

# 新波浪荷重計算システムの開発 (第1報)

## —最新の2次元ストリップ法計算プログラム (NewSTRIP) —

佐々木吉通\*、佐久間達也\*、小林敬幸\*、米家卓也\*

### 1. はじめに

信頼性の高い船体構造や合理的な構造設計を行うため、直接計算により波浪荷重を推定し構造モデルに負荷して構造応答を求める“Design by Analysis”のアプローチが取り入れられてきている。従来、広く使われていた波浪荷重計算法である2次元ストリップ法は、規則波中における船体運動と波浪荷重の推定において実用上十分な精度を有するとされていた。しかし、船舶の大型化によりストリップ法の弱点とされてきた波長船長比 ( $\lambda/L$ ) の小さい、いわゆる短波長域での波浪荷重の推定精度の向上が必要となってきた。計算機の性能向上により、厳密なストリップ手法の実用レベルでの運用が可能となり、任意断面形状に対応できる2次元特異点分布法の実用化や、Diffraction問題を厳密に解き波浪変動圧を導く手法など精度向上への改良が継続されてきた。

近年では、さらにより高い計算精度を求めて、3次元流体力計算法の研究とプログラム開発が盛んとなってきたが、3次元流体力計算法は2次元ストリップ法と比較して膨大な計算時間を要する点是否定できず、実用上、精度の高い2次元ストリップ法計算プログラムの利用価値は高い。

波浪荷重の計算精度向上及び計算の効率化を両立させる実用的な波浪荷重計算システムの構築を目指して、先ず最初に、計算時間も比較的短くてすむストリップ法に最新の改良手法を取り入れた2次元ストリップ法計算プログラム“NewSTRIP”を新たに開発した。

本会ではこれまで船体縦強度トータルシステム<sup>1)</sup>の2次元ストリップ法計算プログラムが利用されていたが、このプログラムに対して NewSTRIP では以下の改良手法を取り入れている。

- 出会い波周波数ゼロ付近での応答の推定精度向上<sup>2)</sup>
- Diffraction potential を用いた波浪変動圧の推定精度向上<sup>3)</sup>
- 組立法による横揺減衰力の精度向上<sup>4)</sup>
- 3次元影響のある短波長域における波浪変動圧の精度向上<sup>5)</sup>
- 横荷重計算における横揺角影響考慮<sup>6)</sup>
- 相対水位計算において Radiation 及び Diffraction による波面上昇を考慮

本稿では NewSTRIP のプログラム機能と、実験及び他

のプログラムとの比較計算結果について報告する。

### 2. 解析プログラムの機能

NewSTRIP は船体運動及び波浪荷重の周波数応答計算を行う部分、周波数応答計算結果を用いて統計予測を行う部分、そして船型データ、解析条件設定及びグラフ出力など入出力を処理する部分から構成される。NewSTRIP のシステムフローを Fig. 1 に示す。

#### 2.1 船体運動・波浪荷重計算機能

NewSTRIP では規則波中における以下の周波数応答関数を求める事ができる。

- 各ストリップ断面における波浪変動圧
- 各ストリップ断面における3自由度の波浪外力
- 全体重心周りの6自由度波浪外力
- 全体重心周りの6自由度運動変位
- 任意点での3自由度加速度
- 任意点での相対水位
- 船体任意断面のハルガーダ断面力
- タンク内圧及び内外圧差 (液状貨物: SR207 法<sup>7)</sup>、粒状貨物: SR228 法<sup>8)</sup>)

波浪中の船体運動及び波浪荷重計算のため NewSTRIP は、ストリップ法としては最も精度の高い STF (Salvesen-Tuck-Faltinsen) 法<sup>9)</sup>を標準として採用し、さらに既述の改良手法を取り入れて計算精度及び安定性の向上を図っている。

なお、プログラムとしては、既述の最良と思える手法の他に、従来用いられてきた手法も選択可能となっている。

Table 1 に選択可能な手法の一覧を示す。

Table 1 Analysis methods selectable in NewSTRIP

Strip method	NSM / STFM <sup>9)</sup>
Velocity potential	Lewis form / 3-parameters LF / close-fit
Non-linear roll damping	none / structured estimation <sup>4)</sup> / N coefficient
Wave pressure	Tasai / Watanabe <sup>3)</sup>
Other improvements	3D effect for diffraction pressure <sup>5)</sup> (on/off) Shinkai's correction <sup>6)</sup> (on/off)

\* 情報技術部

## 2.2 統計予測機能

短期予測に用いる波スペクトルは、ISSC、Bretschneider、JONSWAP 及び Ochi-Hubble のスペクトルから選択可能である。短波頂波に対する方向分布関数は、通常用いられる  $\cos^2$  乗分布または  $\cos^4$  乗分布が選択できる。

長期予測に用いる波浪発現頻度データは、IACS standard wave data<sup>10)</sup>を標準とし、BMT (British Maritime Technology Ltd.)の Global Wave Statistics (GWS)<sup>11)</sup>の各季節別の海域データ、更に海域データを予め組み合わせ作成した全世界の標準的な 21 の航路データから選択できる。また船舶技術研究所 (現:海上技術安全研究所)による北太平洋の波浪統計データ<sup>12)</sup>を用いて、データの種別 (Ship、Buoy、Hind cast) 毎に海域指定、季節指定をすることができる。その他 Walden の北大西洋波浪データやユーザ自身で作成した波浪頻度データでの計算も可能である。

## 2.3 入出力機能

NewSTRIP は操作性向上と幅広い稼働環境確保のため、Windows 上で動作する GUI (Graphical User Interface) ベースのプログラムとして開発を行った。種々の機能を GUI を介して指定して利用でき、入出力についても GUI を介して柔軟かつ容易に処理できる。さらに過去に行った計算の入力及び計算結果データを全てシステム内のデータベースに蓄積することにより、積付条件や解析条件を変更した再計算を容易にし、計算の効率化を実現している。(Fig. 1 を参照。)

Fig. 2 に、NewSTRIP の操作画面と計算結果の画面例を示す。Fig. 2a は、船型データを 3D 表示し、データ入力ミスがないか確認する画面である。Fig. 2b は計算条件、解析手法を選択する画面である。解析条件及び手法をラジオボタン、チェックボックスで指定することができる。Fig. 2c は船体中央部の波浪中縦曲げモーメントの応答関数 (RAO) を入射波の出角をパラメータとして描画した例である。図中の画面右側に見える出力リストボックスを操作することにより簡単に異なる船速、異なる断面位置でのモーメントを次々と表示することができる。Fig. 2d は、

波浪変動圧の RAO の船長方向分布を波向をパラメータとして表示した例である。Fig. 2e は波浪変動圧の長期予測計算による超過確率分布図を示す。また波浪変動圧においては任意断面内の分布をグラフ表示することができ、Fig. 2f に超過確率レベル  $10^{-8}$  値における断面内分布を示す。各グラフデータは、MS-Excel 用のテキストファイルに出力でき、結果の整理及び加工を容易にしている。

## 2.4 他システムとの連携

NewSTRIP は、荷重計算から構造解析、強度評価への一貫した解析評価システム PrimeShip-ASSAS<sup>13),14)</sup>の一部として、荷重計算結果を荷重変換システム LINKSTAT (Link and Statistical Analysis) のファイル形式で出力することができる。これにより NewSTRIP による直接荷重計算結果を構造モデルに負荷した構造解析が行える。PrimeShip-ASSAS のシステムフローを Fig. 3 に、直接荷重計算結果を構造モデルへ負荷している荷重変換システム LINKSTAT の画面例を Fig. 4 に示す。

その他、縦強度トータルシステムの船体運動計算プログラムの入力データと、船舶性能計算プログラム IPCA<sup>15)</sup>のデータを取り込むことが可能で、過去のデータ資産を生かせる配慮がなされている。

## 3. 数値計算と実験結果との比較

2 種類の異なる船型、VLCC 船型とコンテナ船型の模型実験結果について NewSTRIP による計算結果を比較検討した。VLCC 船型の模型実験<sup>16)</sup>は、本会、東京大学、海上技術安全研究所及び日本造船技術センターによる共同実験として、またコンテナ船型の模型実験<sup>17)</sup>は本会及び東京大学による共同実験として行われたものである。実験に用いられた模型船の主要目を Table 2 に示す。さらに、2 つの異なるストリップ法計算プログラムによる計算結果との比較も行った。プログラム A は、ストリップ法に NSM を採用している点を除き NewSTRIP と同じであり、プログラム B は、本会の縦強度トータルシステムに含まれる船体運動計算プログラムであり従来の手法を用いている。比較

Table 2 Particulars of model ships

	Length ( $L_{pp}$ ) [m]	Breath [m]	Depth [m]	Draft (mean) [m]
VLCC	4.500	0.793	0.390	0.285
Container	5.000	0.617	0.406	0.214

Table 3 Calculation method of ship motion analysis programs for comparison

	Strip method	Potential	Wave pressure	Non-linear damping
NewSTRIP	STFM	close-fit	Watanabe's method	structured estimation
Program A	NSM	close-fit	Watanabe's method	structured estimation
Program B	NSM	Lewis form	Tasai's method	N coefficient

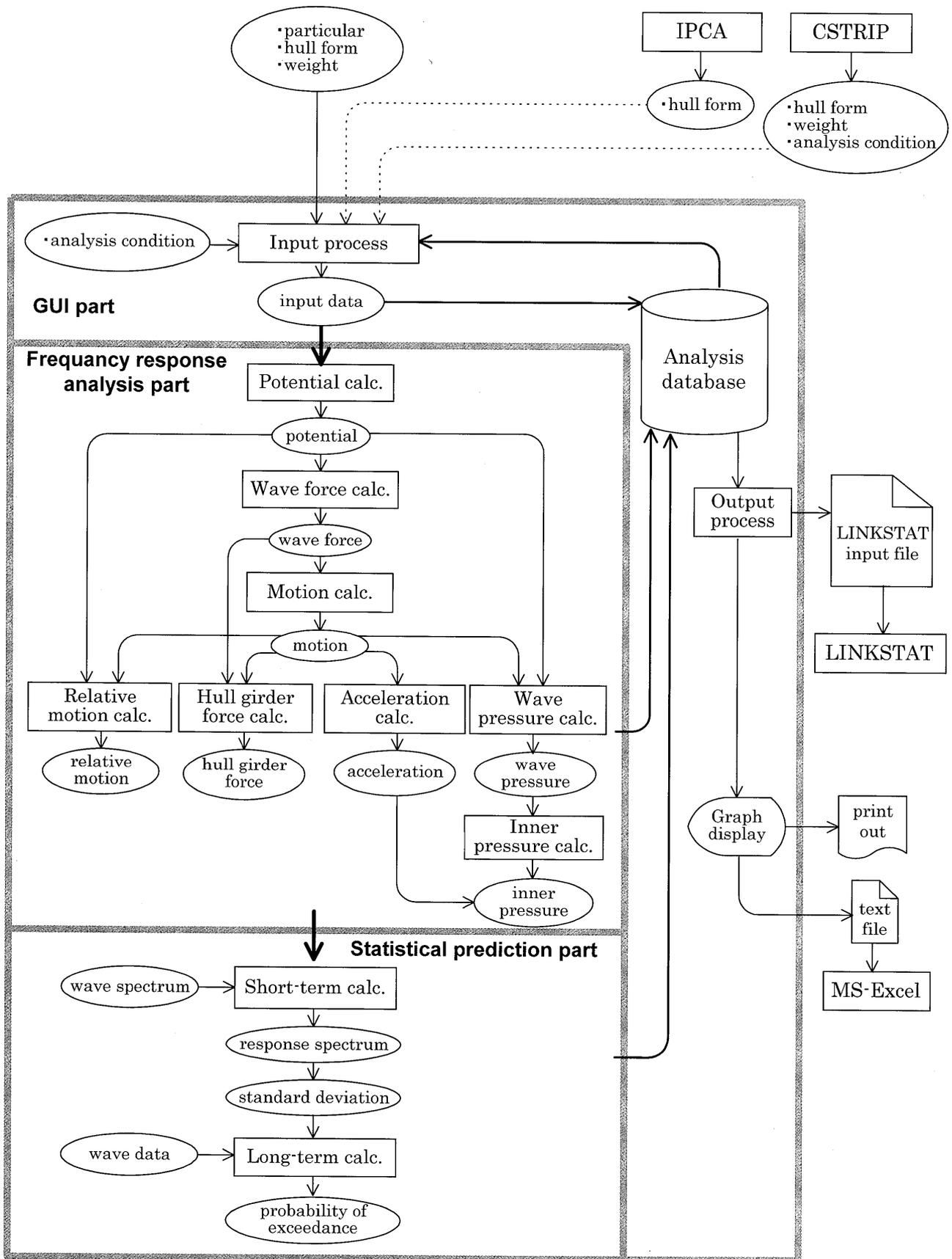
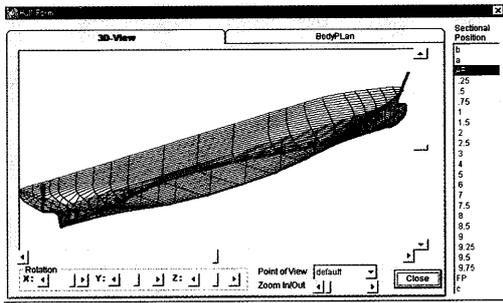
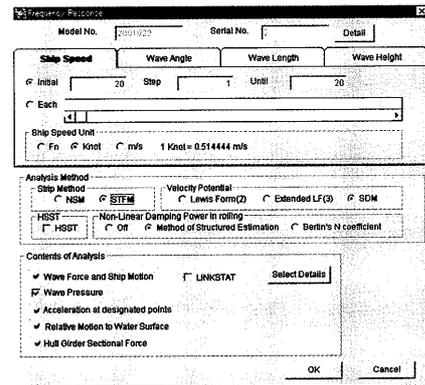


