

## 設計段階での実船性能推定法の構築

久米 健一\*, 折原 秀夫\*\*

### Methods of Estimating Ship Performance in Actual Seas for Use in Ship Design Stage

by

KUME Kenichi, ORIHARA Hideo

#### Abstract

Studies on the propulsive performance of ships have mainly focused on ships in calm water. The performance is evaluated by conducting tank tests using empirical data collected over a long period of time. The use of computational fluid dynamics (CFD) has advanced to a level where it can partially replace tank tests. The performance of ships in actual seas is evaluated in detail by theoretical calculations based on potential theory and model tests, but it has not been sufficiently verified at both model scale and full scale, in contrast to the estimation of ship performance in calm water. Ships that perform effectively in actual seas are needed in response to the demand for GHG reduction. To use the results of estimated performance in actual seas in the design stage, including the effects of disturbances such as wind and waves, the estimation method must be accurate enough to enable at least a relative evaluation of the expected performance improvement by changing the hull form. The method should also enable quantitative evaluation to a certain extent. The S2 Working Group (S2-WG) of the OCTARVIA project has developed a standardized estimation method for actual sea performance that can be used to evaluate ship performance in actual seas during the design stage. The group has also developed the model test methods, analysis methods, and CFD calculation methods necessary for the composition of the standardized estimation method. This paper reports the outline and overall structure of each method.

---

\* 流体設計系実海域性能研究グループ, \*\* ジャパン マリンユナイテッド (株)

原稿受付 令和 3年7月26日

審査日 令和 3年8月17日

## 目 次

1. はじめに	28
2. 波浪中試験法・解析法の検討	28
2.1 国内外における持ち回り試験	29
2.2 波浪中試験法・解析法	29
3. 向波中の CFD 計算法の検討	30
3.1 計算法作成のための検討	30
3.2 計算法に従い実施した CFD 計算の検証	31
4. 風洞試験法の検討	31
4.1 高さ平均風速	32
5. 風圧力の CFD 計算法の検討	34
5.1 計算法に従い実施した CFD 計算の検証	34
5.2 ITTC ガイドラインへの反映	34
6. 実海域性能標準推定法の検討	35
6.1 波浪中抵抗増加推定への横揺影響の考慮	35
6.2 波浪中自航要素推定法	36
6.2.1 OCTARVIA-1 法	36
6.2.2 OCTARVIA-2 法	37
7. まとめ	37
References	37

## 1. はじめに

船舶はその巨大さゆえに実船の性能予測のために実物を用いた試験を実施することが一般に困難であり、相似模型を用いた水槽試験等で代用してきた。近年は数値流体力学（CFD）を駆使し、特に平水中性能の推定に関しては模型試験の精度に近づいている。一方で、波や風が存在する実海域中性能については理論計算や模型試験により詳細な性能推定が行われてきているが、平水中性能の推定に比べれば実船スケールのみならず模型船スケールでの検証も十分ではない。

最近では温室効果ガス排出削減に向けた社会的要請の高まりを受け、実海域性能に優れた船舶が求められるようになってきている。船舶の設計段階で風・波等の外乱影響を含む実海域性能推定結果を利用するには、用いた推定手法が船型等の改良により期待される性能改善量を少なくとも相対評価できる程度の推定精度を有するだけでなく、一定のレベルで定量的な評価ができることの検証も行われていることが重要である。

実海域実船性能評価プロジェクト（OCTARVIA プロジェクト）の S2 ワーキンググループ（S2-WG）では、設計段階で風・波中の実海域性能を評価できる「実海域性能標準推定法」の構築およびそれに必要な各種試験法、解析法、CFD 計算法を作成した。本稿では S2-WG の活動の成果である上記試験法、計算法の他、それらを統合的に利用する方法を示した実海域性能標準推定法について概要を報告する。

## 2. 波浪中試験法・解析法の検討

実海域性能のベースとなる波浪中抵抗・自航性能の評価については、各機関において独自の品質管理の下で試験の実施および解析が実施されてきたが、国際的な標準手法として普及させるにはより客観的で統一された手法を体系的に構築する必要がある。そのために OCTARVIA プロジェクトでは海上技術安全研究所（海技研）におい

て複数の船種、複数の載貨状態における多様な波浪中試験を実施し、斜波～追波中の抵抗増加特性の把握や尺度影響評価などを実施した。さらに国内の試験水槽で同一模型船を用いた波浪中抵抗・自航試験を行いベンチマークデータを取得し、各試験水槽のプラクティスを取り入れた波浪中試験法・解析法の構築を行うとともに、国内で得られた試験結果の妥当性検証のために海外の試験水槽での同一形状・同一サイズの模型船を用いて同様の試験を実施し、得られた試験結果を比較した。

