

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18360425

研究課題名 (和文) ウォータージェット推進船まわりの流れの CFD 解析法

研究課題名 (英文) CFD Analysis Method for Flows around a Ship with Waterjet Propulsor

研究代表者

日野 孝則 (HINO TAKANORI)

独立行政法人・海上技術安全研究所・CFD 研究開発センター・センター長

研究者番号：60373429

研究成果の概要：ウォータージェット推進船まわりの流れ場を、曳航状態および自航状態の両状態において解析するための CFD (計算流体力学) 手法を開発した。これにより、実験的な手法のみでは困難であったウォータージェット推進船の推進性能解析のためのツールが完成した。今後は検証事例を増やして実用化ツールとしての完成度を高めていく予定である。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2007年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	8,300,000	2,490,000	10,790,000

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：流体工学、CFD、ウォータージェット、高速船

1. 研究開始当初の背景

世界的な経済構造の変化は急速であり、物流ネットワークもそれに対応して新たな役割を担うことが求められている。その中で高速海上輸送の必要性も増大しており、各国で種々の高速船の開発が計画されている。

これらの高速船の推進システムとして、ウォータージェット推進器が採用されることが多い。ウォータージェット推進器は船底の取水口から吸い込んだ水をインペラで加速し、船尾のノズルから噴出することで推力を得るものである。プロペラや舵などの付加物が不要なので、高速航行時の抵抗増加を抑えることができること、振動や騒音が少ないこ

となどが特長とされている。

一方で、ウォータージェット推進船は、従来のプロペラ推進方式のように船体と推進器を明確に分けることができず、船体と、取水口、ダクト、インペラおよびノズルからなる推進システムが複雑に相互干渉しており、性能解析が非常に困難である。また、高速船では航行中の姿勢変化が大きく、このことが流体力学的な干渉をさらに複雑にしている。現状では、水槽試験による船体抵抗推定と、ウォータージェット推進器の実績データを組み合わせて、経験工学的なアプローチで性能解析が行われている。しかし、このような方法では、従来の実績から離れた新しい船型

の性能解析においては正確な推定ができない。今後は、高速海上輸送の新たなニーズに対応した、斬新なコンセプトの高速船を計画するニーズが生じると想定されるが、その際には、経験工学ベースではなく物理現象を基にしたウォータージェット推進船の性能解析法が不可欠である。また、ウォータージェット船の場合は舵がないこと、操縦運動中の姿勢変化が大きいことなどから、推進性能のみでなく操縦性解析能についても、従来の船型に対する性能解析法をそのまま適用することが難しく、ここでも物理現象に即したアプローチを必要としている。

2. 研究の目的

CFD(計算流体力学)は実験的アプローチが困難な流体力学問題に対する強力な解析ツールである。実際、ウォータージェット推進プラント単独の性能解析や設計においては、インペラまわりの流れや、キャビテーション、噴流など複雑な流体现象がかかわっていることから、CFD が広く用いられている。しかし、上に述べたように、ウォータージェット推進船の性能解析のためには、船体単独の解析とウォータージェット推進プラントの解析を別個に行なうことでは不十分であり、両者を一体として解析し流体力学的な干渉を考慮する必要がある。

そこで、本研究の最終目標は、船体とウォータージェット推進システムを統合的に扱うため、個々の要素の解析のためのCFDモデルを統合して全体解析のためのCFDシステムを構築することである。このシステムにより、推進性能のみならず、操縦性能や耐航性能なども含めた流体力学的な性能解析を一つのシステムで扱うことが可能となる。そのためには、数多くの流体现象を扱う必要があり、それらに対応した数理モデルをシステムの中に組み込む必要がある。

科学研究費による本研究課題においては、上記の全体解析システム構築に向けた第一歩として、3年間で船体とウォータージェット推進器を一体として扱うためのシステムを開発する。ここでは、インペラは単純化してモデル化し、ウォータージェットが作動する条件の下で姿勢変化を含む船体まわりの流れの解析を可能とするための研究を実施する。

3. 研究の方法

目標であるウォータージェット推進時の船体まわり流れシミュレーション法開発のためには、いくつかの要素についてモデルを開発し、それらを一つのプログラムに統合す

る必要がある。開発する要素モデルは、①ウォータージェット推進器モデル、②高速船まわりの流れシミュレーションモデルおよび航走姿勢推定モデル、③ウォータージェット自航モデル、④自航時の航走姿勢推定モデルである。以下にそれぞれの要素技術についての開発の概要を述べる。

