

本調査研究はモーター・ボート競走公益資金による
側日本船舶振興会の補助金を受けて実施したものである

第213研究部会

多軸船の推進性能推定精度向上に関する研究

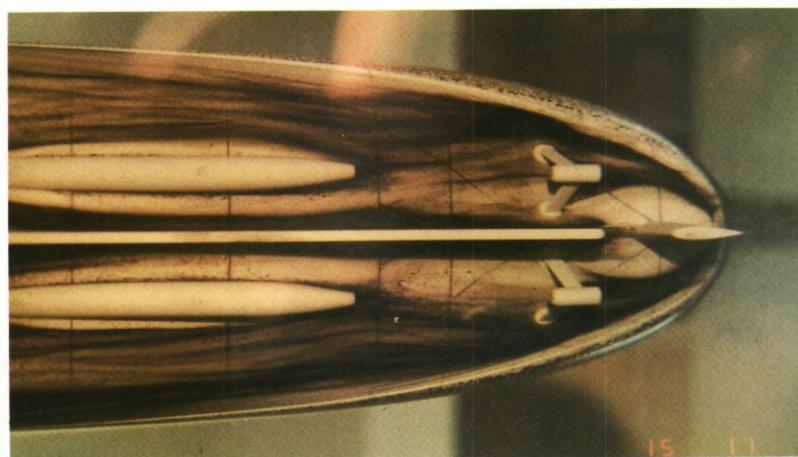
成 果 報 告 書

平成5年3月

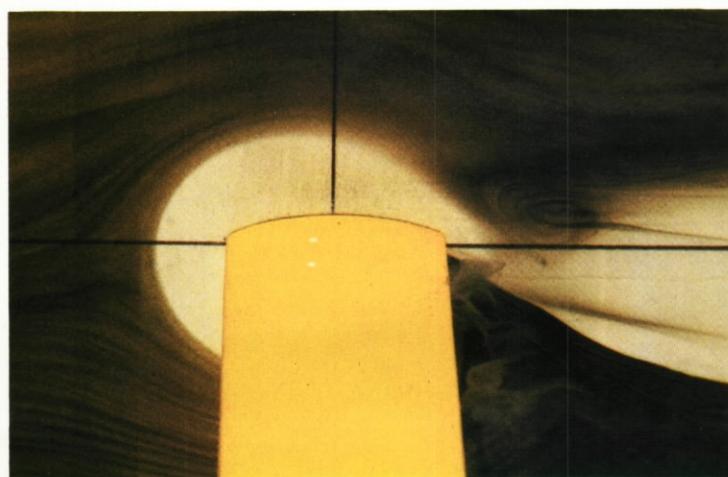
社 団 法 人
日 本 造 船 研 究 協 会



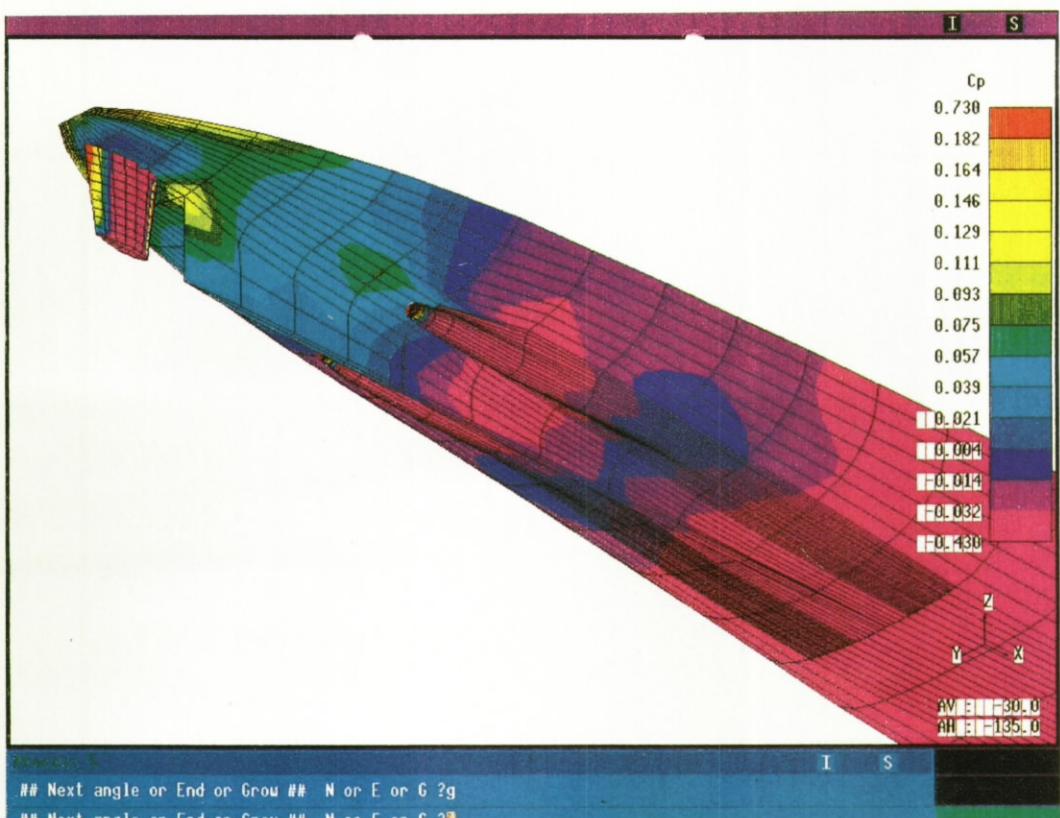
供試模型船船尾と副部



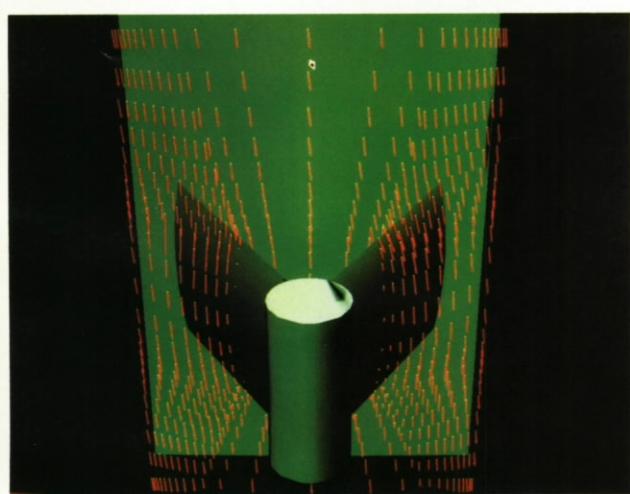
船尾船底の限界流線
(ボッシング+ブラケット)



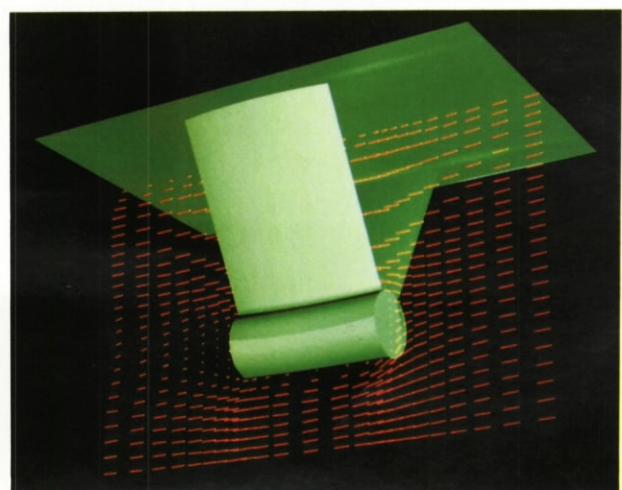
平板上に取り付けられたブラケット付近の限界流線



船尾表面圧力分布（計算）



シャフトブラケット周りの流れ（計算）
 （水平面上の速度ベクトル）
 レイノルズ数：1000, 迎角：5°



シャフトブラケット周りの流れ（計算）
 （対称面上の速度ベクトル）
 レイノルズ数：1000, 迎角：5°

はしがき

本報告書は、日本船舶振興会平成2年度～平成4年度補助事業として日本造船研究協会第213研究部会において実施した「多軸船の推進性能推定精度向上に関する研究」の成果をとりまとめたものである。

第213研究部会委員会名簿

(敬称略、順不同)

*印は前任者を示す

部会長	梶谷 尚(東京大学)	
部会長代理	北川 弘光(船舶技術研究所)	
代表幹事	川口 昇(三菱重工業)	
幹事	加藤 洋治(東京大学) 茂里 一紘(広島大学) 馬場 栄一(三菱重工業) *	宮田 秀明(東京大学) 荻原 誠功(石川島播磨重工業) 永松 哲郎(三菱重工業)
	野沢 和男(川崎重工業)	日下 祐三(三井造船昭島研究所)
委員	山口 一(東京大学) 中武 一明(九州大学) 奥野 武俊(大阪府立大学) 右近 良孝(船舶技術研究所) *	荒川 忠一(東京大学) 鈴木 敏夫(大阪大学) 池畠 光尚(横浜国立大学) 山口 真裕(船舶技術研究所)
	児玉 良明(船舶技術研究所) 長浜 光泰(日立造船) 竹川 正夫(住友重機械工業) *	斎藤 勇(船舶技術研究所) 笠原 良和(NKK) 佐々木紀幸(住友重機械工業)
オブザーバー	宮武 宜史(運輸省海上技術安全局)	

目 次

1. 緒 言	1
2. 研究の必要性	2
3. 実施内容と研究成果	3
3.1 基本構想	3
3.2 副部特性推定法に関する現状調査	5
3.3 相似模型による水槽試験	7
3.4 副部周りの流れの計測と計算	15
3.5 副部特性推定精度向上の方策検討	21
3.6 ま と め	28
4. 期待効果	30
5. 結 言	31

1. 緒 言

複数のプロペラにより推進される多軸船は、古くは戦前より主として高速船を対象として設計・建造が行われ、近年に至っても海上輸送の高速化傾向、出入港離着棧時の操船性の容易さ等々の理由により高速大型コンテナ船、フェリー等を対象として設計、建造乃至は計画検討が行われている。

これらの多軸船（主として2軸船）は、その要求仕様や性能を満足させつつ設計が行われるが、その中の重要な要素の1つとして、船の運航経済性に直接大きな影響を与える推進性能の向上を計るために多大の努力がその船型計画に払われる。

多軸船の船型上の特徴は、複数個のプロペラを船体中心面に面対象に左右両舷に分けて装備される所にある。このため、図1の2軸船の例にある様にプロペラとそれを駆動する軸（シャフト）を船体側から支えるためのシャフトブラケット、又、軸が船体から外部に出る部分に設けられるボッシング（又はセミボッシング）を、船体表面から船体周りの流れの中に突出した形で設ける必要がある。従って、これら所謂副部（シャフトブラケット、ボッシング等、主船体表面から外部の流れの中に突出した物の総称であり、舵も含まれる。又、場合によっては、船体表面に設けられた開口等も含めることもある）には、流れが直接当たるため推進性能、特に抵抗特性に与える影響が大きい。

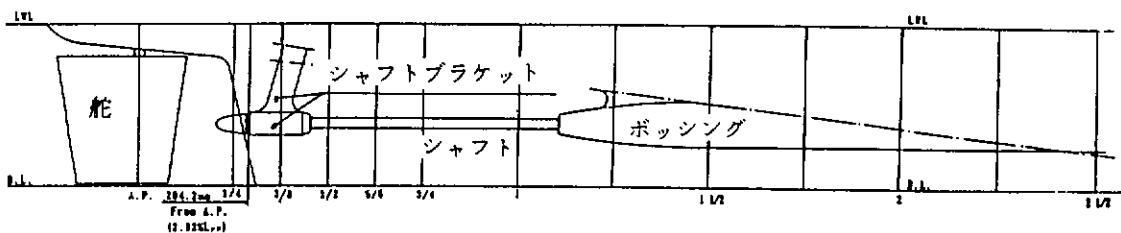


図1 2軸船副部等

このような特徴を有する多軸船の船型計画に当たって、これら副部の各要素が推進性能、特に抵抗特性に与える影響を精度よく推定・評価し、良好な副部形状を設計することが推進性能向上の為には不可欠である。

このため、これ迄にも1軸船型との比較等、多軸船型に関する研究も多々行われてきたが、副部特性に関してはその取扱いが流体力学的に複雑なこともあり、主として既存の模型試験結果を基として経験的な推定を行うタイプアップ法によるマクロ的な把握が主流をなしていた。しかし、この様な手法では新しく船型計画を行う際の副部の最適化に必要とする副部の各要素が抵抗性能に与える影響の適切な推定・評価には必ずしも十分とはいはず、従来の手法に代わってこれらの要求を満足する合理的な新しい副部特性推定手法の策定が望まれていた。

しかしながら、複雑な船尾流場の中に置かれた副部の流体力学特性を解析的に把握検討するためには、高度な水槽試験技術と、それを支援する理論的な流体力学解析技術が必要であり、これらが、多軸船の副部特性に関するこれ迄の研究の進展を困難にした一因とも考えられていた。

幸いにして、近年に至り、試験技術、理論解析技術も大巾な進歩をとげつつあり、本研究を実施する環境が次第に整い、日本船舶振興会補助事業として平成2年度より4年度迄の3ヶ年計画にて日本造船研究協会SR213部会において「多軸船の推進性能推定精度向上に関する研究」を鋭意実施、その総合成果の概要をここに報告するものである。

2. 研究の必要性

多軸船の性能向上のためには、良好な流体力学特性を有する副部形状を設計することが必須条件の1つであり、このためには、副部の各要素の流体特性に与える影響を適切に推定・評価する手法が必要であること、又、その研究環境が整いつつあることは緒言に述べた通りである。

従来の多軸船船型設計における副部（ボッシング、シャフトブラケット、舵等）の性能推定法は、

- (1) 相似模型船の水槽試験結果から推定する方法
- (2) 副部個々の抵抗計算により推定する方法

とに大別されるが、いずれの手法もその流体力学的検証が不十分であり、(1)では、個々の副部の流力特性の評価が明確ではなく、(2)では、船体との相互干渉影響の評価に難があり、又、尺度影響に関する検討の余地が残されている。

一方、多軸船の船型計画に際し、シャフトブラケット、ボッシング、舵等副部の設計は流体力学的見地のみならず強度・配置・機能等の諸要件を満足させつつ行われるため、その船に与えられた要求性能に応じ、これら副部の形状・寸法及び配置は当然変化する。

この様な設計上の制約の下で、推進、特に抵抗性能面において良好な副部を設計するためには、副部の形状、寸法、配置変化に伴う流力特性の変化を精度よく推定・評価しつつ最適化していく必要がある。しかし従来の推定法では、(1)、(2)の手法とも、前述のごとくこの要求を満たすものとして必ずしも十分とはいえない難く、又、各船型毎の副部最適化を模型試験のみに頼るのは、その変化と組合せの数が多いため、大量の模型試験を必要とし、必ずしも実際的とはいえない難く、尺度影響も加味したより合理的で副部最適化のための設計ツールとして使用に耐える新しい副部特性推定手法の開発を必要とした。このような手法の開発により多軸船の推進性能推定精度が向上し、同時に副部特性の最適化により、推進性能向上が期待される。

上記必要性に鑑み、本研究部会においては「新しい副部特性推定法」の策定を最終目標の1つとして研究を実施した。

新しい推定手法の構築に際する要件としては

- (1) 副部形状の変化に対応した流力特性の変化が推定可能であること
- (2) 主船体-副部間の流力干渉影響が推定可能であること
- (3) 尺度影響も加味すること

等となるが、これらを達成する為には、模型試験や理論検討の両面から、副部の流力特性の解析的検討を十分に行う必要がある。

即ち、本研究部会においては、上記推定手法の構築・策定を目標とし、

- (1) 従来法に関する調査研究
- (2) Geosim（幾何学的相似）模型による水槽試験
- (3) 副部周りの流れの計測と計算

を実施し、これらの研究成果を活用して

- (4) 副部特性推定精度向上方策の検討

を実施することとした。

尚、副部周り流れの不均一に起因するプロペラキャビテーション、振動、騒音などについては、副部周りの流場把握の結果として得られるものは別として、本部会の研究課題として特定せず、異なる視点から研究を行うべきものと考えている。

