

漁業練習船第3代「南星丸」の船型開発

永松哲郎*¹, 重廣律男*¹, 堀田好洋*², 池田 勉*³

Hydrodynamic Design of a Training Vessel -The Third Generation 「NANSEI-MARU」

Nagamatsu Tetsuo*¹, Shigehiro Ritsuo*¹, Horita Yoshihiro*², Ikeda Tsutomu*³

Keywords : Ship performance, Maneuverability, Motion in waves, Model tests, Sea trial

Abstract

The third generation 「Nansei-Marui」 is a fishery training vessel of the Faculty of Fisheries, Kagoshima University. This ship was built in November, 2002 to carry out the training for navigation and operation of fishing vessel, training of fishery, observation of ocean environment and investigation of marine creatures. The present paper describes about development of the hull form based on the tank tests. The resistance measurement tests, self-propulsion tests and wake measurements at propeller plane were conducted by use of a ship model of 3.5 m long in a towing tank. These tests show the designed hull form is entirely satisfactory for her propulsive performance. Next, rolling measurements were made for three kinds of bilge keels both in calm sea and in waves in order to grasp their rolling characteristics. A ship model of 2.0m long was used in the measurements. From the results, the biggest one shows to be the most effective for anti-rolling and then it was selected as the bilge keels of 「Nansei-Marui」. Flow visualization tests around ship bow and stern were also carried out by using the 2.0 m ship model in a circulating water channel. It is found that there is no problem for entrainment of air bubbles into the sonar dome and severe turbulence at stern. Finally, sea trial tests by the full scale ship were conducted and it is confirmed that ship speed, turning performance and so on are satisfied for their requirements.

鹿児島大学水産学部では付属練習船として「かごしま丸」(第3代目:総トン数 約1300トン)「敬天丸」(第2代目:総トン数約830トン)および「南星丸」(第2代目:総トン数約83トン)の3隻を有して、乗船実習等のフィールド実習を重視したカリキュラムに基づいて、世界に通用する水産技術者や海事技術者の養成に貢献してきている。

初代「南星丸」は実習船として昭和42年3月に建造された。総トン数44.56トンであった。2代目は昭和51年3月に建造され、鹿児島湾および薩南海域を主な活動域として、漁業実習、航海実習、海洋観測および水産資源調査などを行ってきたが、船齢が25年を越え、また社

会情勢の変化に伴う教育実習内容の多様化、研究領域の拡大、各種航海計器や観測機器の高度化に対応できなくなってきた。

一方、水産専攻科学生を主対象に高度な海事技術者を養成するための乗船実習を主として担っていた第2代「敬天丸」も既に建造後27年余を経過して代船の建造時期にきていた。しかし、国連海洋法に基づく200海里の排他的経済水域の設定により遠洋漁業が衰退し、専攻科に進学する学生が減少し、平成15年度に水産専攻科が廃止されることになった。これに伴い長年、専攻科および学部の教育、実習、研究、調査に多大の貢献をしてきた「敬天丸」も廃船されることになった。

*¹ 鹿児島大学水産学部環境情報科学講座 (Environmental and Information Sciences, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890-0056, Japan)

*² 長崎造船株式会社 (Nagasaki Shipyard Co. Ltd., 4-2 Naminohira-Machi, Nagasaki, 850-0936, Japan)

*³ MHIマリンエンジニアリング株式会社 (MHI Marine Engineering Ltd., 34-6 Shiba, 5-Chome, Minato-Ku, Tokyo, Japan)

このため第3代「南星丸」は従来の「南星丸」の活動に加えて、これまで「敬天丸」が南西諸島海域で行っていた実習、調査等を引き継ぐことになり、活動範囲を鹿児島湾から南西諸島沿岸水域まで拡大して、沿岸域の漁業、航海実習、海洋環境や水産資源の調査・分析の教育・研究を担うことになった。そこで、このような実習調査のための航海が安全かつ効率よく実施できるように、第3代「南星丸」は第2代「南星丸」に比較して船型を大型化、高速化することにした。また、新しい時代の要求にマッチした教育と研究に対応すべく最新の電子機器を備えた航海機器、漁労装置、観測機器を設置するとともに、安全性や居住性に一段と配慮した漁業練習船として建造することになった。本稿では、第3代「南星丸」の船型開発について、水槽実験を中心として述べる。本船型の特徴は以下のとおりである。

- 1) 高速化に対応した大型の船首バルブ採用
- 2) 船底の音響機器への気泡流入防止や流体雑音防止を考慮した船首形状と船底ドーム形状の採用
- 3) キャビテーション発生を最小にしたハイスキューブローペラの採用
- 4) 低速時の操船性能向上のためのポンプジェットスターとシリング舵の採用
- 5) 横揺れ低減を図った大型ビルジキールの採用

なお、本船は長崎造船株式会社で平成14年3月起工、8月進水、11月竣工し、第3代「南星丸」が最新鋭の漁業練習船として誕生した¹⁾。

船型計画と推進性能

本船は乗船実習や海洋調査等の活動海域や航続距離、搭載機器、学生乗船定員等から主要目等が Table 1 のように決められた。第2代「南星丸」と比較して、総トン

数で約2倍に大型化していること分かる。また、航海速度のフルード数 F_n は約 $F_n = 0.34$ と高く、造波抵抗低減を図るために大型の船首バルブを採用することにした。船首バルブのFPでの面積は中央横断面の水面下の面積の約10%で、突出量は垂線間長さの約6%である。船首バルブはノーズが水面に近い Model-A と下方に0.5 m 下げた Model-B の2種について水槽実験を行った。船尾は広い後部甲板を取ったことからV型のフレームライン形状となった。Model-Aの正面線図を Fig. 1 に、船首バルブの比較を Fig. 2 に示す。また、Model-Aの模型

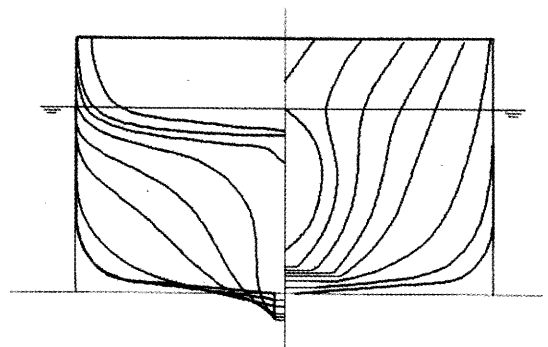


Fig. 1 Body Plan of Model-A

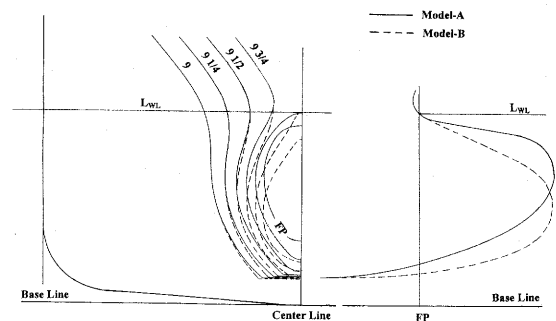


Fig. 2 Comparison of bulbous bow

Table 1 Principal dimension of Nansei-Marui

Ship	Third 「Nansei-Marui」	Second 「Nansei-Marui」
Length overall	41.96m	26.30m
Length between perpendiculars	34.00m	21.70m
Breadth (mould)	7.50m	5.70m
Depth (mould)	3.30m	2.55m
Full load draft	2.90m	2.10m
Gross tonnage	175.0 ton	82.97 ton
Complement	24 persons	15 persons
Main engine	1323 kW	294 kW
Full load service speed	12 knots	9 knots
Propeller diameter	2.40m	1.60m

