低速肥大船の斜航中推進性能について

正会員 藤 沢 純 一*

正会員 若 生 大 輔*

正会員 川 北 千 春*

Propulsion Performance of a Slow Blunt Ship in Oblique Motion

by Junichi Fujisawa, *Member*
Chiharu Kawakita, *Member*

Daisuke Wako, *Member*

Summary

A propulsion performance test using a model for estimating the horsepower of a general cargo ship is usually performed to grasp the performance in a straight running condition. However, it is expected that understanding of the propulsion performance at low speeds and oblique conditions will be important for slow blunt ships and wind-assisted propulsion ships that will be developed to achieve zero GHG emissions in the future.

In this study, the propulsion performance was measured using a slow blunt ship model at low speed and oblique conditions, which was not performed in a normal tank test. The effects on the wake and propulsion performance due to the change of the oblique angle and the effects in the low speed were experimentally understood.

1. 結 言

2016 年にパリ協定が発効し、脱炭素化の世界的な機運が高まる中、今後、需要拡大が見込まれる国際海運分野でも、更なる温室効果ガス（GHG）の排出削減が喫緊の課題となっている。国際海事機関（IMO）において、2018 年 4 月に採択された GHG 削減戦略では 2008 年時点における国際海運からの GHG 排出量を基準として、2030 年までに平均燃費の 40%改善を、2050 年までに GHG 総排出量を半減させ、最終的には、今世紀中のなるべく早期に、GHG 排出量ゼロ（GHG ゼロ・エミッション）を目指す目標となっている¹⁾。

GHG 削減戦略における目標は、2050 年までの長期目標として、低/脱炭素燃料等の普及を前提として提案されている。しかしながら、低/脱炭素燃料は高コストなものになる事が予想され、GHG ゼロ・エミッション達成に向けたロードマップの具体化に向けた検討においては、高コストな低/脱炭素燃料の使用を念頭に置きつつ、全体コストが最小になるような対策を組み合わせる必要がある。その対策として、省エネ技術（ESD、空気潤滑法、船型最適化等）、運航効率化（ウェザールーティング等）、次世代燃料・推進システム（低/脱炭素燃料、カーボンリサイクル、風力推進等）が挙げられるが、特に効果的な対策として減速運転がある。

新郷ら²⁾は、減速運転を前提として計画された船型の主要目の検討を行い、エネルギー効率（トンマイルあたりのエネルギー量）と輸送量（時間あたりのトンマイル）を比較した結果、現行船に対し載貨重量を 2 倍、計画速力を半減させることで、輸送量を確保しながら 2008 年時点の GHG 基準値より 80%以上の大幅な改善が期待できる事を示した。

計画速力を現状の半分以下とした超低速船や、風力推進利用船では、波風の外乱影響は現行船よりも相対的に受けやすくなる。このような船舶の航走状態は、直進というよりは、斜航しながらの航走になる。現状、船舶の推進性能試験は、直進中における抵抗や自航要素を求める試験が一般的である。斜航中における試験は、操縦運動の数学モデルを構築する一環としての操縦運動性能の微係数を求めるための流体力計測^{3)~6)}や、斜波中での抵抗増加量計測⁷⁾のために行われることが多い。操縦運動関連で求められる斜航中自航要素は、荷重量変更試験で求めることが一般的であるが、直進中自航試験で実施される方法と同様に、船速毎に自航させて斜航中自航要素を計測した事例は、著者の調査した限りでは見当たらなかった。

本研究では、将来開発が予想される超低速肥大船の推進性能を把握することを目的に、大型模型を用いた低速域や斜航状態における推進性能試験を実施した。対象船は、船型が公表されている Japan Bulk Carrier^{8),9)}（JBC）の船長を 280m から平行部分を 40m カットし 240m とした JBC_PC 船型とした。プロペラは、本船用に新たに設計した大直径プロペラを用いた。試験は海上技術安全研究所（海技研）所有の三鷹第 2 船舶試験水槽¹⁰⁾（大水槽）において斜航中における伴流計