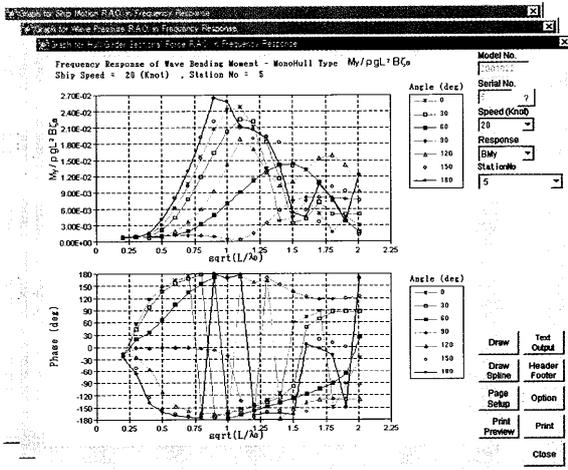
Fig.1 System flow of NewSTRIP



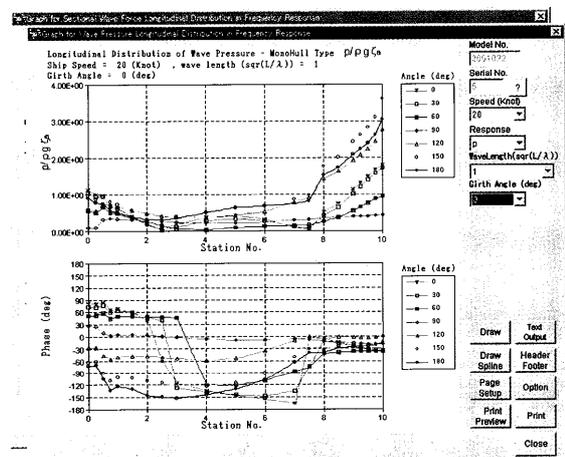
2a Display defined hull form



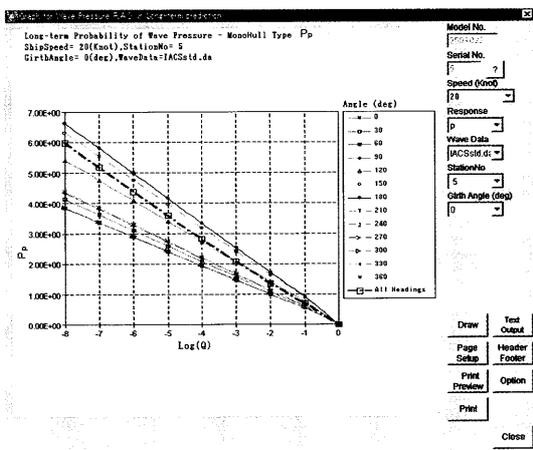
2b Setup calculation conditions



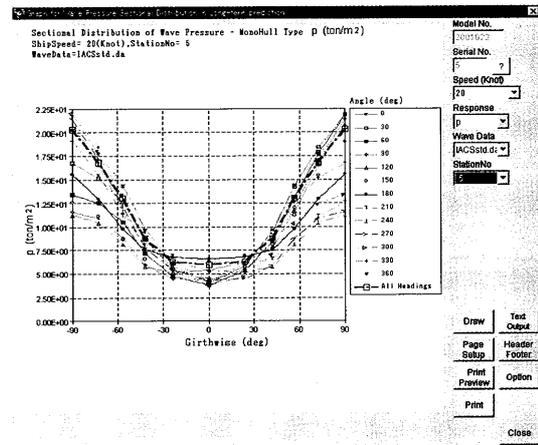
2c RAOs of wave bending moment at the midship



2d Longitudinal distribution of wave pressure at bottom center in the midship



2e Long-term probability of exceedance (Wave pressure at bottom center in the midship)



2f Girthwise distribution of wave pressure at the midship

Fig. 2 Sample screens of NewSTRIP

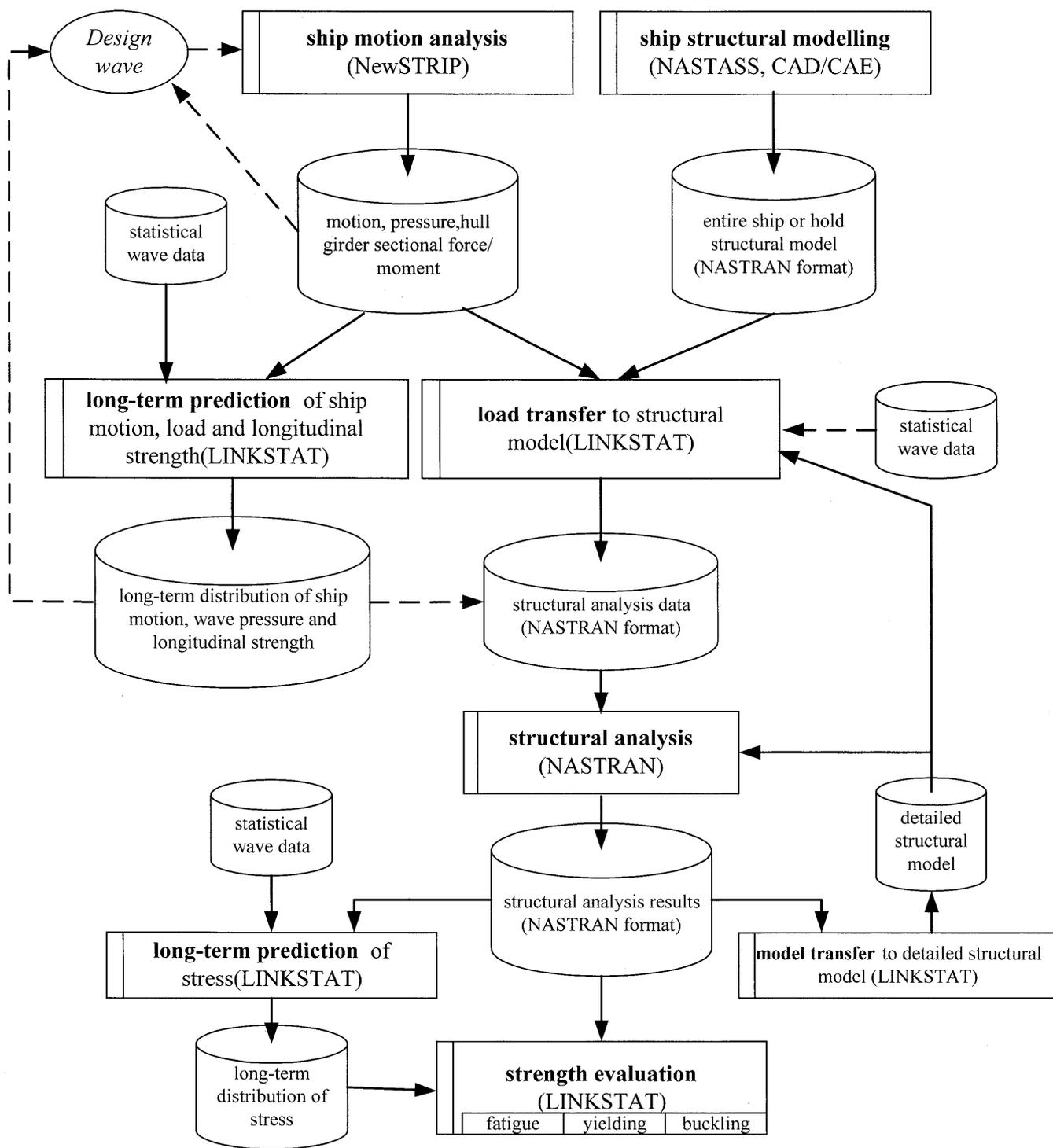


Fig. 3 Primary analysis flow of PrimeShip-ASSAS

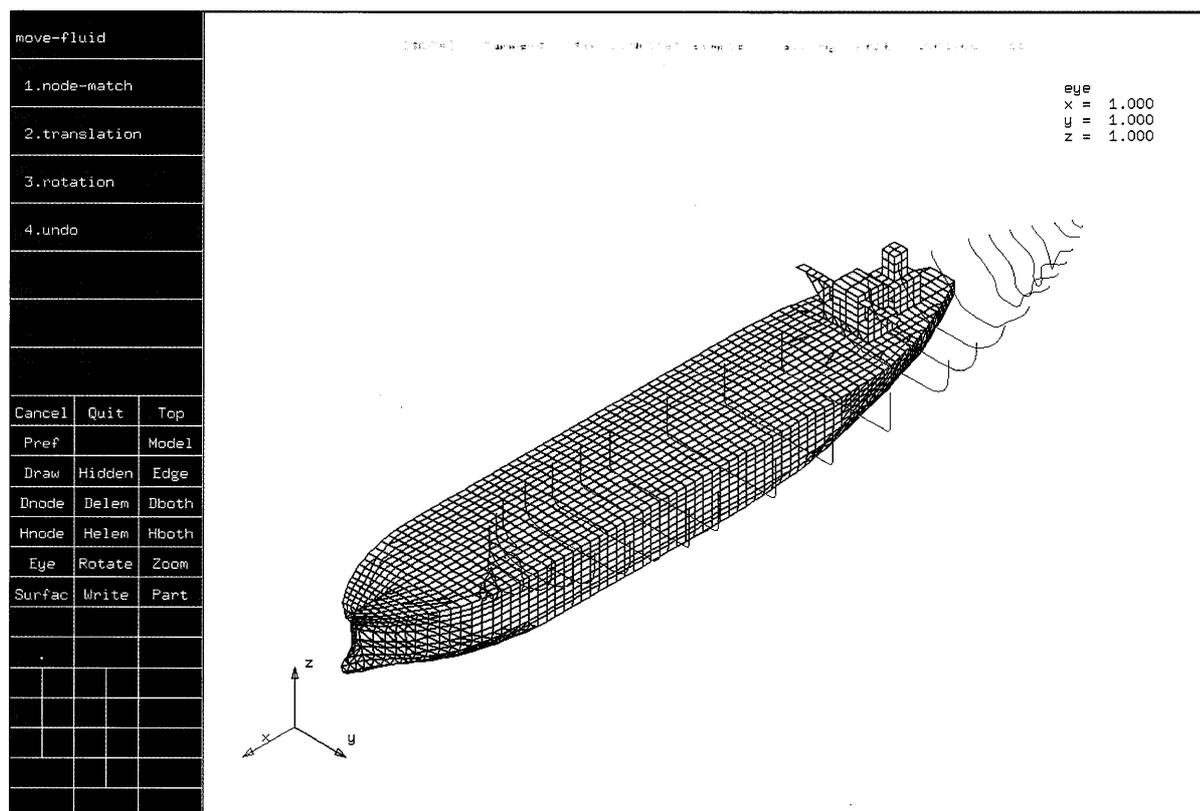


Fig. 4 Load transfer of wave pressure obtained from NewSTRIP to 3D FEA model (LINKSTAT)