## 2.1 国内外における持ち回り試験

国内持ち回り試験で対象とした試験内容は波浪中抵抗試験および波浪中自航試験である。OCTARVIA プロジェクトでは波浪中自航要素の推定に荷重度影響を考慮することとしているため、自航試験では荷重度変更試験も含めた。対象船型はS2-WGでの検討の結果、肥大船としてバルクキャリア船型（JBC, Japan Bulk Carrier）、痩せ型船として大型コンテナ船型（DTC, Duisburg Test Case）を選定した。なお、試験精度に着目した持ち回り試験では船長約7m（JBC）と約8m（DTC）の大型模型船を用いた。

大型のJBC模型船を用いた波浪中抵抗試験結果の比較を図1に示す。国内の4機関の試験結果は匿名化し記号A~Dで表示した。海外水槽はドイツのHSVAとオランダのMARINである。国内の試験についてはOCTARVIAプロジェクトの試験法・解析法に基づき実施したが、いずれの試験結果についても良くまとまっており同試験法・解析法の有効性が示された。

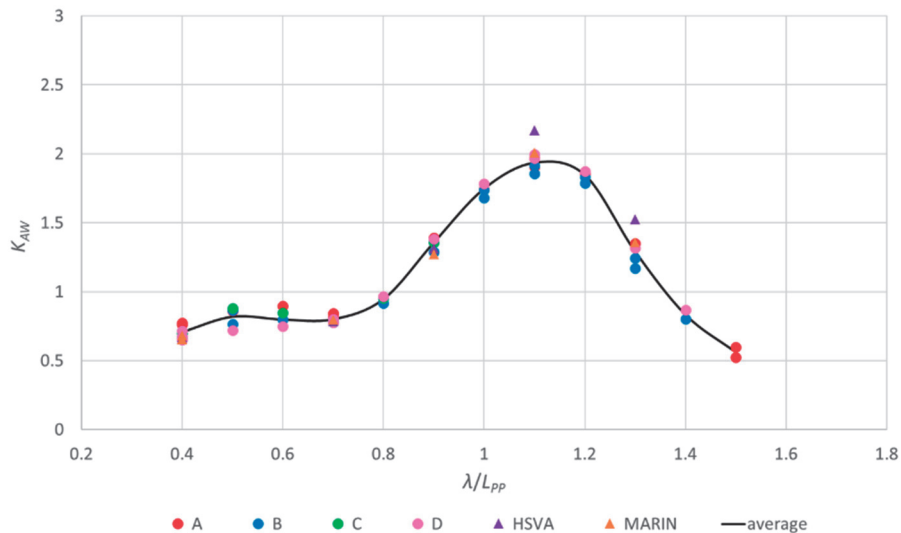


図1 向波規則波中抵抗増加係数の比較

## 2.2 波浪中試験法・解析法

海技研での試験及び国内外での持ち回り試験を経て、波浪中抵抗試験と波浪中自航試験（荷重度変更試験）の試験法と解析法を構築した。荷重度変更試験については各試験機関に適切な方法を選択できるようにいわゆる足達法<sup>1)</sup>と英国法<sup>2)</sup>による2種類の試験法と解析法を併記した。同試験法・解析法の主な記載項目は以下の通りである。

### (1) 共通事項

- ・ 模型船の推奨サイズ
- ・ 波高計設置位置
- ・ 模型船の曳航方法、拘束方法
- ・ 計測器の許容誤差
- ・ 解析に用いるデータ長
- ・ 慣動半径の設定精度

- ・入射波の波高，曳航速度の範囲に関する規定
  - ・再試を必要とする条件の規定
- (2) 抵抗試験関連
- ・抵抗増加のベースとなる平水中抵抗の取り扱い
  - ・速度影響係数  $C_U$  の算出法
- (3) 荷重度変更試験関連
- ・荷重度の変更範囲および試験点数
  - ・足達法による自航要素解析に必要な変数の算出方法
  - ・英国法による自航要素の算出方法

### 3. 向波中 CFD 計算法の検討

波浪中抵抗増加を水槽試験以外で求める場合，これまではストリップ法等のポテンシャル理論に基づく手法を利用することが多かった．一方で肥大船のように理論が前提とする船型との差異が大きい場合や近年特に改良が進む水面上形状の影響などを表現するには限界があった．このような状況にあって，粘性や自由表面を考慮した CFD 計算の技術は着実に進歩しており，国際ワークショップ<sup>3)</sup>でも波浪中抵抗増加計算が対象とされるようになってきた．

CFD 計算は計算領域の大きさや計算時間の設定が自由であり，水槽試験では問題となる空間的・時間的な制約がないことが利点ではある一方，用いる計算格子や計算条件次第で得られる結果は変化するため，信憑性の高い計算結果を得るためには検証された計算法が不可欠である．OCTARVIA プロジェクトでは海技研で開発している重合格子に対応した計算プログラム NAGISA<sup>4)</sup>を対象とし，格子解像度や格子サイズ，船体運動の取り扱い，非定常計算の時間刻み，抵抗増加係数の解析方法等，計算結果および解析結果に大きな影響を及ぼす項目について検討を行い，実験結果による検証を行った．なお，計算法作成に当たっては精度を確保するためだけでなく設計段階で用いる際に重要視される計算時間も考慮し，各計算パラメータ等について必要十分な基準値等を決定した．検討の結果設定した最適なパラメータの組み合わせ等の紹介は文献 5) に譲るが，主な検討項目および検証結果を次節以降に示す．