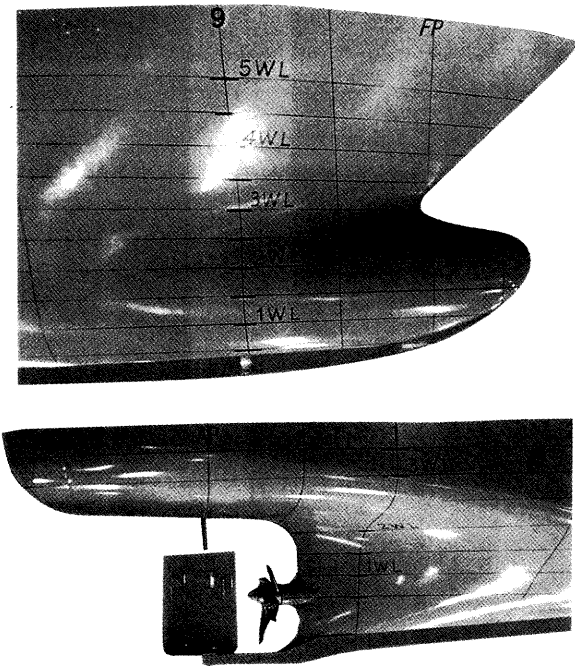


Fig. 3 Bow and stern of Model-A

船の船首尾写真を Fig. 3 (a) (b) に示す。

本船は重心を下げ、針路安定性を増すと共に、浅水域航行中の万一の船底破損を防護するためにフォルスキールを船底に設け、その船首部分には計量魚群探知機や全周ソナー等の音響機器とポンプジェットを格納したソナードームを付加している。ポンプジェットはSS. 8 1/2 付近のソナードームの下面に取り付けられており、水平面内の全ての方向に推力を発生できるバウスタスターである²⁾。舵はシリング舵で、プロペラは模型実験により計測された伴流分布を基に設計したハイスキュー CPP である。プロペラ設計では、航海速力とトルール操業時の低速高荷重という2つの作動条件について検討した。本船は多くの音響機器を搭載していることから、キャビテーションノイズを極力避けるように、大き目のスキュー角を採用すると共に、大きな展開面積と翼端付近の弦長を広げた翼輪郭とした。プロペラと舵の実船装備状況を Fig. 4 に示す。

抵抗試験、自航試験およびプロペラ位置の伴流分布計測試験は $L_{pp}=3.2$ m の模型船を用いて、三菱重工業(株)長崎研究所で実施した。使用した推進性能水槽は長さが165m、幅が12.5 m、水深が6.5 mの曳航水槽である。試験状態は満載状態と試運転状態で、いずれも3%程度の船尾トリム付である。Model-A と Model-B の抵抗試験より得られた剰余抵抗係数 Cr の比較を Fig. 5 に示す。横軸はフルード数 Fn である。



Fig. 4 Propeller and rudder of Nansai-Maru

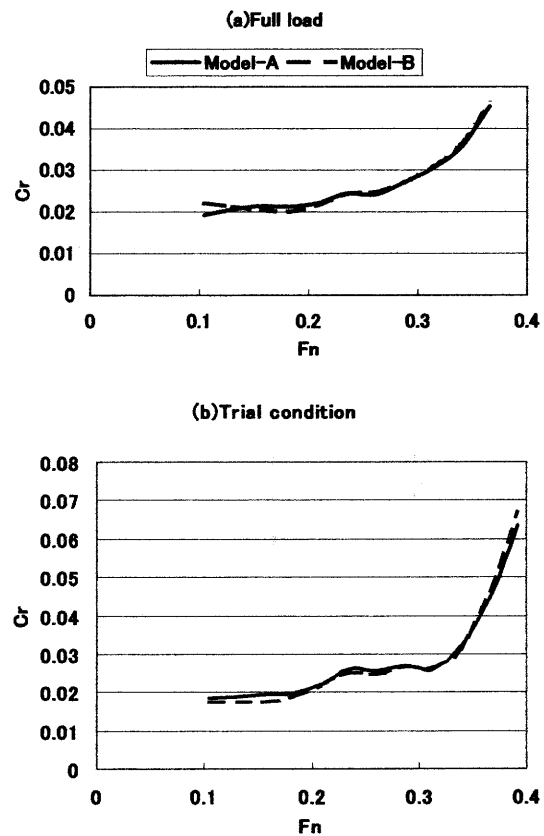


Fig. 5 Comparison of residual resistance coefficient between Model-A and Model-B

$$Cr = \frac{R_r}{\frac{1}{2}\rho V^2 \nabla^{2/3}} \quad Fn = \frac{V}{\sqrt{gL_{WL}}} \quad (1)$$

ここで、 R_r は剰余抵抗、 ρ は流体密度、 V は船速、 ∇ は排水容積、 g は重力加速度、 L_{WL} は水線長である。剰余抵抗の解析には Schoenherr の摩擦抵抗算式を使用している。

$$\frac{0.242}{\sqrt{C_{fo}}} = \log(Rn \cdot C_{fo}) \quad (2)$$

ここで、 C_{fo} は平板の摩擦抵抗係数、 Rn はレイノルズ数である。

Model-A と Model-B では Form Factor はほぼ等しいと考えられるから、両船型の造波抵抗の差異はほぼそのまま剰余抵抗の差異とみなしてよい。一般に、船首バルブのノーズが水面に近い Model-A の方が Model-B よりも高速域では造波抵抗が低くなるが、低速域では逆になると考えられる。Fig. 5 の剰余抵抗係数にもそのような傾向が若干認められるが、両者の剰余抵抗差は概して小さい。従って、本船型の場合は船首バルブの違いによる造波抵抗差も小さいといえる。よって、実船は航海速力付近の性能がやや良い Model-A の船型を採用した。

Model-A の自航要素を Fig. 6 に示す。推力減少率 t 、伴流係数 w_c および推進器効率比 η_r は試験状態による差が小さく、フルード数に対する変化も小さく、ほぼ予想通りの妥当な結果である。

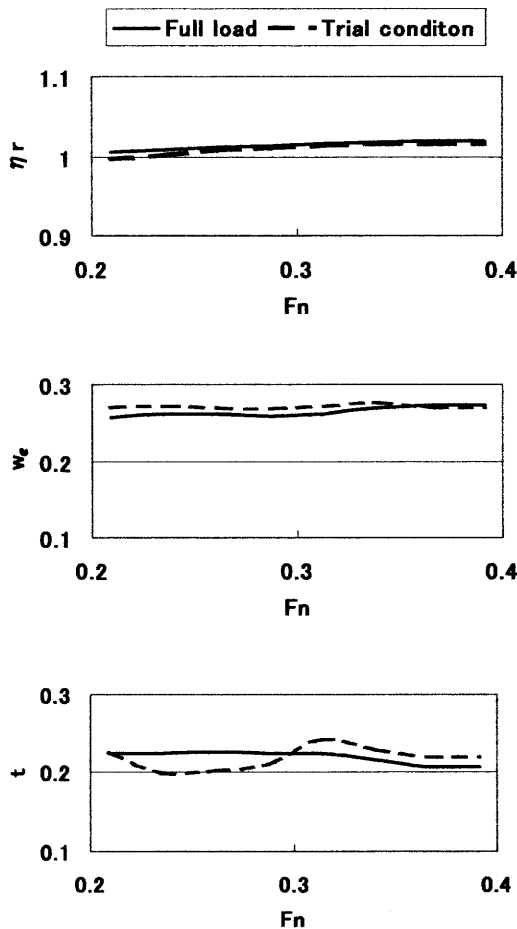


Fig. 6 Self-propulsion factors of Model-A

Model-A のプロペラ位置の伴流分布 (左舷側) を Fig. 7 (a), (b) に示す。同図で実線は等速度線 (数値は局所伴流係数 $w=1-\frac{v}{V}$ を表している。ここで、 v はその位置のプロペラ軸方向流速である) を、矢印は横断面内の速度成分を表している。満載状態と試運転状態では船体中心線付近の低速域の大きさに違いが見られるが、全体としてはよく似た分布となっている。この伴流分布を考慮して、プロペラ効率およびキャビテーションの両面から最適なプロペラ設計を行った。