に用いた各プログラムの計算手法を Table 3 に示す。

### 3.1 VLCC 船型の実験値<sup>16)</sup> との比較

自由航行実験で得られた船体運動、相対水位、波浪変動圧及びハルガーダモーメントの周波数応答の比較を行った。

#### a) 船体運動

Fig. 5 に示す上下揺の比較結果では、応答が比較的小さい追波 ( $\alpha=0^\circ$ ) 及び斜め追波 ( $\alpha=45^\circ$ ) において、計算値の間に大差はなく、実験値と比べて計算値が全般にやや小さい傾向が見られる。応答が大きい横波 ( $\alpha=90^\circ$ ) においては実験値にばらつきが見られるものの、向波 ( $\alpha=180^\circ$ ) 中も含めて、NewSTRIP 及びプログラム A による結果は実験結果にほぼ対応し、プログラム B が他より低い結果を示している。

横揺を比較した結果 (Fig. 6) では、横揺減衰に N 係数を用いたプログラム B が、応答の最大となる横波中の同調周期近傍において他より高めの結果を与えているが、組立法を用いた NewSTRIP とプログラム A は実験値とよい相関を示しており、組立法による横揺減衰の取扱いが有効であるといえる。応答の低い斜め追波中ではすべてがよく一致している。

Fig. 7 に示す縦揺の比較結果については、全般に実験値と計算値がよく一致している。応答の大きい向波中において、波長が長いところで実験値が高くなっている。

#### b) 相対水位

波面と船体の相対水位変動量の比較結果を Fig. 8 及び Fig. 9 に示す。ここで、NewSTRIP については、Radiation 及び Diffraction による波面上昇分 (以下、これを動的隆起と呼ぶ。) を考慮した相対水位の計算値 ("NewSTRIP") と、動的隆起を考慮しない場合の計算値 ("NewSTRIP-Non") を比較した。プログラム A での計算値に動的隆起は考慮されていない。

船首部における比較結果 (Fig. 8) では、追波 ( $\alpha=0^\circ$ ) ですべてのプログラムの計算値が実験値より高く、逆に向波 ( $\alpha=180^\circ$ ) では実験値が計算値がより高い。また、追波及び向波では、波長の全域にわたって動的隆起成分の影響が大きい計算結果となっている。向波ではこの傾向は実験値に近いが、応答の低い追波では反対である。斜め追波 ( $\alpha=45^\circ$ ) 及び横波 ( $\alpha=90^\circ$ ) においては、動的隆起を考慮した NewSTRIP の結果は、波長の短いところで他の計算値より大きくなり、この傾向は実験値に対応している。動的隆起を考慮しない NewSTRIP の結果は、すべての出会う角でプログラム A の結果と差が見られない。

船体中央近傍における比較結果 (Fig. 9) では、船首部と同様、追波で全体的に計算値が大きい、その他の波角については、動的隆起を考慮した NewSTRIP の計算値が、実験値の傾向とほぼ一致している。追波、向波とも船体中

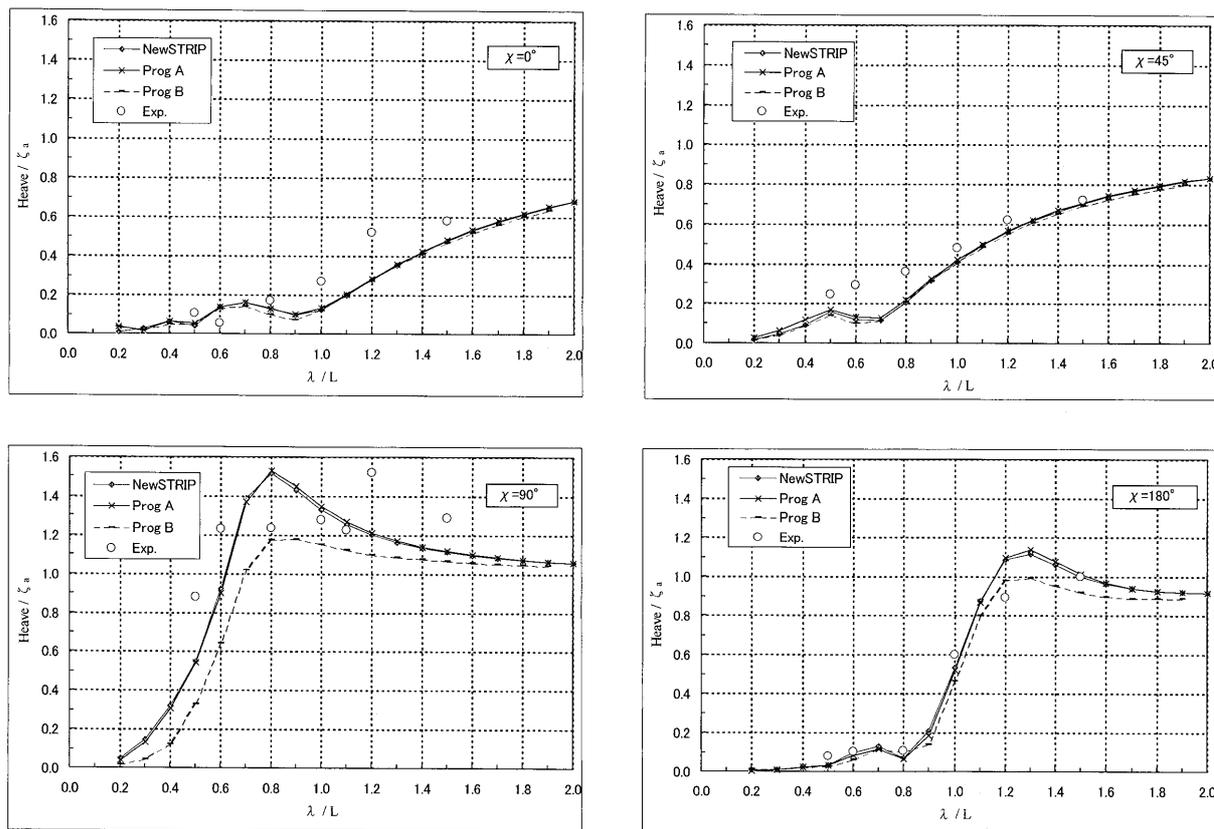


Fig. 5 Heave (VLCC)

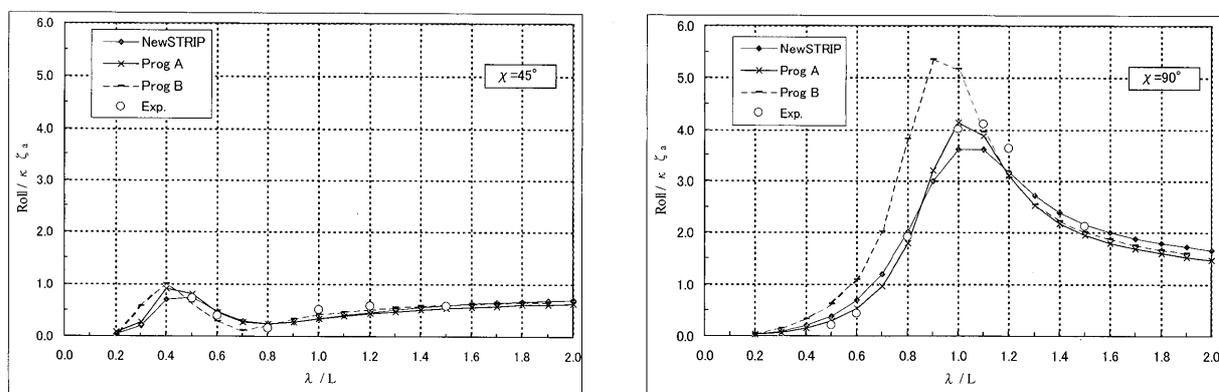


Fig. 6 Roll (VLCC)

中央における動的隆起成分の影響は船首部に比べて小さくなっている。

### c) 波浪変動圧

船体中央断面における波浪変動圧の比較を行った。

Fig. 10 にビルジキール近傍の比較結果を示す。追波 ( $\chi=0^\circ$ ) 及び向波 ( $\chi=180^\circ$ ) において、計算値の間に差はなく実験値とよく一致している。応答の大きい横波 ( $\chi=90^\circ$ ) において、Diffraction 成分を Radiation 成分に置き換えて算出しているプログラム B では横揺同調周期近傍で大きなピークを持ち、高めの結果となった。Diffraction 成分を厳密に解する NewSTRIP 及びプログラム A による計算値

は実験値とほぼ一致している。

Fig. 11 に船底中心の波浪変動圧の比較結果を示す。喫水線付近に比べ応答が全体的に小さく、すべての計算値が実験値とよく一致している。ただしプログラム B では波長船長比が極端に短くなる場所で、波浪変動圧が大きくなる傾向にある。

Fig. 12 に、波長船長比  $\lambda/L=0.5$  となる時の、波浪変動圧の断面内分布の比較結果を示した。横軸は、GirthAngle= $90^\circ$  が右舷側喫水線部、GirthAngle= $0^\circ$  が船底中心部を表している。全体的に NewSTRIP とプログラム A の計算値は、プログラム B の計算値よりも実験値に近い

