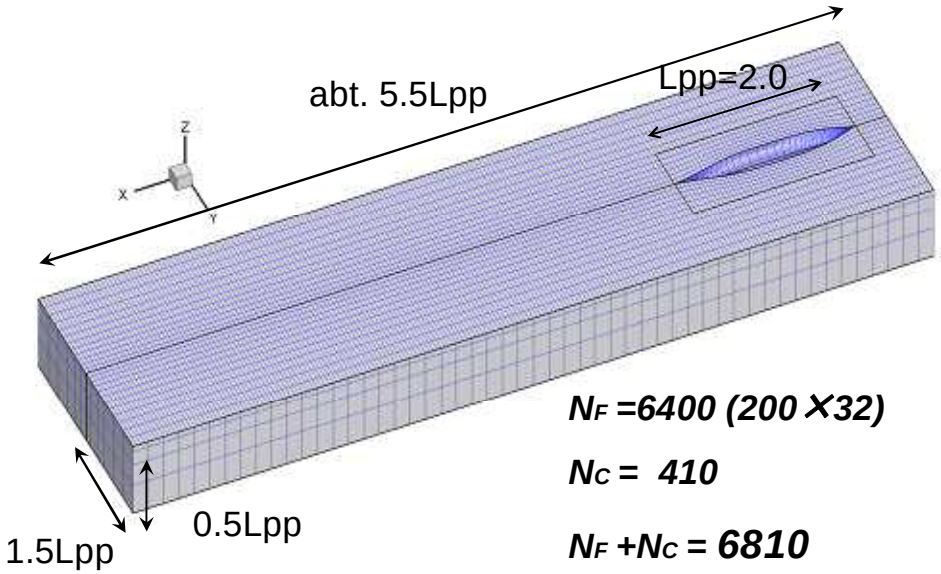




Time histories for Hydrodynamic forces and moment at Fn=0.20

③ 数値計算結果

計算格子

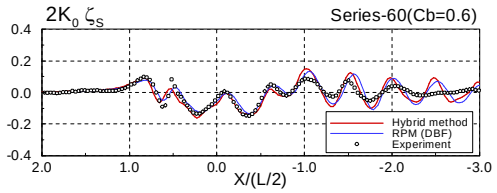


N_F =6400 (200×32)

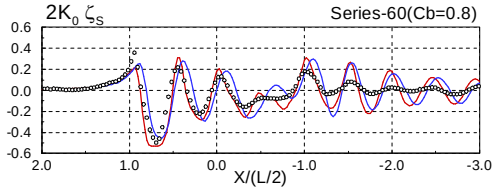
N_C = 410

$N_F + N_C$ = 6810

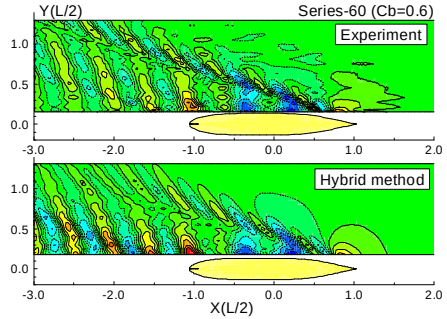
③ 数値計算結果 －定常問題－

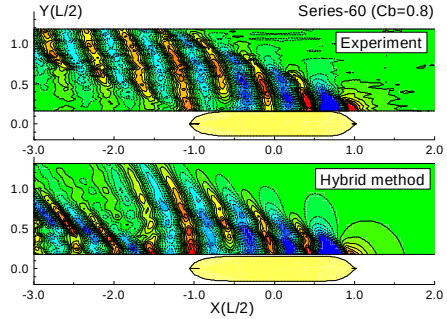


Steady wave profile & contour plots around Series-60(Cb=0.6)



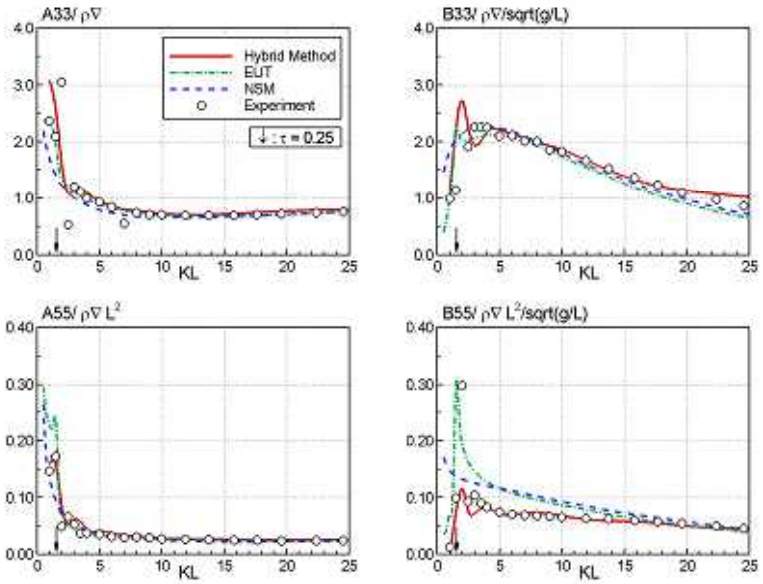
Steady wave profile & contour plots around Series-60(Cb=0.8)