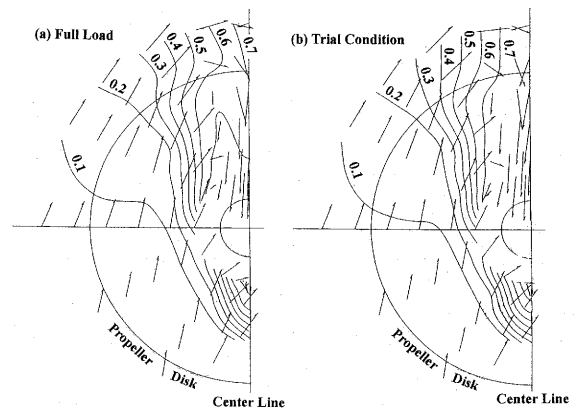
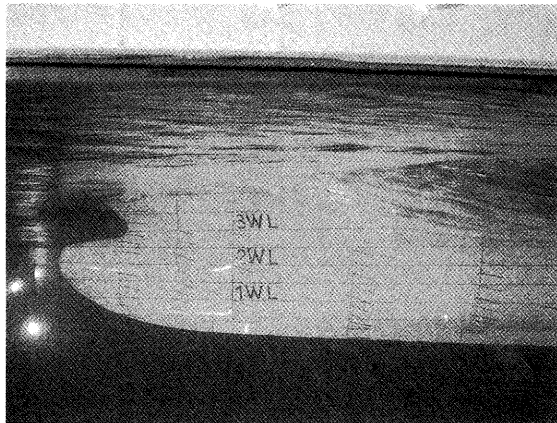
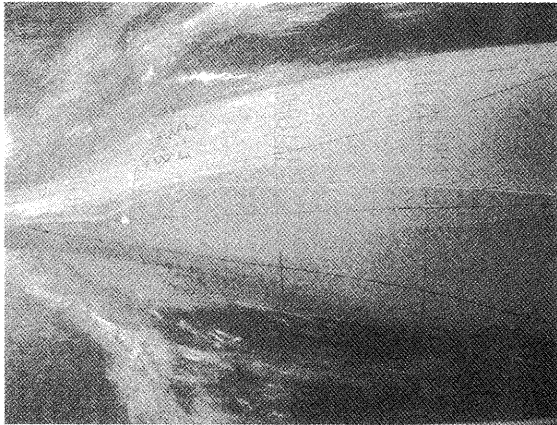


Fig. 7 Measured wake distributions at propeller plane

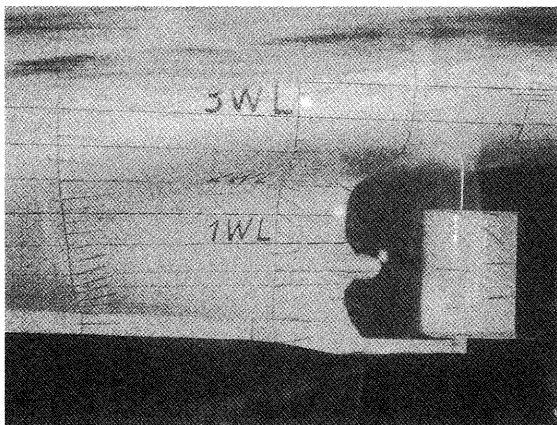
本船は船首船底にソナードームを設けて、計量魚群探知機を配備している。船首波の発生に伴って気泡が水面下に流入して音響機器による計測に悪影響を及ぼすことがあるので、それを避けるような船首形状やソナードーム形状とする必要がある。そこで、 $L_{pp}=2.0$ m の模型船を使って、船首部の流線の観測を行った。同時に、ソナードームやビルジキール近傍および船尾の流れの観察を鹿児島大学共同利用施設回流水槽で行った。回流水槽の観測部の大きさは、長さが6.0 m、幅が2.0 m、水深が1.0 m である。可視化試験は表面タフト法と染料注入法で行った。タフト法ではタフトとして長さ25mm の極細毛糸を用いた。一方、染料はフェノールフタレインと水酸化ナトリウムの溶液を用い、水溶液を注射針からビニールパイプを介して約1 mm 直径孔のインジェクターよりゆっくりと放出した。タフト法による可視化はスチールカメラで記録した。船速12ノットにおける船首付近、船首船底および船尾付近のタフト流れの写真を Fig. 8 (a) ~ (c) に示す。船首バルブ付近は比較的水平に流れており、船首水面から船底へ気泡が流入する懸念はない。船底のソナードーム周りの流れも安定しており、剥離渦などによる乱れは観察されなかった。船尾ではスターンフレームやプロペラ軸付近で流れの剥離が見られたが、



(a) Flow at bow



(b) Flow at bottom



(c) Flow at stern

Fig. 8 Flow visualization at bow, bottom and stern

これはプロペラが作動すると改善されるものと考えられる。

染料注入法による可視化実験はビデオカメラにより記録した。タフト法による観察よりも局所的な船体部位の流れを主として観察した。観察の結果はタフト法による結果と同じであった。なお、ビルジキールの取り付け位置は本可視化実験による流線に沿うように決定した。

動揺特性

本船の使命は漁業実習と海洋調査である。これらの使命を安全かつ効率良く遂行するためには、計画速力は勿論のこと、低速時および停船時の動揺特性が重要な鍵となる。水槽実験により基本となる規則波中での動揺特性を把握し、次に、稼動海域を想定した不規則波中での動揺特性を調べた。最後に横揺れを減少させるビルジキールの設計について述べる。これらの水槽実験には可視化実験に使用した2m模型船を使い、三菱重工長崎研究所耐航性能水槽で実施した。

規則波中での想定速力は、計画速力(12knots)より少し減速した10.5knotsである。向い波中での上下揺れ(Heaving)の応答関数をFig.9に示し、縦揺れ(Pitching)の応答関数をFig.10に示す。また、横波中での横揺れ(Rolling)の応答関数をFig.11に示す。上下揺れの応答関数は、波振幅(ζa)で無次元化されたものである。縦揺れ、横揺れの応答関数は、最大波傾斜角($k\zeta a$, $k=2\pi/\lambda$; λ は波長)で無次元化されたものである。図中の○印は実験結果であり、実線はストリップ法での計算結果である。Fig.11のBK-1, BK-2, BK-3は3種のビルジキールを示している。上下揺れは、同調点付近で多少計算結果が大きく推定されているが、それ以外の波周期帯(λ/L_{pp} ; L_{pp} は垂線間長さ)では実験結果と計算結果との一致度は良い。また、縦揺れ、横揺れとも実験結果と計算結果との一致度は良い。これらの結果から船体運動の