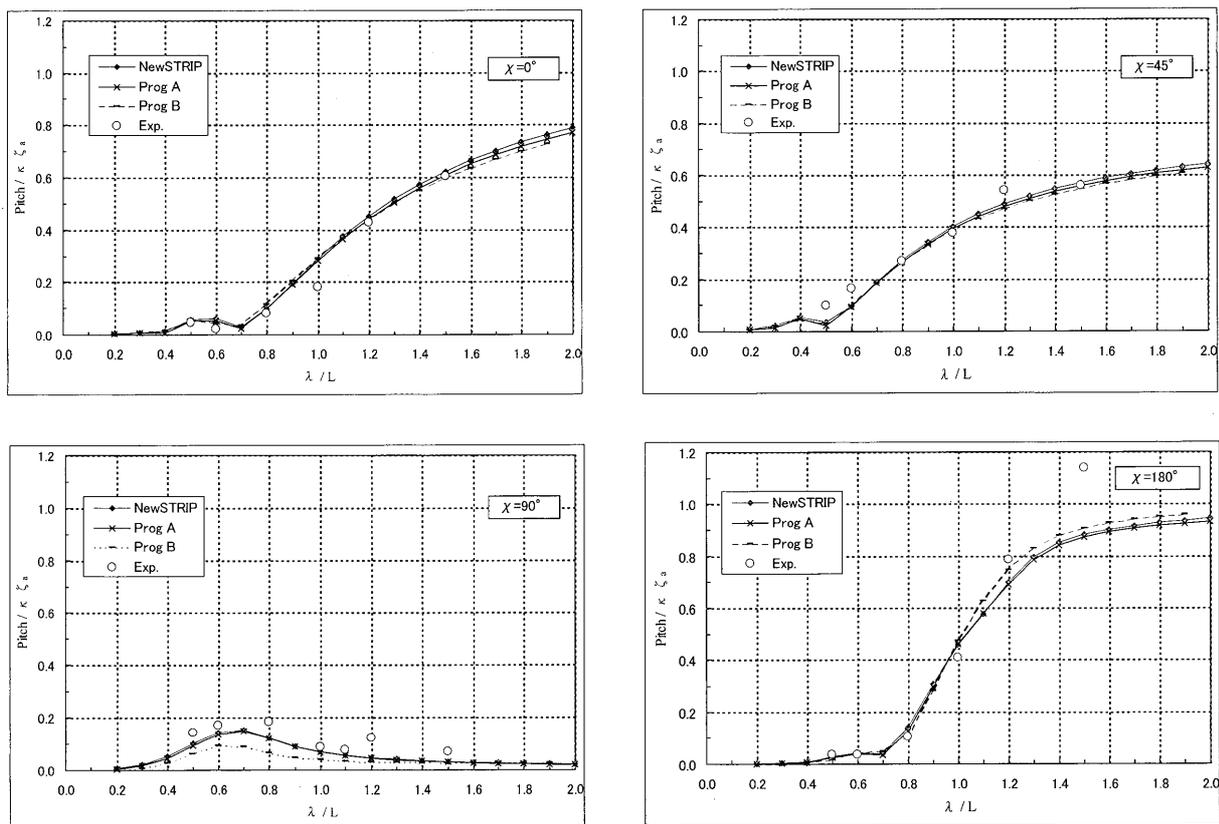


Fig. 7 Pitch (VLCC)

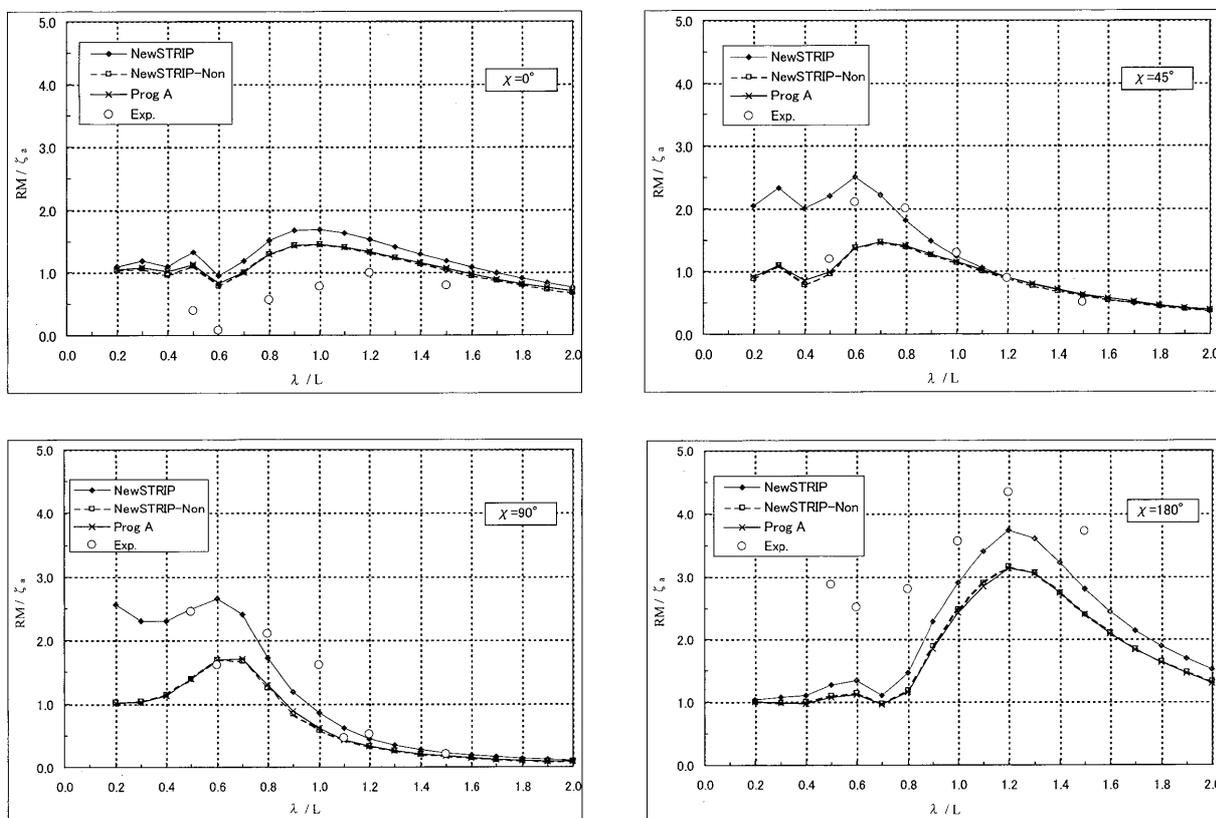


Fig. 8 Relative motion at stem (VLCC)

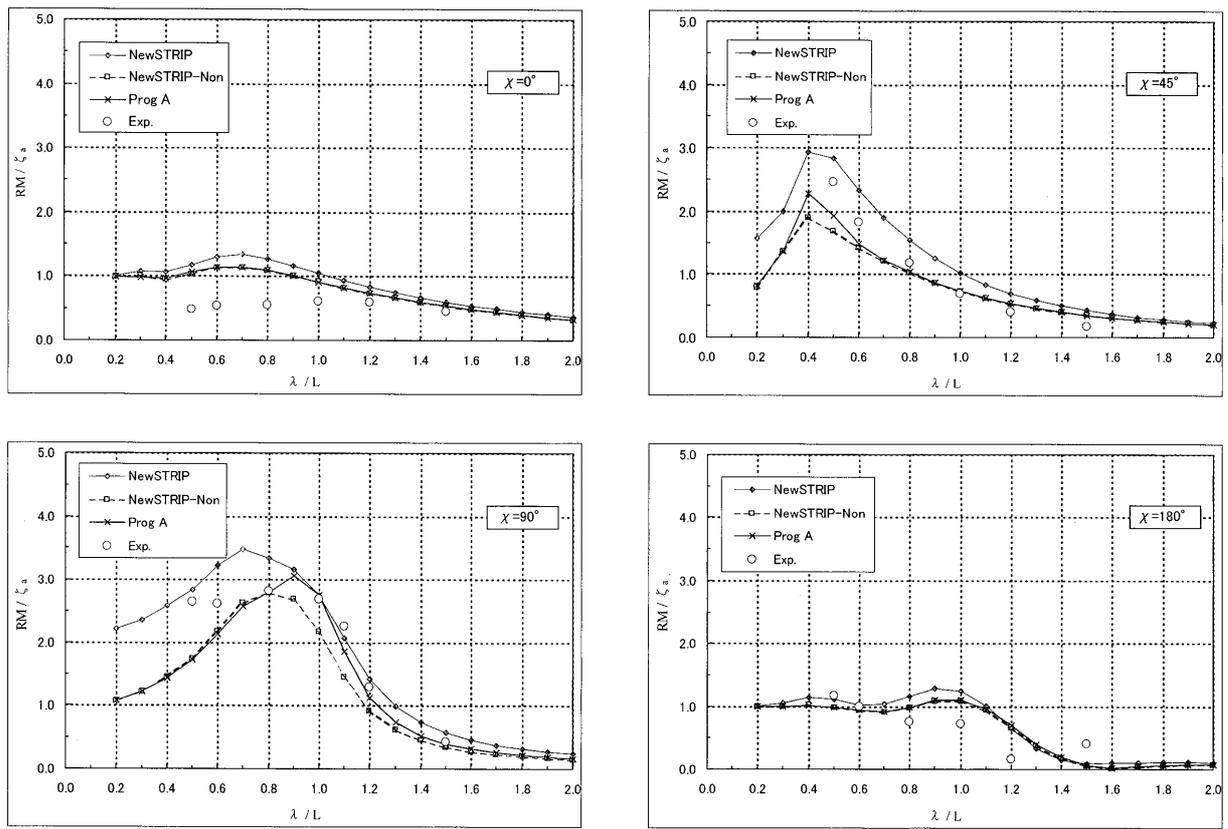


Fig. 9 Relative motion at SS5.5 (VLCC)

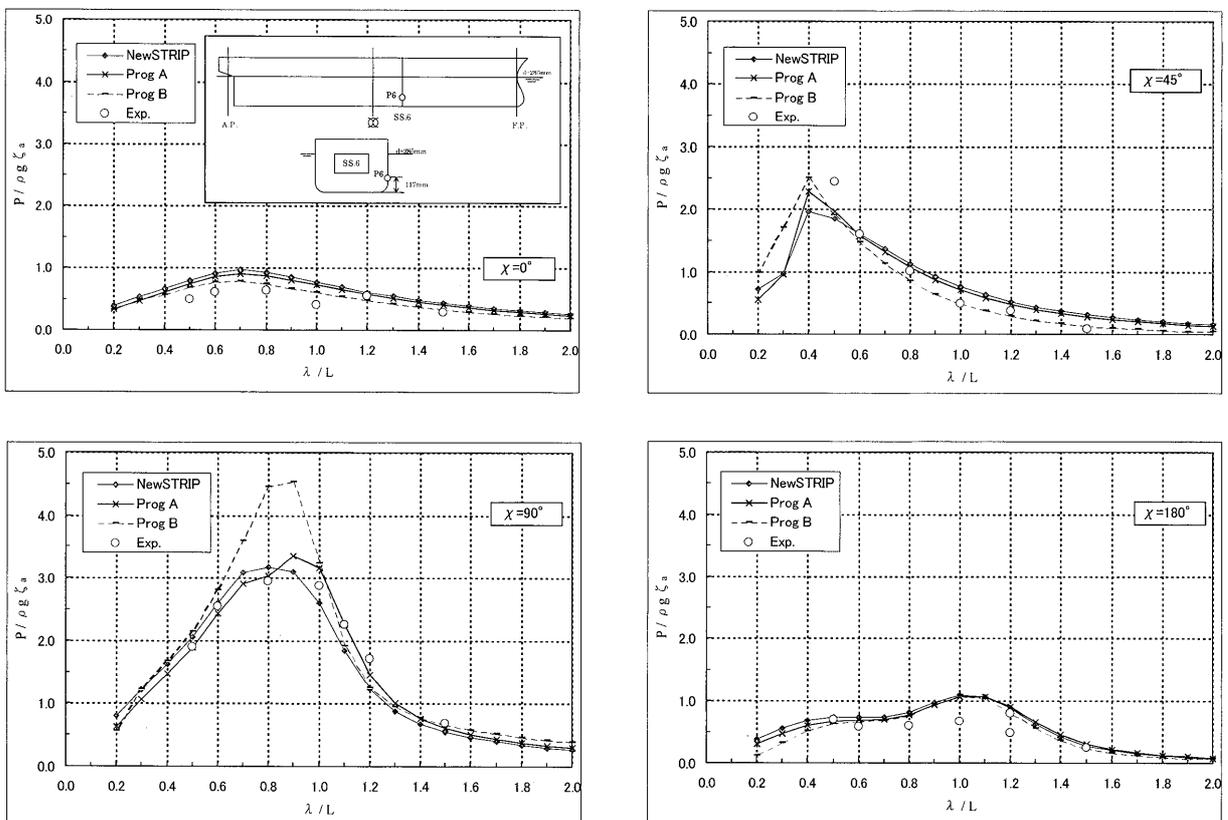


Fig. 10 Wave pressure around bilge keel near the midship (VLCC)