3. 実施内容と研究成果

以下に本研究部会における3年間に実施した研究の内容とその成果の概要について述べる。

3.1 基本構想

副部に関する研究は古くて新しい課題であることは前述の通りである。又、副部は主船体表面から突出して設けられるため、その形状及び取付け方いかんによっては、大きな抵抗を発生することも周知の事実であり、プロペラを支えるため、シャフトプラケット、ボッシング等大きな副部を必要とする多軸船々型の場合、副部形状を最適化することが良好な推進性能を確保するための1つの手段であることは言うまでもなく明らかである。

さて、多軸船の副部を設計する際には、まず、船体外板とのクリアランス、プロペラ相互間の距離等を考慮して、プロペラの位置が概略設定される。

次に主機が配置される位置からプロペラの中心に向かってプロペラを駆動するシャフトの中心線が設定され、このシャフト中心線と船体外板（表面）の交叉部に通常円形断面を有するボッシングがそれを船体から支えるためのフィレットと共に設定され、さらに、プロペラ及び軸を支えるためのシャフトプラケットが船体外板からプロペラ位置近傍に向かって設定される。

これら副部の形状はボッシング（含フィレット）については配置上の諸要件を満たしつつ強度面からの考慮も行ない概略寸法が計画され、又シャフトプラケットに関しては、主として強度上の要件から、断面寸法の必要量が検討され、これ等の制約の下で、流力的観点からその副部が推進性能に与える影響を十分評価・検討の上、最終形状が決定される。

従って、これらの副部の形状は、船の大きさ、船型、要求速力とそれに対応する主機出力（プロペラの大きさ、シャフトの直径に影響する）等により概略要求寸法が夫々異なったものとなり、且つ、流力的観点からは断面形状、取付角及び位置、全体形状（含フェアリング）など相当の自由度があり、これらを総合してデザインループをまわして最終的に決定されるので、その形状や大きさは種々変化する。

このようにして副部は設計されるが、計画船毎に形状も異なり、又、設計の自由度もあるので、その最適化に当たっては、単に既存の類似船型の模型試験結果を参考にするだけでなく、副部を構成する各要素の流力特性に与える影響を的確に推定・評価し、且つ、その副部が主船体の抵抗に及ぼす影響を把握する必要がある。

そこで、このような実用的ニーズを満たす新しい副部特性推定法の構築を本部会の最終目標の一つとして設定し、以下の研究を実施した。

- 1) 副部推定法現状調査
- 2) 相似模型による水槽試験（供試船型：SR108 2軸1舵船型）
- 3) 副部周りの流れの計測と計算
- 4) 副部特性推定精度向上の方策の検討

以下に、上記の「新しい副部特性推定法」の基本構想（イメージ）に関し説明する。

多軸船の船型・副部計画時のデザインツールとして利用可能な推定・評価のための副部抵抗推定手法としては、主船体及び副部形状が与えられた時にその副部抵抗値を的確に推定しうると共に、その与条件のいずれかを変更した際に、その抵抗への影響を合理的且つ的確に推定しうることが望まれる。

このためには、船尾流場中において(1)副部を構成する各要素夫々が持つ抗力特性の推定とその複合体としての当該副部単独抗力の推定、(2)副部が存在することによる主船体周り流れの変化に伴い発生するであろう干渉影響による主船体抵抗の変化分の推定が合理的に行ない得れば、与えられた条件、又、その変化に対し流体力学的にも根拠ある的確な推定が可能となろう。

そこで、本研究部会では、上記(1)における複合体としての副部単独抗力は、その各構成要素夫々の抗力(特性)の組合せにより(必要あれば修正係数を加味して)推定出来るものと仮定し、又、(2)については、副部抵抗分離計測を実施すること等により析出可能との前提にたって、前記1)～3)で実施される各研究の成果を総合的に取り入れつつ新しい推定法の構築を試みることとした。

即ち、この新しい推定法においては副部抵抗を

(1) 副部単独抗力

(2) 主船体干渉抗力

の2要素に分割した上、その和として求めることとした。

(1)は「船体周りの流れの中に置かれた副部自体に働く抗力」であり、これは均一流中に置かれた副部の抗力に、船体周りの流れの影響を加味して求められるものと仮定し、これは副部の構成要素夫々に対する抗力の組合せで求まるものとする。又、(2)は「副部の存在による船体抵抗の変化」と定義し、裸殻状態に対する副部の存在による副部周り船体近傍流れの変化により誘起される抵抗の変化分として求め、夫々に関する推定手法の構築を計ることとした。

上記を明確化する為に式で示すと以下のとおり。

$$R_T = R_N + \Delta R_A$$

$$\Delta R_A = \Delta R_{AI} + \Delta R_{HA}$$

$$\Delta R_{AI} = \Delta R_{AO} + \Delta R_{AH}$$

但し、

R_T : 副部付船体全抵抗

R_N : 裸殻船体全抵抗

$\Delta R_A (= R_T - R_N)$

: 副部総合抵抗(含む、主船体に誘起される干渉抵抗)

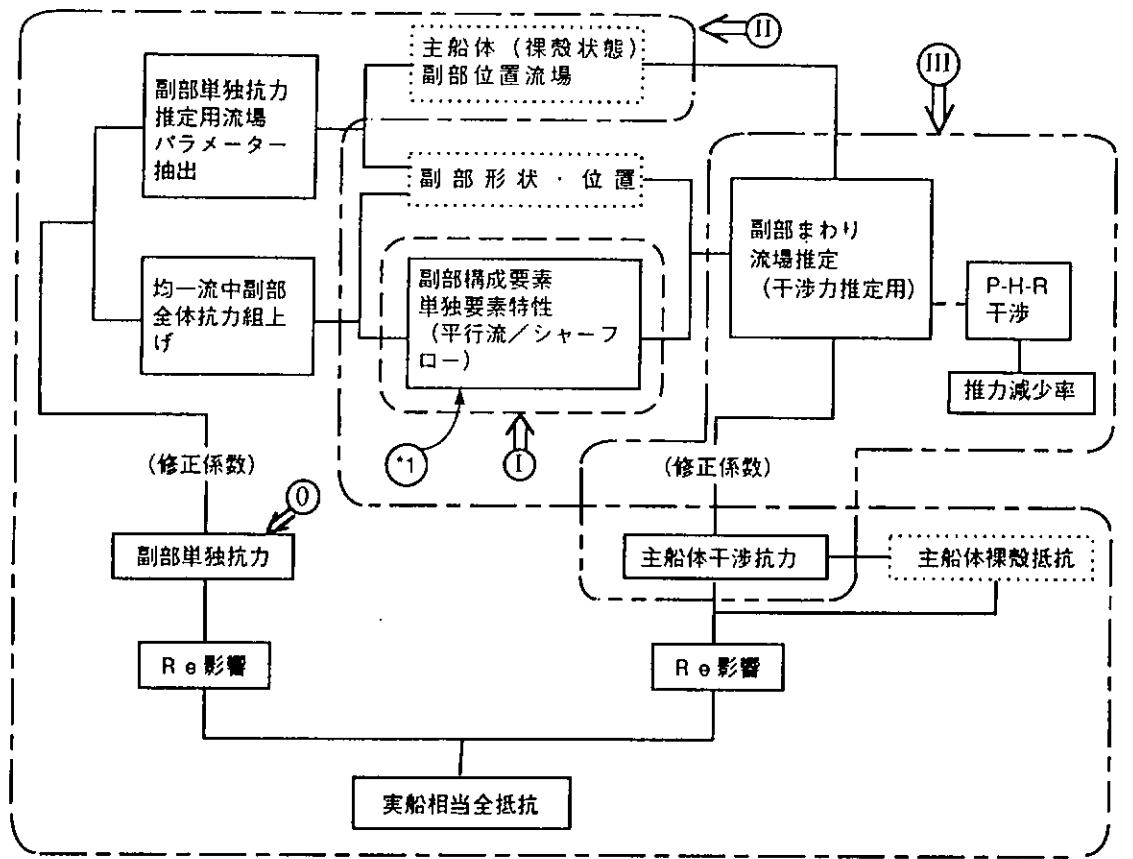
ΔR_{AI} : 船体周り流場に置かれた副部単独抗力(抵抗)

ΔR_{HA} : 副部の存在による流れの変化に伴い主船体に誘起される干渉抵抗

ΔR_{AO} : 一様流場中における副部の単独抗力(抵抗)

ΔR_{AH} : 船体の存在により変化する副部単独抗力の成分

尚、上記の考えにたった副部抵抗新推定法の全体イメージを、図2に示す。図中点線の枠で囲まれた項目は与条件として与えられるものであり、又、P-H-R(Propeller-Hull-Rudder)干渉に関してはその性格上、基礎的研究に留めることとした。



[注]

- (1) : 推定法として利用する場合、基本入力となる
- (2) ① : 従来手法の調査・検討に関連
- (3) ① : 部分 Model による基本特性実験及び理論検討に関連
- (4) ⑪ : Geosim Model による実験・検討及び理論検討に関連
- (5) ⑩ : 副部抵抗分離。流場計測実験及び理論解析に関連

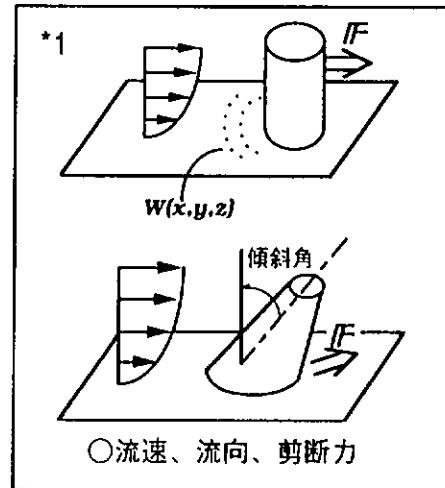


図2 新推定手法のイメージ

3.2 副部特性推定法に関する現状調査

多軸船の推進性能の推定手法に関する現状の技術レベルと、それらの手法の評価を検討することを目的として各種文献の調査、および水槽試験結果を用いて従来手法により外挿を行い、その評価を実施した。

3.2.1 文 献 調 査

船の推進性能に直接的に関与する副部について、これまで公表された文献を調査し、40編の文献の内容を抄録して文献調査票のかたちでまとめて、参考に供した。

文献調査の結果、平板に取り付けた副部まわりの流れに関する実験的あるいは数値解析的な研究が行われ、境界層や渦の構造の実態が少しずつ明らかになりつつあるが、現状の副部特性推定法はL. Lackenby[1]によって研究された“Lucy Ashton”による相似模型ならびに実船計測に端を発している。その後、谷口[2]によって改善が施された。その概略は、付加物の有無の模型試験から両者の差を付加物抵抗 (ΔR_A) として、

$$C_{app} = \Delta R_A / 1 / 2 \rho V^2 S$$

ここに、 C_{app} ：付加物の抵抗係数、 S ：付加物の浸水面積、 V ：模型船の速度、 ρ ：水の密度、 $Rn_{app} = V \cdot \sqrt{S/2} / \nu$ ：レイノルズ数、 ν ：水の動粘性係数である。この Rn_{app} における平板の摩擦抵抗係数と C_{app} の比率を実船の場合にも適用するものである。

- [1] L. Lackenby : “ B. S. R. A. Resistance Experiments on the Lucy Ashton Part 3 The Ship-Model Correlation for the Shaft-Appendage Condition ”
Trans. The Institution of Naval Architects, vol. 97, 1955, pp 109-166
- [2] K. Taniguchi : “ Model-Ship Correlation Method in the Mitsubishi Experimental Tank ” 日本造船学会論文集 第113号、1963, pp 17-27

3.2.2 従来手法による副部特性の外挿と評価

模型試験結果を想定実船相当まで外挿を行うにあたり、各副部の抵抗分離を行い、適用する相似則を見いだした。1) シャフトブラケットとシャフト：従来手法の範疇では尺度影響の無い成分とする。2) 舵：通常は舵付きで抵抗試験が行われる事が多く、舵を船体の一部として扱う、3) ボッシング：ボッシングが付いた場合は、船体と重なり合う部分の面積の扱い方とそれぞれ分離したボッシング抵抗の相似則の適用方法が課題となり、この部分の扱い方を変えた4種類の方法と2次元および3次元外挿法の合計6種類の方法を適用した。

従来手法の検証のため、10m模型船を対象に外挿した結果を抵抗係数の形で図3に示した。これによ

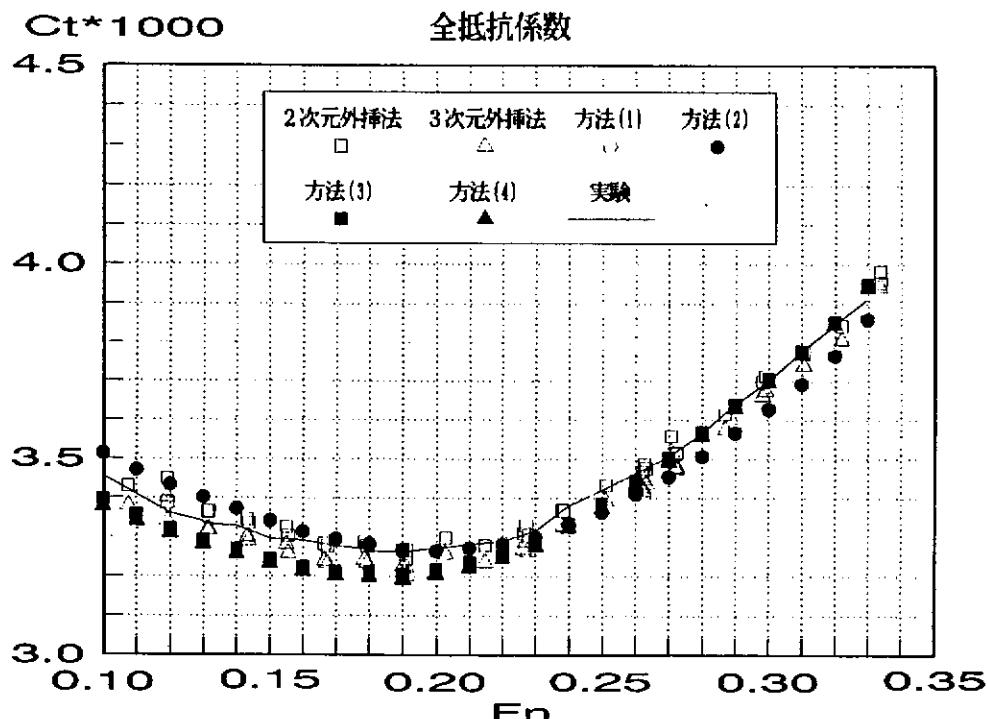


図3 従来手法による10m模型への外挿

ると、7mから10mへの外挿においてさえ従来手法では充分な推定が出来ないことが判る。これは副部がついた場合の各抵抗成分にたいする相似則の適用が従来法ではまだ不十分であることを示している。

以上の文献調査あるいは従来手法による外挿結果から、実船の副部抵抗をより合理的にかつ精度よく推定するためには、

- ・船体（曲面あるいは平面）と副部、および副部と副部との干渉抵抗の算出方法、
- ・数値流体力学の実用的な活用方法、
- ・複数の副部が接合している場合の流れと流体力の特性調査、が必要であることが明らかとなった。

3.3 相似模型による水槽試験

船尾の複雑な流場に置かれた副部の流体力学的特性の把握には、比較的単純で素性の知れた流場での特性調査と共に、副部を実際の船体に取り付けた状態での調査、試験を行い、副部の流力特性の実態を知ることが肝要である。また、同時に新しい副部特性推定法構築のための基礎資料を得ると共に、単純化した副部の模型試験結果や数値流体力学的手法による計算結果を評価するためにも模型船による水槽試験は重要となる。

