

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21246129

研究課題名（和文）

波浪中で航行する肥大船周りの非定常流場・波動場に関する研究

研究課題名（英文）

On Unsteady Flow and Wave Field around the Full Form Ship advancing in waves

研究代表者

戸田 保幸（TODA YASUYUKI）

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20172166

研究成果の概要（和文）：

波浪中で航行する船舶の推進性能を理解するためには、プロペラ面伴流分布の波による変化を知る必要があり、それを詳細に計測するためステレオPIV装置を導入した。初期の調整のあと最終年度に波の位相位置ごとに平均する手法を開発し、位相平均プロペラ面流場を計測できた。このような計測結果は今までなく、波浪中推進性能の改良に今後用いることができるとともに進んだCFD計算結果の検証用データとして使うことが可能である。

研究成果の概要（英文）：

To understand the propulsive performance of ships in waves, the effect of waves on the wake distribution in propeller plane in addition to the added resistance. The stereo PIV system was introduced to measure the velocity distribution in waves in detail. After the adjustment of the system in the towing tank and some preliminary measurement in calm water, the system to measure the phase averaged flow field was introduced. The results can be used for understanding and improvement of propulsive performance and for CFD validation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	24,700,000	7,410,000	32,110,000
2010年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2011年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
総計	35,700,000	10,710,000	46,410,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：波浪中抵抗増加、CFD、船尾流場、PIV計測、波動場計測

1. 研究開始当初の背景

研究開始当時、国内でも、可視化情報学会を中心に粒子画像流速計測法（Particle Image Velocimetry）の研究が盛んであったが、大型の装置に使われている例は少なく、特に船体周りの流れに関しては小型の回流水槽で簡単な計測が行われていただけで、曳

航水槽における模型船周りの流れに対して適用された例は定常流れでもなく、非定常流れに対するものはもちろん全くなかった。国外においては、2,000年ころよりアメリカIowa大学において2次元PIVを2回使うことによって船体周りの3次元流れを計測する方法が導入され、細長船模型周りの横揺れ減

衰中の流れや波浪中流場の計測が行われ新たな現象が数多く見出され、性能推定の高度化や CFD の発展への寄与が得られていた。また 2005 年よりは Iowa 大学にステレオ PIV が導入され、平面内で周期的運動を行いながら前進する (Planar Motion Mechanism: 操縦性能推定のための PMM 試験のうち Pure Sway, Pure Yaw 試験) 船体周りの流れ 3 次元速度成分を面内で計測する手法が導入された。この手法により船体周りに発生する渦構造が明らかになり、CFD の DES を用いた計算結果との比較により手法の改善がもたらされていた。またヨーロッパでは Hydro Testing Alliance (HTA) が EU プロジェクトで結成され、PIV 計測も 3 次元ステレオ PIV プローブの開発の形で行われ潜水艦の周りの流れがプロペラ周りの流れを含めて計測され始めていた。

本申請の研究代表者は上記 Iowa 大学のプロジェクトに参加しており、特に 2005 年からのステレオ PIV 計測では装置の設計、計測手法の開発で中心的役割を果たしてきた。このプロジェクトはアメリカ海事研究所 (Office of Naval Research) のプロジェクトであるため Iowa 大学で実験を行ったが、多くの装置のデザイン (大阪大学)、製作 (三真製作所) は日本で行われ、それをアイオワ大学曳航水槽へ設置し、実験を行った。この内容は国際シンポジウムで発表され高い評価を受けている。計測は時間がかかるため学術雑誌論文はもう少し時間がかかるが、データはデータベースの形で公表され、2008 年春の SIMMAN ワークショップの比較データとして用いられた。

また波浪中における推進性能に関して、上記に述べたようにプロペラへの流入速度分布の時間的変化が計測された例はなく、波浪中での抵抗増加に加えて必要な推力変動に関する知見が全くない状態であった。

2. 研究の目的

近年のエネルギー価格の上昇及び二酸化炭素排出削減への要請から、船舶のさらなる省エネルギー化が望まれている。船舶の推進性能は主に波のない平水中での性能で評価され最適な船型が求められている場合が多い。これは波、風などが存在する実海域での燃料消費量と直接結びつくものではなく実際に航行する様々な気象、海象のもとでの船の実際に運用する状態での燃費の改善が望まれ多くの研究がなされている。それらの中で船舶が波浪中を航行するとき、その抵抗は平水中での抵抗より増加することが知られているが、実用船型に対してはその抵抗増加を推定する線形理論による方法ではうまく説明できないことがわかっており様々な取組がなされている。しかし実用船型に対して