#### 3.1 計算法作成のための検討

平水中計算であれば船体近傍の流場の解像に配慮すればよいが，波浪中計算の場合は入射波の適切な解像も必要となり，入射波が伝播する際に波高が減衰しない格子が船長方向に必要となる．また，船体による反射波や放射波も発生し抵抗増加に寄与するため，側方と後方の格子についても指針が求められる．OCTARVIA プロジェクトでは主に次のような項目について検討を行い，向波中 CFD 計算法に記載した．

- ・船体表面最小格子間隔
- ・主流方向格子間隔
- ・鉛直方向の入射波波高内格子数
- ・入射波造波領域と船種との間の距離
- ・船体運動の拘束/非拘束
- ・非定常計算の時間刻み
- ・波高抽出位置
- ・乱流モデル
- ・物体表面条件
- ・自由表面の取り扱い

### 3.2 計算法に従い実施したCFD計算の検証

OCTARVIAプロジェクトで作成した向波中CFD計算法に従い実施した抵抗増加計算について、水槽試験結果を用いて検証した結果を紹介する。検証にはJBC船型を用い、船型変更の効果を適切に捉えられることの確認のために、図2に示すように船首部を変更した船型をさらに2種用意した。Type-AはJBC船型のフレア角を小さくしたもの、Type-Bはプラントネス係数を小さくするために水線形状を直線的にしたものである。図3に抵抗増加係数のCFD計算結果と試験結果の相関図を示す。短波長域と長波長域の結果を載せているが、3船型とも右上がりにデータが並んでおり定性的な傾向は捉えている。また、定量的にも概ね±5%の相関ライン内に収まっており、CFD計算法に従って実施したCFD計算は実用上十分な精度で利用できることを確認した。

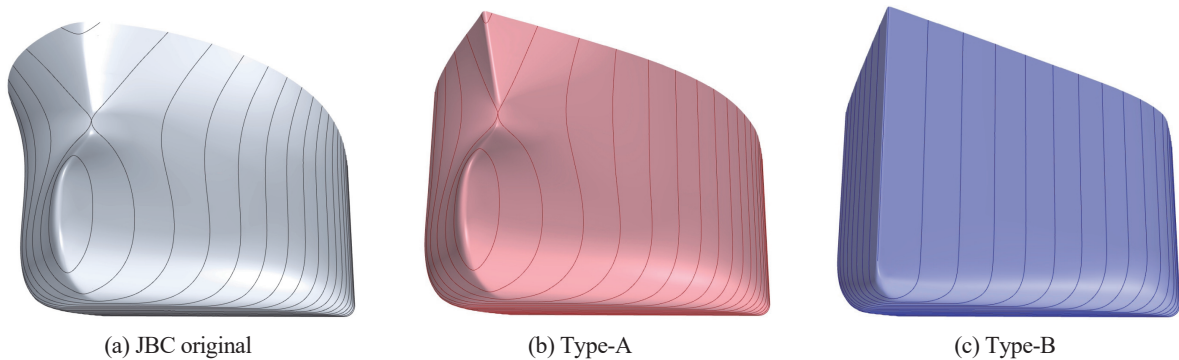


図2 JBC船型の原型と船首部変更形状2種<sup>6)</sup>

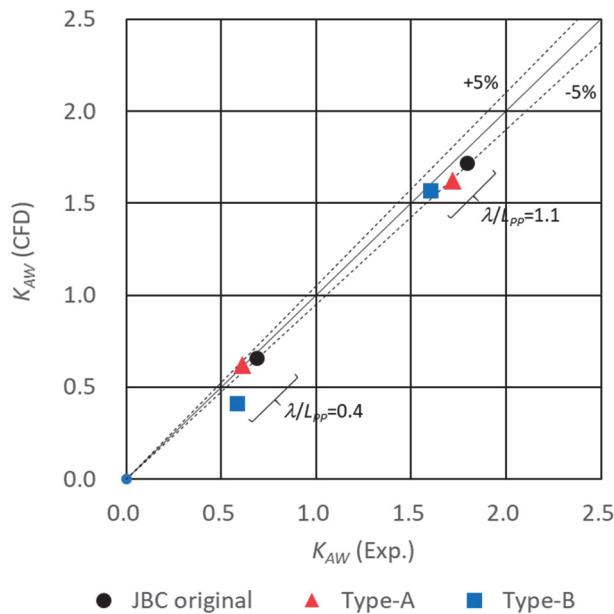


図3 抵抗増加係数の相関図（実験値 vs CFD計算値）<sup>6)</sup>

### 4. 風洞試験法の検討

船舶の実海域性能を評価する上で波浪中性能と並び重要になるのが風圧力特性である。風圧力係数の簡易推定式<sup>7)</sup>は存在するが個船ごとの特徴を詳細に把握するには風洞試験を行うことになる。風洞試験では図4に示すように風洞流路内の床面位置に検力計を介して模型船を設置し、一樣風または大気境界層を模擬した分布を有する風を当て、風圧力を計測する。OCTARVIAプロジェクトでは試験機関ごとに異なる風速分布であっても同一模型