③ 数値計算結果 －Radiation問題－

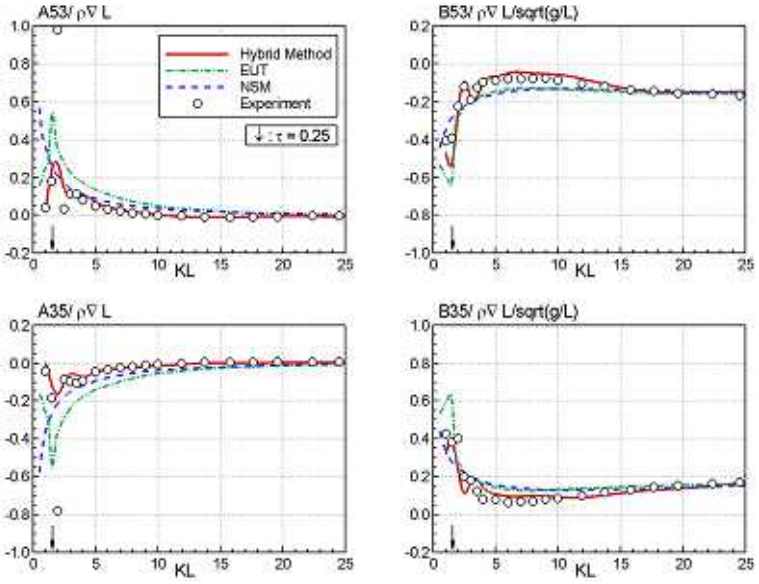
Modified Wigley Model 2



Added mass and damping coefficients for heave and pitch at Fn=0.20

③ 数値計算結果 －Radiation問題－

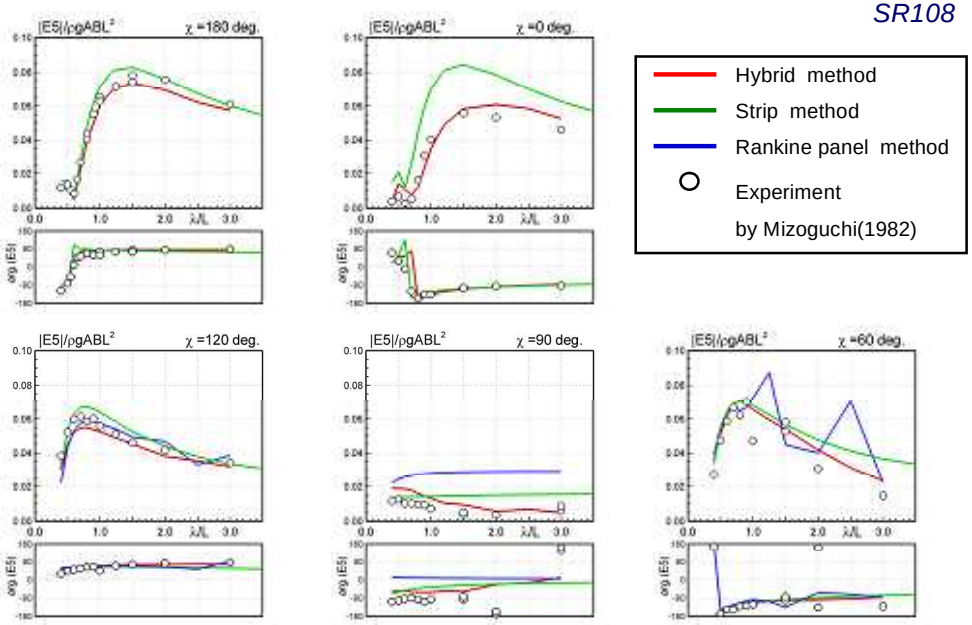
Modified Wigley Model 2



Coupled added mass and damping coefficients between heave and pitch at Fn=0.20

③ 数値計算結果 －Diffraction問題－

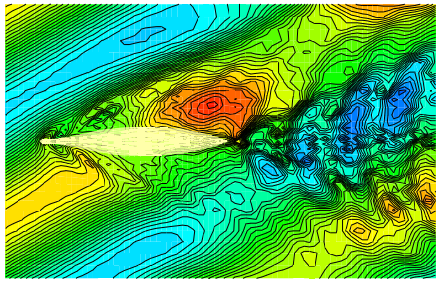
SR108