一般的な手法はなかなかなく現象解明が望まれている。

一方、数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics) の進歩は著しく、波浪中、操縦運動中、自由航走する模型周りの流れ場や直接運動推定計算も行われるようになってきた。さらに様々な新しい手法が提案され非定常運動中の流れの計算も比較的容易にできるようになってきている。しかしこのような計算の結果が実現象を表現しているかどうか検証するための非定常な流れ場、自由表面波動場を面的に計測した例はまだ少なく、質の良い詳細な計測データが望まれている。

本研究では、これまで述べた現状を踏まえ、これまで計測されたことのない、波浪中で前進する肥大船型周りの流れを位相平均の形でマッピングし線形理論では表現できていない現象を理解するとともに CFD 計算結果と比較しその改良に資するデータを取得する手法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 初年度には世界中の数多い研究機関において平水中の抵抗に関する実験が行われ、また操縦運動に関しても実験がおこなわれている KVLCC 2 船型の模型を作成し、簡単な比較試験を行い他機関のデータとの比較検討を行い模型船の精度、水槽計測装置の精度などについて検討を行う。その後大阪大学で開発された高精度の試験装置により波浪中における抵抗増加の実験を行う。またこれまで提案されている推定手法による計算も併せて行い、計測結果と比較検討を行う。

(2) (1) の実験および計算結果との比較検討から詳細な流れを計測する実験条件を判断し決定する。この際実験結果の傾向から大まかにいくつかの領域に分け (これまでの他の船型の結果では短波長域と長波長域で抵抗増加を支配する現象が異なる)、主には大型肥大船が実海域において主に遭遇する短波長域と運動による抵抗増加が大きくなる波長が船長と同程度の領域から主要な現象が顕著にみられる実験条件を選択する。

(3) 3 成分、面計測であるステレオ PIV システムについて曳航水槽で波浪中流場が計測可能なシステムをデザインし購入する。この際アメリカ海事研究所 (ONR) の補助を受け Iowa 大学で行われているプロジェクトと協調しシステム等を決定する。このプロジェクトは自由航走中の模型周りの流場計測であるので目的などは異なるが、計測システムに共通部もあるので協調する。

(4) PIV 計測に関して計測面の大きさ、流れへの攪乱等を検討し最適な配置及び入射波動場への攪乱の小さいポッド形状を製

作し、曳航水槽においてシステムを組み上げる。またシステムの水中での校正を行い、その後の校正手法について検討を行い可能な手法があれば一度の完全な校正のあとは一様流計測でカメラなどの校正が可能な手法を検討する。また曳航水槽においてシーディングを行う装置を作成し粒子の密度等を調査し改良を行う。

(5) 一様流中で計測を行い、(4)の校正法を検討するとともに速度解析のソフトウェアの修正などを行い、その後模型船周りの流場計測を平水中で行い、これまでの公表データと比較検討する。

(6) 最終年度において(2)で決定した様々な条件下でのプロペラ面の位相平均流速分布の計測を行う。計測全体に不確かさ解析を行い、繰り返し試験なども可能な限り行いデータの質を高める。また位相平均流場からプロペラ推力変動について考察する。

4. 研究成果

波浪中を航行する肥大船の平水中抵抗からの抵抗増加のメカニズムおよび波浪中の推力変動のメカニズム解明及びCFD計算結果の検証するためのデータを取得するために以下の具体的な研究を行った。

(1) 世界中の数多い研究機関において平水中実験が行われているKVLCC 2モデルを作成し、比較試験を行った。これにより水槽の精度を確認し、前後揺、上下揺、縦回転揺れが自由な状況での抵抗増加の計測を行った。船体運動、抵抗増加に関して多くの条件で計測を行うとともに、3つの波長船長比 ($\lambda/L=0.6, 1.1, 1.6$) にて詳細な計測を行った。この3つの波長船長比を詳細な流場計測の条件とした。このデータを詳細な比較が可能な形に本年度解析しなおし2010年12月にスウェーデンで開催されるたCFDワークショップのデータとして提出した。このデータは他の波浪中データと比較し詳細な時系列までそろった形で提出され、いくつかの研究機関がこのテストケースに対し計算を行い比較検討した。この結果は会議録として公表されている。