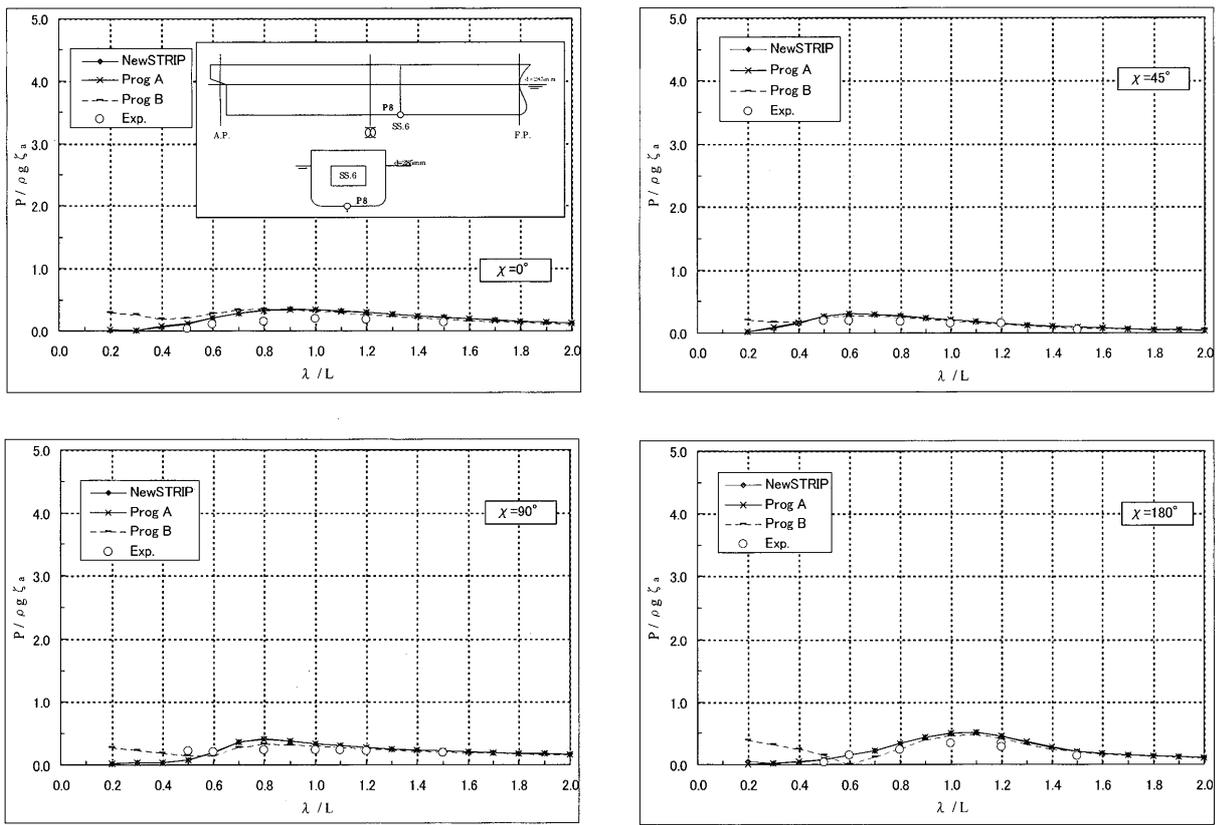


Fig. 11 Wave pressure at bottom center near the midship (VLCC)

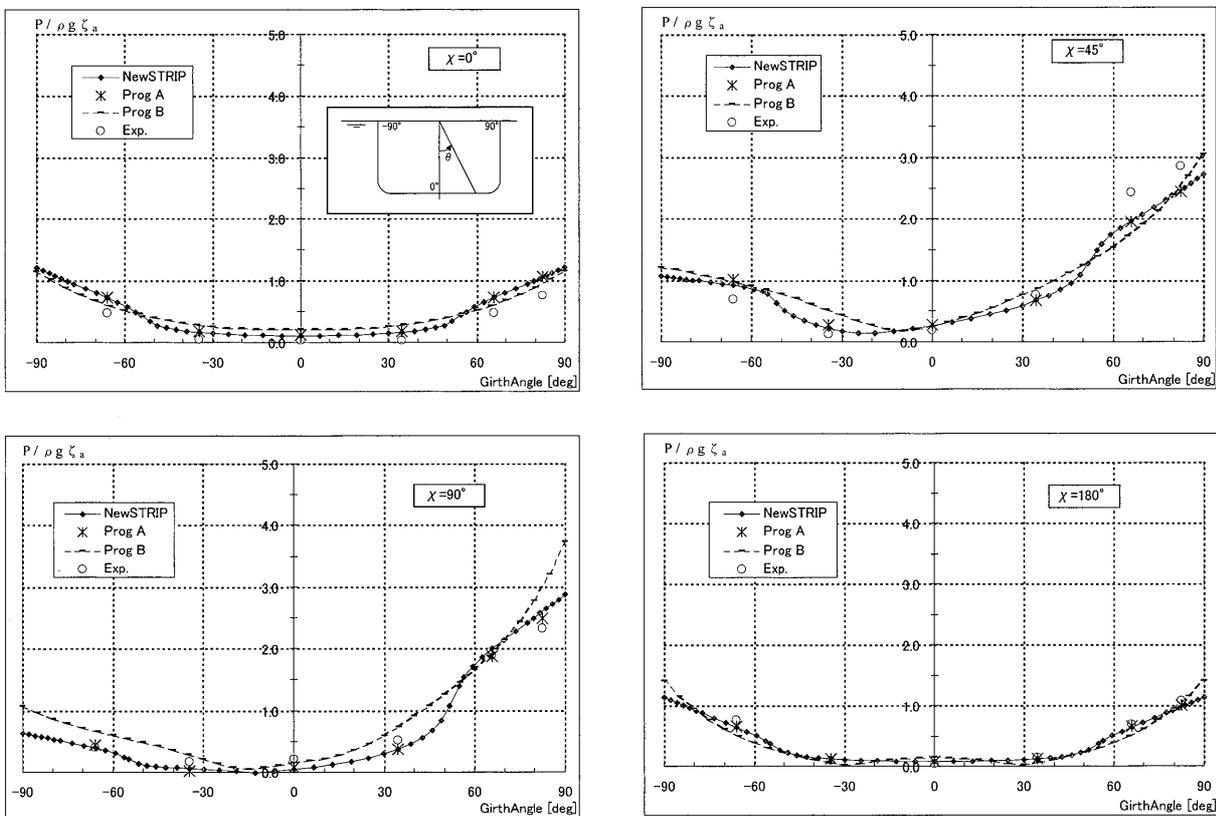


Fig. 12 Girthwise distribution of wave pressure at SS No.6,  $\lambda / L = 0.5$  (VLCC)

結果となっている。横波でのビルジ部及び喫水線近傍において、プログラム B は NewSTRIP 及びプログラム A の計算値と比較してやや大きめの計算値を与えている。

#### d) ハルガーダモーメント

Fig. 13 に示す船体中央断面に働く縦曲げモーメントの比較結果では、応答の大きくなる追波 ( $\chi=0^\circ$ ) 及び向波 ( $\chi=180^\circ$ ) において、すべてのプログラムの結果が定性的に実験値をよく表しているものの、定量的には実験値よりも大きくなっている。特に追波の時、実験値との差が大きくなる。斜め追波 ( $\chi=30^\circ$ ) においてはプログラム間の差は小さく、実験値とも良い相関を示している。横波 ( $\chi$

$=90^\circ$ ) では、NewSTRIP 及びプログラム A の結果はよく実験値を表しているが、プログラム B は波長の短いところで小さい結果となった。

Fig. 14 には、船体中央断面に働く水平曲げモーメントの比較結果を示した。応答の大きくなる斜波中 ( $\chi=45^\circ$ ) について、NewSTRIP とプログラム A の結果は実験値よりも小さくなり、逆にプログラム B では実験値よりも大きな結果となった。また横波については、各プログラム毎に計算値の差が顕著となり、全体的に実験値よりも小さな計算値となっているが、NewSTRIP の計算値は他のプログラムよりも実験値に近いといえる。

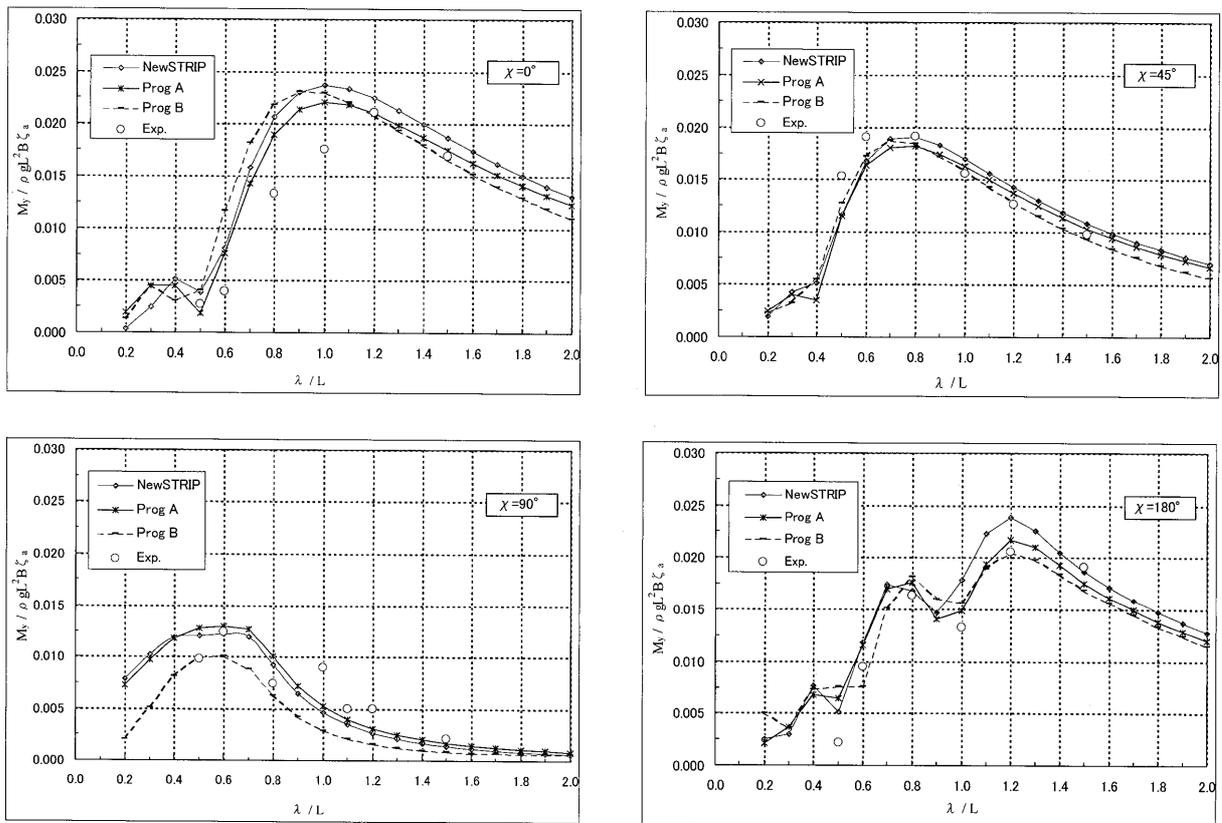


Fig. 13 Vertical bending moment at the midship (VLCC)