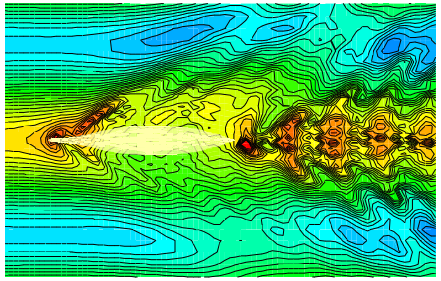
Pitch exciting moments at Fn=0.20

③ 数値計算結果 －Diffraction問題－

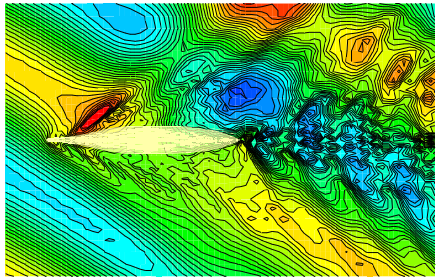
χ =120degs.



χ =90degs.



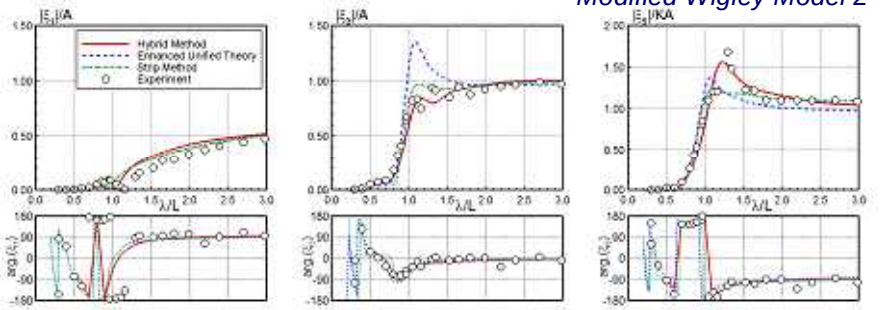
χ =60degs.



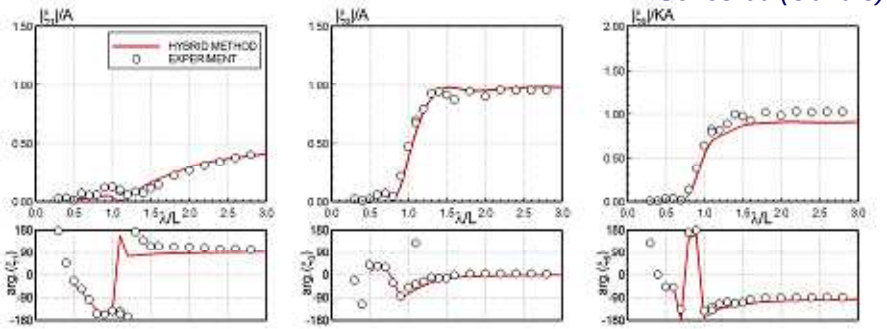
Contour plots of the wave pattern at Fn=0.20, λ/L=1.0, δ=0deg.

③ 数値計算結果　－船体運動－

Modified Wigley Model 2



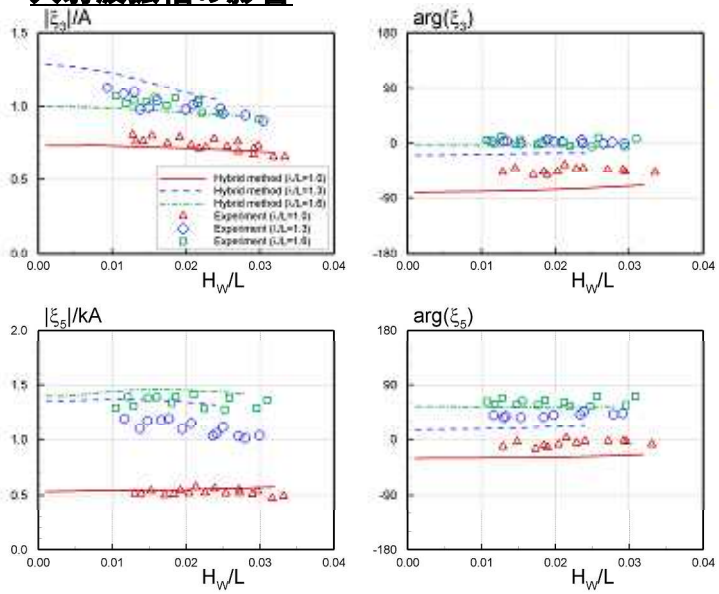
Series-60 (Cb=0.8)