であれば実用上同等とみなせる風圧力係数が得られることを目標に、いずれの風洞においても実行可能な試験法および解析法の標準化を実施し、実海域性能推定のための風洞試験法としてとりまとめた。主な記載項目は以下の通りである。

- ・ 風洞に対する模型船のサイズ
- ・ 模型船細部形状の再現の程度
- ・ 代表風速決定に用いる風速分布の計測方法
- ・ 試験時風速の設定指針
- ・ 計測機器の許容誤差等
- ・ 計測時間
- ・ 計測値の無次元化方法

風洞試験で得られた風圧力は実船スケールに換算するために一旦無次元化する必要がある。無次元化には風洞内の代表風速が用いられる。風洞内の流速分布は完全に一様ではなく、特に境界層が存在する風速分布中では鉛直方向にどの位置の風速を採用するかによって異なる代表風速が得られることになる。計測された有次元の風圧力が同じであっても無次元化に用いる代表風速の取り方によって風圧力係数が変わってしまうことは、試験結果の船型間の比較や実船換算（無次元値を利用した有次元化）の際に不都合が生じる可能性が高い。この問題を解決するために「高さ平均風速」を代表速度として採用することとした。これについては5.2節で述べるようにITTCガイドラインにも採用された主要な成果であるため4.1項で概要を紹介する。

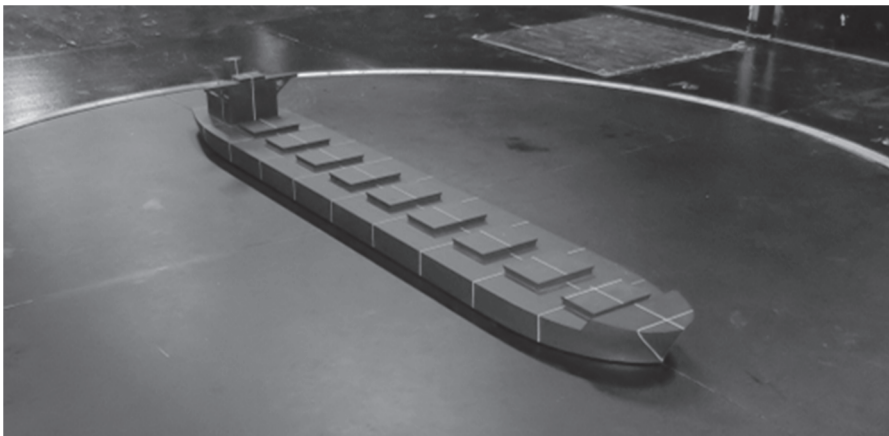


図4 風洞試験の様子

#### 4.1 高さ平均風速

風圧力係数の無次元化に用いる代表風速には、実船スケールで海面から10 mの高さの位置の風速を用いることが多いが、風洞内での10 m相当位置の風速は各風洞固有の床面上の風速分布の影響があり模型船の縮尺比によっても変化するため、必ずしも最適な決定法とは言えない。そこで、OCTARVIAプロジェクトでは模型船が無い状態で模型船中心位置で計測された鉛直方向風速分布を床面からある代表高さまで積分し平均化して得られる「高さ平均風速」の導入を行い、その有効性を検証したので紹介する。

風速の積分範囲は図5に示すように床面から代表高さ $H_{BR}$ または $H_L$ までとし、高さ平均風速は(4.1)~(4.2)式で計算される。 $H_{BR}$ と $H_L$ は図6~図7に示すようにそれぞれブリッジトップの海面からの高さ、側面投影面積 $A_L$ を全長 $L_{OA}$ で除した側面平均高さである。風圧力の前後方向成分 $F_X$ の無次元化には $U_{A1}$ を、横力 $F_Y$ と回頭モーメント $M_Z$ の無次元化には $U_{A2}$ を用いる。異なる3つの風洞で得られた同一模型の風圧力を高さ平均風速により無次元化した結果を図8に示す。概ね±10%、特に推進性能上重要な向風( $\Psi=0\text{deg}$ )時には±約6%のばらつきに収まっており、実用上十分な精度を有することを確認した。なお、高さ平均風速による無次元化の有効性は、異