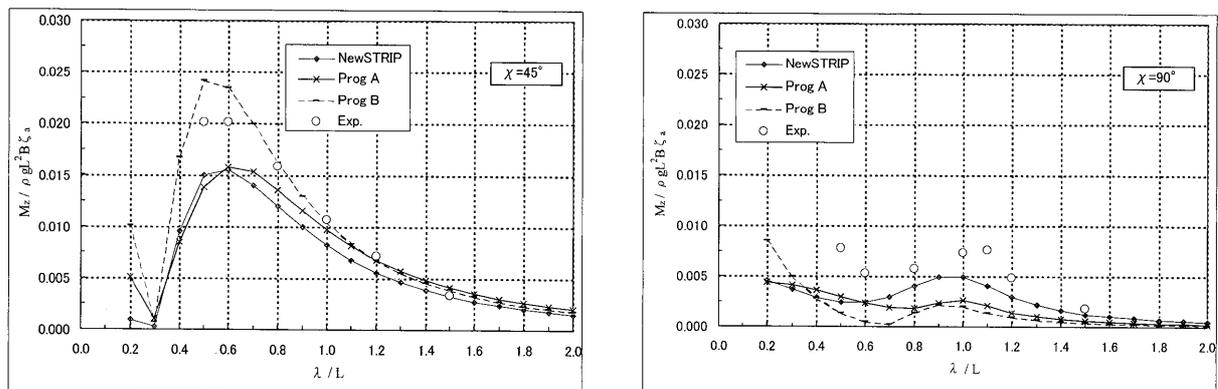


Fig. 14 Horizontal bending moment at the midship (VLCC)

### 3.2 コンテナ船型における実験値<sup>17)</sup>との比較

自由航行実験で得られた船体運動、波浪変動圧及びハルガーダモーメントの周波数応答の比較を行った。向波 ( $\chi=180^\circ$ ) においては、ランキンソース法を用いた 3 次元流体力計算プログラムの計算値<sup>18)</sup>と合わせて比較を行った。

#### a) 船体運動

Fig. 15 に上下揺の比較結果を示す。応答の小さい追波 ( $\chi=0^\circ$ ) 及び斜め追波 ( $\chi=30^\circ$ ) では、計算値の間にはほとんど差は見られないが、実験値と比較してみると、斜め追波の場合に波長の短いところで実験値より小さくなり、追波の場合には波長の長いところでは実験値より大きくなる傾向にある。同じく応答の小さい向波 ( $\chi=180^\circ$ ) でも、

波長の長いところで実験値より計算値が大きくなる傾向にあり、実験値との差は追波の場合よりも大きくなる。横波 ( $\chi=90^\circ$ ) の場合、NewSTRIP 及びプログラム A の計算値は実験値にほぼ対応しており、プログラム B では波長の短いところで低い結果となった。

Fig. 16 に横揺の比較結果を示す。斜め追波中の計算値はプログラムによって大きく異なり、特に波長の長い場合の計算値には大きな差が見られるが、NewSTRIP による計算値が波長の長い領域でほぼ実験値に対応している。また波長船長比  $\lambda/L < 1$  のところで、計算値が波長によって極大、極小を示すが、実験値にはそれほどの変化が見られない。応答の小さい横波では、計算値の間に差はないが、波

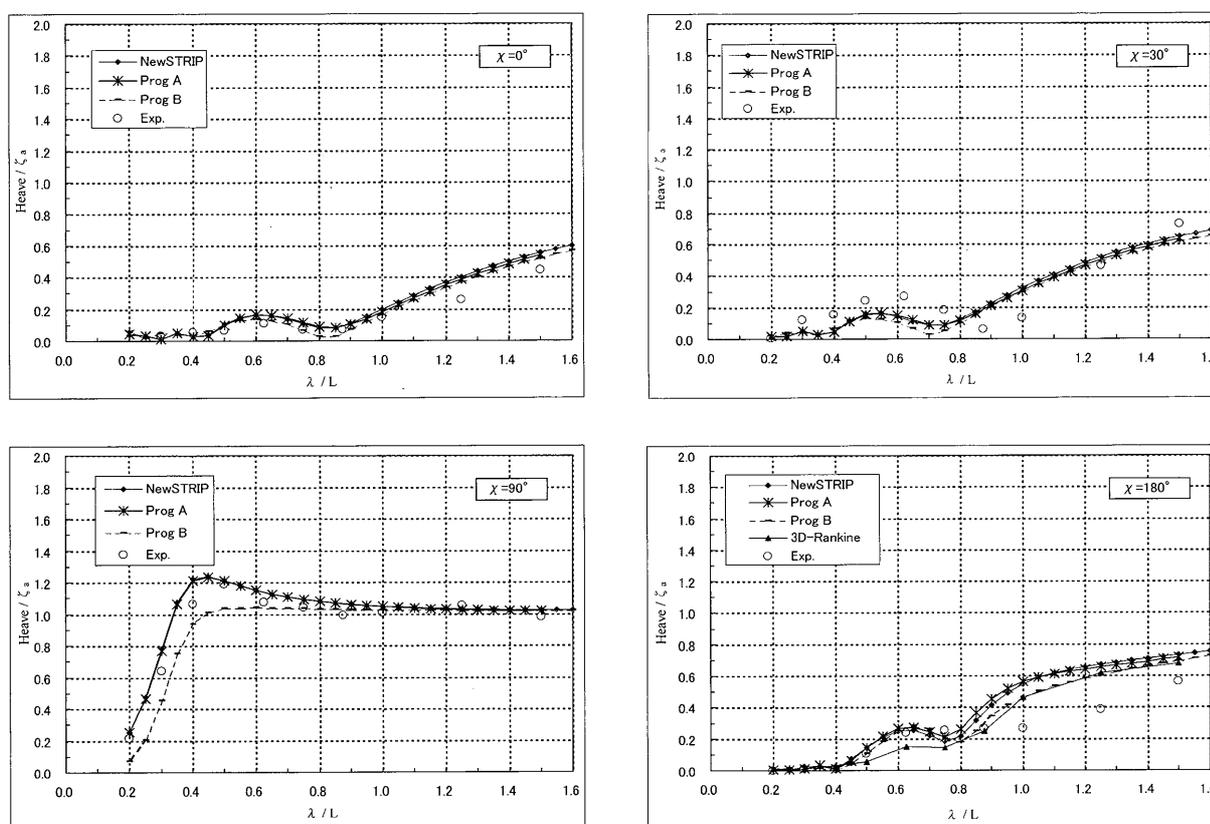


Fig. 15 Heave (Container)

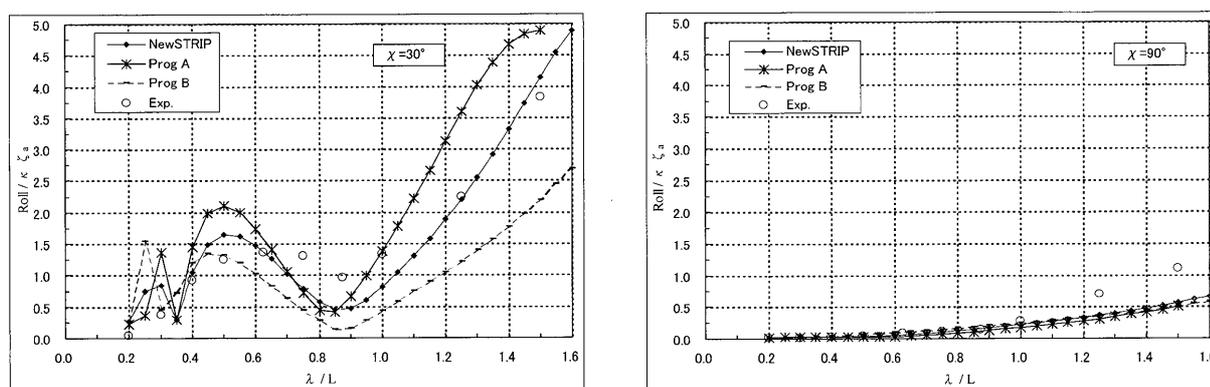


Fig. 16 Roll (Container)

長の長いところで実験値が計算値より高くなっている。

縦揺の比較結果を Fig. 17 に示す。計算値の間に大きな差は見られず、実験値にもほぼ一致している。追波と斜め追波における波長の長いところで、計算値が実験値よりわずかに高い結果になった。3次元ランキンソース法による結果を合わせて示している向波中では、NewSTRIP による計算と実験値は最も良い相関を示し、3次元ランキンソース法による計算値が長波長域でやや高めとなった。

#### b) 波浪変動圧

波浪変動圧の比較を、船体中央断面における実験結果及び計算結果から行った。

Fig. 18 に喫水線付近の波浪変動圧の比較結果を示す。図から明らかに計算値が実験値より高い。喫水線近傍では、波面変動により計測位置が波より上に露出する間、波浪変動圧がゼロとなるいわゆる半波現象による非線形性のため、線形計算結果よりも実際の圧力変動幅が大幅に小さくなる傾向がある。NewSTRIP とプログラム A との結果に差は小さいが、プログラム B とは向波を除きかなりの差が見られる。

Fig. 19 に示す船底中央部における波浪変動圧の比較結果では、NewSTRIP 及びプログラム A の結果は、全体的に実験値とよい相関がある。ただし、追波中で実験値より大きく、斜め追波の波長の長いところで実験値より小さくなる傾向にある。

Fig. 20 に波長船長比  $\lambda/L=0.5$  となる時の、波浪変動圧断面内分布の比較結果を示した。NewSTRIP 及びプログラ

ム A の計算値は追波中を除き船底中央部で実験値と一致しているが、横波中を除き船側外板で実験値より大きくなる傾向にある。追波中では各計算値とも断面内全体に渡り実験値より高い値を示している。プログラム B は横波において、実験値と比較して波上側で大きく、波下側で小さな結果となった。また、すべての入射波出会角について Fig.18 と同様、喫水線直近では半波現象により実験値が急激に小さくなる現象が見られる。

#### c) ハルゲージモーメント

船体中央断面に働く縦曲げモーメントの比較結果を Fig. 21 に示す。全体的に実験値よりストリップ法による計算値が高い。この傾向は追波 ( $\alpha=0^\circ$ ) の場合に顕著であり、その中ではプログラム B が実験値に近い傾向にある。逆に向波 ( $\alpha=180^\circ$ ) の場合は、NewSTRIP が実験値に近くなる。一方、向波中の3次元ランキンソース法による計算値は最も実験値に近いが、波長船長比  $\lambda/L=0.6\sim 0.9$  の範囲で実験値より小さな結果となった。

Fig. 22 に示す船体中央断面に働く水平曲げモーメントの比較結果では、斜め追波 ( $\alpha=30^\circ$ ) における各プログラムの計算値に大きな差が見られ、どのプログラムも実験値ともあまり相関が良くないが、その中では NewSTRIP が比較的实验値に近い傾向を示している。プログラム A の計算値は、NewSTRIP 及びプログラム B の計算値と定性的にも異なる結果となった。一方、横波 ( $\alpha=90^\circ$ ) では波長の長くなることで各計算値と実験値は良く一致している。