* 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所

測, 抵抗・自航試験を実施し, 斜流プロペラ単独試験については三鷹第 3 船舶試験水槽¹¹⁾ (中水槽) において実施した。

2. 水槽試験

供試模型船および模型プロペラの主要目を Table 1 および Table 2 に, 水槽の主要目を Table 3 に示す。斜航試験における装置の概要および試験配置を Fig. 1 に示す。副部として本模型船には舵を装備しているが, ビルジキールは取り付けしていない。船尾は省エネデバイスとしてダクトを装着できる形状となっているが装着せず試験を行い, 乱流促進器として台形型のスタッドを 3 箇所に取り付けた。

抵抗動力計などの計測装置は直進および斜航中共に共通であり, 同じ精度での計測が行われる。対水流速は斜航角が付いても曳引車の進行方向において計測している。

抵抗試験, 自航試験は満載, イーブン状態でいい, 舵角は 0 度のまま L_{CB} を中心に斜航角 β を 0 度から面舵 7.5 度まで 2.5 度毎で計測を行った。伴流計測試験では, 舵は取り外して計測を行った。斜航試験用の回転装置は使わず, 海技研標準の抵抗・自航試験用装置を用い, 前後のガイド装置を左右に動かすことで斜航させた。平らなクランプバーを用いると斜航した場合模型船を固縛できないので, 旋回半径の r を持ったクランプバーを用いることで, 模型船を固縛できるようにした。

Table 1 Principal particulars of ship model.

		Model	Ship
NMRI MSNo.		879	-
Length between perpendiculars (L_{pp})	[m]	6.0000	240.000
Water line length (L_{WL})	[m]	6.1249	224.996
Breadth (B)	[m]	1.1250	45.000
Draught (d)	[m]	0.4125	16.500
Trim	[m]	0.000	
Bilge keel		w/o	with
Energy Saving Device		w/o	with
Block coefficient (C_B)	[-]	0.8345	
Turbulence Stimulator	Model		
Stud	Position	Height [mm]	Space [mm]
	Bulb Center	3	10
	S.S. 9 1/2	3	10
	13mm behind S.S. 9 1/2	3	10

Table 2 Principal particulars of propeller model.

		Model	Ship
NMRI MPNo.		710	-
Diameter (D_p)	[m]	0.2500	10.000
Pitch ratio (H/D_p)	[-]	0.8022	
Expanded area ration (a_E)	[-]	0.5065	
Number of blades (Z)	[-]	5	
Rotational Direction	[-]	Right	

斜流プロペラ単独試験, 伴流計測試験, 抵抗試験および自航試験の試験条件を Table 4 に示す。

Table 3 Principal particulars of towing tank.

		No.2 Towing Tank	No.3 Towing Tank
Length	[m]	400	150
Breadth	[m]	18.0	7.5
Water depth	[m]	8.0	Variable (~3.9)

Table 4 Experimental condition.

Test Item	Towing Tank	β or δ [Deg.]	J or F_r
POT	No.3	-15.0 ~ +15.0	0.00 ~ 0.90
Wake Survey	No.2	0.0 ~ +7.5	0.150
Resistance Test	No.2	0.0 ~ +7.5	0.040 ~ 0.190
Self-Propulsion Test	No.2	0.0 ~ +7.5 , -7.5	0.050 ~ 0.170

Plus : Starboard, Minus : Port

Fig.1 General arrangement.