なるサイズの異なる船種で構成される4船種5状態で検証<sup>8)</sup>されており, 船型に影響されないことも確認済みである。

$$U_{A1}^2 = \frac{1}{H_{BR}} \int_0^{H_{BR}} U(z)^2 dz \tag{4.1}$$

$$U_{A2}^2 = \frac{1}{H_L} \int_0^{H_L} U(z)^2 dz \tag{4.2}$$

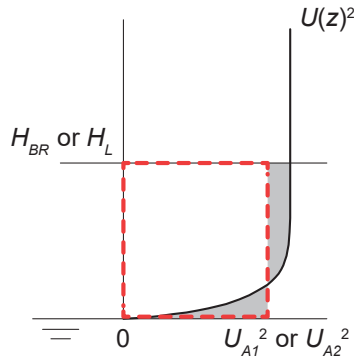


図5 風速積分範囲の模式図

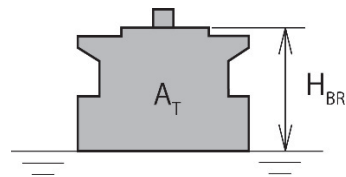


図6 正面の代表高さ

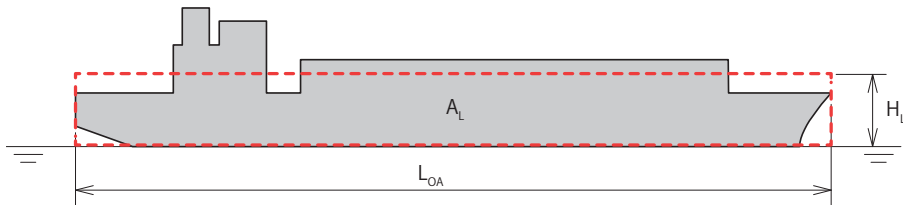


図7 側面の代表高さ

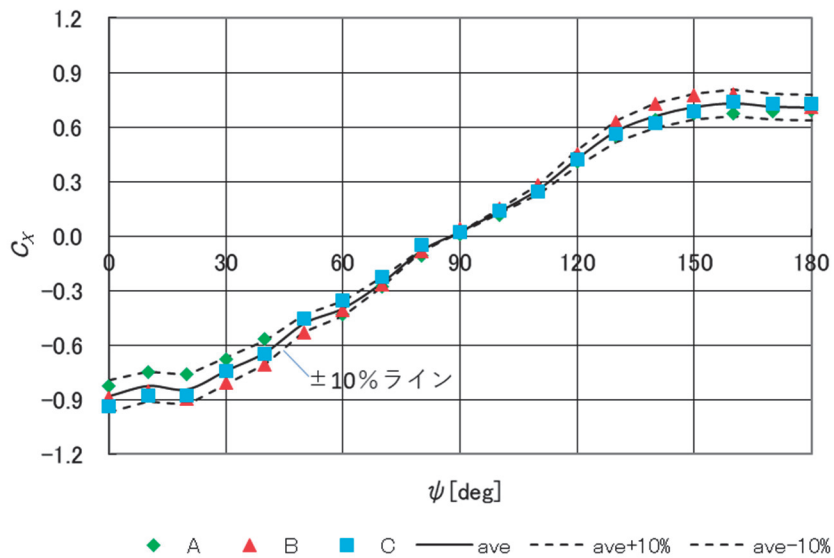


図8 異なる風洞で得られた同一模型の風圧力係数  $C_x$  の比較

## 5. 風圧力の CFD 計算法の検討

国際試験水槽会議（ITTC）が発行する海上試運転の実施・解析法ガイドライン<sup>9)</sup>には、風圧力を推定する手段として、簡易推定式の利用と類似船のデータセットの利用のほか、詳細な評価を行うための方法として前章で述べた風洞試験のほか CFD の利用が列挙されている。しかし、一定の推定精度を担保した CFD を実行するための標準的な計算法は示されておらず、事実上 CFD の利用は難しい状況にあった。

風洞試験は水槽試験と比較して試験設備に対するモデルのサイズが相対的に大きくなるケースが多いため、風洞試験を模擬した CFD 計算では境界条件の設定に配慮する必要がある。特に程度の大小にかかわらず風洞床面で発達する境界層分布の再現には配慮すべきである。OCTARVIA プロジェクトでは CFD 計算プログラム NAGISA<sup>4)</sup>を対象とし、境界条件の設定のみならず計算格子や数値モデルの選択、境界層の設定、平均値の算出方法等、計算結果に大きな影響を及ぼす項目について検討を行い、高精度の風圧力推定を容易に実施できるようにするための風圧力の CFD 計算法を作成した。また、同計算法に従い実施した計算結果を実験結果と比較することで計算法の検証も行った。検証結果を次節に示す。

### 5.1 計算法に従い実施した CFD 計算の検証

OCTARVIA プロジェクトで作成した風圧力の CFD 計算法に従い実施した風圧力計算について、風洞試験結果を用いて検証した結果を紹介する。検証は4つの船種で実施したが、ここでは一例として JBC 船型の結果を図9に示す。両者は定性的にも定量的にも良く合っており、CFD 計算法の有効性が確認された。