Surge, heave and pitch motions at Fn=0.2 in head wave

③ 数値計算結果　－入射波振幅影響－

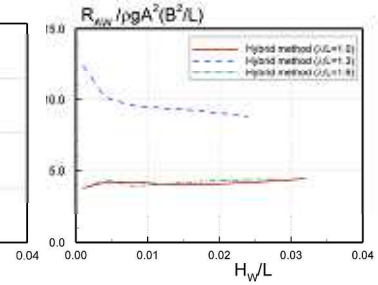
入射波振幅の影響



SR108 (Container)

NH=1344(48×28)

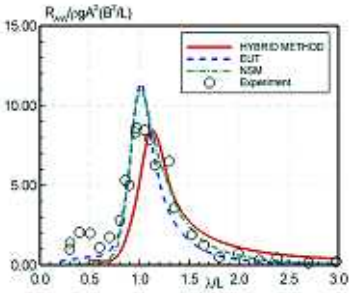
Heave and pitch motions at Fn=0.2 in head wave



Added wave resistance at Fn=0.20 in head wave

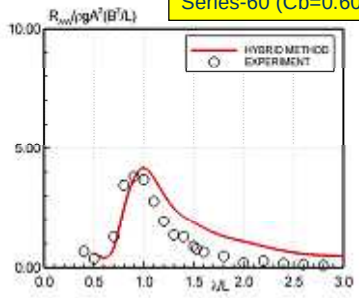
③ 数値計算結果　－波浪中抵抗増加－

Modified Wigley model 2

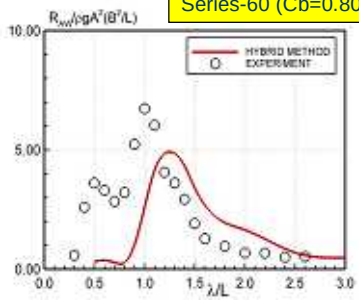


Added wave resistance at Fn=0.20 in head wave

Series-60 (Cb=0.60)



Series-60 (Cb=0.80)



④ ハイブリッド法のまとめ

現 状

- 定常問題、非定常問題に適用が可能
- 放射条件については問題ないレベルで満足されている
  (適用周波数、波向に関する制限なし)
- 流体力、波形、船体運動については高精度の推定が可能
- 痩せ型船について波浪中抵抗増加の推定が可能
- 非線形問題 (Body-nonlinear) への適用が可能
- 計算時間 (1点当り)　Motion fixed 20min～、Motion free 60min～

課 題

- ロバスト性 (肥大船等での計算の不安定化)
- 斜波中の船体運動計算に未対応
- 波浪中抵抗増加の計算精度向上
- プログラムサイズ (32bitOSでは格子数、解析時刻数に制限有)
- 計算時間の短縮

④ ハイブリッド法のまとめ

“ SQUASH”コードの開発

Seakeeping Quality Analysis
by Shin-kurushima and Hiroshima university

時間領域ハイブリッド法をベースとし、船舶設計に適用し得る実用耐航性能計算コードの確立

2014年度～
- 現有コードのロバスト性の改善
- 波浪中抵抗増加計算精度の改善

2015年度～
- トランサム船型への対応
- 斜波中運動計算への対応
- 非線形条件の適用（Weak-scatterer & …）
- 計算時間の短縮化

水槽試験結果の紹介

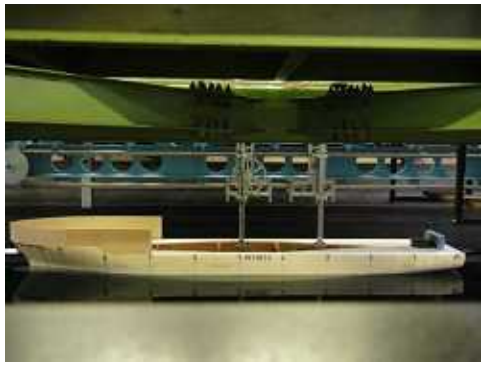
① 水槽試験の概要
② 実施内容
③ 痩型船 新型船首形状の開発
④ 肥大船 新型船首形状の開発
⑤ 水槽試験結果のまとめ

① 水槽試験の概要

実験施設：九州大学応用力学研究所　深海機器力学実験水槽
(長さ 65m ， 幅 5m ， 水深 7m)