3. 試験結果

3.1 斜流プロペラ単独試験

通常の船舶ではシャフトレーキはほとんど無いこと, 直進することから斜流角 δ が 0 度におけるプロペラ単独試験 (POT) を行い得られたプロペラ単独性能 (POC) を用い, 自航解析を行っている。

斜流プロペラ単独試験 (斜流 POT) は, 高速船のようなシャフトレーキが大きく付く場合に実施されることがあるが, 今回は斜航する船舶において, 斜流角による POC の影響を

把握するために行った。試験は海技研所有のスティング型斜流 POT 動力計を用い、Fig.2 に示すように斜流角を 0 度から 2.5 度毎に 7.5 度までと 15 度について行った。斜流角が付くとプロペラ流入速度が不均一となるため、面舵方向、取舵方向について計測したが、差異が無かったため斜流角が正の面舵側について結果を示す。

斜流 POT 動力計は 6 分力の計測が行えるが、今回はスラストおよびトルクの 2 分力について評価した。計測条件はプロペラ直径を代表長さとしたレイノルズ数 $R_{nd} (=nDp^2/\nu; n$ はプロペラ回転数, ν は動粘性係数) を 0.6×10^6 とし、前進係数 $J (=V_A/nDp; V_A$ は前進速度) を 0 からスラストが負となる 0.9 までの範囲とした。なお前進速度 V_A は翼車型流速計で計測した対水速度としている。

斜流中では計測された軸力に斜流角の余弦を乗じた結果をスラストとし、トルクは計測された値を用いスラスト係数 $K_T (=F_x \times \cos \delta) / (\rho n^2 D p^4); F_x$ は斜流 POT 動力計で計測された軸力, ρ は水の密度), トルク係数 $K_Q (=M_x / (\rho n^2 D p^5); M_x$ は計測されたトルク), 単独効率 $\eta_o (=J \times K_T) / (2\pi K_Q)$ を算出した。横軸に前進係数 J を縦軸に POC を示し比較した結果を Fig.3 に、横軸にプロペラ荷重度 $\sqrt{K_T/J}$ を、縦軸に単独効率を示し比較した結果を Fig.4 に示す。

得られた POC より斜流角 7.5 度までは直進時とほぼ同じ性能となっており、前進係数が 0.5 における比較では単独効率は $\pm 0.1\%$ 程度、プロペラ荷重度が 0.9 における比較では $\pm 0.1\%$ 程度の違いであった。斜流角が 15 度の場合、同様に比較すると単独効率がそれぞれ 1.8% 程低下, 0.3% 程度低下した。

これらの結果より一般商船用プロペラでは、斜流中においても直進時と同等の POC となることから、斜流角 7.5 度以下の斜航中の自航試験においても直進時の POC を適用できると言える。

Fig.2 Alignment of oblique flow POT dynamometer.

Fig.3 Test results of POT in oblique flow.

Fig.4 Test results of POT in oblique flow.

3.2 伴流計測

プロペラ面内における伴流分布や流向を計測することはプロペラ設計に欠くことのできない情報となると同時に、推進性能を論じる上でも有用な情報となる。船舶は通常直進するため伴流計測は一般的に直進状態で行われており、斜航中における伴流計測の報告^{12),13),14)}は少ない。

今回、斜航中の推進性能試験を行うに当たって、プロペラに流れ込む伴流分布を把握するための計測を行い、計測された船体方向の流速 V_x 、横方向の流速 V_y 、縦方向の流速 V_z は一様流速 V_m を用いて無次元化した。一様流速は翼車流速計で計測された対水速度を用いた。

これらの結果より伴流率 $w (=1-V_x/V_m)$ 、円周方向の速度比 V_T/V_m 、半径方向の速度比 V_R/V_m を求め斜航角毎の比較を行った。座標は船体固定座標とし船体の方位を X それに直交する左右方向を Y、上下方向を Z とした。使用した座標系、計測断面などを Fig.5 に示す。

Fig.5 Alignment of wake survey.