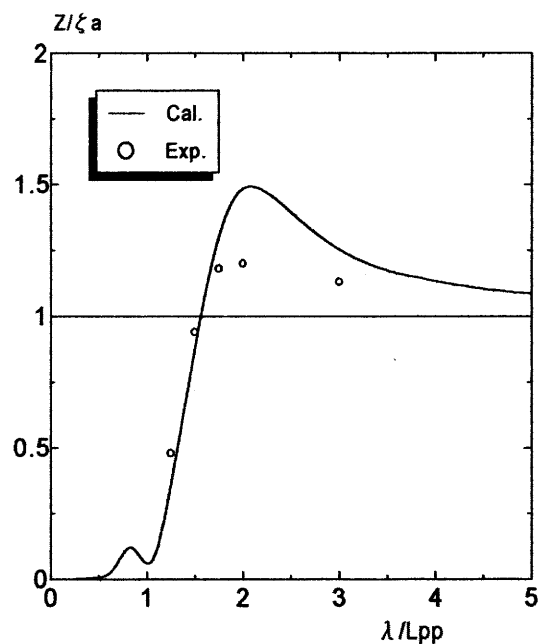


Fig. 9 Response function of heaving in head seas

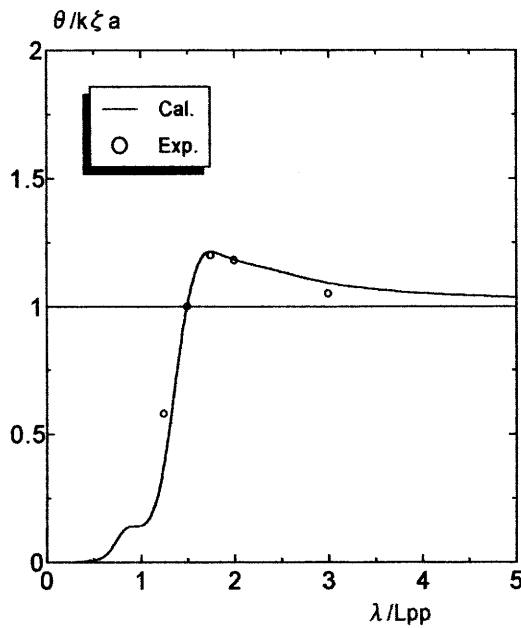


Fig. 10 Response function of pitching in head seas

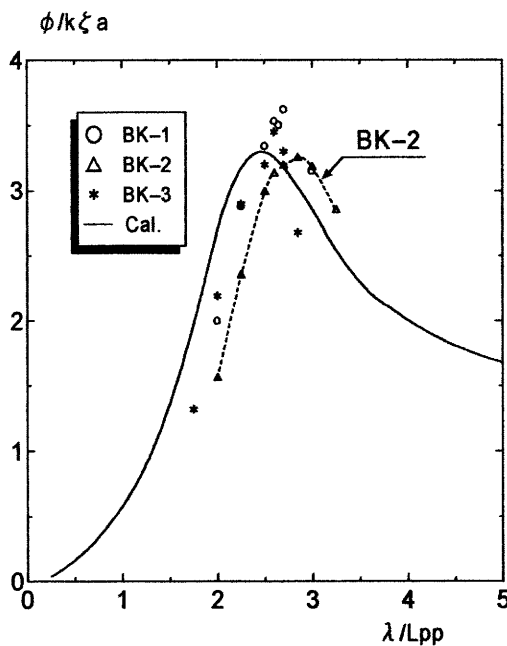


Fig. 11 Response function of rolling in beam seas

入力となる波の状態、つまり、波振幅 (ξa) と波長 (λ) が分れば本船の船体運動を的確に推定することができる。

次に、一番面積の大きいビルジキール (BK-2) を装着した模型船を使って、鹿児島湾内、南西諸島海域で遭遇頻度の高い波を想定した不規則波中での動揺計測実験を実施した。不規則波の波スペクトルには、International Ship Structures Congress (国際船体構造会議: ISSC) で提唱されているものを用いた。この波スペ

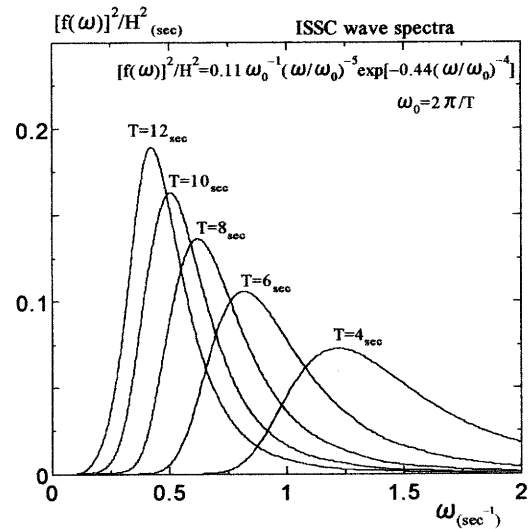


Fig. 12 Example of wave spectrum by ISSC

クトラムは (3) 式で与えられ、その計算例を Fig.12 に示す。

$$[f(\omega)]^2 = \frac{0.11}{\omega_0} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-5} e^{-0.44(\omega/\omega_0)^{-4}} \cdot H^2 \quad (3)$$

ただし、 H は有義波高 (最大1/3平均) であり、 ω_0 は平均波円周波数である。

前述の海域での有義波高は、乗組員に分りやすい Beaufort Scale (BF. S.) を指標にして定めた。Beaufort Scale に対応する有義波高、平均波周期と相当波長は Table 2 に示す通りである。また、速力は10.5 knots, 8 knots, 0 の3種類である。BF. S. 3は、鹿児島湾で時化した状態を想定したものである。また、BF. S. 5は、南西諸島海域で通常的な状態を想定したものである。さらに、BF. S. 6は、これより少し時化した状態を想定したものである。上下揺れ振幅の有義値を Fig.13に示す。波の主成分が向い波の場合よりも、横波の方が大きな揺れとなること分る。また、上下揺れについては、速力の影響があまり見られない。次に、縦揺れ振幅と横揺れ振幅の有義値を Fig.14に示す。BF. S. 3の状態では、縦揺れ、

Table 2 Significant wave height, wave period and wave length

	BF.S.3	BF.S.5	BF.S.6
Wave height H 1/3 (m)	1.3	2.1	3.0
Wave period Tm (sec)	4.4	5.6	6.7
Wave length λ m (m)	30	50	70