供試模型：全長 2m～2.5m　硬質ウレタン性を使用

試験項目：定常試験 ， 波浪中運動計測試験（正面向波　規則波）



② 実施内容

経 緯

2002年～2005年

基礎データの収集
（船種ごとに波浪中性能を検証）
（ブラントネス影響調査）
（フレア角影響調査）

2006年～2007年

痩型船対象　新型船首形状の開発
（対象船：自動車運搬船）
目的：船体運動，波浪中抵抗増加の低減

2008年～2010年

肥大船対象　新型船首形状の開発
（対象船：BULK , TANKER）
目的：短波長域の波浪中抵抗増加低減
船体運動の低減

2011年～現在

肥大船対象　実船への適用
痩せ型対象　新型船首形状の開発
（対象船：コンテナ船、自動車運搬船他）
目的：短波長域の波浪中抵抗増加低減
船体運動の低減

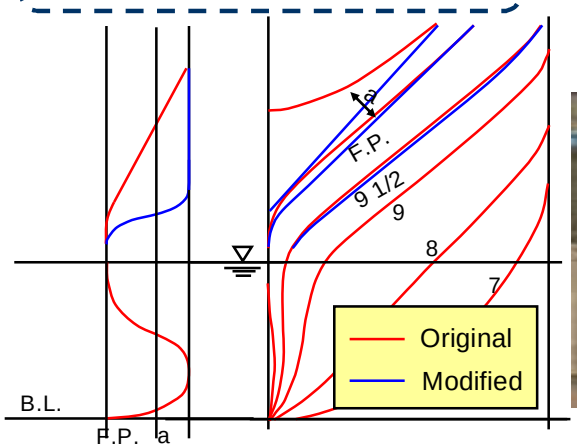
③ 痩型船 新型船首形状の開発

SHIN KURUSHIMA SOMETHING NEW!

試験概要

2006年～2007年

痩せ型船対象　新型船首形状の開発
(対象船：自動車運搬船)
目的：船体運動,波浪中抵抗増加の低減



改良船型
・水面下の形状は同じ
・船首プロファイル形状、
船首フレアー部形状を変更

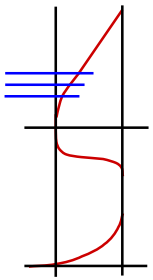
復原力（復原モーメント）の増加により、同調点付近の船体運動低減を図る

④ 肥大船 新型船首形状の開発

SHIN KURUSHIMA SOMETHING NEW!

2008年～2010年

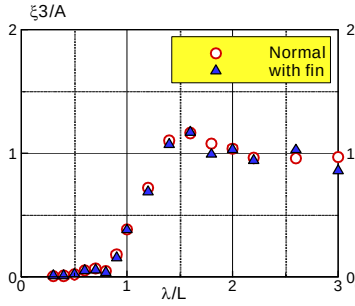
肥大船対象　新型船首形状の開発
(対象船：TANKER , BULK)
目的：船体運動,波浪中抵抗増加の低減

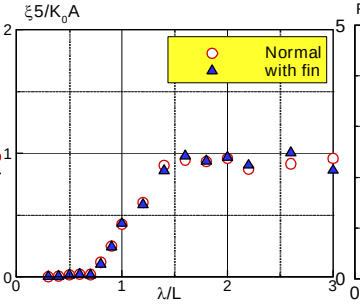


船首水平フィン

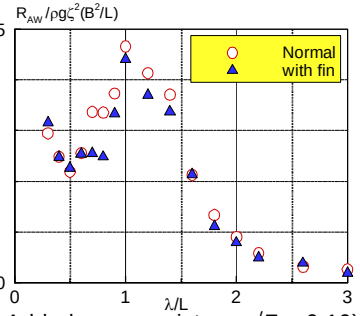
実験:船首水平フィン

⇨ 同調点付近で波浪中抵抗増加減少
短波長域では効果無





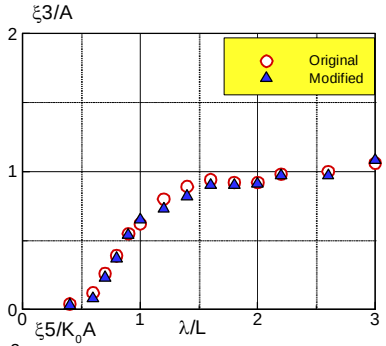
Ship motions(Fn=0.19)

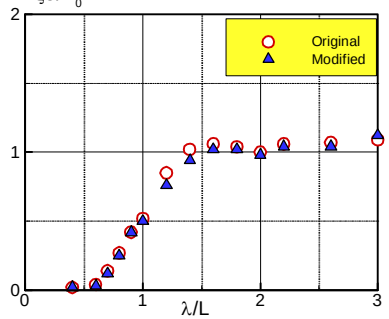


Added wave resistance (Fn=0.19)

③ 痩型船 新型船首形状の開発

SHIN KURUSHIMA SOMETHING NEW!