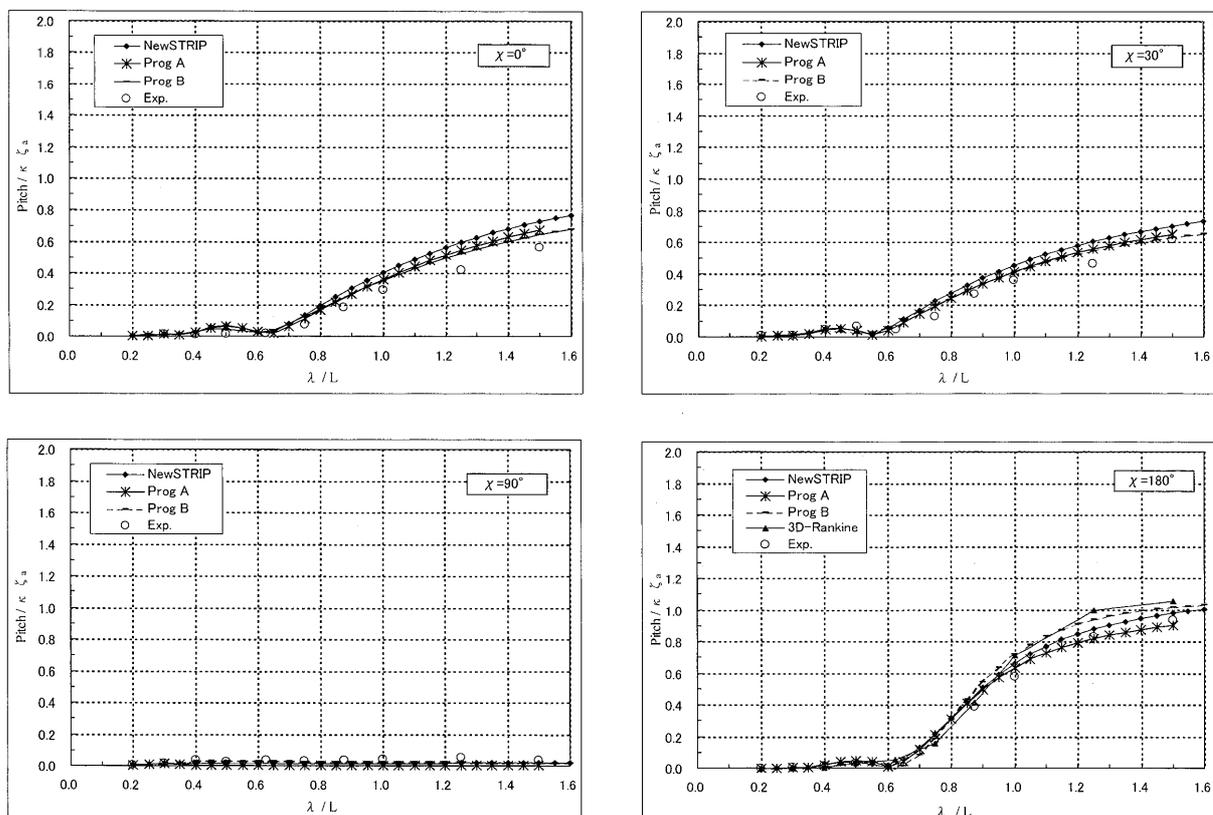


Fig. 17 Pitch (Container)

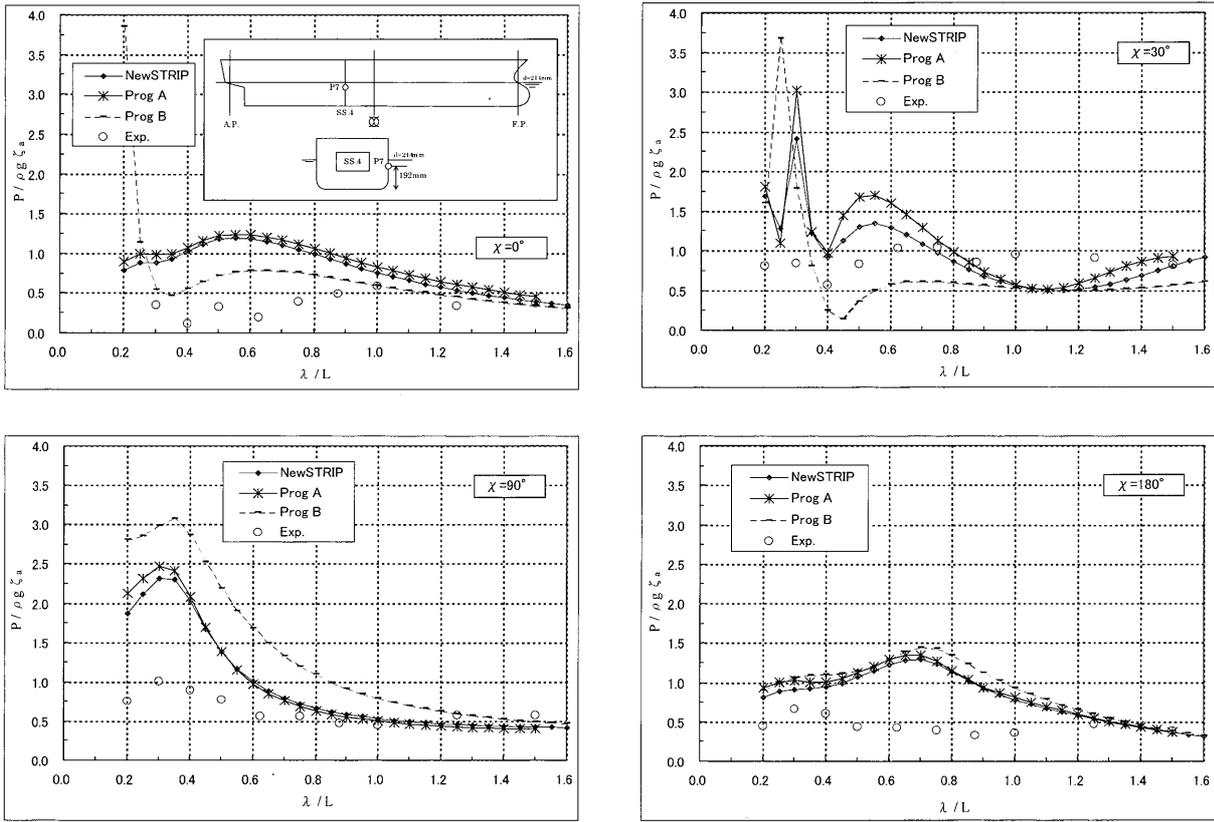


Fig. 18 Wave pressure around W.L. near the midship (Container)

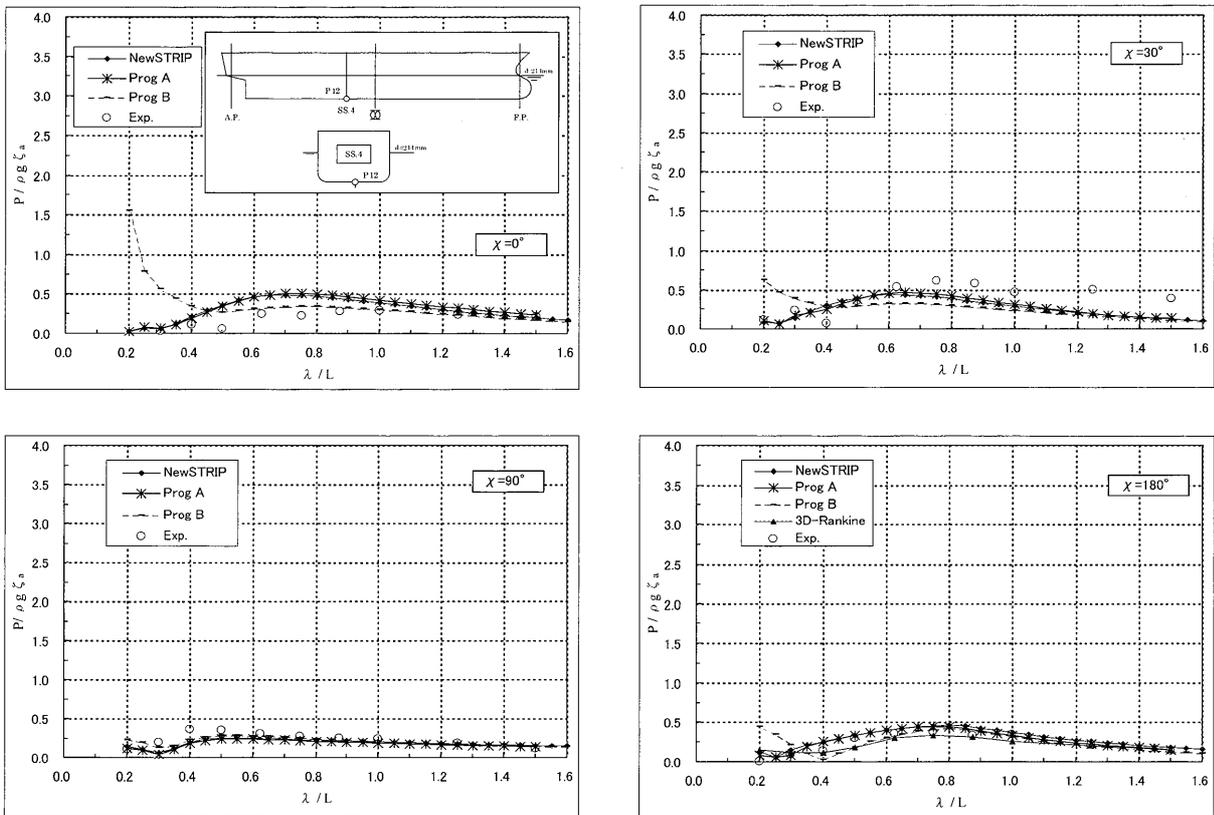


Fig. 19 Wave pressure at bottom center near the midship (Container)

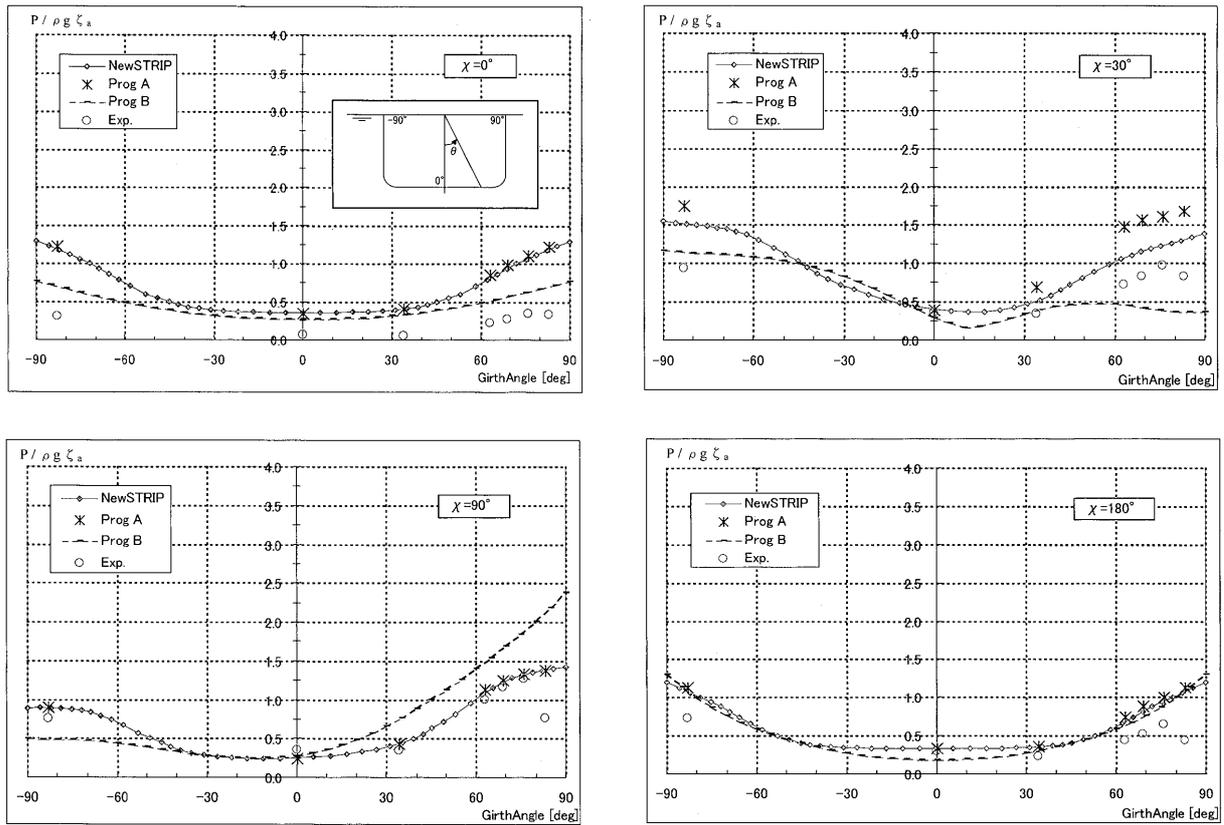


Fig. 20 Girthwise distribution of wave pressure at SS No.4,  $\lambda/L=0.5$  (Container)