(1) ウォータージェット推進器モデル

ウォータージェット推進器のモデルを検討するため、ダクト部分の形状のみを対象とし、ダクト流れのシミュレーションを行った。

ウォータージェットダクトの流れは、取水口前方の境界層の挙動や取水口における剥離の有無、あるいはノズルから噴流として放出される流れの挙動など種々の流体现象が複合している。ダクト流れのシミュレーションにおいて、推力に関係するパラメータであるダクト流量を変化させ、ダクト内の流場を解析した。実験結果の圧力分布と計算結果を比較した結果、計算モデルはダクト流量を変化させたときのダクト内の圧力分布の変化をよく再現した。図-1はウォータージェットダクトの流れの計算結果である。壁面上の圧力分布およびダクトを通過する流線を示す。

ここでは、境界条件としてダクト出口の圧力を指定する方法を用いたが、ウォータージェット船の自航シミュレーションのためには、推力をパラメータとして与える必要があるため、Actuator Disc モデルをベースにして体積力によってインペラ影響を考慮することにした。

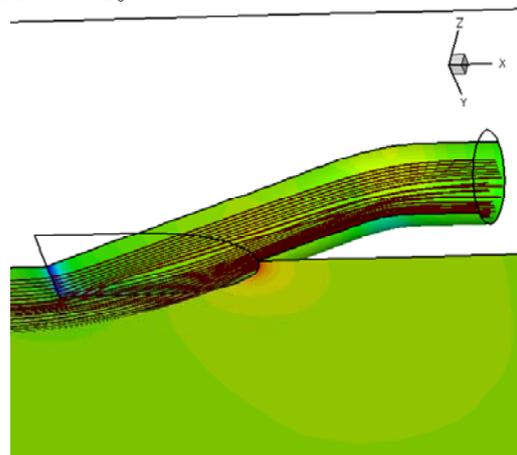


図-1 ウォータージェットダクトの流れ
(圧力分布と流線)

(2) 高速船まわりの流れモデル

高速船まわりの流れのシミュレーションに関しては、自由表面の大変形を伴う造波現象のモデルおよび高速航行時の船体姿勢の推定モデルを検討した。

高速船の造波では砕波現象が流場へ大きな影響を与えていると考えられる。砕波のような自由表面の大変形を扱うためには、計算格子が自由表面形状と適合する必要のない、界面捕獲法が適している。界面捕獲法の一つであるレベルセット法を用いて、高速航行時の自由表面流れを計算した。レベルセット法では自由表面からの距離をインデックス関数として水面位置を認識するため、各タイムステップで水面からの距離を再計算する必要がある。この距離計算ルーチンの改良を行い、計算を安定化させた。その結果、船首に発生する大波高の波のシミュレーションが可能であることがわかった。

また、船体姿勢変化を扱うために、計算結果から船体表面に働く流体力を抽出し、船体の浮上/沈下力やトリムモーメントを求め、それらがバランスするように船体姿勢変化を計算するルーチンを作成し、その妥当性を検証した。さらに流場計算プログラムに、船体姿勢変更ルーチンを組み込み、船体姿勢を変化させながら、流場計算を行うことを可能にした。

(3) ウォータージェット自航モデル

ウォータージェット推進時に船体を自航させるためには、船体抵抗とバランスするように推力を与える必要がある。CFD 計算では、ウォータージェットダクトを含めた船体全体に働く流体力を求めることができるので、その船体抵抗とバランスするようにインペラの推力を与える。インペラ出力が変化すると、ダクト内部および船体まわりの流場が影響され、その結果航走姿勢もおよび船体抵抗が変化することになる。したがって、抵抗と推力がバランスする自航状態を実現するためには、相互干渉を考慮して繰り返し計算を行う必要がある。推進器モデルに推力調整機能を組み込み、自航状態を自動探索するルーチンを開発した。

(4) 自航時の姿勢変化推定モデル

上記の相互干渉を扱うためには、曳航状態における姿勢変化計算ルーチンにウォータージェット推進器およびダクトに働く流体力を加味する必要がある。推進器の推力を船体およびダクトの浮上/沈下力やトリムモーメントに加えることにより、ウォータージェット推進時における姿勢推定が可能となった。

(5) システム統合

ここまでで①ウォータージェット推進器

モデル、②高速船まわりの流れシミュレーションモデルおよび航走姿勢推定モデル、③ウォータージェット自航モデル、④自航時の航走姿勢推定モデルが揃ったので、これらすべてを組み込んだウォータージェット推進時の船体まわり流れシミュレーション法として完成させた。

本手法によるウォータージェット船まわりの流れ計算を実施し実験結果と比較して妥当な結果が得られることを確認した。

図-2 にウォータージェット推進船まわりの水面形状の計算結果を示す。船型は2機のウォータージェットを備えた高速船であり、計算条件はフルード数 1.0、レイノルズ数 10^6 である。高速船特有の船尾波形状に加え、ノズルから噴出するウォータージェットがシミュレートされている。