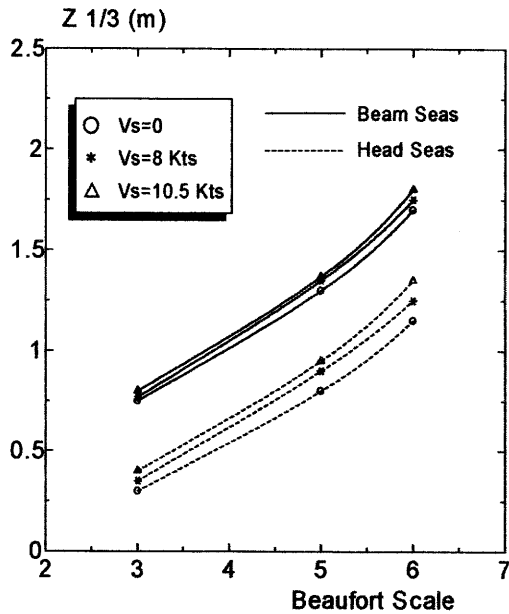


Fig. 13 Significant amplitude of heaving in irregular waves

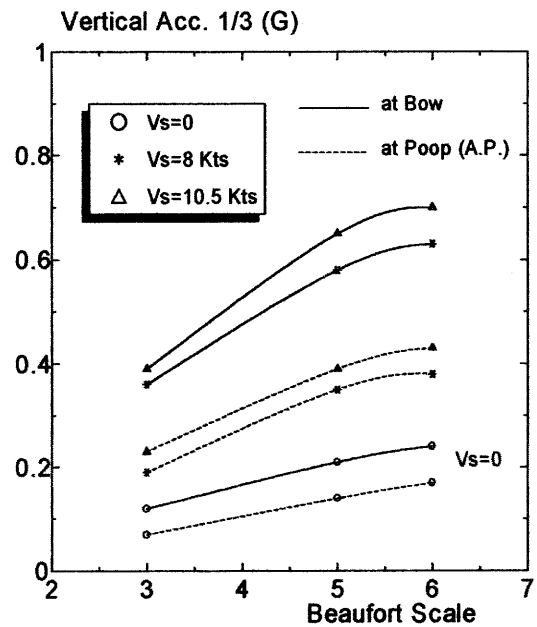


Fig. 15 Significant amplitude of vertical acceleration in irregular waves

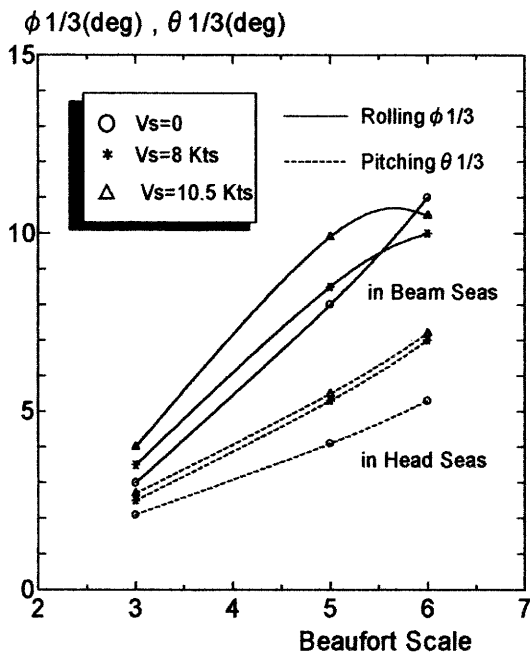


Fig. 14 Significant amplitude of rolling and pitching in irregular waves

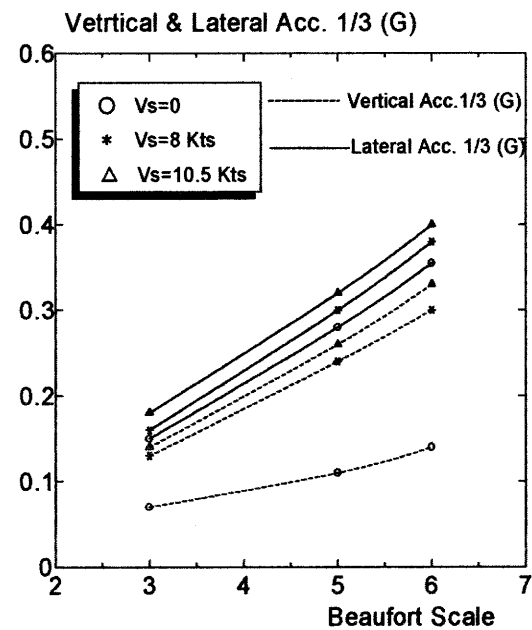


Fig. 16 Significant amplitude of vertical and lateral accelerations in irregular waves at the bridge

横揺れともに小さいが、BF. S. 6を超えると横揺れ振幅が10°を超え、かなり厳しい揺れとなることが推察される。また、縦揺れ、横揺れは停泊時に比べ速力が増すに従って大きくなっている。これらの運動が人に及ぼす影響を乗り心地の観点から上下加速度と横加速度振幅について考察する。

Fig.15は、上下加速度の有義振幅値である。実線は、上甲板の上の船首部先端位置での計測値であり、破線は、船尾部デッキ上のAP位置での計測値である。船尾部は、

船首部に比べかなり上下加速度振幅が小さい。また、上下加速度振幅は速力の影響が大きく、速力が増すにつれて非常に大きくなる。これは、向い波中であると速力の増加により波と船体との出会い周波数が大きくなるためである。一方、航走時に問題になるのは、船橋位置での人への影響である。船橋位置での上下加速度振幅と横揺れ振幅を Fig.16に示す。本船の場合、上下加速度に比べ横加速度が大きい。

乗り心地の評価法として、ノルエー船級協会³⁾や重慶の乗り心地評価法⁴⁾等がある。ノルエー船級協会の方法は、Table 3に示すように、上下加速度振幅、横加速度振幅と横揺れ振幅の許容値と作業内容とを併記したものである。Fig.15より、本船の場合、簡単な作業であると停船時における船尾部では、BF. S. 6程度まで許容される。また、速力8 knotsにおける船尾部ではBF. S. 3程度まで許容でされる。また、重慶の評価法は、上下加速度振幅、横加速度振幅とそれぞれの周期の影響を評価したもので、 $K=0\sim 1$ の指標で表されている。K値は、乗客あるいは学生のように日常的に訓練を受けていない乗船者を対象として、その酔い者の割合を意味する。船速10.5 knots、船橋位置での加速度計測結果 (Fig.16参照) から、本評価法による乗り心地評価をした結果をTable 4に示す。BF. S. 3でも $K=0.74$ とかなり厳しい値となる。これは、本船が南西諸島海域のような外洋で通常的に活動を行うのはかなり困難であり、仮に、外洋で通常的に活動を行うためには、さらに大型の船型を必要とすることを示している。

学生が酔いに悩まされずに乗船実習を行えるように、横揺れの減揺は本船の計画段階からの大きな検討課題であった。横揺れ減揺法には、フィンスタビライザー、舵減揺法、アンチ・ローリングタンク、ビルジキール等による方法がある。しかし、本船のスペース、減揺効果、建造費用等の問題からフィンスタビライザー、舵減揺法、アンチ・ローリングタンクよりもビルジキールが適当と判断して、減揺効果の大きなビルジキールについて検討することにした。

Table 3 RMS criteria of accelerations and roll (NORDFORSK, 1987)

Vertical acceleration	Lateral acceleration	Roll	Description
0.20g	0.10g	6.0°	Light manual work
0.15g	0.07g	4.0°	Heavy manual work
0.10g	0.05g	3.0°	Intellectual work
0.05g	0.04g	2.5°	Transit passenger
0.02g	0.03g	2.0°	Cruise liner

Table 4 Evaluation of passenger comfort by Shigehiro's method

	BF.S.3	BF.S.5	BF.S.6
Z (G)	0.14	0.22	0.30
Y (G)	0.18	0.32	0.40
T _m (sec)	4.4	5.6	6.7
K	0.74	0.92	0.97

実船への適用可能なビルジキールとして、Fig.17に示すように3種類のビルジキール形状を考案した。BK-1は建造造船所で標準的なものである。BK-2は標準型と長さを同等にして、船幅一杯までビルジキール幅を伸ばした幅広型である。BK-3は、長さを変えずに3分割にして、横揺れによって流出する渦の数を増して減揺効果の向上を狙った分割型^{5), 6)}である。なお、この分割の隙間幅はフレームスペースに合わせている。