計測は船載型のトラバース装置を用い、右手系で示したY-Z断面を直径8mmの球形5孔ピトー管を $0.1D_P$ 間隔で直交座標に移動させて行った。計測範囲はプロペラ直径で無次元化し、プロペラシャフト高さを中心にY方向は $-0.8D_P$ か

ら $+0.8D_P$ まで、Z方向は $-0.9D_P$ から $+0.7D_P$ までとした。なおプロペラボスを取り付けていないため、ボス内部も計測範囲となっている。

伴流率を等高線とカラーマップで表した伴流分布および、Y-Z方向の流速成分をベクトルで表した結果をFig.6からFig.9に示す。上から斜航角が0度、2.5度、5.0度、7.5度の結果である。

伴流分布は船体が面舵方向へ斜航角が大きくなるにつれ、左舷側ではプロペラ面内の流速は下方よりプロペラ中心に向かって速くなっていく。左右舷共に斜航角が大きくなるにつれ速い流れとなるが、右舷側のプロペラ面の外側は遅い領域が増えて来ている。また船体中心近傍では遅い流れとなっている。

流向を比較すると直進ではベースラインより下方から上方への流れが船体中央へ向かう渦となっているが、斜航角が大きくなるにつれ、左舷では船体中心に向かって斜航方向への流れが強くなって行き、7.5度ではプロペラ面の上方外側では左回りの渦が発生している。これに対し右舷側では、ベースラインより下方からプロペラ中心に向かった左回りの渦が大きくなっていくのが判る。

Fig.6 Test results of wake survey at $\beta=0.0$ deg.

Fig.7 Test results of wake survey at $\beta=2.5$ deg.

Fig.8 Test results of wake survey at $\beta=5.0$ deg.

Fig.9 Test results of wake survey at $\beta=7.5$ deg.

計測された各点の伴流率から各半径位置での平均伴流率を求め、横軸に半径位置の自乗、縦軸に平均伴流率を示し比較した結果を Fig.10 に示す。

Fig.10 Comparison of radial wake coefficient distribution.

この結果を用い半径方向に面積分し公称伴流率 W_n を求めた。横軸に斜航角を左縦軸に公称伴流率、右縦軸に斜航角 0 度における公称伴流率 W_{n0} で除した増加率 W_n/W_{n0} を表した結果を Fig.11 に示す。

Fig.11 Comparison of radial nominal wake coefficient.

各半径位置での平均伴流率の比較した Fig.10 から、直径の 80% 程度の範囲まで伴流率の低下が見られるが、それより翼端側ではわずかに大きくなっている。斜航角毎に比較した Fig.11 では 2.5 度では公称伴流率は直進時よりわずかに小さい程度だが、それ以上の斜航角になると直線的に小さくなっており、7.5 度では直進時の 73% 程度となっている。

70% 半径位置における伴流率の比較を Fig.12 に示す。プロペラ直上を 0 度とし、右舷側を 0 度から 180 度、左舷側を 0 度から -180 度で表している。左右舷共に斜航角が大きくなるほど伴流率は小さくなるが、左舷側の低下が著しい。また 0 度近傍は伴流率が大きくなっている。

70% 半径位置における円周方向の速度比を Fig.13 に示す。円周方向の速度比は斜航角が大きくなるにつれ、左舷側 0 度から -90 度までの範囲は時計回り流れが大きくなる。-90 度から -180 度の範囲では小さくなっていき、斜航角 7.5 度では反時計回りの流れが現れる。右舷側ではほぼ全域で反時計回

りの流れから、時計回りの流れに変化していく。

70% 半径位置における半径方向の速度比を Fig.14 に示す。半径方向の速度比は斜航角が大きくなるにつれ、左舷側の 0 度から -60 度までは中心方向の流れが小さくなっていき、-60 度から -180 度の範囲では、中心方向への流れが大きくなっていく。右舷側では逆に 0 度から 60 度前後の範囲で中心方向の流れが大きくなっていき、60 度から 180 度の範囲では反中心方向の流れが大きくなっていく。

これらの結果から船体が面舵へ斜航すると、プロペラディスク面内の主流方向の流れは速くなり、公称伴流率は小さくなっていく。しかし、プロペラ直上の伴流率は大きくなること、プロペラ左舷側から船体中央への旋回流が大きくなることから、プロペラに発生するキャビテーションの非定常性を増加させることに繋がる。

Fig.12 Comparison of wake coefficient at $r/R=0.7$.

Fig.13 Comparison of V_T/V_m at $r/R=0.7$.