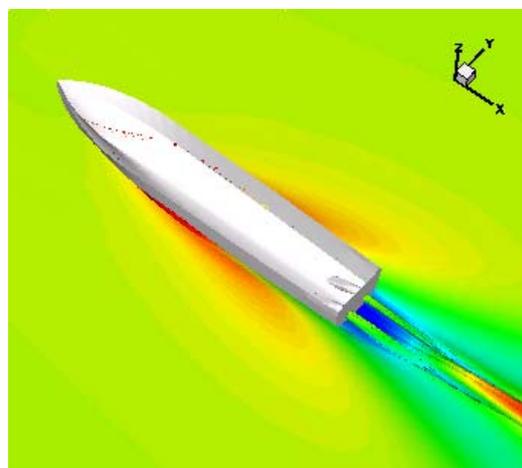


図-2 ウォータージェット推進船まわりの水面形状の計算結果

図-3 はノズル中心断面における圧力分布である。インペラ位置には流体を加速する体積力が付加されており、圧力にもジャンプが見られる。

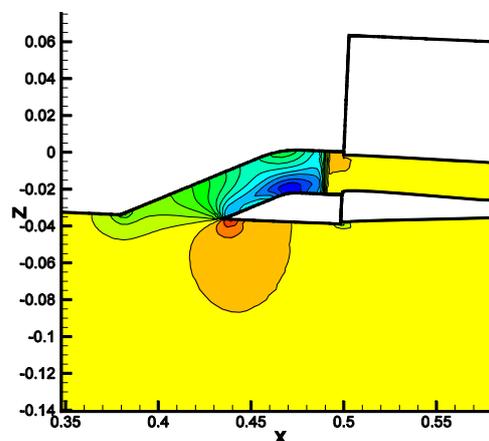


図-3 ダクト内部の圧力分布

図-4 はダクトに流れ込む流線をプロットしたものである。推進性能を解析するためには、ダクトに流れ込む流体の平均流速および運動量を求める必要があるが、水槽実験においてこれを求めることは非常に難しい。CFD 計算結果では詳細な流場の情報が得られているため、そのデータを後処理することにより、ダクト流入前後の断面での平均流速および運動量を容易に求めることができる。

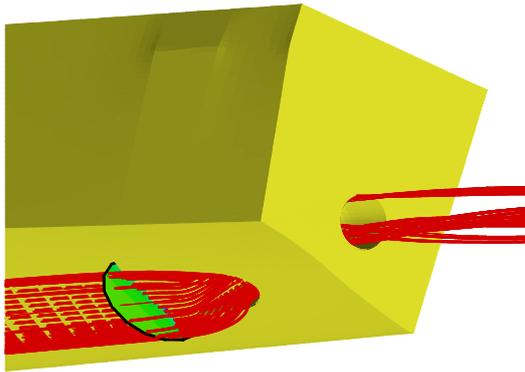


図-4 ダクトを通過する流線

4. 研究成果

以上により、ウォータージェット推進船まわりの流れ場を、曳航状態および自航状態の両状態において解析することが可能となり、実験的な手法のみでは困難であったウォータージェット推進船の推進性能解析のためのツールが完成した。今後は検証事例を増やして実用化ツールとしての完成度を高めていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 5 件)

- ① Takanori Hino Kunihide Ohashi, Numerical Simulation of Flow around a Waterjet Propelled Ship, First International Symposium on Marine Propulsors. 2009年6月, Trondheim, Norway
- ② 日野孝則 大橋訓英、ウォータージェット推進船の CFD 解析、第 22 回数値流体力学シンポジウム、2008 年 12 月、東京
- ③ Takanori Hino, Numerical Simulation of Waterjet Duct Flow, CFD in Ship Design, 2007 年 9 月 26 日, hamburg Gemeany
- ④ 日野孝則、ウォータージェット推進器の CFD 解

析、海上技術安全研究所研究発表会、2007 年 6 月 4, 5 日、東京

- ⑤ Takanori Hino, CFD-based Estimation of Propulsive Performance in Ship Design, 26th Symposium on Naval Hydrodynamics, 2006 年 9 月, Rome Italy

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日野 孝則 (Hino Takanori)
独立行政法人 海上技術安全研究所・CFD 研究開発センター・センター長
研究者番号：60373429

(2) 研究分担者

大橋 訓英 (Ohashi Kunihide)
独立行政法人海上技術安全研究所・CFD 研究開発センター・主任研究員
研究者番号：10462871