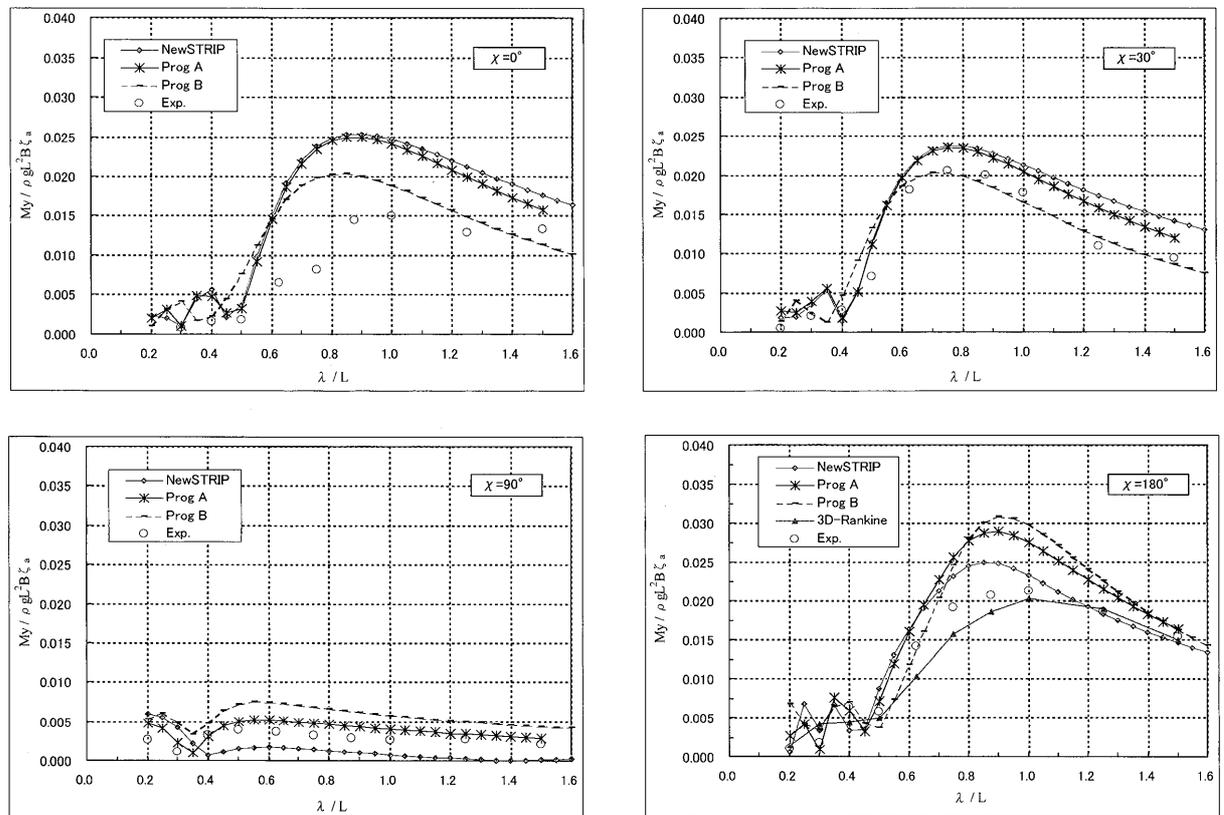


Fig. 21 Vertical bending moment at the midship (Container)

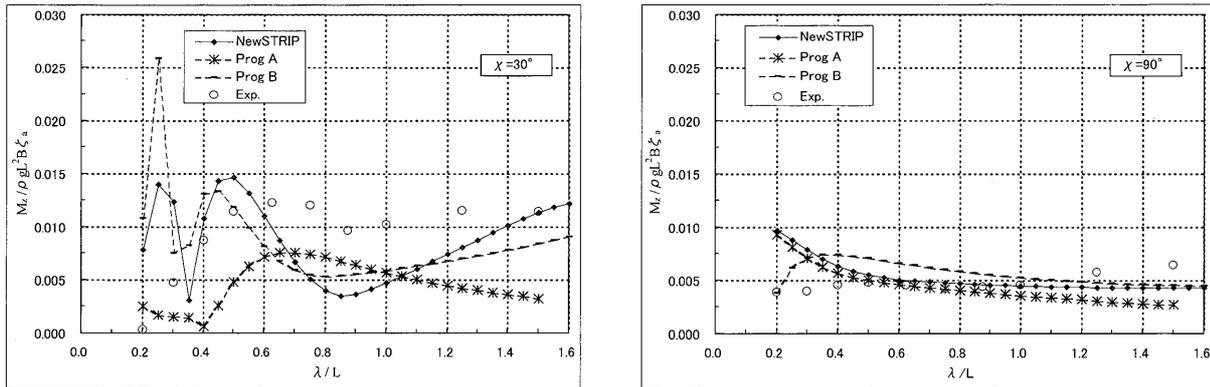


Fig. 22 Horizontal bending moment at the midship (Container)

#### 4. 終わりに

NewSTRIP による計算値の妥当性及び有用性について次のことが明らかになった。

- ・船体運動は、コンテナ船型の横揺を除き実験値とよく一致した。
- ・横揺減衰係数の取扱いに組立法を採用し、その有効性が確認できた。
- ・波浪変動圧の計算に Diffraction 成分を potential から直接求める手法を採用し、従来法より実験値に近い結果を得ることが出来た。
- ・相対水位計算において動的影響を考慮することが可能になり、斜め追波及び横波中の波長の短いところで、計算値は実験値とよく対応した。
- ・GUI を介した船型データ入力及び解析条件設定機能により、複雑な計算が比較的簡単に実施できるようになった。
- ・計算結果の迅速なグラフ表示と外部へのデータ出力機能により、結果処理に要する時間を短縮できた。

さらに、手法の異なるストリップ法計算プログラムも合わせた比較から、ストリップ法による計算について以下の点が確認された。

- ・コンテナ船型における喫水線近傍の波浪変動圧には、波からの露出に伴う非線形性が強く通常の線形計算では過大評価する事になる。そのためストリップ法計算による喫水線近傍における波浪変動圧を利用する際には、この非線形性を考慮した何らかの補正が必要である。
- ・縦曲げモーメントの計算値は、定性的には実験値と一致しているが、全体として過大評価する傾向にある。この傾向は VLCC 船型では追波中で顕著となるが、コンテナ船型では横波を除くすべての出会角で見受けられる。

以上、船体運動及び波浪荷重計算の高精度化と効率化を目的として新たに波浪荷重計算システム構築に着手し、先ず最新の改良ストリップ法による 2 次元ストリップ法計算プログラム NewSTRIP の開発を行った。NewSTRIP は多くの 2 次元ストリップ改良法を取り入れ、従来法と比べよく実験値と一致しており、ストリップ法プログラムとしては高精度かつ高機能なシステムと言える。また GUI を通した簡便な入力は、PrimeShip-ASSAS による構造解析及び評価の効率化へと繋がった。

新波浪荷重計算システムは、本稿で報告した NewSTRIP の他、高速船に対応した HSST (High Speed Strip Theory)<sup>19)</sup> による 2.5 次元流体力計算プログラム、さらに 3 次元流体力計算プログラムを含むものである。これら 2.5 次元及び 3 次元流体力計算プログラムについては既に開発済みであるが、現在、詳細検証及び実用化への整備を行っている段階であり、完成次第追って報告したい。

#### 参考文献

- 1) 秋田他：NK における船体縦強度解析に関するトータルシステムについて、日本海事協会誌, No.149, 1973.
- 2) 溝口：高速コンテナ船の斜め波中波浪強制力について - ストリップ法による波浪強制力計算における周波数の取り方 -、関西造船協会誌, 第 187 号, 1983.
- 3) 渡辺：斜め波中を航走する船体に働く Diffraction Pressure の実用的計算法、関西造船協会誌, 第 221 号, 1994.
- 4) 池田：横揺れ減衰力、運動性能研究委員会第 1 回シンポジウム, 日本造船学会, 1984.
- 5) 伊東, 溝口：肥大船の短波長域における波浪変動圧について、日本造船学会論文集, 第 166 号, 1989.
- 6) 新開：波浪中の船体に誘起される水平方向剪断力と曲げモーメントの計算法について、九大工学集報, 1984.
- 7) SR207 研究部会：船殻構造の強度評価と管理目標の定量化の調査研究 総合報告書, 日本造船研究協会, 1993.

- 8) SR228 研究部会 : 波浪中の船体構造の安全性評価の研究 総合報告書, 日本造船研究協会, 1999.
- 9) Salvesen, N., Tuck, E.O. and Faltinsen, O. : Ship Motions and Sea Loads, Trans. SNAME, Vol.78, 1970.
- 10) IACS : Standard Wave Data, Recommendation No.34, Rev.1, June 2000.
- 11) Hogben, N., Dacunha, N.M.C. and Olliver, G.F. : Global Wave Statistics, British Maritime Technology, Unwin Brothers Ltd., London 1986.
- 12) 渡辺, 富田, 谷澤 : 北太平洋の波と風 (1974-1988), 船舶技術研究所報告, 別冊 No.14, 1992.
- 13) 日本海事協会 : 船体構造解析トータルシステム PrimeShip-ASSAS, 日本海事協会誌, No.253, 2000.
- 14) Yoneya, T. et al. : Total Analysis System for Ship Structural Strength, Practical Design of Ship and Other Floating Structures (PRADS 2001), ed. by You-Sheng Wu et al., Vol. II, Elsevier, 2001.
- 15) Kikusui, M., Sakakibara, K. and Ping Xu : PrimeShip-IPCA - A Support System for Basic Ship Design and Onboard Loading Arrangements, NK Technical Bulletin, Vol.14, 1996.
- 16) 松波他 : 甲板打ち込みを伴う大波高中の肥大船に働く波浪荷重に関する研究 (第1報 模型水槽実験), 日本造船学会論文集, 第190号, 2001.
- 17) 三宅, 朱, 影本 : VLCC 及びコンテナ船の大波高中における運動・波浪荷重に関する実験的研究, 日本造船学会論文集, 第190号, 2001.
- 18) 三宅, 朱, 影本 : ランキンソース法による一般商船における波浪荷重推定について, 日本造船学会論文集, 第190号, 2001.
- 19) 足達 : HSST (High Speed Strip Theory) の新しい計算法, 運動性能研究委員会, 日本造船学会, 1993.