Fig.14 Comparison of V_R/V_m at $r/R=0.7$

3.3 抵抗試験

抵抗試験は平水中で模型船を曳航して船体の全抵抗を計測し、フルードの相似則に基づいて粘性抵抗成分と造波抵抗成分に分離する計測を行っている。

解析には斜航状態に対しても直進時同様に海上技術安全研究所標準の手法に則り、3次元外挿法により全抵抗を粘性抵抗と造波抵抗に分離する。相当平板の摩擦抵抗係数 C_{F0} は Schoenherr の式を用い、形状影響係数 K は Prohaska の手法を用い中速域での傾きから算出する。船速は曳引車の進行方向における対水流速を用いることを標準としており、斜航時においても直進時と同様に側壁の影響を修正¹⁵⁾する。

計測装置のガイド、クランプなどは伴流計測と同じ位置に設置しており、抵抗動力計で進行方向から受ける力と、船首、船尾の沈下量を計測した。Fig.15 に抵抗および自航試験の配置図を示す。

Fig.15 Alignment of resistance test & self-propulsion test

全抵抗係数曲線 C_{TM} と粘性抵抗曲線 C_{VM} を Fig.16 に造波抵抗係数曲線 C_W を Fig. 17 に示す。全抵抗係数曲線は横軸をレイノルズ数 R_n ($=V_m \cdot L_{WL}/\nu$; ν は静水の動粘性係数, V_m は側壁影響を補正した流速)で表すと同時に各斜航角におけるフルード数も表記した。造波抵抗係数曲線は横軸をフルード数 F_r で表し、実船船速も表記した。斜航角に対する形状影響係数 K の変化及びそれを直進時における値で除した増加率 K/K_0 を Fig.18 に示す。

全抵抗係数曲線は斜航角が大きくなるにつれ増加し、それに伴い形状影響係数も大きくなっていく。造波抵抗曲線は斜航角によらずほぼ一定の値となった。形状影響係数は斜航角の増加と共にほぼ直線的に大きくなり、斜航角 7.5 度では 0 度の 2 倍以上となっている。

Fig.16 Test results of resistance components.

Fig.17 Test results of C_W .

Fig.18 Comparison of form factor, K .

模型船の船首喫水 (d_F)、船尾喫水 (d_A) における沈下量、船体中央における沈下量、船体傾斜量を Fig.19 から Fig.21 に示す。

沈下量は斜航角が大きくなるにつれて船首では大きくなるが、船尾側では上昇していく。この結果、船体中央はわずかに沈下し、船首側に傾斜していくことが判る。

これらから斜航角が大きくなるに従い全抵抗係数、形状影響係数は増加するが、造波抵抗係数は直進時とほとんど変わらない。また船体傾斜は船首側においては沈下していくが船尾側では上昇して行き、船体傾斜は船首トリムが大きくなっていくことが判る。

Fig.19 Test results of dipping.

Fig.20 Test results of Mean sinkage.

Fig.21 Test results of trim.

3.4 自航試験

自航試験は船体にプロペラが装着されたときのプロペラ、船体、舵との相互干渉を得て推進性能を求め、馬力推定に用いられる。ここでは馬力推定は行わず、自航要素のみを求めた。なお右回りのプロペラの使用に対して、斜航角は面舵側としている。

平水中において抵抗試験と同様にフルードの相似則に基づき行い、抵抗動力計で曳引力を計測し、自航動力計でスラスト、トルク、プロペラ回転数を計測している。試験は斜航状態に対しても直進時同様に海上技術安全研究所標準の手法に則り摩擦抵抗修正量 SFC を求め、曳引力が SFC に一致するようにプロペラ回転数を決めている。船速の算出は抵抗試験と同様にしている。Fig.15 に示すように曳引力は曳引車の進行方向から受ける力とし、スラストは自航動力計の軸力とした。これはバラストなどでトリムが付いた状態でのスラストは軸力のままとしているため、斜航状態でも同様にした。

なお斜航角が付くと左右非対称の伴流分布となるため、面舵のほか取舵 7.5 度 ($\beta = -7.5$) についても計測を行った。

横軸にフルード数を縦軸にスラスト減少係数 $1-t$ 、有効伴流係数 $1-W_T$ 、プロペラ効率比 η_R を示した結果を Fig.22 に、取舵、面舵の比較を Fig.23 示す。なお横軸には実船船速も表記した。

Fig.22 Test results of self-propulsion factors.