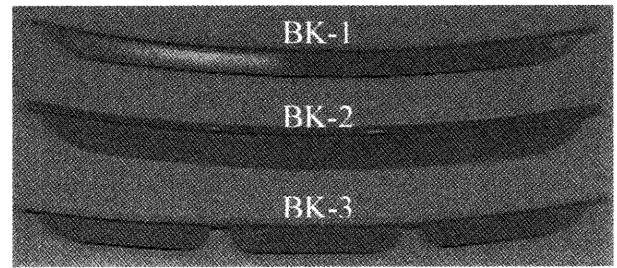


Fig. 17 Model of bilge keels

平水中での自由横揺れによる減減係数 (横揺れ振幅10°) の比較を Fig.18に示し、これら数値をTable 5にまとめて示す。減減係数が最も大きかったのは、BK-2の幅広型であった。さらに、Fig.11に示すように、KB-2は、横

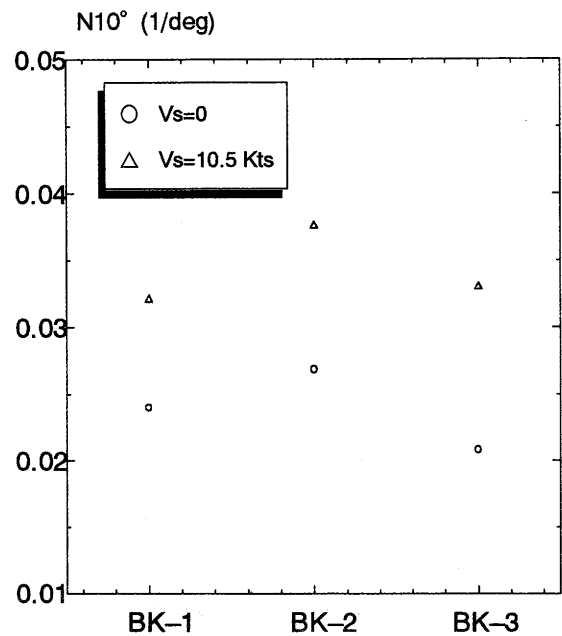


Fig. 18 Comparison of the extinction coefficients at 10 degrees

Table 5 Results of the extinction coefficients

Vs (kts)	BK-1	BK-2	BK-3
Vs=0	0.0240	0.0269	0.0208
Vs=10.5	0.0321	0.0376	0.0330

波中でも横揺れ振幅が標準型および分割型に比べ約10%程減少することが確認された。以上の結果から、実船にはBK-2を採用した。

実船の試運転成績

海上試運転は平成14年10月30日に長崎港外三重沖にて実施した。天候は曇り、東北の風、風速 0.5 m/s の穏やかな海象であった。海上公試時の排水量は満載計画時の約80%の408 tonsであり、船首喫水 $d_f=1.191\text{m}$ 、船尾喫水 $d_a=2.837\text{m}$ の状態であった。

ピッチ比一定 (ピッチ角 23.8°) とプロペラ回転数一定 (263rpm) の条件での速力試験結果を Fig.19に示す。同図には試験状態が若干異なるが、水槽実験からの推定結果 (ピッチ比一定) も実線で記入している。推定結果と実船の試運転結果は良く一致している。プロペラ回転数一定の場合は低速域でピッチ比一定の場合よりも若干船速が低下している。試運転の最高速度は14.487 knotsとなった。なお、後日実施した満載状態の速力試験では、軸発電機駆動状態で、80% 負荷、15% シーマージンの条件下で12.4 knots を到達し、所要性能を満たすことを確認した。

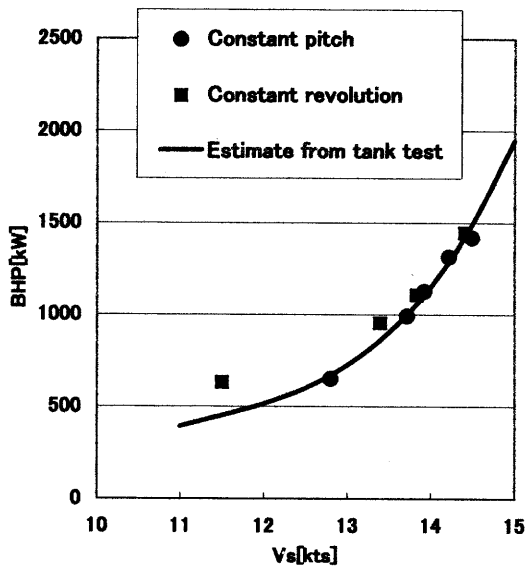


Fig. 19 Results of speed trial

次に、操縦性能試験として旋回試験と Zig-Zag 操舵試験を行った。本船は操縦性能の向上を狙ってシリング舵が採用されているので、まず、シリング舵の特性について述べる。

シリング舵は、Fig.20に示す様に断面形状が魚型であり、上下に端板が取付けられている。この狙いは舵直

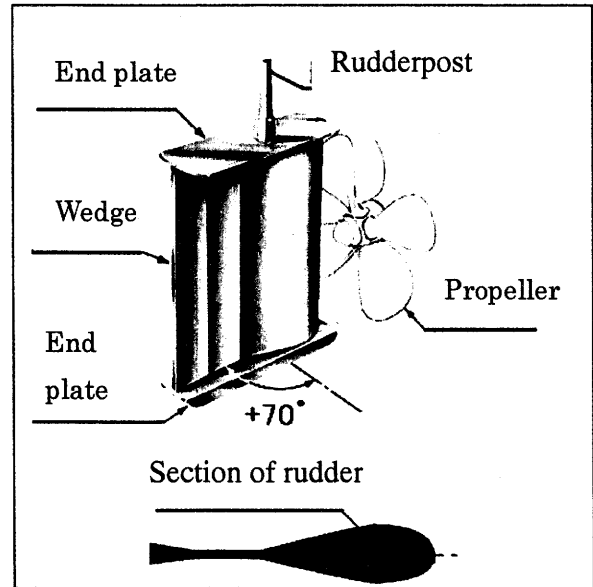


Fig. 20 Schematic illustration of the Schilling rudder

圧力を増すことと大舵角時 (70°) での失速による損失を少なくし、かつ、大舵角でのブレーキ効果を増した操船を可能にすることである。本船の舵の主要目を Table 6に示す。また、南星丸に装備された写真を Fig. 4に示す。本船の舵面積比は、 $1/27.2$ となり、高度な機動性が要求される巡視船・艦艇 ($1/35\sim 1/50$) に比べてもかなり大きい。ただし、 A_R は舵面積であり、 d は平均喫水である。操縦性における船体慣性量を表すパラメータとの比を取ってみると、

$$\frac{A_R}{L_{pp}d} = k \left(\frac{Cb}{L_{pp}/B} \right) \quad (4)$$

より、 $k=0.258$ となる。ここで、 C_b は方形係数であり、 B は型幅である。巡視船・艦艇では、前述の要求からこの比例定数が $k=0.5$ と非常に大きい値で設計されている。漁船では、巡視船・艦艇ほどではないが、洋上での操船性が重視され、比例定数が $k=0.25$ 程度で設計されている⁷⁾。本船は正にこの範疇にある。なお、一般商船は $k=0.1$ 程度である。本船は復原性能の観点から幅広として

Table 6 Principal dimensions of rudder

Items	Dimensions
Height (m)	2.160
Breadth (m)	1.680
Area (m^2)	3.630
Aspect ratio	1.290
A_R/L_d	1/27.2

いるために L_{pp}/B が小さくなり、操縦性における船体慣性力が大きくなっている。本船の舵面積に大きい値が要求される理由もここにある。

シリング舵の特性を把握するために、シリング舵、普通舵とこれに上下端板を取付けた舵（端板舵）の単独試験を実施した。供試舵の縮尺は1/17であり、試験時のレイノズ数は、 $R_n=1.0 \times 10^5$ 程度である。試験結果から得られた、これらの舵直圧力特性の比較を Fig.21に示す。シリング舵は、普通舵に比べ約40%程舵直圧力係数 F_n が大きく、また、端板舵に比べて舵直圧力係数が約10%程大きい。