3.3.1 模型船

副部周りの局所的流場に注目し、副部周りの船尾流場の計測が十分な精度で行い得る7m模型船を中心として4m及び10m模型からなる3隻の相似模型船群による水槽試験を行い、模型縮尺影響の検討を行った。また、10m模型については、7m模型船による水槽試験結果を基準として10m模型船についての性能推定を行うことにより推定法の検証を兼ねることとした。

対象船型としては、代表的な副部である、ボッシング、シャフトブラケット及び舵を持ち、その配置、寸法及び形状が極端なものでないものとの条件から、SR-108船型を原型に選び、船尾に多少の変更を加えて線図を作成した。2軸1舵のコンテナー船型である。なおビルジキールは、水槽試験を反復実施する際に変形損傷する恐れがあることから取り付けていない。ボッシング、シャフトブラケット及び舵は、いずれも着脱可能な構造とし、かつこれらの副部に働く流体力を精度よく測定するためその装着機構を工夫し、重量及び材質についても配慮した。

模型船主要目を表1に、正面線図を図4に示す。主船体乱流促進にはスタッドを用いた。副部についての乱流促進の是非は副部周り流れの性状、固有抵抗などの問題を十分検討しておく必要があり、検討の末、研究期間が十分でないことも勘案して副部については乱流促進を行わないこととした。

表1 船体主要目表

	模 型 船			実 船
模 型 船 番 号	0553	0565	0559	
垂 線 間 長 さ L_{PP} (m)	7.0000	10.0000	4.0000	240.000
満載喫水線上の長さ L_{DWL} (m)	7.1708	10.2440	4.0976	245.856
幅 B (m)	0.8750	1.2500	0.5000	30.000
深 さ D (m)	0.4375	0.6250	0.2500	15.000
載 貨 状 態	満 載			
喫 水 d (m)	0.2917	0.4167	0.1667	10.000
ト リ ム (m)			0	
排 水 容 積 ∇ (m³)	1.00402	2.92717	0.18734	40.465
排 水 量 Δ (ton)				41,477
浸 水 表 面 積 S (m²)	7.4747	15.2545	2.4407	8.787
方 形 係 数 C_B			0.5620	
柱 形 係 数 C_P			0.5734	
最 大 横 截 面 積 係 数 C_x			0.9800	
水 線 面 係 数 C_w			0.7781	
浮 力 中 心 位 置 l_{CB} (%)			+2.366	

表2 模型試験実施状態一覧表

記号 状態	船 体		ボンサー	シャフトブレケット	シャフト	舵
	H	B	Br	S	R	
H-***	○					
HB-***	○	○				
HBBR-S-	○	○	○	○		
H-**R	○					○
HB-**R	○	○				○
HBBR-SR	○	○	○	○	○	

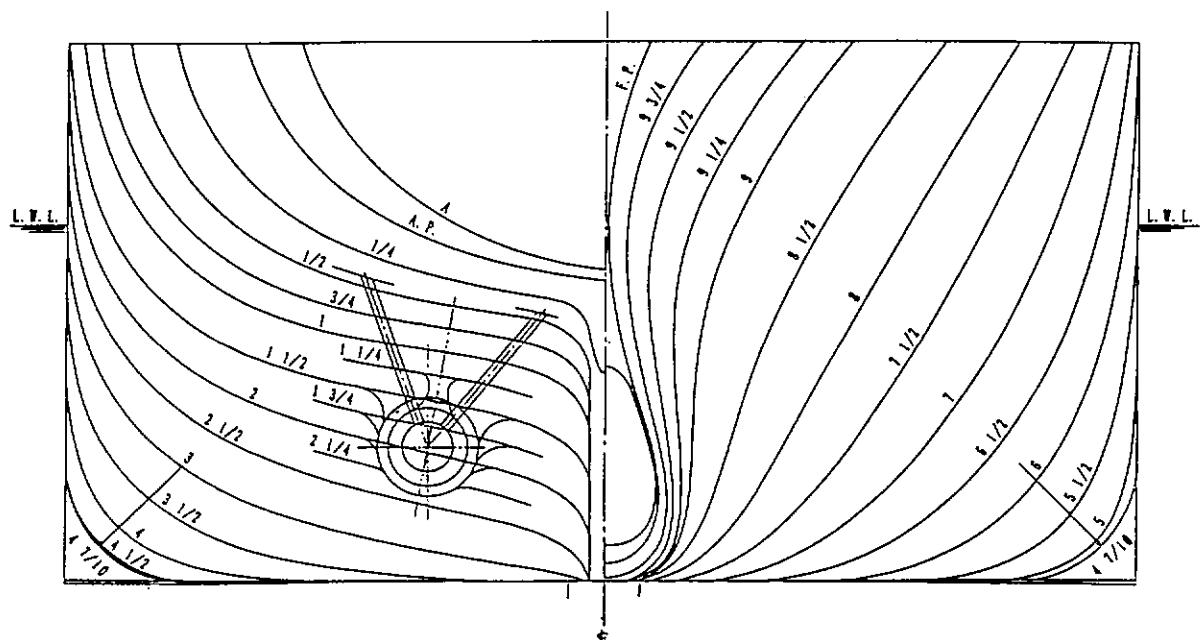


図4 正面線図

3.3.2 水槽試験

7 m模型船について、その試験状態等を表2に示す。載貨状態は満載状態1状態である。試験は、抵抗試験及び副部抵抗分離計測については船舶技術研究所400m試験水槽、副部周りの流場の実態を把握するために行った船尾流場計測は三菱重工業㈱長崎研究所曳航水槽で実施した。

(1) 抵抗試験

抵抗試験においては、裸殻、ボッシング、シャフトブラケット、シャフト及び舵を適宜組み合わせて取り付けた状態及びこれら全ての副部を取り付けた状態での全抵抗、船体平均沈下量及びトリムを計測した。また、それぞれの副部の有無による抵抗差から副部の抵抗特性を求め、同時に尺度影響を検討するための資料を得た。抵抗試験結果の一例を図5～8に示す。

船体抵抗に対する副部の影響は、図に見られるようにボッシングが支配的であり、シャフトブラケット（シャフト付き）による抵抗増分は少ない。シャフトブラケットについては、シャフト無しの状態では、ボスの部分で大きな抵抗が発生するが、実用的な観点からはシャフト付きの状態を常態と考えるべきであろう。舵については、従来の研究結果同様、推力を発生す場合があることが判ったが、舵はプロペラの直接的な影響を受けるため自航状態ではかなり異なる評価をする必要がある。副部の有無により船体姿勢に差異を生じ、主としてこの姿勢の変化により造波抵抗係数に差異が生ずるものと思われる。また相似模型船寸法によっても、船体姿勢に差異が見られる。

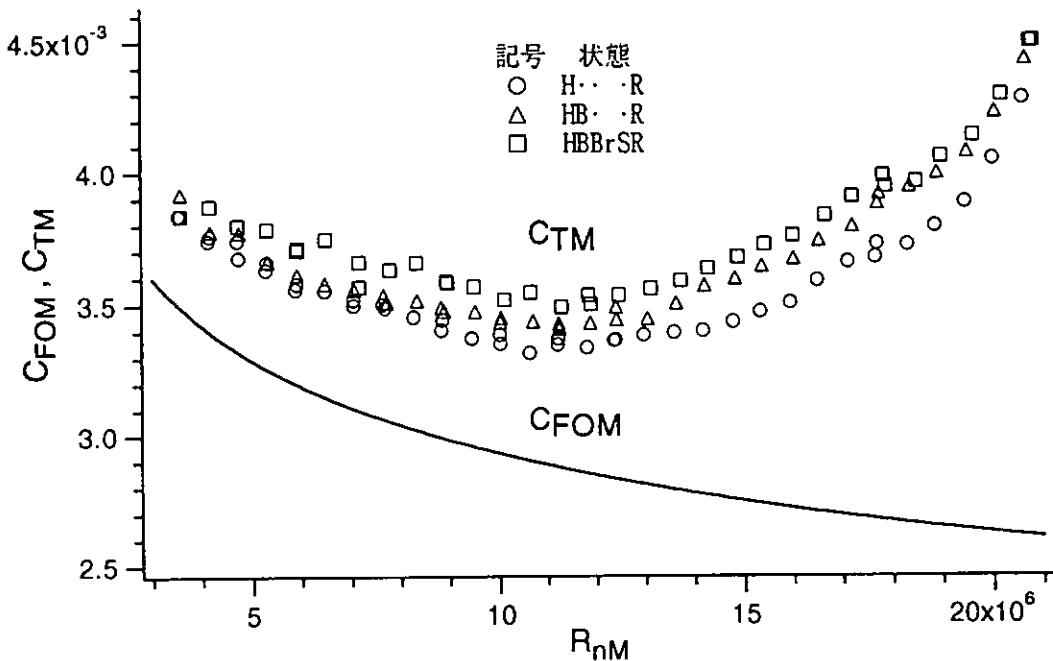


図5 a 舵つき状態での各副部が全抵抗係数に及ぼす影響 (7 m)

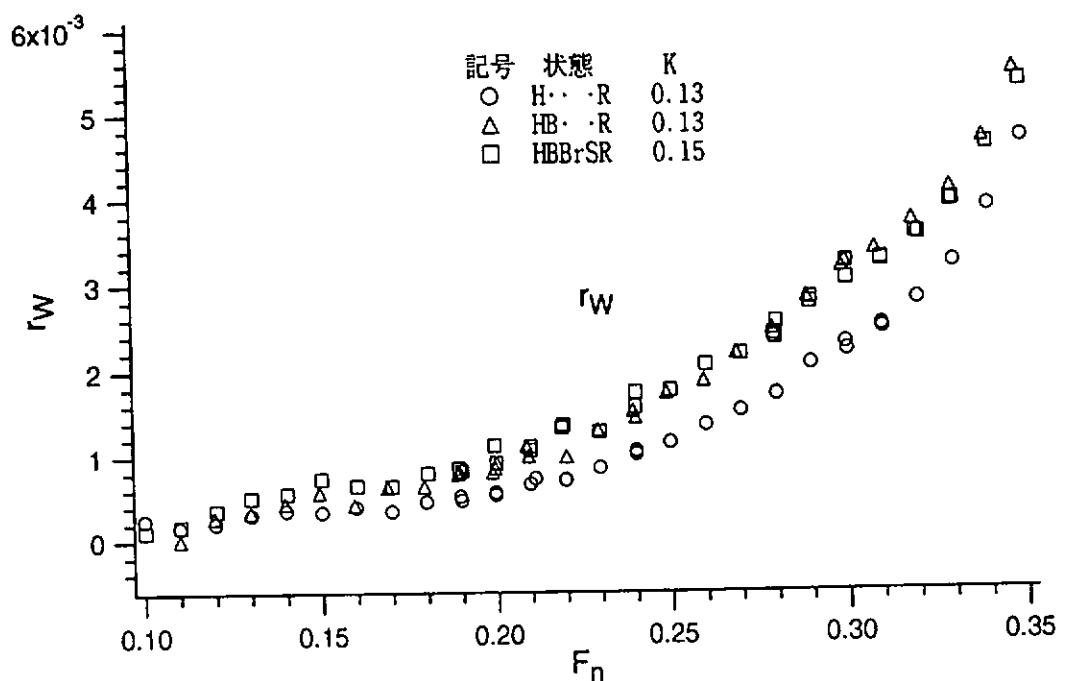


図 5 b 航つき状態での各副部が造波抵抗係数に及ぼす影響 (7 m)

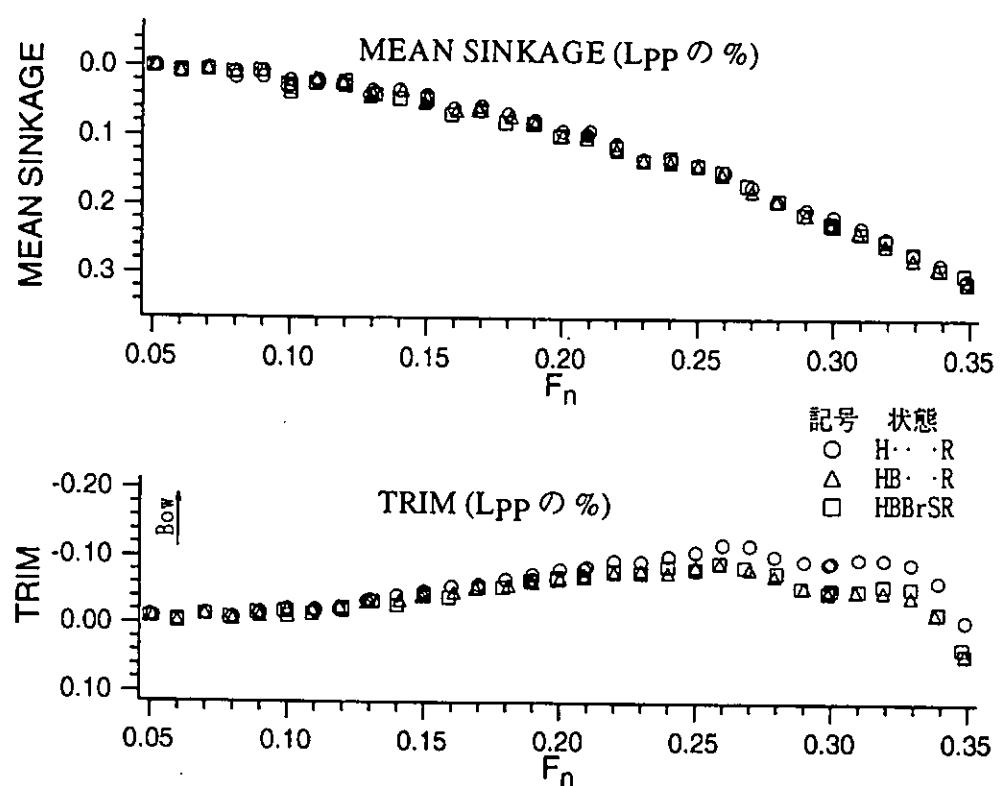


図 5 c 航つき状態での各副部が船体沈下量に及ぼす影響 (7 m)

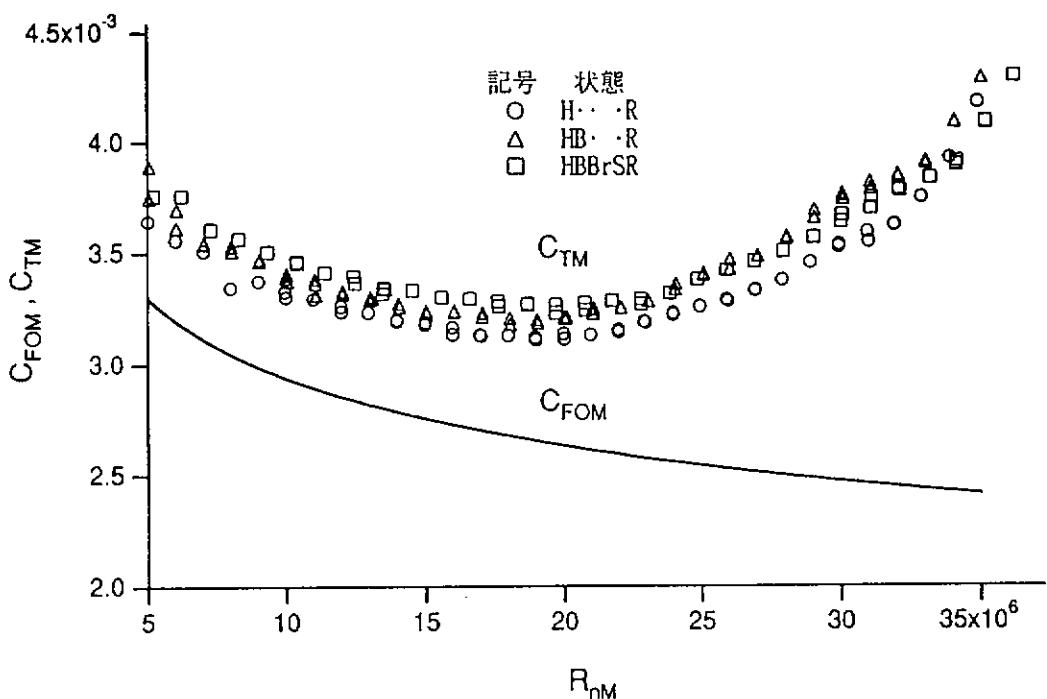


図6 舵つき状態での各副部が全抵抗係数に及ぼす影響 (10m)