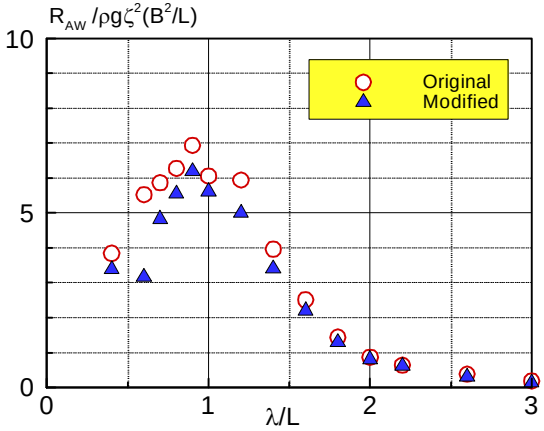




Ship motions(Fn=0.25)

実験結果

・λ/L=1.2～1.6の範囲で運動振幅と
波浪中抵抗増加が減少
・短波長域においても波浪中抵抗増加が減少



Added wave resistance (Fn=0.25)

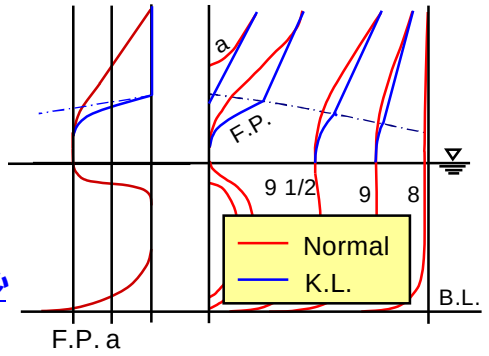
④ 肥大船 新型船首形状の開発

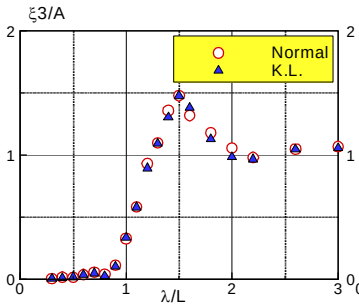
SHIN KURUSHIMA SOMETHING NEW!

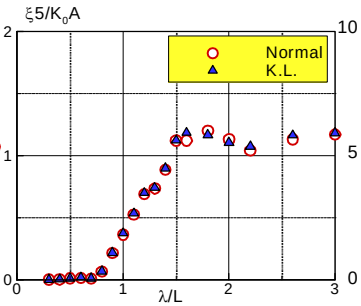
実験:船首Knuckle船型

船型の条件
・水面下の形状は同じ
・水面上の船首端で排水容積が
増加するように船首部分を変更

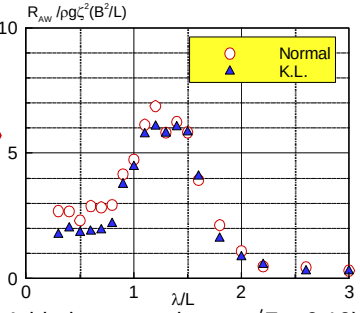
⇨ 船体運動：同調点付近で運動振幅が減少
抵抗増加：短波長域、同調点付近で減少







Ship motions(Fn=0.19)



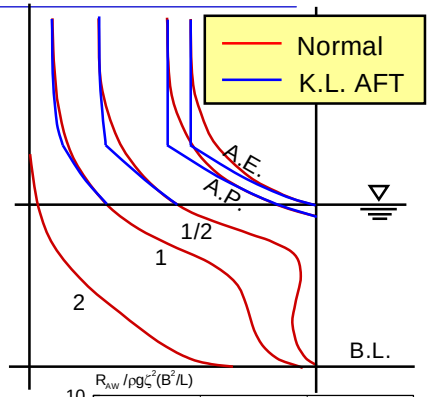
Added wave resistance (Fn=0.19)