Fig.23 Comparison of starboard and port.

スラスト減少係数は斜航角 0 度の結果と比較すると 2.5 度では 0.01 以下程、5.0 度では 0.05 程度小さくなった。また船速の増加に伴いスラスト減少係数は大きくなっている。これに対し斜航角が 7.5 度では船速に対しほぼ一定となり、斜航角が -7.5 度では 2.5 度の時とほぼ同一であった。また斜航角

が 0 度と 7.5 度は安定した計測値であったが、2.5 度、5.0 度は不安定な計測値となった。

有効伴流係数は斜航角が付くにつれ単調に増加していくが、斜航角-7.5 度では不安定な計測結果となった。

プロペラ効率比は斜航角 0 度に対して 2.5 度では 0.01 程度高く斜航角が-7.5 度では 0.01 程度低い。5.0 度、7.5 度ではほぼ同一であった。フルード数が 0.10 以下ではどの斜航角においても船速の低下と共に増加していった。

フルード数が 0.150 において、斜航角に対する伴流係数の変化及びそれを直進時における値で除した増加率 $1-W_T/1-W_{T0}$ を Fig.24 に、伴流計測で得られた有効伴流係数との比較を Fig.25 に示す。

有効伴流係数は斜航角が面舵側への増加と共に大きくなり、7.5 度では 20% 程度増加するが、取舵側の-7.5 度では 5% 程小さくなる。また公称伴流係数と比較すると、直線上になることから両者には高い相関があることが判る。

Fig.24 Comparison of effective wake.

Fig.25 Nominal wake versus effective wake.

斜航角が面舵+7.5 度と取舵-7.5 度を比べると、スラスト減少係数は取舵の方が大きく、有効伴流係数は取舵の方が小さい。このことから面舵より取舵側の方が船殻効率が高くなるのが判る。伴流計測より面舵の場合右舷側に大きな縦渦が発生し、取舵の場合これが逆となり有効伴流係数に差が生じる。スラスト減少係数の差はプロペラによる回転流の大きさが変わることにより、舵に流入する回転流の大きさに差が生

じることから舵が発生する推力に差が表れるためと考える。プロペラ効率比はプロペラに対する不均一流によって生じるが差は少ない。

3.5 低速域での計測誤差

低速域から高速域まで同じ計測器を用いて計測している。フルード数が 0.10 以下における低速域での計測は計測量が小さいことから高速域に比べると大きな誤差を含んでいると考えられる。斜航角 0 度において各種の計測量を動力計の定格で除した結果を Fig.26 に示す。

この結果より、フルード数が 0.10 以下の低速域ではそれぞれの定格に対し 8% 以下での計測となっており、高速域より大きな誤差を含むことになる。全抵抗値、曳引力、スラストの誤差はスラスト減少係数に、スラストの誤差は伴流係数に、スラスト、トルクの誤差はプロペラ効率比にそのまま表れる。

また低速域における自航試験ではプロペラ回転数が低く、プロペラのレイノルズ数はフルード数が 0.10 では 0.15 と比べると 66% 程度、0.05 では 33% 程度まで低下している。自航解析で用いる POC のレイノルズ数影響により、自航要素の η_R に影響を及ぼすことは知られている¹⁰⁾。今回の計測において、全ての斜航角で低速域の η_R が過大な値を示した要因の一つと言える。

Fig.26 Ratio of measurement to rated.