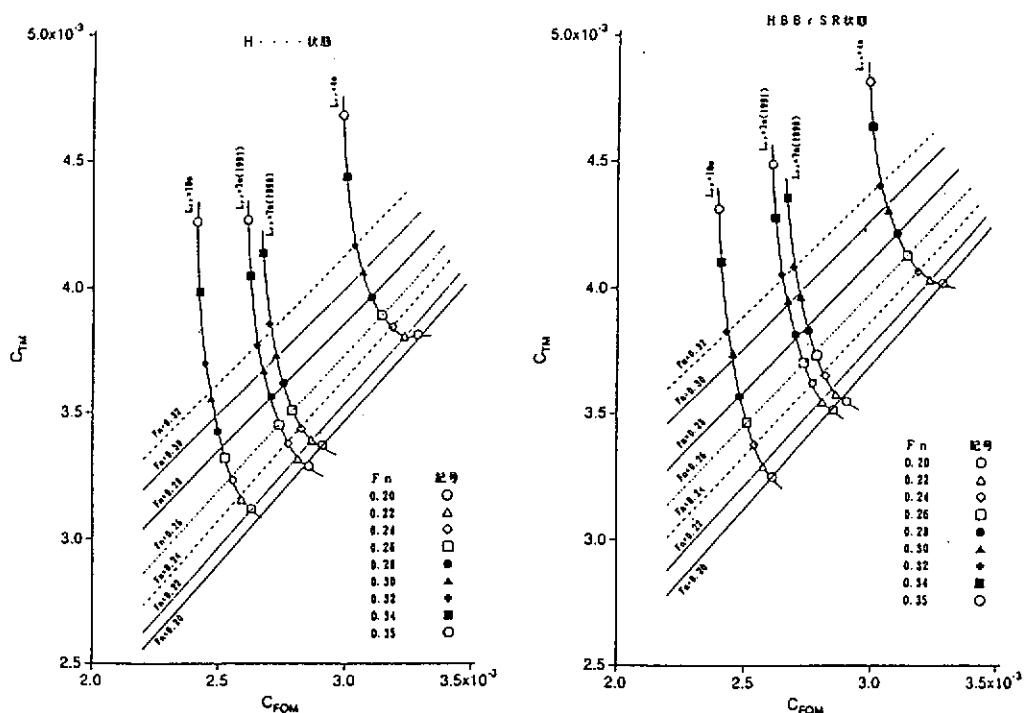


図7 相似模型船の全抵抗係数と摩擦抵抗係数との関係

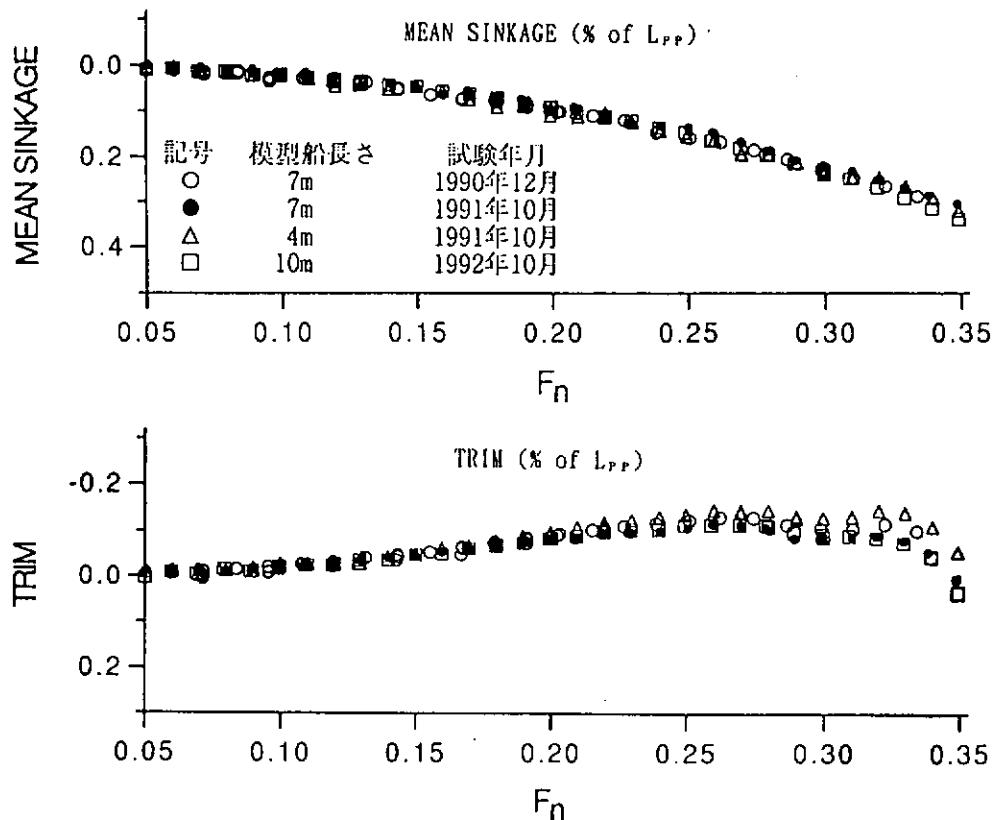


図8 相似模型船の船体沈下量の比較 裸殻状態, H · · · ·

(2) 副部分離計測

ボッシング、シャフトブラケット及び舵をそれぞれ主船体から浮かせた状態で、個々の副部に働く流体力を3分力計により計測し、副部特性推定法を検討する上で必要となる副部単独抗力データを得た。さらに、これらの資料を抵抗試験結果と組み合わせ、船体干渉抗力データを求めるための基礎データを得た。副部分離計測は、分割模型船による抵抗試験と同様の技術的な難しさがあるが、ほぼ満足すべき結果を得たと言える。副部に働く流体力の一例を図9に示す。図例のように副部に働く流体力を模型船速度で無次元化した場合には、模型船の大きさが異なれば船尾に置かれた副部への実際流入流場に差異が生じることもあり流体力係数は一致しない。

(3) 船尾流場の計測

船尾流場の計測は、副部の有無の2状態について、直径4mmの半球型ヘッドの5孔ビトーメ管を用いた。計測結果の一例を図10に示す。船尾流場計測では、当然のことながら船体近傍の流れは副部の存在によって変化し、船体中心線の付近ではボッシングによって流れが外向きに加速され伴流は副部無しに比して小さくなっている。副部により、船体近傍やプロペラ上方船体中心線寄り(SS 5/8及びSS 1/2)に丘状の伴流域が現れ、シャフトブラケットでは内外アームで流れが異なることが判った。