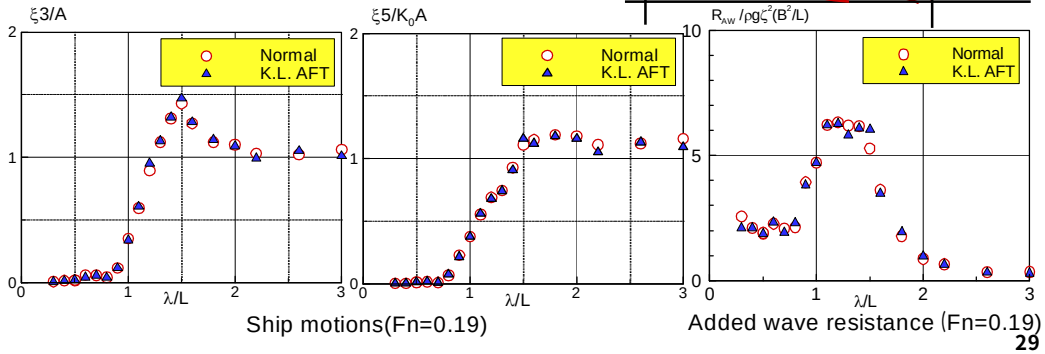
④ 肥大船 新型船首形状の開発

実験:船尾Knuckle船型

船型の条件
- 水面下の形状は同じ
- 水面上の船尾端で排水容積が増加するように船尾部分を変更

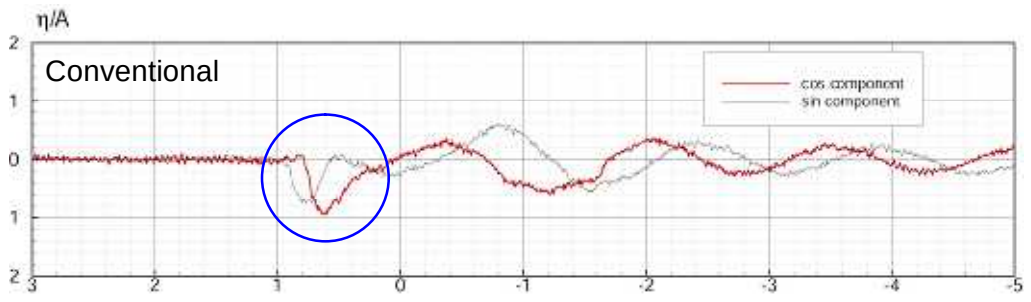
⇨ ***船体運動、波浪中抵抗増加共に変化無し***



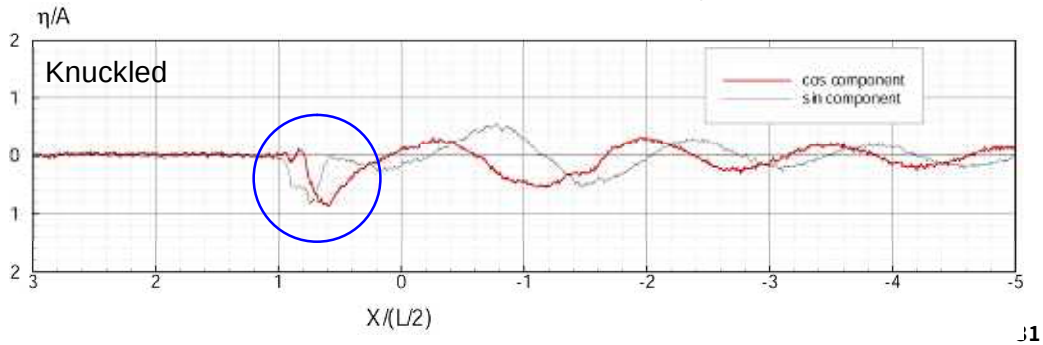


Ship motions(Fn=0.19)　Added wave resistance (Fn=0.19)

④ 肥大船 新型船首形状の開発



F.P.付近の反射波の振幅が小さい



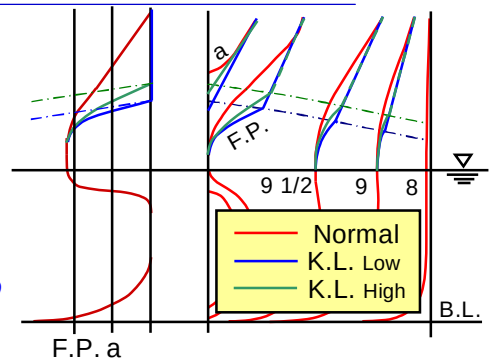
④ 肥大船 新型船首形状の開発

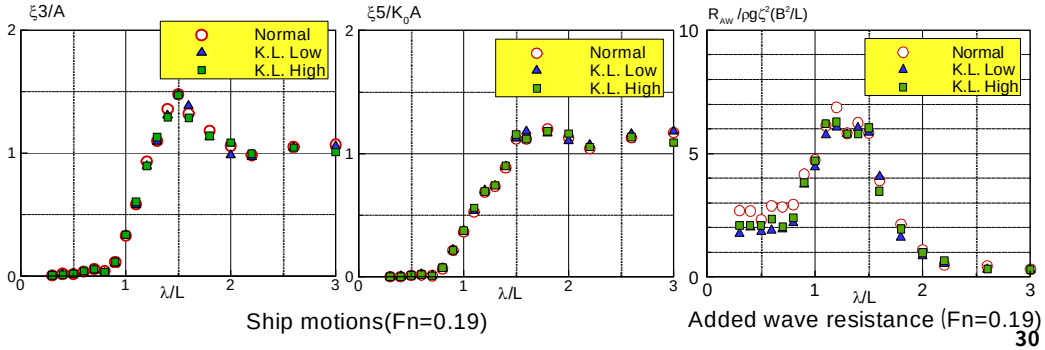
実験:船首Knuckle高さ変更

船型の条件
- K.L. Highを追加

(K.L.の最適形状の検証実験)