(2) PIVシステムについてラビジョン社のシステムをもとに大阪大学水槽にて攪乱を少なくして計測可能なシステムを設計し購入した。初年度末に導入されたが、試験的に翼端渦の計測を行ったところ、非常に高密度で精度のよい計測結果が得られることが分かった。またカメラシステムを別に導入して3次元システムに拡張し計測可能であることを確認した。

(3) 自由表面形状を面的に計測するシステムについて検討を行い、規則波で検討を行った。カメラを複数台並べることにより大きな

(4) 導入したPIVシステムについて校正手法を確立した。また曳航水槽においてシーディングを行う装置を作成し粒子の密度等を調査し改良を行った結果十分な計測密度が得られるようになった。この後模型船周りの平水中での流場計測を行い、平均流や乱流特性を得るための画像枚数などについて調査した。結果を他機関での5孔ピトー管計測と比較し妥当な結果が得られていることを確認した。そのほか単純船型周りの流れ計測により表面状態と流れ場の変化を計測できることも確認した。

(5) ステレオPIV装置を用いて、波浪中で航行する船舶の位相平均のプロペラ面流速3方向成分を計測した。このような流れ場はこれまでに計測されたことがなく波浪中における推力や馬力の変動を考える上の重要な知見が得られた。このときサージフリーの抵抗増加測定装置を用いてPIV計測を行う場合、弱いばねによる長い周期の運動が大きくなり計測断面が変化してしまうが、これをできるだけ小さくするように数多くの予備実験を行い、バイアス荷重の調整とリリース方法を検討しPIV計測が可能な程度に長周期のサージを減少させることができた。また波浪中で3自由度(ヒープ、ピッチ、サージ)が出会い周期で運動する模型の位相平均流場を計測するために運動の所定の位置でPIVのダブルパルスレーザー光を発光し画像が取れる装置を開発した。これにより所定の位相での流速分布が計測できた。この装置により6-12の運動位相のプロペラ面の流速を計測できた。波長の短い運動の小さな時も波の影響で流速場は大きく変動することが明らかになった。また運動が大きい場合は縦渦の位置や強さも大きく変動することが明らかになった。

(6) 非定常周期的流場のCFD計算を行い、ステレオPIV計測結果と比較した。CFDはかなり良く特徴をとらえているが詳細な部分での違いもありさらなる高精度化が望まれることがわかった。

このようにこれまで世界中でみても計測されていなかった波浪中を航行する船体周りの位相平均流場が計測され、波浪中の推力変動などに対する新たな知見が得られた。公表は遅れているが、いくつかの国際会議には採択されており、学術雑誌も査読中である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- (1) Hoang Cong Liem, Yasuyuki Toda, Yugo Sanada, A consideration on drag reduction by air lubrication using integral type boundary layer computation, Journal of The Japan

- Society of Naval Architects and Ocean Engineers、査読有、13号、2011、pp59-pp65
- (2) Md.Mahbubar Rahman, Yasuyuki Toda, Hiroshi Miki, Computational Study on a Squid-Like Underwater Robot with Two Undulating Side Fins, Journal of Bionic Engineering、3査読有、8巻、2011、pp25-32
- (3) Hamid Sadat-Hosseini, Pablo M. Carrica, Ho Kim, Yasuyuki Toda, Frederick Stern, URANS Simulation and Validation of Added Resistance and Motions of the KVLCC2 Crude Carrier with Fixed and, Preprint of Workshop on Numerical Ship Hydrodynamics、査読無、Volume II、2010、pp517-522

〔学会発表〕（計1件）

Yasuyuki Toda, KVLCC2 Test data, Gothenburg 2010 A Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics, 2010/12/8 (G2010開催は2010/12/8-11, Gothenburg, Sweeden

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸田 保幸 (TODA YASUYUKI)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：20172166

(2) 研究分担者

松村 清重 (MATSUMURA KIYOSHIGE)
大阪大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：10135688
眞田 有吾 (SANADA YUGO)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：30467542
(平成22年度まで分担者として参画)

(3) 連携研究者 なし