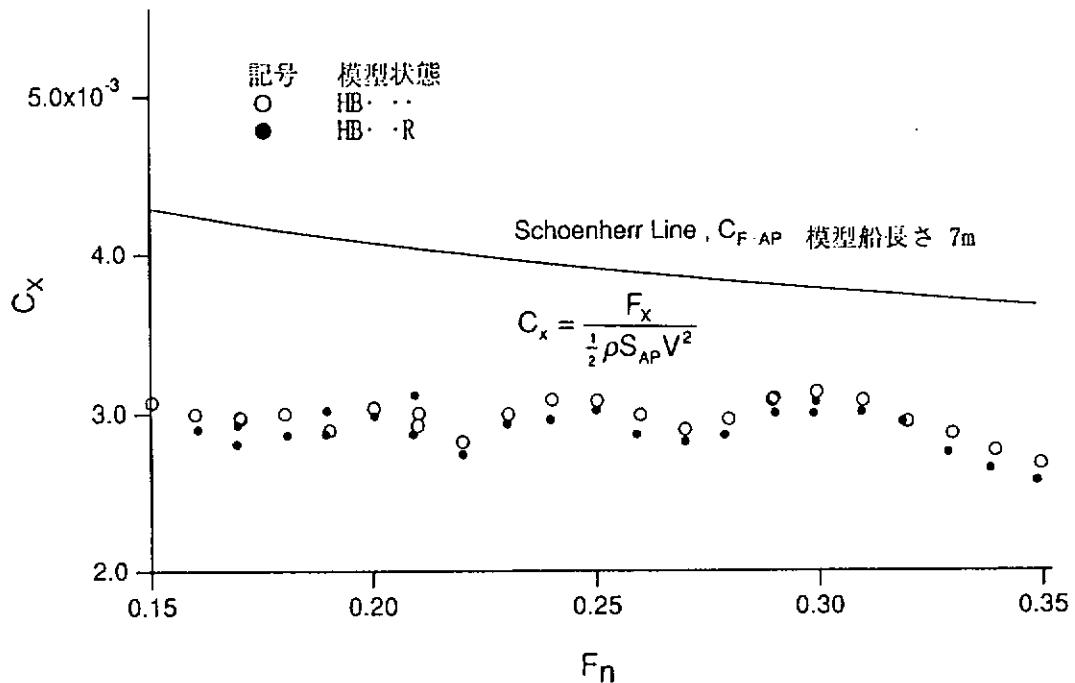


図 9 a ボッキングの流体力係数

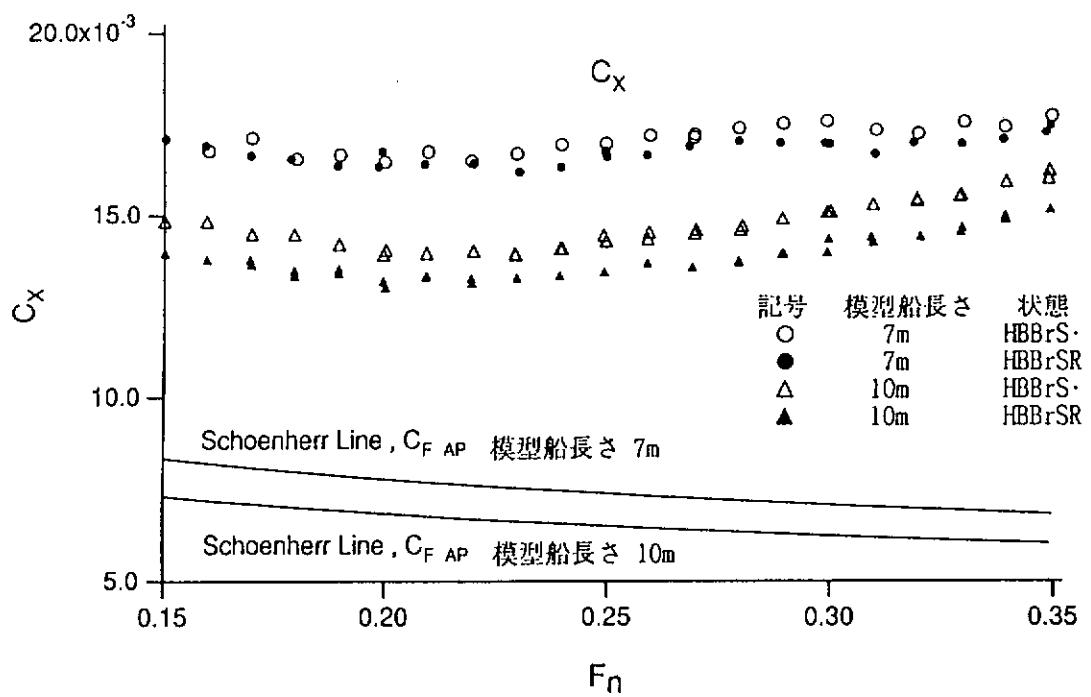


図 9 b シャフトブラケットの流体力係数の比較

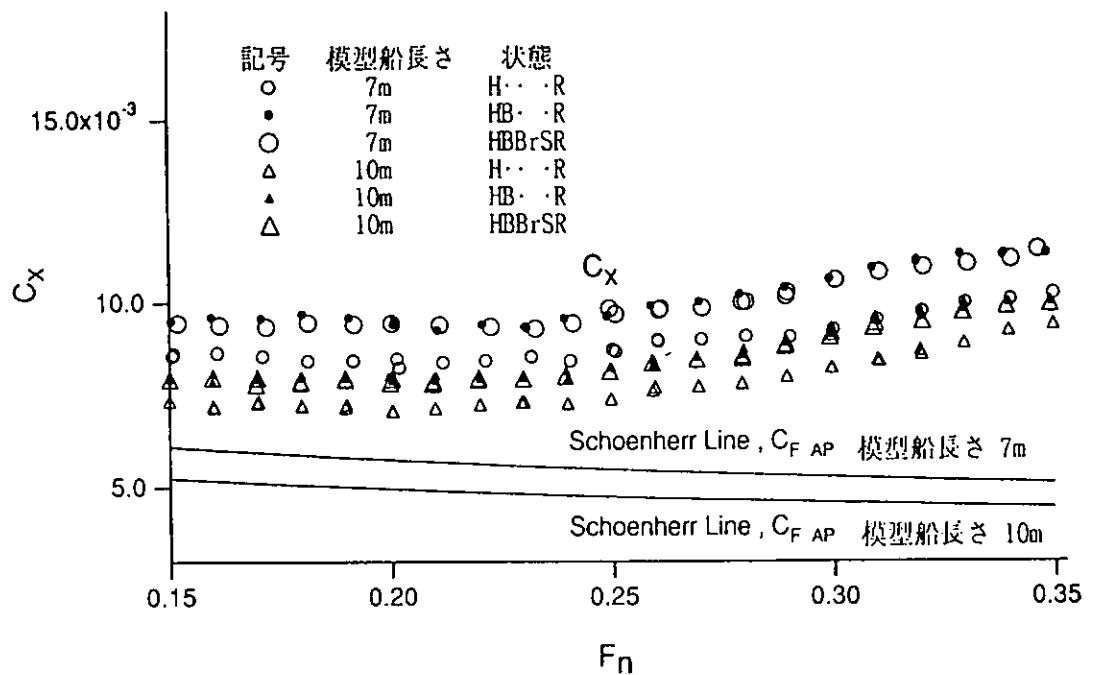


図9c 船の流体力係数の比較

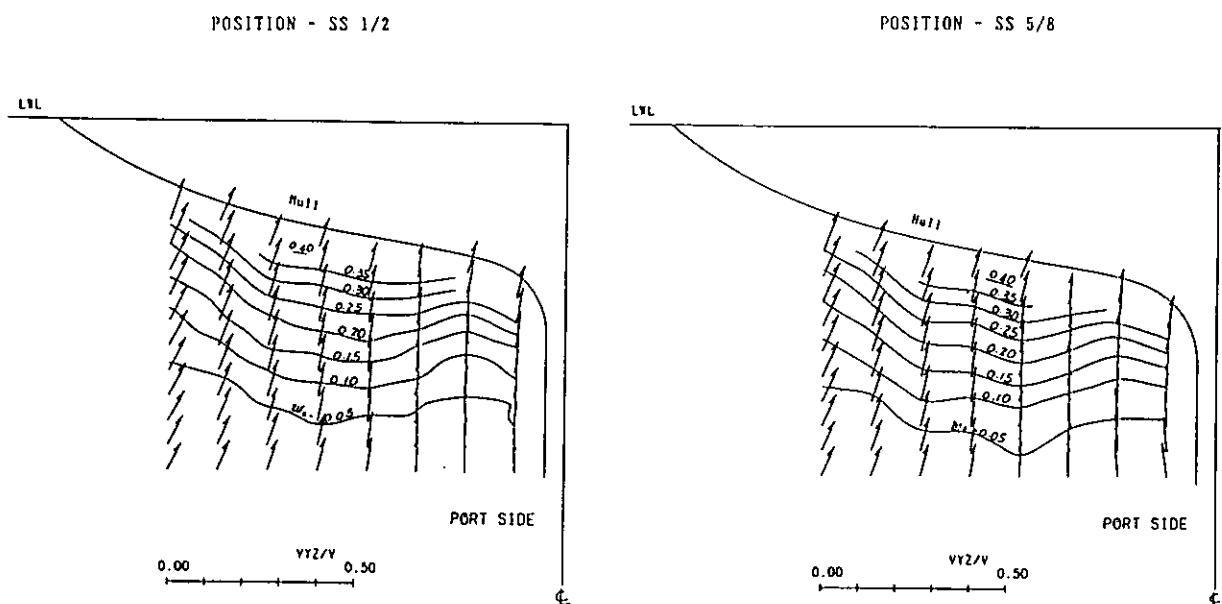


図10a 流場計測結果（裸殻状態）

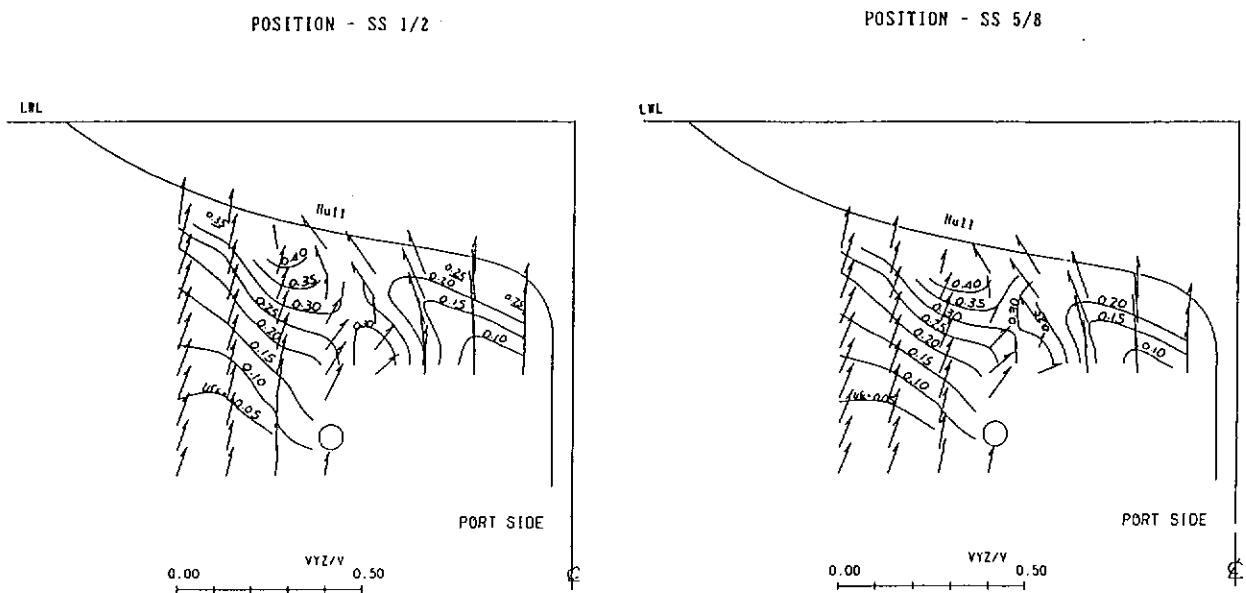


図10b 流場計測結果（副部付き状態）

3.4 副部周りの流れの計測と計算

船体副部としての舵、シャフトブラケット、ボッシング及びシャフトは、複雑な船尾流れの中に装備される。これらの副部に作用する流体力を推定するためには、副部それぞれへの流入流場を正確に把握し、そのような流れの中で副部に働く流体力を推定する手法を持たねばならないが、現状では実用に供し得る術は未開発である。このため、船体全体流場及び副部の基本流力特性の把握を目的として、理論計算、数値計算及び模型試験を実施し、副部単独抗力及び船体干渉抗力の推定に資することとした。

(1) 全体流場

数値流体力学による全体流場の推定法は発展途上にあり、様々な研究、工夫が試みられている[1]、[2]、[3]。鏡像二重模型粘性流の3次元数値シミュレーションによって計算された船尾流速分布の一例を図11に、副部を近似して求めたNSソルバーによる船尾付近の船体表面圧力分布の計算例を図12に示す。

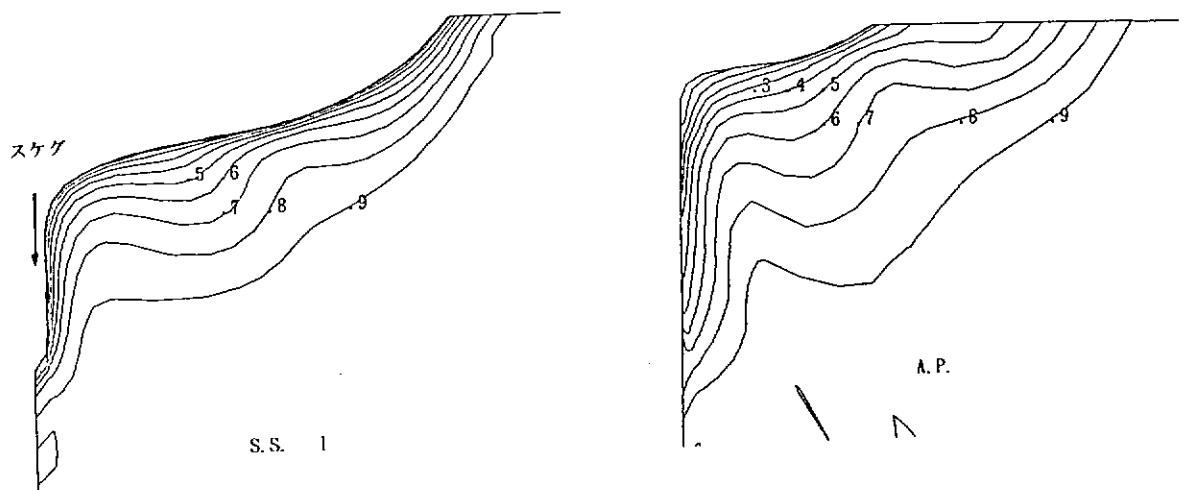


図11 数値計算による船尾流速分布 ($R_n = 3 \times 10^6$)

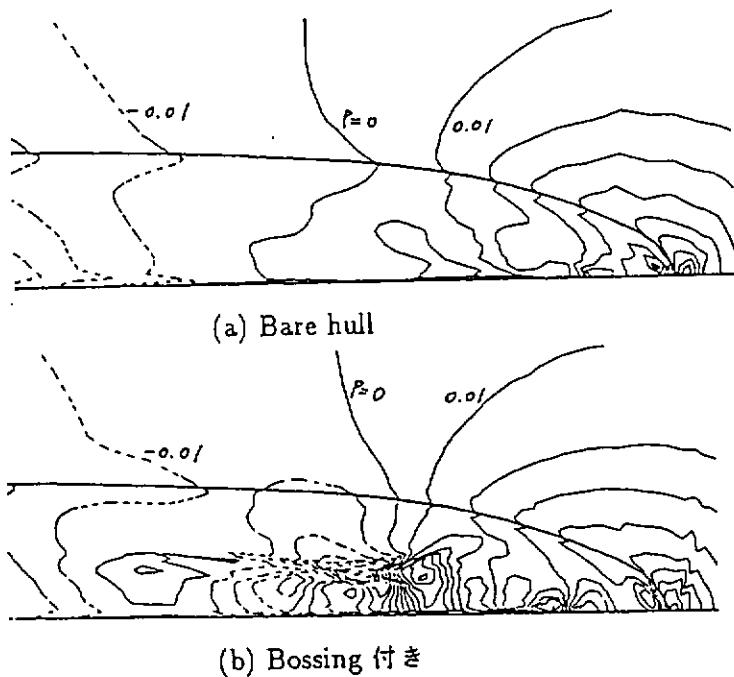


図12 数値計算による船尾近傍圧力分布（下方から見た） $(R_n = 1.4 \times 10^7)$

す。自由表面近傍は別として数値計算による船体周りの流場推定精度は次第に実用域に近づき、流場に対する船型変化の影響や船体周辺での縦渦構造、副部の存在による船尾圧力場の変化の概要を知る上で有力な手法となることが判った。また副部付きの船体周りの流場をマルチブロック格子を用いて計算する手法を開発し試計算を行った。

(2) 副部周りの流場と流力特性

船体表面上に発達した境界層との干渉のある副部周りの流場及びその流力特性の把握には、副部の置かれた複雑な流場を整理し、モデル化された流場での副部の基本特性を模型実験及び計算により把握することが必要である。このため、平板と平板に立てられたストラット（翼型）からなるモデルを主対象とし、迎角及びストラットの横傾斜角を変化させて数値計算及び回流水槽における流れの可視化実験、抗力計測を実施し、平板及びストラット周りの流場構造、圧力分布、摩擦力分布、接合部での複雑な剥離渦構造を調査した[4]、[5]、[6]、[7]。数値計算については、条件の与え方、解法、スキーム、レイノルズ数が様々に考えられることから、東京大学、横浜国立大学、大阪大学、大阪府立大学、広島大学及び九州大学で計算を分担実施した。

数値計算結果の一例及び回流水槽における抗力計測、平板上ストラット周りの限界流線の観測結果を図13～17に示す。数値計算により得られた流場は、回流水槽における可視化結果ともよく一致し、可視化の難しい高レイノルズ数域での数値計算手法の効用が期待される。ストラットの横傾斜は平板近傍ではストラットに迎角を付けたことと同様の効果があり、ストラット抗力、ストラット横傾斜により生ずる横力（揚力）等についても数値計算と実験との対応は良好である。数値計算は、ストラットによる平板上の摩擦力分布や複雑な渦構造を明らかにし、副部抗力推定法の構築ばかりでなく実際の副部設計に際して有益な知見を得た。ストラットの存在は平板上の摩擦力分布に複雑な影響を与え、その分布はストラットの翼厚比、前端のプラントネスによって変化するが、積分領域をある程度広く採れば摩擦力の