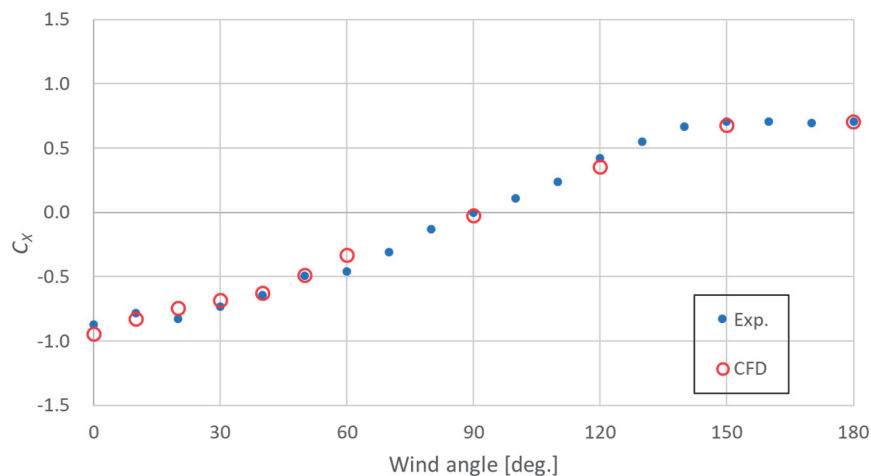


図9 風圧力推定結果の比較（JBC 船型）

### 5.2 ITTC ガイドラインへの反映

前述したように、ITTC の海上試運転の実施・解析法ガイドライン<sup>9)</sup>では風圧力の推定に CFD の利用が認められているにもかかわらず CFD 計算ガイドラインが存在しない不完全な状態であったため、ITTC では OCTARVIA プロジェクトと時を同じくして風圧力推定のための CFD 計算ガイドラインの作成を行った。この ITTC の活動に対し、OCTARVIA プロジェクトは高さ平均風速の利用を含む成果を ITTC の関連委員会に報告し新たな ITTC ガイドライン案作成に貢献した。CFD による風圧力推定のための新たな ITTC ガイドライン案は Recommended Procedures and Guidelines 7.5-03-02-05 (2021) “Guideline on the CFD-based Determination of Wind Resistance Coefficients” として、29 期 ITTC 総会に提案され承認された。今後は、同ガイドラインに基づき風圧力推定での CFD の利用が進展することを期待する。



## 6. 実海域性能標準推定法の検討

OCTARVIA プロジェクトでは設計段階で利用できる実海域性能推定法を整備するために、前章までに述べた通り、波浪中性能推定のための試験法およびCFD 計算法、風圧力推定のための試験法およびCFD 計算法の構築を行った。それぞれの内容については、同プロジェクト参加メンバーにて共有されているが、メンバー以外にも有償にて提供できる状況を整えている。また、上記試験法とCFD 計算法はあくまで実海域性能を総合的に評価するのに必要な情報を得るための構成要素であるため、これらにより得られる精度の高い推定結果を統合的に利用する手順書も必要となる。これを実海域性能標準推定法としてまとめた。主な記載項目は以下の通りである。

- ・平水中性能の推定
- ・設定海象下で船体に働く力およびモーメントの推定
- ・設定海象における自航要素およびプロペラ推力の推定
- ・設定海象における平衡方程式
- ・設定海象における主機馬力および回転数の推定
- ・設定海象条件
- ・不規則波の波表記
- ・不規則波の方向分布関数の表記
- ・各種性能要素の推定法（推定レベル別）
- ・波浪による力の推定法
- ・風による力の推定法
- ・斜航・当舵による力の推定法
- ・荷重度影響を考慮した自航要素推定法（OCTARVIA-1 法，OCTARVIA-2 法）
- ・入射波・船体運動影響を考慮した伴流係数の推定法
- ・可変ピッチプロペラの取り扱い
- ・模型試験条件の設定指針（POT，平水中抵抗試験，平水中荷重度変更試験，平水中斜航試験，平水中舵角変更試験，波浪中抵抗試験，風洞試験）

実海域性能標準推定法は海技研で開発した実運航性能シミュレータ VESTA<sup>10)11)</sup>をベースとして構築した OCTARVIA プログラムに実装した。VESTA からの主な変更点は、横揺影響を考慮して横波～追波方向の波浪中抵抗増加推定精度を向上させたことや波浪中自航要素の推定の際に荷重度影響を考慮する方法として2つの手法（OCTARVIA-1 法，OCTARVIA-2 法）を採用したこと、可変ピッチプロペラにも対応したことなどが挙げられる。

OCTARVIA プログラムは、船体、舵、プロペラの情報を基に、水槽試験や推定計算による平水中抵抗・自航要素、POT を入力し、斜航・当舵影響、波浪影響、風影響を考慮し、主機調速機（ガバナー）の制御モードによる作動点を求め、船速、主機出力、燃料消費量を計算する。設計段階での使用を想定したこのプログラムを海技研クラウド上で動作する OCTARVIA-Web（Web アプリ版）（図 10）として作成した。これはプロジェクトメンバー以外にも有償で利用可能である。