さらに、これら3種の舵を装備した模型船（長さ2m、縮尺1/17）の自由航走による旋回実験を実施した。なお、実験状態は、満載計画状態である。自由航走中の写真を Fig.22に示す。また、Fig.23は舵角 10° の、Fig.24は舵角 35° の旋回航跡の比較である。揚力特性の向上に比例して、普通舵、端板舵、シリング舵の順に旋回性能が向上していることが分る。

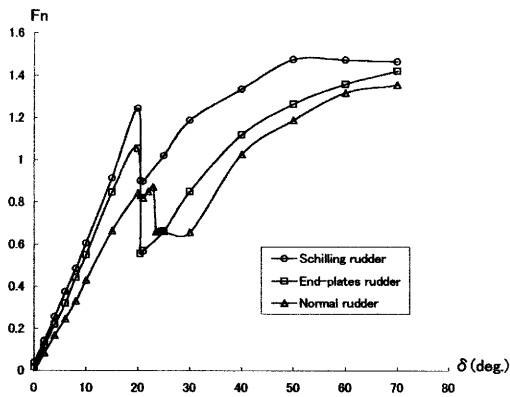


Fig. 21 Comparison of normal force among Schilling rudder, End-plates rudder and normal rudder

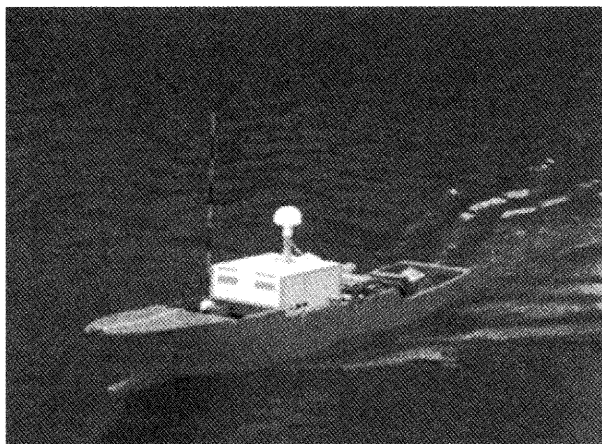


Fig. 22 Free running model tests of the Nansen-Marun

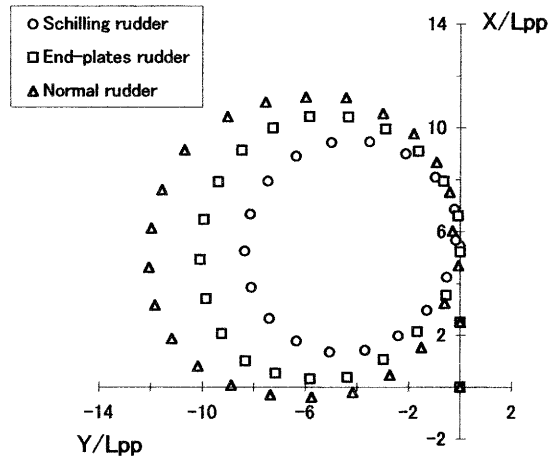


Fig. 23 Comparison of port turning trajectories among Schilling rudder, End-plates rudder and normal rudder at rudder angle of 10 degrees

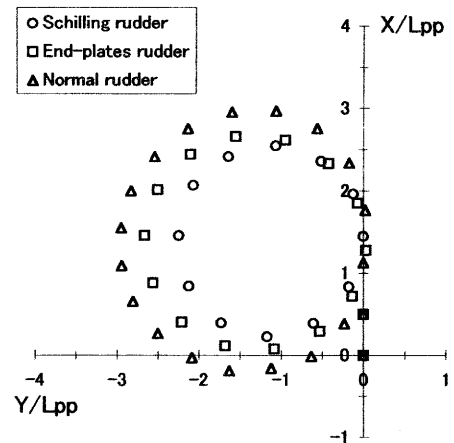


Fig. 24 Comparison of port turning trajectories among Schilling rudder, End-plates rudder and normal rudder at rudder angle of 35 degrees

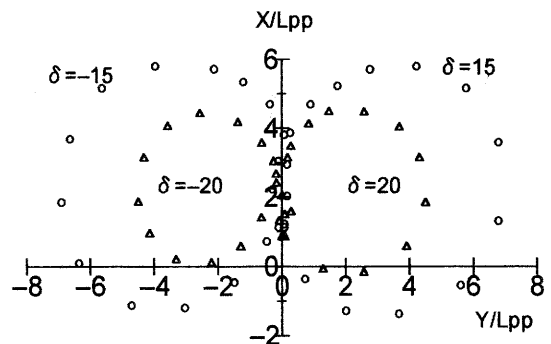


Fig. 25 Results of turning trajectories at rudder angle of 15 degrees and 20 degrees at sea trial

Table 7 Results of sea trials of turning ability at rudder angle of 15 degrees and 20 degrees

Rudder angles	Port turning	Starboard turning
15	M.AD.=5.4L _{pp} M.DT.=6.3L _{pp}	M.AD.=5.4L _{pp} M.DT.=6.3L _{pp}
20	M.AD.=5.4L _{pp} M.DT.=6.3L _{pp}	M.AD.=5.4L _{pp} M.DT.=6.3L _{pp}

海上公試での旋回試験結果を Fig.25 に示す。また、最大縦距 (M. AD.) と最大旋回圏 (M. DT.) の値を Table 7 に示す。この時の試験速度は 12.0 knots であった。

また、本船は旋回による横傾斜角が大きいので、舵角 35°ではなく、舵角 15°と 20°で旋回試験を実施した。舵角 20°でも最大縦距が約 4.1L_{pp}、最大旋回圏が 4.1L_{pp} であり、一般商船の最大舵角 35°に匹敵する性能である。

次に、10-10Zig-Zag の結果を Fig.26 に示し、20-20Zig-Zag の結果を Fig.27 に示す。図中の実線は、右舵からの開始であり、破線は、左舵からの開始である。10-10Zig-Zag での第一行過ぎ角 (1st. Overshoot angles) は約 6°であり、第二行過ぎ角 (2nd. Overshoot angles) は約 7°である。また、20-20Zig-Zag での第一行過ぎ角は約 9°である。これらの試験結果から、操舵に対する船体の応答が定性的に非常に良いことが分る。さらに、定量的な

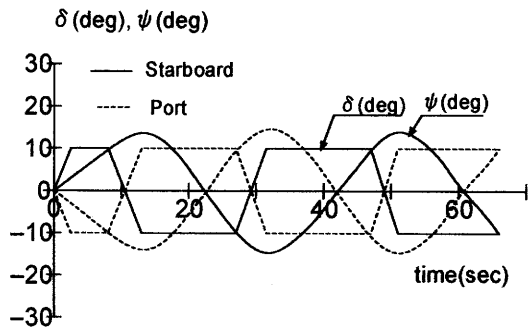


Fig. 26 Results of 10-10 Zig-Zag maneuver at sea trial

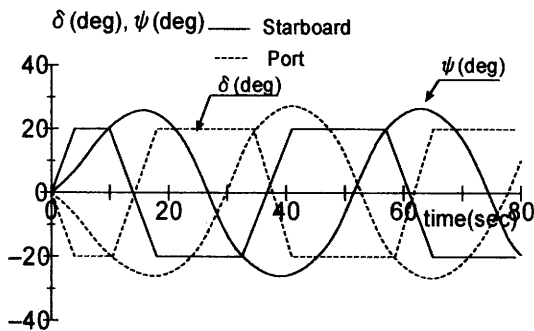


Fig. 27 Results of 20-20 Zig-Zag maneuver at sea trial

評価手法の一つとして、KT 指数の解析がある。本船の KT 指数は、 $K=0.23$ (1/sec), $T=4.0$ (sec) である。これらの値は、略同寸法の練習船等と比べると、K の値が約 2 倍程大きく (旋回性能が良い)、T の値が約 1/2 程である (追従性能が非常に良い)。従って、本船は当初の狙い通り、非常に操縦性能の良い船型である。