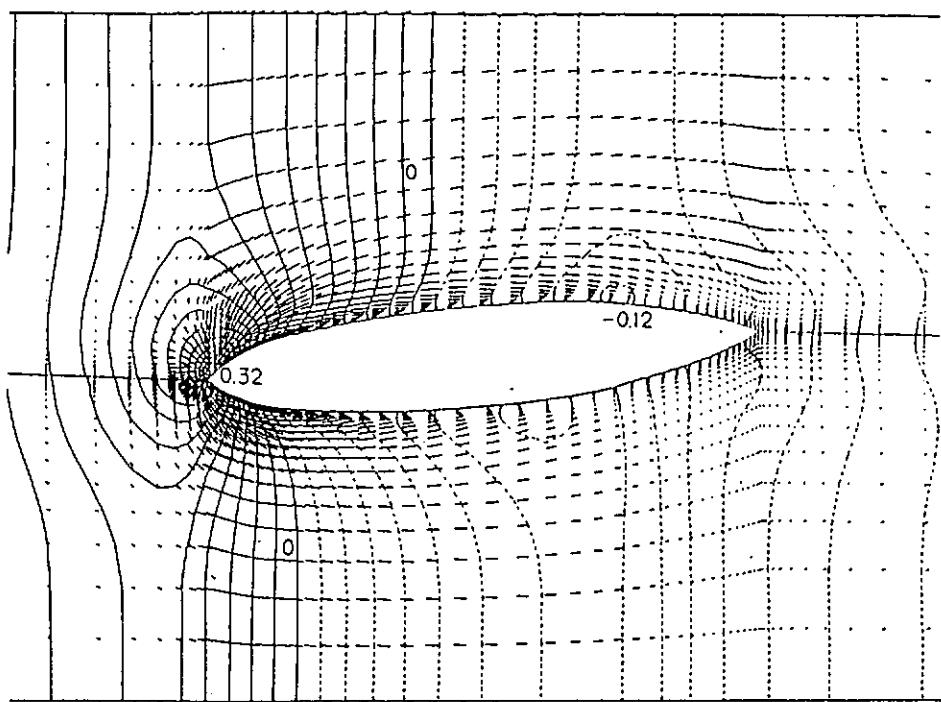


図13a 平板に極めて近い水平面における速度ベクトルと圧力コンター（直立，迎角 5° ， $Rn = 5 \times 10^3$ ）

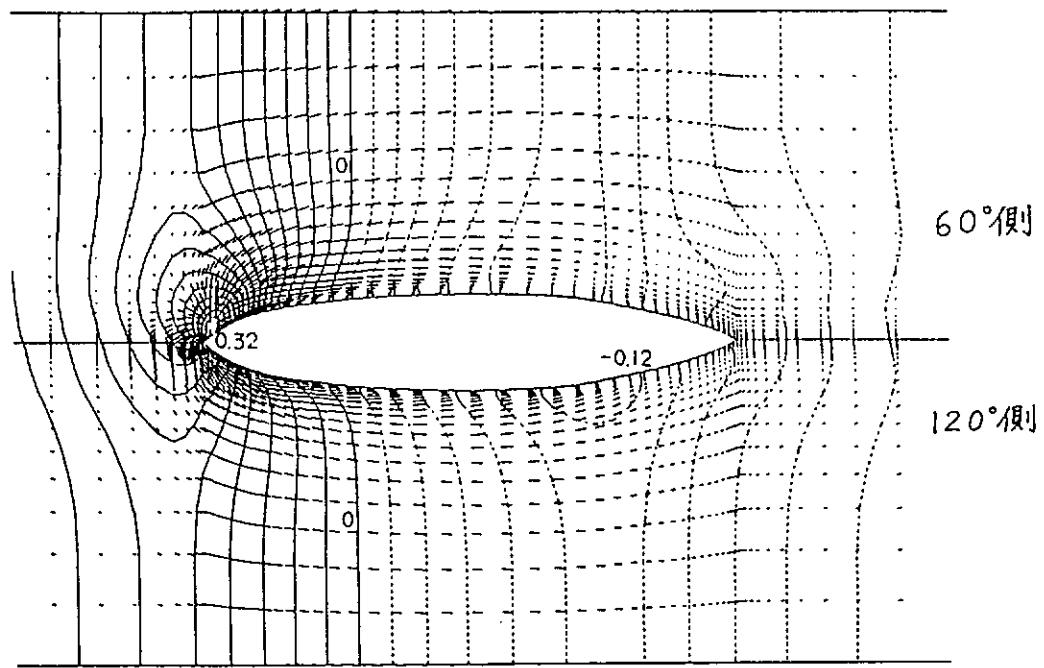


図13b 平板に極めて近い水平面における速度ベクトルと圧力コンター（傾斜 60° ，迎角 0° ， $Rn = 5 \times 10^3$ ）

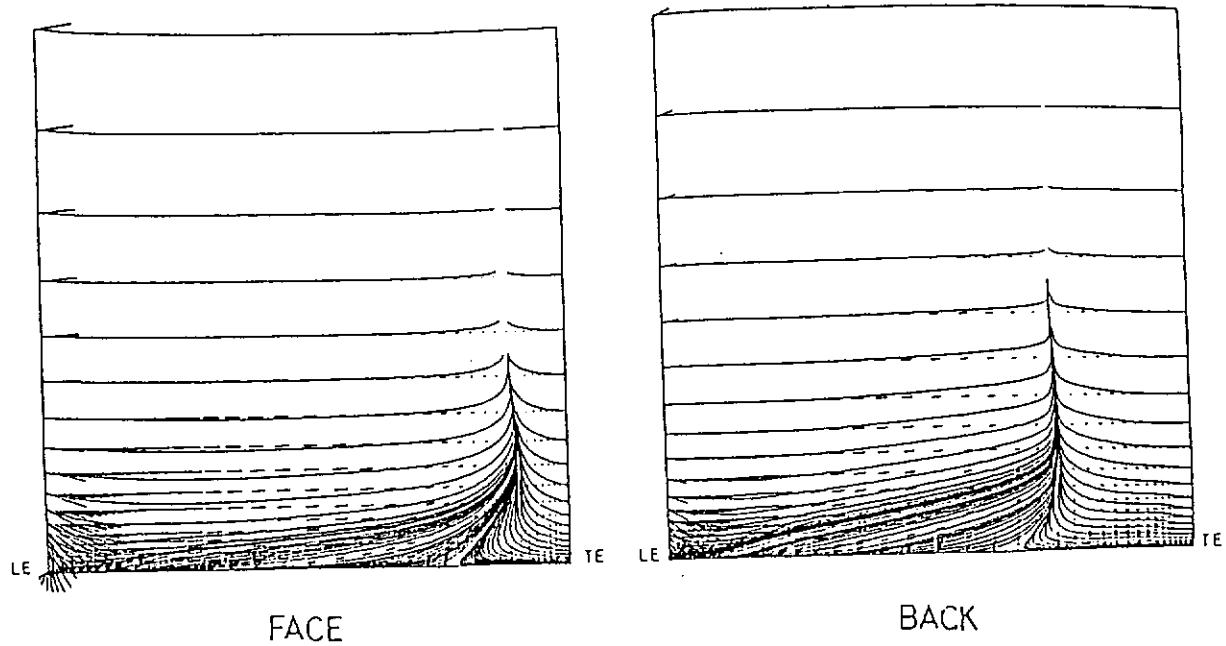


図13c ストラット表面の限界流線（直立，迎角 5° ， $Rn = 5 \times 10^3$ ）

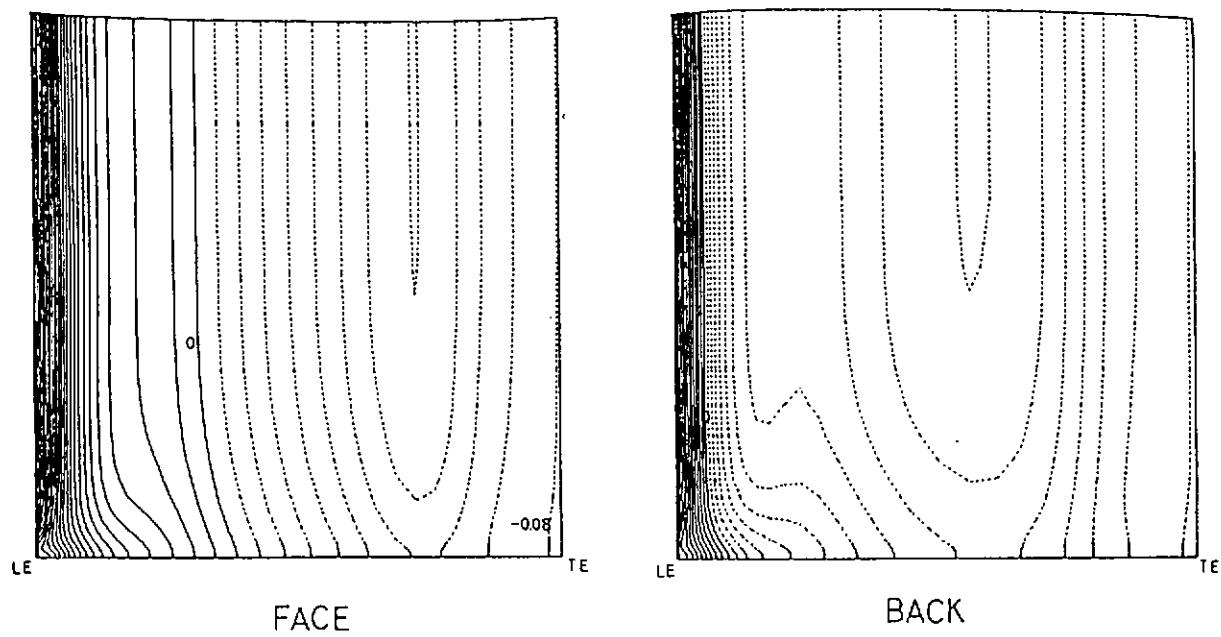


図13d ストラット表面の圧力分布（直立，迎角 5° ， $Rn = 5 \times 10^3$ ）

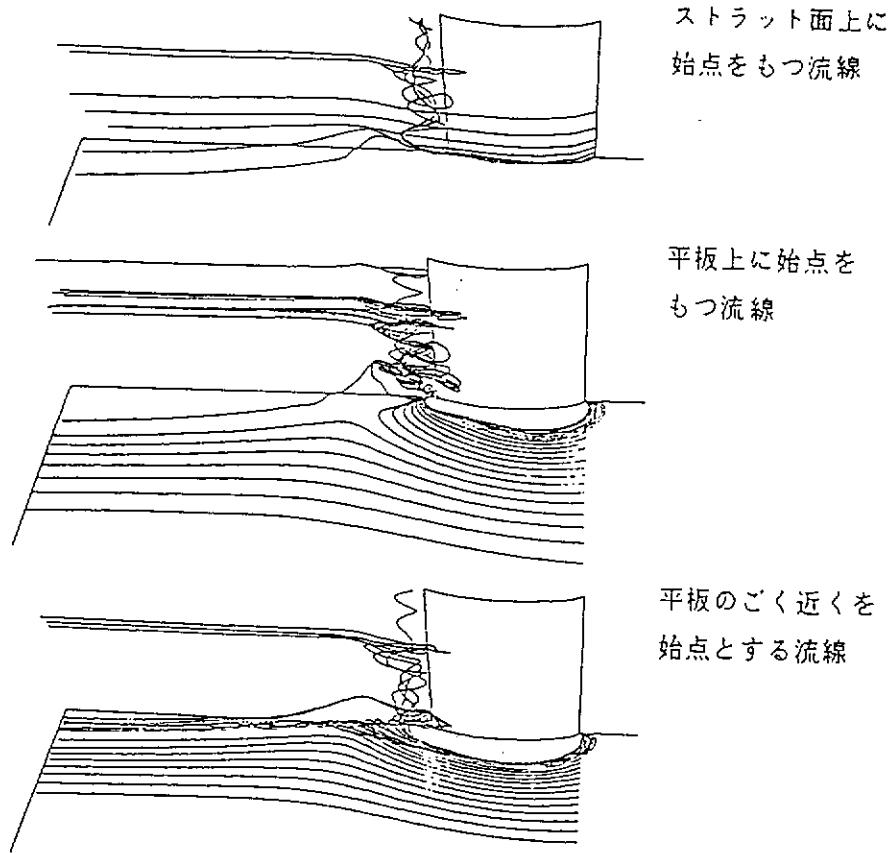


図14 ストラットと平板近傍の流線（直立、迎角 0° 、 $Rn = 10^4$ ）

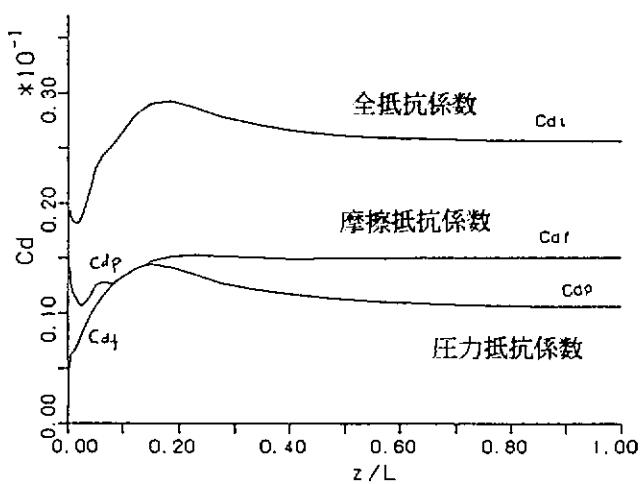


図15 ストラットに働く抗力のスパン方向分布（直立、迎角 0° 、 $Rn = 10^5$ ）

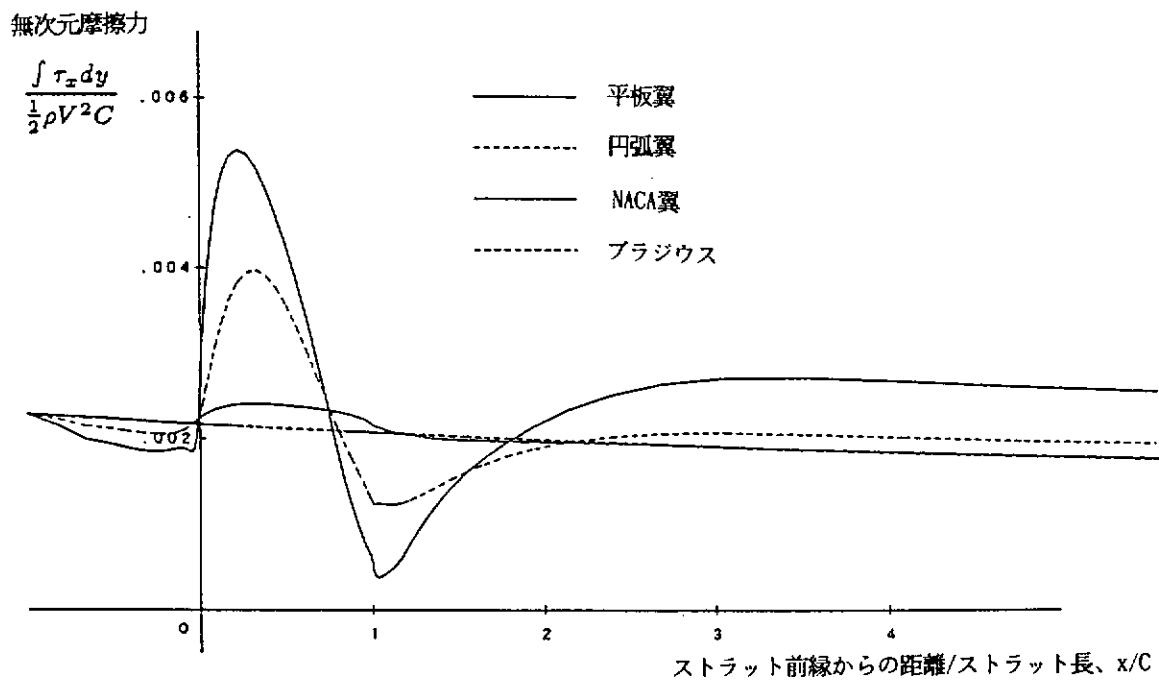


図16 平板上摩擦力分布（ストラット断面形状の影響；直立，迎角0°， $R_n = 10^4$ ）

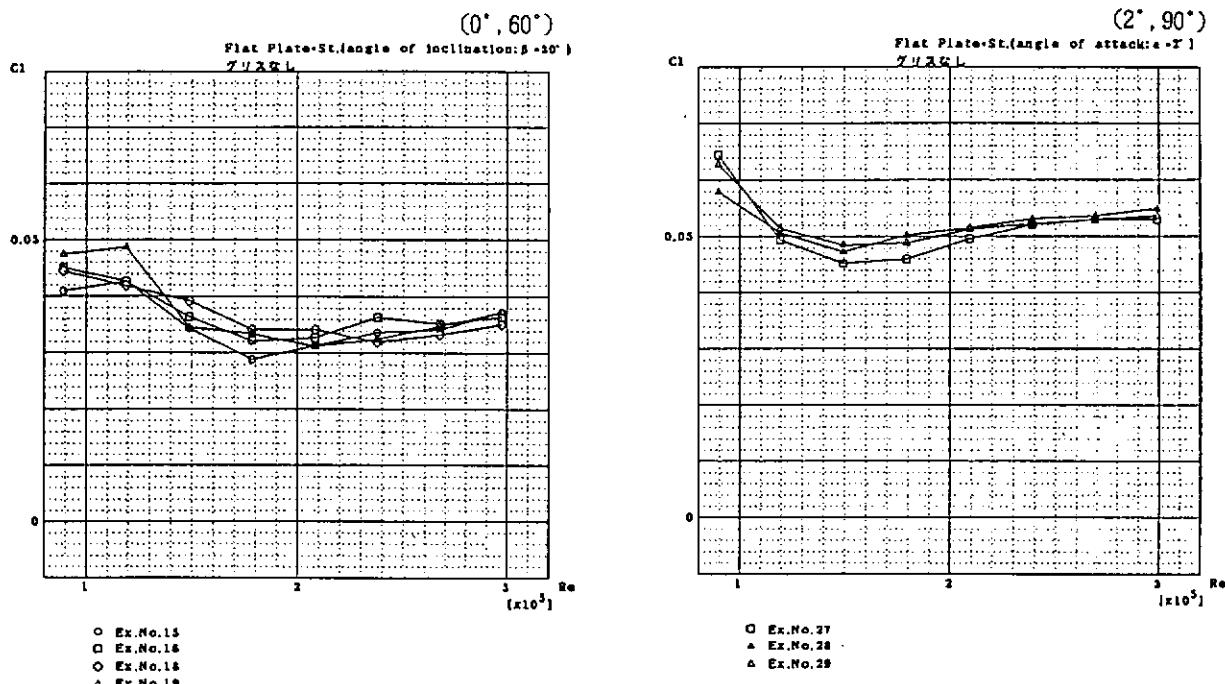


図17 ストラットの揚力係数（回流水槽での実験）

積分値は、ストラットの有無によって大差がないことが明らかになった。船体干渉抗力成分がさほど大きくないことは模型船による水槽試験結果から得られているが、副部周りの流場解析によっても同様の結論を得た。

数値計算結果の検証は重要かつ必要であるが、このような平板に働く摩擦応力を実験により求めるることは、流場へのセンサー挿入の影響が大きく難しい。このため油膜の運動を画像処理して壁面摩擦力分布の概要を求ることを試みた。

(4) プロペラの影響

舵のように船尾流れに置かれた付加物、副部は、船体周りの流れと干渉して、船体に干渉流体力を生ずるが、これが必ずしも抵抗とはならない。プロペラが作用すると、その後方に置かれた舵には加速流と回転流が当たり舵は翼として作用するようになる。船尾流れに置かれた副部へのプロペラの影響の解明は難しい問題であり、その重要性は認識しつつ時間等の制約のため止むを得ず本研究の主要課題となかった。シャフトブラケット付きプロペラ性能試験を行ってその影響を調査したに止まるが今後数値流体力学的手法による検討も含めその解明が待たれる。

参考文献

- [1] M. Zhu, H. Miyata and H. Kajitani, "A finite-volume method for the unsteady flow about a ship in generalized coordinate system", 日本造船学会論文集、第167号、1990.
- [2] H. Miyata, M. Zhu and O. Watanabe, "Numerical study on a viscous flow with free-surface waves about a ship straight course by a finite-volume method", J. Ship Research, Vol. 36, No. 4, 1992.
- [3] Y. Kodama, "Computation of ship's resistance using a NS solver with global conservation-flat plate and Series 60 ($C_b=0.6$) hull", 日本造船学会論文集、第172号、1992.
- [4] S. Y. Kim and K. Mori, "A study on the flow around a strut mounted on a plate with an angle of attack", 日本造船学会論文集、第171号、1992.
- [5] S. Y. Kim and K. Mori, "A study on junction flows ; effects of the inclination of strut and the curvature of plate", 日本造船学会論文集、第172号、1992.
- [6] 鈴木敏夫外、"翼と平板の接合部近傍の流れの数値シミュレーション", 関西造船協会誌、第218号、1992.
- [7] 奥野武俊外、"平板上におかれた翼まわりの馬蹄渦の観察", 可視化情報、Vol. 12, No. 1, 1992.