4. 結 言

本研究では、船型が公開されている JBC 船型の平行部を短縮した JBC_PC 模型船を用い、通常の水槽試験では、ほとんど行うことの無い、斜流中における POT、斜航時における伴流計測、抵抗、自航試験といった一連の推進性能試験を直進時で用いている装置を使用して実施した。抵抗、自航試験では斜航と共に低速時での計測も行った。これらの結果から以下のことが判明した。

- POC において一般商船のプロペラでは斜流角 7.5 度以下では、その影響は小さく、直進時の POC を適用できる。また斜流角の正負で POC の違いは無い。
- プロペラ面内の公称伴流率は斜航角の増加と共に直線

的に小さくなるが、2.5 度では 0 度とほぼ変わらない。

- ・ プロペラ面内の伴流分布は斜航角の増加と共に左右舷共に速くなるが、船体中央部では遅い流れとなる。プロペラ左舷側から船体中央への旋回流が大きくなることと合わせ、キャビテーションの非定常性を増加させる要因となる。
- ・ 全抵抗係数、形状影響係数は斜航角の増加と共に大きくなるが、造波抵抗係数はほとんど変わらない。
- ・ 船体沈下量は斜航角の増加と共に船首側は沈下量が大きくなるが、船尾側はわずかに上昇していき、船首トリムが大きくなっていく。
- ・ 右回りのプロペラを用いた場合、自航要素の有効伴流係数は斜航角 β が正の面舵側では斜航角の増加と共に単調に大きくなるが、負の取舵側では不安定に計測される。スラスト減少係数は斜航角が付くと低下するが単調な変化にはならない。取舵側-7.5 度では面舵側 2.5 度とほぼ同一であったが、不安定な計測となる。プロペラ効率比は伴流係数やスラスト減少係数ほど変化はしないが、フルード数が 0.10 以下の低速域では増加していく。
- ・ 伴流計測で得られた公称伴流係数と自航試験で得られた有効伴流係数には強い相関がある。
- ・ 一般的に低速域から高速域まで同一容量の動力計を使うが、計測誤差を小さくしていくためには計測の途中で計測量にあった動力計に交換するなどの工夫が必要である。
- ・ POC はレイノルズ数影響を受けるため、自航解析には低速域での POC を考慮する必要がある。