### 6.1 波浪中抵抗増加推定への横揺影響の考慮

これまでの VESTA では抵抗増加をラディエーションおよびディフラクション成分から計算される項  $R_{AWM}$  とその修正項  $R_{AWR}$  の和で評価してきたが、横波～追波方向の推定精度向上のために、横揺影響修正項  $R_{AWROLL}$  を加え、(6.1)式で表現することとした。

$$R_{AW} = R_{AWM} + R_{AWR} + R_{AWROLL} \quad (6.1)$$

$$R_{AWROLL} = \frac{k}{4\omega_e} \frac{B_{44} \cdot (k_{xx} B_{max})^2 \cdot (\omega_e \phi_a)^2}{B_{max}^2 \cdot d_{mid} / L_{PS}} \quad (6.2)$$

ここで、 $k$  は角波数、 $\omega_e$  は出会波各周波数、 $\phi_a$  は横揺振幅、 $B_{44}$  は横揺減衰力係数、 $k_{xx}$  は横慣動半径、 $B_{max}$  は最大船幅、 $d_{mid}$  は中央喫水、 $L_{PS}$  は船長（船首水切位置と A.P. もしくは船尾水切位置間の長さ）である。

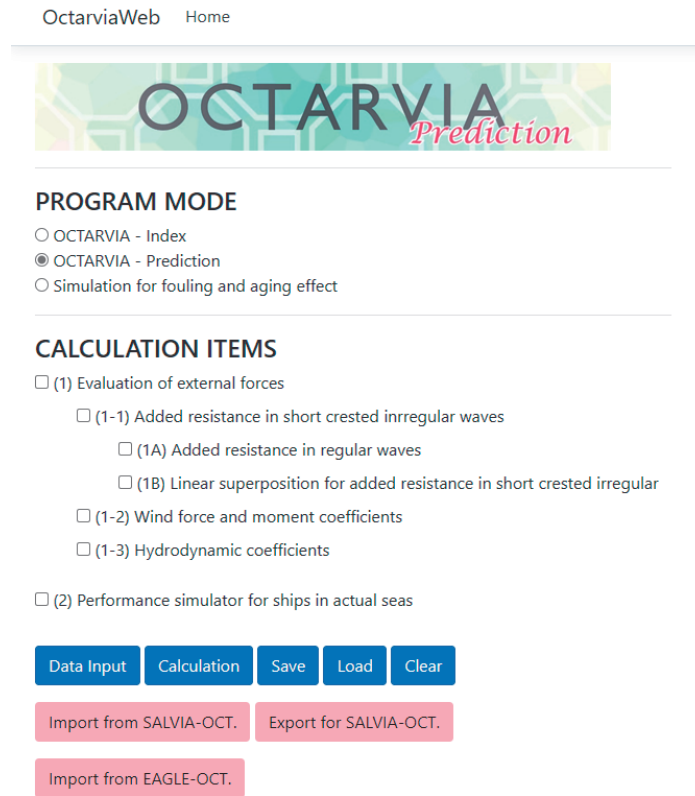


図 10 OCTARVIA-Web (OCTARVIA-Prediction mode) トップ画面

## 6.2 波浪中自航要素推定法

### 6.2.1 OCTARVIA-1 法

OCTARVIA-1 法は運動量理論に基づき、荷重度影響を考慮した自航要素(1- $t$ , 1- $w$ )を(6.3)式～(6.4)式で表現する手法である。この手法を用いて平水中自航点および波浪中自航点での自航要素の差分を取り、プロペラがない状態の平水中抵抗である  $R_0$  を基準とする通常の平水中自航要素に加算し、波浪中自航要素とする。なお、 $\eta_R$  については今後の追加検討が必要であると考えられるため、現時点においては荷重度影響による変化の影響を考慮しないこととし平水中推進性能評価の場合と同じ値を用いる。

$$1 - w = U_{a0wc} + C_0(F_r) \times \left[ -U_{a0wc} + \sqrt{C_T + U_{a0wc}^2} \right] \quad (6.3)$$

$$1 - t = 1 - C_G / C_T \quad (6.4)$$

$$U_{a0wc} = U_{a0}(F_r) + \Delta U_{a0wc} \quad (6.5)$$

$$C_G = B_0(F_r) \times \left[ -U_{a0} + \sqrt{C_T + U_{a0}^2} \right] \quad (6.6)$$

$$C_T = \frac{T}{0.5\rho V^2 \pi D_p^2 / 4} \quad (6.7)$$

$$C_G = \frac{G(T)}{0.5\rho V^2 \pi D_p^2/4} = \frac{R(T)+T-R_{Cw}}{0.5\rho V^2 \pi D_p^2/4} \quad (6.8)$$

$$\eta_R = \eta_R(F_r) \quad (6.9)$$

ここで  $U_{a0vc}$  はスラスト 0 の時の有効伴流係数,  $C_T$  は荷重度,  $C_G$  は船体とプロペラ干渉による抵抗増加係数,  $C_a(F_r)$  は伴流に対するプロペラの干渉を表す係数,  $B_a(F_r)$  は船体とプロペラの干渉を表す係数,  $U_{a0}(F_r)$  は平水中のスラスト 0 の時の有効伴流係数,  $\Delta U_{a0vc}$  は伴流に対するプロペラの干渉を表す係数  $T$  はスラスト,  $G(T)$  は船体とプロペラの干渉による抵抗増加,  $R(T)$  は抵抗,  $R_{Cw}$  はスラスト 0 の時の抵抗,  $\eta_R(F_r)$  は平水中自航点の  $\eta_R$ ,  $\rho$  は流体密度,  $V$  は船速,  $F_r$  はフルード数である.