3.5 副部特性推定精度向上の方策検討

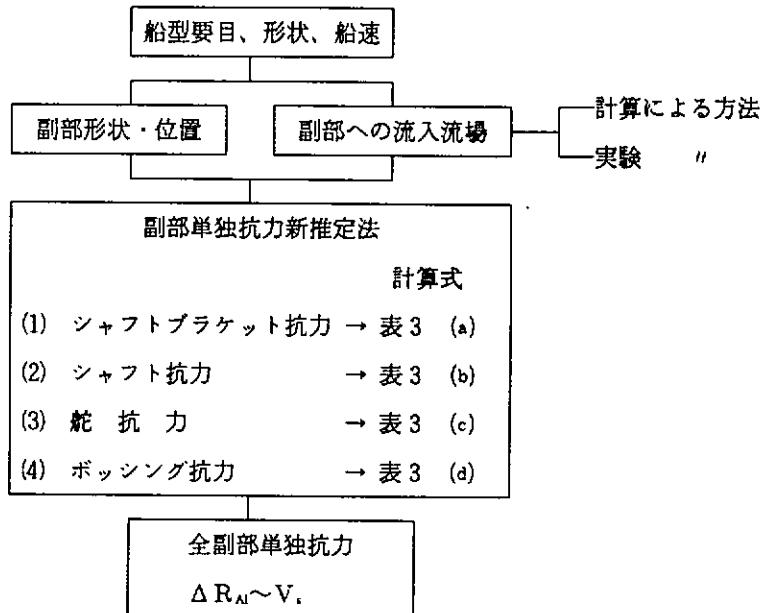
(1) 副部単独抗力の推定法

副部単独抗力の推定法に関して、本研究で取り入れた新しい考え方は次の通りである。即ち、船体に装備された副部について、その構成要素と局所の流入流場に基づくレイノルズ数から抗力係数を算定して要素抗力を求め、これを積分して副部単独抗力を求める。このようにして得られたシャフトブラケット、シャフト、舵、ボッシングなどの抗力 $\Delta R_{AI, Br}$, $\Delta R_{AI, s}$, $\Delta R_{AI, R}$, $\Delta R_{AI, B}$ から全副部単独抗力 $\Delta R_{AI} = \Delta R_{AI, Br} + \Delta R_{AI, s} + \Delta R_{AI, R} + \Delta R_{AI, B}$ を求める。

この方法は、従来使用してきた副部有無の船体抵抗の差として副部抗力を求める実験的方法や、各種形状物体の抗力係数表から副部個々の抗力係数を選択し副部抗力を概算する推定法などに比べて次の点で優れた特徴をもつ。

(i) 副部装備位置での流入流場を入力することにより、構成要素の抗力係数が副部要素のレイノルズ数と副部形状の関数として与えられたため、流体力学法則に立脚した副部単独抗力の推定が可能である。

- (ii) 従って、実船の副部の単独抗力への外挿を、より合理的に行うことができる。
- (iii) 副部の形状変化に対応できるため、基本設計段階などにおける最適副部形状の設計に応用できる。
- 本推定法は7m模型船を中心とした副部抗力分離計測結果や数値流体力学の手法による副部まわりの流場・抗力計算等の結果を基にして、推定手法の構築と改良をはかったものである。副部単独抗力の新しい推定法の構成とフローは次のようである。また、主要計算式を表3に示す。



本推定法の精度を評価するために、10m模型船についてその設計速力 ($F_r = 0.272$: $V_r = 2.731 \text{ m/s}$: 実船 26kts対応) での副部単独抗力を計算し、模型実験結果と比較・評価を行った。その結果、十分な精度で単独抗力が推定できることが明らかになった。さらに、船長240mの実船を想定し、設計速力26ktsでの副部単独抗力とその内訳を推定した。これらの結果を表4に示す。副部単独抗力には摩擦抵抗のような尺度影響をうける成分と尺度影響をうけない抵抗成分により構成される。このため全副部単独抗力に対する各副部単独抗力の比率が表4のように模型船と実船の場合でかなり異なってくる。

以上のように、本推定法によれば、全副部単独抗力の合理的推定が可能となり、副部設計の観点から各副部抗力の大小の評価およびその軽減のための重要なデータが得られるものと考える。

(2) 主船体干渉抗力の推定法

副部抵抗の推定に関して、本研究の新しい考え方のひとつは副部による主船体の抵抗の変化を考慮に入れることである。すなわち、副部が存在することによる流れの変化に伴い主船体に誘起される干渉抗力であり、これを主船体干渉抗力と呼ぶ。本節では主船体干渉抗力を実験、理論の両面から定量的な評価を行う。

副部有り無しの抵抗試験および副部の分離計測を用いて、主船体干渉抗力 (ΔR_{HA}) は次のように定義できる。

$$\Delta R_{HA} = \Delta R_A - \Delta R_{A1}$$

$$\Delta R_A = R_T - R_N$$

ここで、 ΔR_A は副部総合抗力、 R_T は副部付き全抵抗、 R_N は裸船の全抵抗、 ΔR_{A1} は副部単独抗力であり、(1)節の方法により求める。副部の分離計測が行われていればその値を用いる。主船体干渉抗力は副部による局所的な流れの変化に基づく抗力 (ΔR_{HA*}) と副部により主船体の姿勢変化等に基づく抵抗

表3(a) シャフトブラケット抗力の推定: $\Delta R_{A1, Br}$

$\Delta R_{A1, Br}$ はストラット部抗力 R_{ST} と円筒部抗力 R_{CY} の和として下式により計算する。

$$\Delta R_{A1, Br} = R_{ST} + R_{CY}$$

(ストラット部)

R_{ST} は、2次元翼型特性から求められるストラット抗力 R_{STz} と2種類の干渉抵抗 ΔD_w 、 ΔD_z の和とした。

$$R_{ST} = R_{STz} + \Delta D_w + \Delta D_z$$

$$R_{STz} = 0.5 \cdot \rho \int_0^H (C_D + C_{Dz}) \cdot u^2(z) \cdot c \cdot \cos \beta \cdot dz$$

$$= 0.5 \cdot \rho \int_0^H C_L \cdot u^2(z) \cdot c \cdot \sin \beta \cdot dz$$

ここで、

$$C_F = 1.327/R_n^{0.5}$$

$$= 1/(3.46 \cdot \log_{10} R_n - 5.6)^2 - 1700/R_n \quad \left. \begin{array}{l} (\text{模型船}) \\ (\text{実船}) \end{array} \right\}$$

$$C_D = 2 \cdot C_F (1+t/c) + (t/c)^2$$

$$= 2 \cdot C_F [1+2(t/c)+30\{(t/c+C_L/5)^4+(t/c-C_L/5)^4\}] \quad \left. \begin{array}{l} (\text{模型船}) \\ (\text{実船}) \end{array} \right\}$$

$$R_n = u(z) \cdot c / \nu$$

$$C_L = 2 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot \beta$$

$$C_{Dz} = 4 \cdot \pi \cdot \beta^2 / \Lambda$$

$$\sigma = 1/(1+2/\Lambda)$$

$$\Lambda : \text{アスペ}^\circ \text{外比} \quad , t : \text{ブレケットの最大厚さ}$$

$$c : \text{ブレケットのコード長} \quad , \beta : \text{迎角}$$

船体とストラット接合部での干渉抵抗 : ΔD_w

$$\Delta D_w = 0.5 \cdot \rho \cdot u^2 \cdot c^2 \cdot C_{Dw} \quad \left. \begin{array}{l} \\ C_{Dw} = 0.8 \cdot (t/c)^3 - 0.0005 \end{array} \right\}$$

ストラットとブレケット接合部での干渉抵抗 : ΔD_z

$$\Delta D_z = 0.5 \cdot \rho \cdot u^2 \cdot t^2 \cdot C_{Dz} \quad \left. \begin{array}{l} \\ C_{Dz} = 17 \cdot (t/c)^2 - 0.05 \end{array} \right\}$$

(円筒部)

円筒部の抗力 R_{CY} は、流線型状をした軸対称物体の抗力係数から求めた。

$$R_{CY} = 0.5 \cdot \rho \cdot u^2 \cdot S_{WET} \cdot C_D$$

ここで、

$$C_F = 1.327/R_n^{0.5}$$

$$= 1/(3.46 \cdot \log_{10} R_n - 5.6)^2 - 1700/R_n \quad \left. \begin{array}{l} (\text{模型船}) \\ (\text{実船}) \end{array} \right\}$$

$$C_D = C_F \cdot (1+(D_1/1)^{1.5}) + 0.15 \cdot (D_1/1)^2$$

$$= C_F \cdot (1+1.5 \cdot (D_1/1)^{1.5} + 7 \cdot (D_1/1)^3) \quad \left. \begin{array}{l} (\text{模型船}) \\ (\text{実船}) \end{array} \right\}$$

$$S_{WET} = \pi \cdot l \cdot D_1 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$R_n = u \cdot l / \nu$$

$$l : \text{円筒部の長さ} \quad , D_1 : \text{円筒部の直径}$$

表3(b) シャフト抗力の推定: $\Delta R_{AI, S}$

$\Delta R_{AI, S}$ は下式により求める。

$$\Delta R_{AI, S} = 0.5 \cdot \rho \cdot l \cdot D \cdot u^2 \cdot (1.1 \cdot \sin^3 \alpha + \pi \cdot C_F)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} C_F &= 1.327/R_n^{0.5} && (\text{模型船}) \\ &= 1/(3.46 \cdot \log_{10} R_n - 5.6)^2 - 1700/R_n && (\text{実船}) \\ R_n &= u \cdot l / \nu \\ l &: \text{シャフトの長さ} && D : \text{シャフトの直径} \\ \alpha &: \text{迎角} \end{aligned} \right\}$$

表3(c) 舵抗力の推定: $\Delta R_{AI, R}$

$\Delta R_{AI, R}$ は、2次元翼型特性から求められる $\Delta R_{AI, R_2}$ と翼端部影響 ΔD_t の和とする。

$$\Delta R_{AI, R} = \Delta R_{AI, R_2} + \Delta D_t$$

$$\Delta R_{AI, R_2} = 0.5 \cdot \rho \cdot \int_0^H C_D(z) \cdot u^2(z) \cdot c(z) \cdot dz$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} C_F &= 1.327/R_n^{0.5} && (\text{模型船}) \\ &= 1/(3.46 \cdot \log_{10} R_n - 5.6)^2 - 1700/R_n && (\text{実船}) \\ C_D &= 2 \cdot C_F (1+t/c) + (t/c)^2 && (\text{模型船}) \\ &= 2 \cdot C_F [1+2(t/c)+60(t/c)^4] && (\text{実船}) \end{aligned} \right\}$$

翼端部影響: ΔD_t

$$\left. \begin{aligned} \Delta D_t &= 0.5 \cdot \rho \cdot u^2 \cdot C^2 \cdot C_{Dc} \\ C_{Dc} &= 0.15 \cdot (t/c)^2 \end{aligned} \right\}$$

表3(d) ボッシングの推定: $\Delta R_{AI, B}$

$\Delta R_{AI, B}$ は、 R_{PB} (圧力抵抗)、 R_{FB} (摩擦抵抗) および R_{AE} (Base Drag) に分離し、下式により求める。

$$\left. \begin{aligned} \Delta R_{AI, B} &= R_{PB} + R_{FB} + R_{AE} \\ R_{PB} &= 0.5 \cdot \rho \cdot u^2 \cdot (S_{BOS} / \pi) \cdot C_{DP} \\ R_{FB} &= 0.5 \cdot \rho \cdot u^2 \cdot (S_{BOS}) \cdot C_F \\ R_{AE} &= 0.5 \cdot \rho \cdot u^2 \cdot (S_{BASE}) \cdot C_{DB} \end{aligned} \right\}$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} C_F &= 1.327/R_n^{0.5} && (R_n < 5.25 \cdot 10^4) \\ &= C_F^* \cdot 10^{0.117 \cdot f(R_n)} && (5.25 \cdot 10^4 \leq R_n < 2.00 \cdot 10^6) \\ &= 1/(3.46 \cdot \log_{10} R_n - 5.6)^2 - 1700/R_n && (R_n \geq 2.00 \cdot 10^6) \\ C_F^* &= 1/(3.46 \cdot \log_{10}(2.0 \cdot 10^6) - 5.6)^2 - 1700/(2.0 \cdot 10^6) \\ f(R_n) &= [\log_{10} R_n - \log_{10}(2.0 \cdot 10^6)]^2 \\ C_{DP} &= 1.1 \cdot \sin^3 \alpha \\ C_{DB} &= 0.029 \cdot (C_F \cdot S_{WET} / S_{BASE})^{-0.5} \cdot \cos^3 \alpha \\ R_n &= u \cdot l / \nu \\ S_{WET} &= S_{BOS} \\ S_{BASE} &= \pi \cdot ((D_s/2)^2 - (D_t/2)^2) \end{aligned} \right\}$$

1: ボッシングの等価長さ ($l = S_{BOS} / (\pi \cdot D_s)$)
 D_t : シャフトの直径 D_s : ボッシングの直径
 D_s : ボッシング後端部の直径、 S_{BOS} : ボッシングの表面積 (計測値)
 α : 迎角

表4 7m模型、10m模型および実船の副部単独抵抗
の計算結果 ($F_n = 0.272$: 26kts対応)

		7m模型		10m模型		実船	
副部名	個数	単体抵抗 (Kgf)	小計 (Kgf)	単体抵抗 (Kgf)	小計 (Kgf)	単体抵抗 (Kgf)	小計 (Kgf)
シャフト プラケット	2	0.1684 [0.170]	0.3368 (46.0 %)	0.4808 [0.400]	0.9616 (43.9 %)	1204.1	2408.2 (18.5 %)
シャフト	2	0.0094	0.0188 (2.6 %)	0.0261	0.0522 (2.4 %)	616.1	1232.2 (9.5 %)
舵	1	0.2062 [0.271]	0.2062 (28.1 %)	0.6311 [0.672]	0.6311 (28.7 %)	2915.6	2915.6 (22.4 %)
ボッシング	2	0.0854 [0.113]	0.1708 (23.3 %)	0.2736	0.5472 (25.0 %)	3234.4	6468.8 (49.6 %)
副部単独抵抗	Total	0.7326		Total	2.1921	Total	13024.8

増加 (ΔR_R) とに分けられ、 ΔR_{HA}^* は次式により推定できる。

$$\Delta R_{HA}^* = (1 + K_T) R_F - (1 + K_N) R_{FN} - \Delta R_{AI}$$

ここで、 K 、 R_F は抵抗試験により求まるForm Factorおよび相当平板の摩擦抵抗であり、添字T、Nはそれぞれ副部付き、裸殻状態を表す。本節では、主船体干渉抗力のうち、副部まわりの局所流れの変化による抗力 (ΔR_{HA}^*) の評価に主眼をおく。主船体の姿勢変化等に基づく抵抗増加 (ΔR_R) は副部有り無しの抵抗試験より求まるが、その物理的な特性については、実験的に高度な技術を要する基礎的な研究が残されているので、詳細については今後の課題とする。

以上の方法により、ボッシング、シャフトプラケット、舵による主船体干渉抗力を算出した。また、Hess & Smith法による船体まわりのボテンシャル流れ及び積分型境界層計算を用いた簡易計算法を開発し、ボッシングおよび舵による主船体干渉抗力を計算した。さらに、最も簡単な副部形状として、平板に翼断面のストラットが取り付けられた形状についてナビエ・ストークス方程式の数値解を分析して、ストラットが付くことによる平板に働く摩擦抵抗の変化を評価した。その結果次のことが明かになった。

- (i) ボッシングおよびシャフトプラケットによる局所流れの変化に基づく主船体干渉抗力は負の値、すなわち推力方向の成分となるがその絶対値は無視し得るほど小さい。舵による主船体干渉抗力も負となるが絶対値は全抵抗の3~4%に相当する。
- (ii) ボッシングおよび舵による主船体干渉抗力を簡易計算法により計算した結果、計算値と実験値は比較的よく一致し、しかも干渉抗力のほとんどは圧力抵抗成分であり、尺度影響をうける摩擦抵抗成分は少ないと分かった。
- (iii) ナビエ・ストークス方程式の数値解によると、平板に翼型断面のストラットを付けることによって、平板上の摩擦応力分布は大きく変わるが摩擦抵抗の変化は小さい。そのため、主船体干渉抗力の摩擦抵抗成分による尺度影響は無視し得ると考えられる。