参 考 文 献

- 1) IMO : RESOLUTION MEPC.304(72), INITIAL IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS, MEPC72/17/Add.1, Annex 11, 2018.
- 2) Shingo, S., Kanai, T., and Kawakita, C. : A Study of Main Particulars Variation for an Ultra Slow Blunt Ship (1st Report), Conference Proceedings The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 30, 2020 (in Japanese).
新郷将司, 金井健, 川北千春 : 超低速肥大船型の主要目の検討 (第 1 報), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 30 号, 2020.
- 3) Kose, K., Yumuro, A., and Yoshimura, Y. : III. Concrete of mathematical model for ship manoeuvring, Proceedings of the 3rd symposium on ship maneuverability, Society of Naval Architects of Japan, pp.27-80, 1981(in Japanese).
小瀬邦治, 湯室彰規, 芳村康男 : III. 操縦運動の数学モデルの具体化, 第 3 回操縦性シンポジウム, 日本造船学会, pp.27-80, 1981.
- 4) Report of Research committee on standardization of mathematical model for ship maneuvering predictions (P-29), Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, 2013(in Japanese).
船舶操縦性予測モデルの標準化に関する研究委員会報告書 (P-29), 日本船舶海洋工学会, 2013.
http://www.jasnaoe.or.jp/research/p_committee_end.
- 5) Yasukawa, H., and Yoshimura, Y. : Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions, Journal of Marine Science and Technology, Vol.20, pp.37-52, 2015.
- 6) Yamamoto, T., Ishikawa, T., Yasukawa, H., and Yoshimura, Y. : Mathematical Model of Propeller and Rudder Forces while Propeller Boosting with Slow Speed and Large Drift Motion, Conference Proceedings The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.25, pp.177-180, 2017(in Japanese).
山本拓人, 石川貴浩, 安川宏紀, 芳村康男 : 低速大斜航状態のプロペラ・舵力の数学モデル, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 25 号, pp.177-180, 2017.
- 7) Sogihara, N., Tsujimoto, M., Ichinose, Y., Minami, Y., Sasaki, N., and Takag, K. : Performance Prediction of a Blunt Ship in Oblique Waves, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 12, 2010 (in Japanese).
粉原直人, 辻本勝, 一ノ瀬康雄, 南佳成, 佐々木紀幸, 高木健 : 斜波中における肥大船の性能推定について, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 12 号, 2010.
- 8) Web site of CFD Workshop Tokyo 2015 (2015): <https://www.t2015.nmri.go.jp>.
- 9) Hino, T., Hirata, N., Ohashi, K., Toda, Y., Zhu, T., Makino, K., Takai, M., Nishigaki, M., Kimura, K., Anda, M., and Shingo, S. : Hull Form Design and Flow Measurements of a Bulk Carrier with an Energy-Saving Device for CFD Validations, PRADS 2016, 2016.
- 10) Ship Propulsion Division : On the Mitaka No. 2 Ship Model Experiment Tank of the Ship Research Institute, Report of Ship Research Institute, Vol. 6, No. 4, 1969 (in Japanese).
推進性能部 : 三鷹第 2 船舶試験水槽の建設について, 船舶技術研究所報告, 第 6 巻 第 4 号, 1969.
- 11) Ship Propulsion Division : On the Mitaka No. 3 Ship Model Experiment Tank of the Ship Research Institute, Report of Ship Research Institute, Vol. 10, No. 6, 1969 (in Japanese).
推進性能部 : 三鷹第 3 船舶試験水槽の建設について, 船舶技術研究所報告, 第 10 巻 第 6 号, 1973.
- 12) Nonaka, K., Haraguchi, T., Nimura, T., Ueno, M., Fujiwara, T., Makino, M., Kodama, Y., and Yoshino, Y. : Research on Flow Field around a Ship in Manoeuvring Motion, Papers of Ship Research Institute, Vol. 34, No. 5, 1997 (in Japanese).
野中晃二, 原口富博, 二村正, 上野道雄, 藤原敏文, 牧野雅彦, 児玉良明, 吉野良枝 : 操縦運動時の船体ま

わりの流場に関する研究, 船舶技術研究所報告, 第 34 卷 第 5 号, 1997.

- 13) Kume, K., Hasegawa J., Tsukada, Y., Fujisawa, J., Fukasawa, R., and Hinatsu, M : Measurements of hydrodynamic forces, surface pressure, and wake for obliquely towed tanker model and uncertainty analysis for CFD validation, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 11, pp.65-75, 2006.
- 14) Nakatake, K., Yoshitake, A., Shimomichi, Y., and Yamamoto, T. : Measurement of Wake Distributions behind Ships with Yaw Angle, Transactions of The West-Japan Society of Naval Architects, No.90, pp.11-20, 1995 (in Japanese).
中武 一明, 吉武朗, 下道雄一郎, 山本武史 : 斜航中の模型船舶尾における伴流計測, 西部造船会々報, 第 90 回, pp.11-20, 1995.
- 15) Fujisawa, J., Fukasawa, R., and Tsujimoto, M : Evaluation of Resistance and Propulsion Performance by Shallow water Tests and Powering in Shallow Water, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 25, pp. 47-53, 2017 (in Japanese).
藤沢純一, 深澤良平. 辻本勝 : 浅水試験による抵抗・自航性能と船速・馬力評価, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 25 号, pp. 47-53, 2017.
- 16) Kasahara, Y. : Propulsion Tests in Towing Tank, The Fifth JSPC Symposium on Ship Flow Analysis and Hull Form Design, PP. 97-132, 1993. (in Japanese).
笠原良和: 推進性能試験法, 日本造船学会推進性能研究委員会第 5 回シンポジウム, 船体まわりの流れと船型開発に関するシンポジウム, pp. 97-132, 1993.