⇨ ***K.L. Lowのほうがhighよりも短波長域の波浪中抵抗増加が小さい***





Ship motions(Fn=0.19)　Added wave resistance (Fn=0.19)

⑤ 水槽試験結果のまとめ

- 痩せ型船、肥大船ともに船首フレアー部の形状を変更することで同調点付近の船体運動が低減され、特に短波長域の波浪中抵抗増加が低減することが確認された。
- 肥大船についてはKnuckle形状と高さの変更により船体運動と波浪中抵抗増加の低減効果に違いがあることが確認された。

実船への適用

SK-BOW（Shin-kurushima Knuckled-shape Bow）

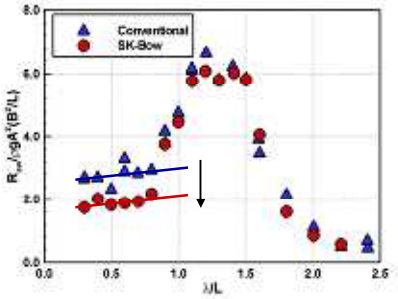
・新来島どっくと広島大学の共同研究により開発された新型の船首形状
・実海域（波浪中）での推進性能を向上
　→燃料消費量の削減CO2等の温室効果ガスの削減

特許取得

通常船型

SK-BOW

Vs=14.5kt、正面向波（規則波）



2011年～現在

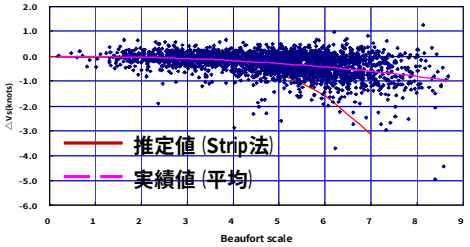
肥大船対象　実船への適用

（TANKER , BULKに適用）

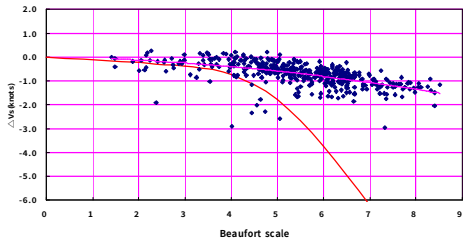
実船への適用

波浪中性能の評価　満載状態

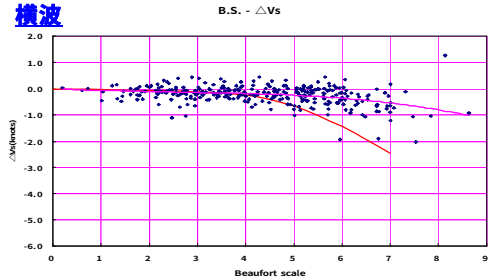
全方位平均



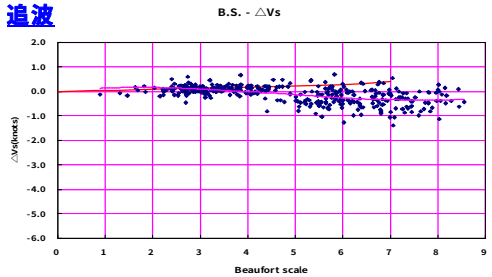
向波



横波



追波



荒天時の船速低下が小さい（特に向波状態）⇒ *SK-Bowによる効果*

実船への適用

BULK CARRIER

まとめ

・実海域推進性能の高精度推定を目的として、ハイブリッド法による理論計算ツールを開発し、その有効性を確認した。
・痩せ型船、肥大船に対し、波浪中抵抗増加を低減させる船首形状を開発し、水槽試験によりその効果を確認した。
・開発した船首形状を実船に適用し、運航モニタリングによりその効果を確認した。

今後の課題

・理論計算ツールの更なる高精度化及び一般船型への適用
・船首形状の改良による更なる実海域推進性能の向上
・SK-Bow適用船の実海域性能評価及び営業活動へのフィードバック

ご清聴ありがとうございました！