(3) 副部抵抗の新しい外挿法

(1)、(2)節の結果をふまえて、模型船の抵抗試験から実船の抵抗を推定する新しい推定法の手順を要約すると次のようである。

(a) 模型試験解析

- ① 裸殻状態および全副部付き船体のForm Factorと造波抵抗係数を求める。
- ② Form Factorと相当平板の摩擦抵抗を用いて副部総合抗力 (ΔR_A) を算出する。
- ③ 副部単独抗力 (ΔR_{AI}) を(1)節の方法により推定する。
- ④ 副部総合抗力から副部単独抗力を差し引いて主船体干渉抗力 (ΔR_{HA}^*) を求める。

(b) 実船抵抗の推定

- ① 全副部付き模型船の造波抵抗係数から実船の造波抵抗を推定する。
- ② 裸殻模型船のForm Factorを用いて裸殻実船の粘性抵抗を推定する。
- ③ 実船の副部単独抗力 (ΔR_{AI}) を(1)節の方法により推定する。
- ④ 模型船の主船体干渉抗力に、模型・実船の縮尺比の3乗および水の密度の比を乗じて実船の主船体干渉抗力 (ΔR_{HA}^*) を推定する。
- ⑤ 上記①、②、③、④を加算して実船の副部付きの全抵抗を推定する。

ここで、主船体の姿勢変化等に基づく抵抗増加 (ΔR_R) は造波抵抗が主成分と考えられるので、これを副部付き船体の造波抵抗の中に含め、尺度影響はないものとしている。

新推定法の適用性を検証するために、7m模型船の副部有り無しの抵抗試験から、10m模型船の副部付き抵抗を推定し、別途実施した抵抗試験結果と比較した。その結果、約1%の誤差で10m模型船の抵抗を推定することができ、実用上十分な推定精度であり新推定法の妥当性が確認された。

次に、船長が240mの実船を想定し、7m模型船の副部有り無しの抵抗試験結果を用いて実船抵抗を推定した。計画速力（実船で26ノット）において、副部抵抗の船体抵抗に対する割合は、7m模型船で約8%に対し、実船では約6%に減少する。これは副部単独抗力の摩擦抵抗成分の尺度影響と負の主船体干渉抗力の効果が主船体摩擦抵抗の尺度影響よりも顕著に現れているためである。また、副部付き船体には ΔR_R が付加され、造波抵抗成分が相対的に大きくなるため、尺度影響を受ける摩擦抵抗の全抵抗に占める割合も小さくなる。

最後に、新推定法と従来法により実船の有効馬力 (EHP) を推定し、比較した結果を図18に示す。実船の有効馬力の推定には船体表面の粗度修正量 (ΔC_F) を加えるべきであるが、本研究の対象外であるので、ここでは ΔC_F を考慮していない。新推定法による結果は、高速では2次元外挿を用いた谷口法の結果に、低速域では3次元外挿を用いた谷口法の結果に一致する傾向を示す。従来法は全副部抵抗をひとまとめにして摩擦抵抗成分として外挿するものであり、副部形状の特性を考慮していない。副部抵抗は、その形状によって摩擦抵抗成分と圧力抵抗成分の割合が異なっていて、尺度影響も副部形状に依存する。新推定法は個々の副部形状に対して、その流体力学的特性を分析し、副部の単独抗力のみならず、主船体との干渉に基づく抗力も考慮した方法であり、従来法より合理的な方法である。新しい副部抵抗外挿法は船舶の馬力推定の信頼性向上に役立つものと考えられる。

E H P

実船: Lpp = 240 m

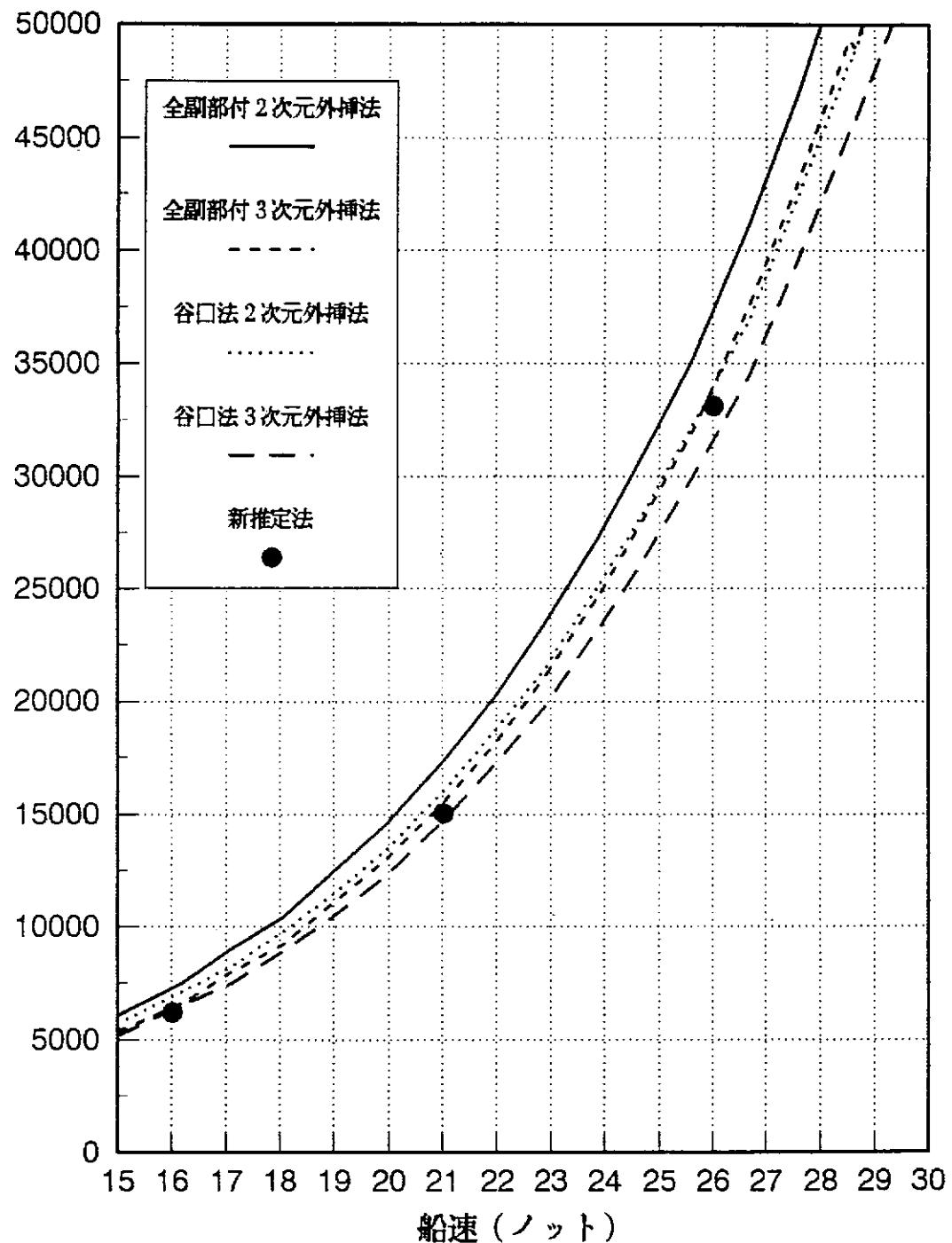


図18 実船有効馬力の推定

3.6 ま と め

主要部分の概要は以上述べた通りであるが、本研究部会で実施した3ヶ月間の研究成果概要を以下に総括する。

(1) 副部特性推定法現状調査

副部推定法に関し、国内外の文献を広く調査、40件の文献を検討、その成果も反映しつつ、副部有無の抵抗試験結果を基に従来法による副部抵抗分離を各副部について行った。その結果、基本構想で策定した副部単独抗力推定における「組上げ法」が或る程度可能なことを確認すると共に、実船外挿を種々試み、従来法ではまだ不十分であることが示された。

(2) 相似模型による水槽試験

SR108 2軸1舵船型を対象としてGeosim(幾何学的相似)模型の水槽試験により新しい推定法構築の為の基礎データを得ると共に尺度影響の検討を行った。

i) 副部有無抵抗試験

一般に実船性能推定に際して使用される模型船の代表的な大きさである7m模型船を主体とし、4mおよび10m模型船を加え相似模型船シリーズとし、裸殻(副部無し)及びシャフトブラケット、シャフト、ボッシング、舵を適宜組合せて装着した状態、並びに、これら全ての副部を装着した状態に関し、同一水槽において抵抗試験を実施し、当該副部有無による抵抗差より各副部の抵抗性能に与える影響を実験的に求めると共に尺度影響検討用のデータを得た。

ii) 副部抵抗分離計測

7m模型船においてはシャフトブラケット、ボッシング、舵を、又、10m模型船においてはシャフトブラケット及び舵を主船体と切離して3分力計を介して模型船に取り付け、船体周りの複雑な流場に置かれたこれら副部個々に働く流体力を計測、新しい副部特性推定手法構築の基礎となる「副部単独抗力データ」を得ると共に、i)で述べた副部有無抵抗試験結果との比較により「干渉抗力」を析出するための基礎データを得た。

iii) 全体流場の把握

7m模型船により副部が装着される近傍の主船体周囲流場の計測及び流場観測を実施し、副部の置かれる流場の特性を把握、以後の副部各要素に関する数値流力解析等の基礎データを得ると共に、新しい推定法構築時の流場推定等の基礎データを得た。

上記流場計測に対応した状態において、数値流力解析技術を活用して流場の理論推定を行い模型による計測結果と比較、或る程度の精度をもって推定が可能なことを確認し、この分野の研究推進にあたり理論の援用が有効であり且つ重要であることを明らかにした。

又、副部が付いた状態での副部周りの流れの様子をよりマクロに知る為、2m模型船を使用し、ミルク塗膜法により限界流線の観測を行うと共に、副部付近の流場計測を行ない、全体としての流場把握につとめた。

iv) プロペラの影響

2.5m模型船により自航試験を実施、シャフトブラケットの流線に対する取り付け角度、プロペラ回転方向変更時の自航性能を求め、理論推定値と比較し、理論によりこれらによる性能変化の傾向が求められることを示した。尚、研究の時間的制約等もあり、自航特性に関しては本研究では十分な検討は実施しておらず、今後機会があれば別の研究課題として取り扱われるべきと考える。

v) 尺度影響

4 m、7 m及び10mの相似模型船による水槽試験結果を基に、副部抵抗に関する尺度影響を検討し、副部自体のRe数が層流と乱流との遷移域にかかるため、実船外挿に当たってこれを考慮する必要があることが明らかとなった。

(3) 副部周り流れの計測と計算

まず副部を構成する要素形状として代表的な翼型断面及び円形断面を有するストラットを夫々平板上に立て、一様流中に置いた場合に関し、部分モデルによる流場計測及び観測とそれに対応する数値流力解析技術による理論推定値との対比を実施、理論推定が有効であることを確認した。この確認が行われた後計算対象形状、条件等を統一し、各機関分担して $Re = 10^3 \sim 10^6$ に亘り平板上に翼形断面ストラット（シャフトプラケットのストラット部と相似断面）を有するモデルに関し流場計算及び、抗力の推定を行ない、新しい推定手法構築に際する抗力へのRe数影響及び干渉抗力検討の基礎データを得ると共に副部周りの流れの機構に関し多くの知見を得た。

又、平板に対し、ストラットが傾斜角を有して取付けられている場合に関しても同様の手法にて数値流力解析手法による検討及び部分モデルによる抗力計測が行われ、その抗力への影響を検討、推定手法構築時の基礎データを得た。

尚、更に進んで、数値流力解析手法により、主船体にシャフトプラケットが付いた状態そのものの流力特性を直接求める試みもなされたが、時間的制約からその骨格の検討迄に止まり、今後の研究に期待することとした。

(4) 副部特性推定精度向上の方策の検討

以上(1)～(3)迄の成果を総合的に活用し、多軸船の船型設計時、副部特性の推定・評価が的確に出来、副部の最適化を行う為のデバイスとして耐えうる、より合理的な新しい副部抵抗推定法を構築し、ここに提案した。

新しい推定法では、副部抵抗を単独抗力と干渉抗力の和として求めることが出来、前者は各副部を構成する要素毎の抗力を流入流場の影響を加味した上で組上げることにより求め、設計時の副部形状・配置変更に対応可能となっており、干渉抗力は単独抗力に関する推定結果を基に付加する形で与えられ、これらの和として副部の総合抵抗の推定を可能にしている。

上記手法により、10m模型船の副部抵抗を7m模型船の試験結果を利用して推定、その有効性を確認した。

又、実船への外挿法についても取りまとめここに提案した。

4. 期待効果

以上報告したように、本研究部会の大きな成果の1つとして「副部抵抗の新推定手法」の提案がなされた。

本手法は副部の「単独抗力」を副部各要素の固有抵抗算定式により合理的に組み上げて推定し、その結果に、副部による主船体に及ぼす干渉影響を「干渉抗力」として加味する方式となっており、副部の形状、配置変化に応じ合理的な推定が可能となり、今後の多軸船の船型計画時の副部最適化のための手段として大きな効果を発揮すると共に、多軸船の推進性能推定精度も向上、もって、優秀な性能を有する多軸船型の開発に資することとなろう。

又、本研究において上記新しい推定手法構築の基礎データを得る為に行なわれた副部周りの流れに関する部分モデルによる実験、流場観測、理論検討等により、その流れの複雑なことを再認識すると共に多くの知見を得、これらは今後多軸船の副部に関するより実用的な研究に際する基礎知識として役立つばかりではなく、付加物による推進性能向上装置等の検討に際し、その現象の理解にも貴重な情報を与えることになると考えられる。

勿論、新しい推定手法も合理的な構造を有しているとはいえ、限られた期間と実験及び理論的な検討を基に組み上げられ、生まれたばかりの推定手法であり不備な点も多々残っていると考えられ、真に実用的な合理的推定手法として磨き上げは、今後の各造船所における設計の場での本推定手法の活用とそれに伴うデータの蓄積にゆだねることとなるが、その基本骨格と考え方は将来共に副部特性推定、及びその最適化のための有効なデバイスとして永く活用され、多軸船の性能向上に資するものと確信する。

更に、本研究の過程で得られた副部単独特性、副部周りの流れに関する知見、数値流力解析技術の利用による諸検討は、今後の全体流場としての船体周り流場と諸流力特性評価の精密化に相当のインパクトと活力を与え、その分野の研究の進展及び多軸船を含む船型設計技術向上のための基礎となる知見の一つとして広く活用されて行くものと考える。

5. 結 言

近年の船舶の高速化等の傾向から多軸船の建造・設計の機会が増加し、その船型計画に際し推進性能に大きな影響を与える副部に関する合理的な流力特性の推定手法構築が切望されていたことから、平成2年度より本研究が開始され、近年発達の著しい試験・計測技術と数値流体解析技術を活用して、これ迄必ずしも十分とはいえないかった複雑な船尾流場に置かれた副部の流力特性の把握に真向から取り組み、3ヶ月間の研究を経て、より合理的な新しい推定手法の提案も含め所期の研究目標を達成、ここにその成果概要を報告することが出来た。

この間、3章にて報告した如く、発足時にたてた研究の基本構想に基づき

- (1) 副部推定法現状調査
- (2) 相似模型による水槽試験
- (3) 副部周りの流れの計測と計算
- (4) 副部特性推定精度向上方策の検討

に関し鋭意研究を実施し、今回の成果が報告し得たのは、偏に参加各委員の積極的且つ精力的な研究と緊密な連係による処が多いと考える。

本研究成果による期待効果は既に4章にて述べたので、ここでは省略するが、今後の多軸船の船型設計の中で本研究成果が有効に活用され、多数の優秀な性能を有する多軸船が実現することを期待すること大であると共に、今回の研究の過程で得られた数値流力解析の利用を含む諸知見が、今後の船型性能関連技術の高度化にかかる諸研究を行なう際の一つの基礎的な資料となることを期待するものである。

最後に、補助事業の1つとして本研究の実施を支援頂いた日本船舶振興会に御礼を申し上げると共に、本部会の研究実施に当たっての参加委員各位の努力と協力に、又、研究実施を円滑に行なうための種々の努力を払われた日本造船研究協会の方々に心から感謝する次第である。