本船はバウスラスターとして水平面のあらゆる方向へ推力を発生することが出来るポンプジェットを採用している。ポンプジェットと CPP とシリング舵を組み合わせたシステム操船装置を導入して、ジョイスティック操作により、低速時の横移動や斜め移動、その場回頭などの操船を可能にしている。平成 15 年 2 月 26 日に錦江湾において本船のシステム操船試験を実施した。航跡は GPS で、針路はジャイロコンパスにより、船速はドップラーログにて計測し、それぞれの計測データをサーバーに取り込んで船内 LAN を介してドライ研究室のパソコンより出力した。左舷方向の横移動試験結果を Fig.28 に示す。

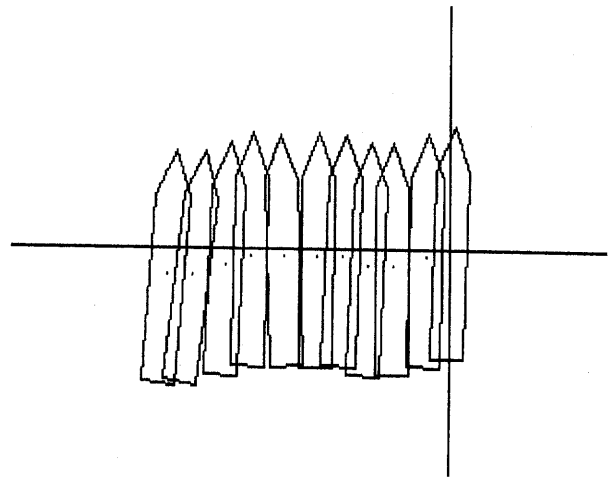


Fig. 28 Crabbing motion by joystick control

このときの舵角は左舷 68°、CPP のピッチ角は 6.9°、ポンプジェットの推力方向は左舷方向に約 105°であった。ポンプジェットの推力の後ろ向き成分と CPP の前進推力および舵の抵抗が釣り合って前進方向の力がゼロになって、ほぼ真横方向への移動が実現している。これより、斜め移動など、任意の方向への平行移動が可能であることが分かる。次に、プロペラは停止状態で舵角もゼロで、ポンプジェットのみを使用した時の右旋回試験の結果を Fig.29 に示す。旋回圏は船長とほぼ等しい。一方、舵、プロペラおよびポンプジェットを使ったその場回頭試験では Fig.30 に示すように旋回圏は非常に小さくなっている。このように、ポンプジェットと CPP とシリング舵を組み合わせたシステム操船によって低速時の細かい操船が正確にできることが確認された。

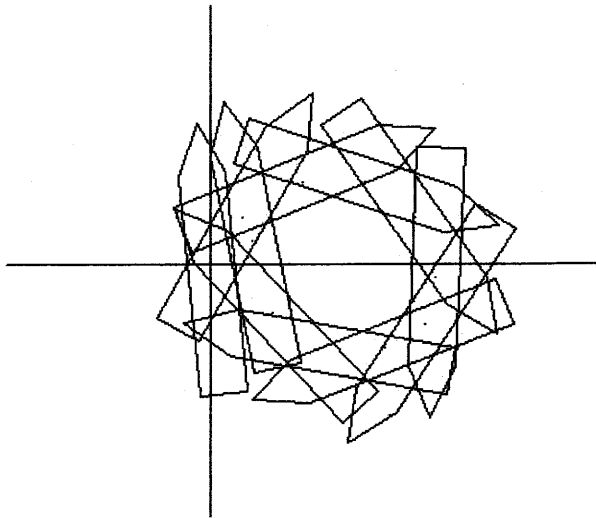


Fig. 29 Turning trajectories by pumpjet at dead speed

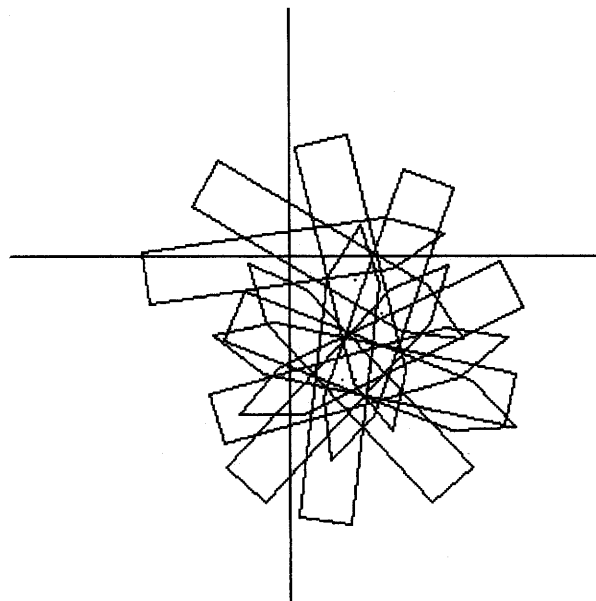


Fig. 30 Turning trajectories of short turning test

まとめ

本稿では第3代「南星丸」の船型開発と推進性能、操船性能、動揺性能について述べている。水槽試験に基づく船首バルブの設計やビルジキールの選定、ソナードームの形状決定など、適切な船型設計により、所要の性能を十二分に満たすことが実船の試運転にて確認された。また、本文では割愛したが、船体振動や船内騒音についても所要の仕様を満たすものであった。

これからますます重要性が増す海洋環境や水産資源に関する教育・研究に、本船が期待にそえる活躍をするものと確信している。

なお、本船の船型開発や船体設計、建造にあたっては数え切れないほど多くの方々のご指導とご協力を得ました。心より感謝申し上げます。本来ならば、一人一人のお名前を挙げて謝辞を申し上げるべきところですが、割愛させていただきます。

参考文献

- 1) 永松哲郎 (2003) : 鹿児島大学水産学部漁業練習船"南星丸", 海洋水産エンジニアリング, 21, pp.7-22.
- 2) 山磨敏夫 (2001) : 全旋回式バウスラスター漁船, 352, pp.128-133.
- 3) 池田良穂, 重廣律男 (1993) : 船舶の乗り心地評価法, 関西造船協会らん, 20, pp.17-22.
- 4) Shigehiro R., T. Kuroda, and Y. Arita (2001) : Evaluation Method of Passenger Comfort for Training Ships in Irregular Seas, Proceedings of the Eleventh International Offshore and Polar Conference, Stavanger, Norway, Vol. IV, pp.562-569.
- 5) 池田良穂, 高田浩, 田中紀男 (1990) : 中型カーフェリーの横揺れ特性に関する実験的研究, 関西造船協会誌, 213, pp.51-62.
- 6) 加藤弘 (1950) : 縦列矩形型板型湾曲部龍骨の横揺防止効果に就いて, 日本造船協会論文集, 87, pp.87-96.
- 7) 芳村康男 (2002) : 舵の原理と設計, 関西造船協会らん, 55, pp.3-11.