## 6.2.2 OCTARVIA-2 法

OCTARVIA-2 法は英国法<sup>2)</sup>に基づく推定手法であり, 計測値を関数近似し, JTTC 法<sup>12)</sup>に類似の解析的取り扱いを行う. OCTARVIA-2 法と JTTC 法との相違点は自航要素に荷重度の影響を考慮する点である. 荷重度影響を含んだ自航要素(1-t, 1-w)は船速  $V$  と荷重度  $C_T$  の関数 ( $C_T$  または  $\sqrt{C_T}$  に比例) として与える.  $\eta_R$  については OCTARVIA-1 法と同じく平水中推進性能評価の場合と同じ値を用いる.

## 7. まとめ

OCTARVIA プロジェクトの S2-WG では実海域性能に優れた船舶を設計段階で精度よくかつ公平・公正な指標によって客観的に評価できるようになることを目的に, 波浪中性能推定のための試験法・解析法および向波中抵抗計算と風圧力推定のための CFD 計算法を構築するとともに, それらの統合的な利用法を記した実海域性能標準推定法を作成した. さらに, 実海域性能推定を容易に実行するために海技研クラウド上で動作するプログラム OCTARVIA-Web (Web アプリ版) も作成した. これら推定法およびプログラムの検証はプロジェクトにおいて実施済みであるが, 引き続き精度向上に努め, 国際標準化に向けた取り組みを実施していく.

## 謝 辞

本研究は, 海事クラスタ共同研究実海域実船性能評価プロジェクト (OCTARVIA プロジェクト) によって実施されました. ワーキンググループ等を通じて議論いただいた各位に深く感謝致します.

## References

- 1) H. Adachi: On the Theoretical Bases and Application Methods of the Propeller Load Varying Test Method, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, No. 154, pp. 109-117, 1983. (in Japanese)
- 2) H. Tanaka and M. Abe: A Propulsion performance test method and its use, Hull Design and Towing Tank, Symposium on Japan Towing Tank Conference, The Society of Naval Architects of Japan, pp. 29-67, 1983. (in Japanese)
- 3) Tokyo 2015 A Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics, <http://www.t2015.nmri.go.jp/>.
- 4) K. Ohashi, T. Hino, H. Kobayashi, N. Onodera and N. Sakamoto: Development of a Structured Overset Navier-Stokes Solver with a Moving Grid and Full Multigrid Method, Journal of Marine Science and Technology, <https://doi.org/10.1007/s00773-018-0594-7>, 2018.

- 5) H.Kobayashi, K.Kume, H.Orihara, T.Ikebuchi, I.Aoki, R.Yoshida, H.Yoshida, T.Ryu, Y.Arai, K.Katagiri, S.Ikeda, S.Yamanaka, H.Akibayashi and S.Mizokami: Parametric study of added resistance and ship motion in head waves by RANS -calculation guideline-, Applied Ocean Research, Vol.110, 2021.
- 6) K.Kume, H.Kobayashi, H.Ohba and S.Yokota: Variation of Added Resistance in Regular Waves for a Ship with Different Bow Shapes -Validation of CFD Calculation by Tank Test Results-, Proceedings of Annual Spring Meeting of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 30, pp. 133-136, 2020. (in Japanese)
- 7) T. Fujiwara, M. Ueno and Y. Ikeda: A New Method of Wind Forces and Moments Acting on Ships on the Basis of Physical Component Models, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 2, pp. 243-255, 2005. (in Japanese)
- 8) K.Kume, H.Ohba, H.Orihara and S.Mizokami: Wind Velocity Profile and Representative Wind Velocity for Wind Resistance Measurement of Ship Models, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 30 (2019), pp. 1-13.
- 9) ITTC.A: Recommended Procedures and Guidelines 7.5-04-01-01.1 (2021).
- 10) M. Tsujimoto, N. Sogihara, M. Kuroda and A. Sakurada: Ship Performance Simulator in Actual Seas -VESTA-, Report of the National Maritime Research Institute, Vol. 15, No. 4 (2015), pp.55-65. (in Japanese)
- 11) M. Tsujimoto, et al.: Development on Ship Performance Simulator in Actual Seas, Report of the National Maritime Research Institute, Vol. 16, No. 3 (2016), pp. 17-41. (in Japanese)
- 12) K. Tamura: Speed and Power Prediction Techniques for High Block Ships Applied in Nagasaki Experimental Tank, Proc 1st Ship Technology and Research Symposium (1975), Washington DC, USA, 7-1 – 7-17.