

2 船間相互干渉問題へのCFDの適用に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-05-18 キーワード (Ja): キーワード (En): CFD, Ship-to-Ship Interaction, High Speed Vessel, STAR-COM+ 作成者: 中山, 喜之 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15053/0000000140

【論文】

2 船間相互干渉問題へのCFDの適用に関する研究

中山 喜之¹

Applications of CFD in Ship-to-Ship Interaction

Yoshiyuki Nakayama¹

Abstract

Japan Coast Guard has many duties such as guarding territorial seas, countermeasure against illegal operation by foreign fishing vessels, and so on. In these tasks, Coast Guard vessels often have to chase a suspicious ship or run side-by-side with it and this operation always has a risk of a collision. In order to maintain a safe Coast Guard operation, it is important for Coast Guard officer to understand the ship-to-ship interaction between two ships in close proximity. The objectives of this paper are to discuss validity of application of CFD (Computational Fluid Dynamics) in ship-to-ship interaction when two ships run at high speed and to consider a mechanism of ship-to-ship interaction in high speed area.

Keywords: CFD, Ship-to-Ship Interaction, High Speed Vessel, STAR-CCM+

1 緒言

海上保安庁の業務において、違法操業を行う外国漁船を捕捉するため、巡視船が当該漁船を追跡する、もしくは当該漁船と近接して並走するといった操船が行われることは周知のとおりである。業務遂行のため、このような操船が行われることはやむを得ないことではあるが、これらは船体同士の衝突の危険を増す行為であると言える。また、実際に、業務遂行中の巡視船が違法操業を行う外国漁船に接触し、当該漁船を転覆、沈没させた事例も報告されている。以上の業務に加えて、最近では、尖閣諸島周辺海域において、外国公船による活動が活発化しており、これを警戒し、警告を発する目的で、巡視船が相当程度に当該外国公船に接近しなければならない状況があり、予期せぬ操船等により、船体同士の衝突が発生することも危惧されている。

このような領海警備等の業務において、巡視船と外国船とが衝突する等の事案が発生すれば、重大な国際問題に発展する恐れがあるため、かかる業務に従事する巡視船の船長等は、気象・海象、彼我の船速、船間距離、視界の状況等その時の状況を慎重に勘案し、極めて機微な運用・操船を行うことを要求される。このことから、海上保安の現場において、適時・的確に対応できる実践力の向上を図るため、状況に応じた巡視船の適かつ安全な運用法について、経験則や know-how からではなく、工学的見地からの理論的な検討を行うことが急務かつ必須であると考えている。

そこで、本論文では、業務遂行のため、巡視船が外国船と近接して並走する際の運用法に焦点を当て、検討を行うこととした。一般に、2 船が近接して航行すると、船体周りの流れ場が左右非対称となるため、船体に横力や回頭モーメント（干渉流体力）が作用することが知られている。この現象は、2 船間相互干渉問題と呼ばれ、古くは Newman¹⁾ 以来、貴島等²⁾ や安川³⁾ によって理論的研究がなされてきた。また、湯室⁴⁾ や佐野等⁵⁾ は、水槽試験によって、その現象の理解を試みるとともに、干渉流体力の計算法についても検討している。さらには、欧米等で盛んに実施されている洋上荷役オペレーション⁶⁾ に関連し、2 船間相互干渉問題は、Ship-to-Ship Transfer 問題として、各国の研究者により広く取り扱われており、その作業の安全性確保のための検討が進んでいる。以上のように、2 船間相互干渉問題については、既に多くの研究がなされていると言えるが、その研究のほとんどは低速域（船長ベースのフルード数で、 $F_n = 0.1$ 程度）を対象としたものであり、巡視船が外国船と近接して並走する際に主として使用される速度領域（ $F_n = 0.2$ 以上）における相互干渉問題については、未だ検討した例が少ないというのが現状である。その理由として、 $F_n = 0.2$ 以上の速度領域（以後、本論文では、低速域と区別するため、この速度領域を「高速域」と定義する）における当該問題については、造波影響等により、理論計算法の構築が難しいことに加え、水槽試験技術についても未だ確立されていないということが挙げられる。よって、これらの現状を踏まえ、本論文では、近年、船舶海洋工学分野においても発展が目覚ましい CFD (Computational Fluid Dynamics : 数値流体力学) 技術を高速域における 2 船間相

Received May 29, 2015

¹ 海上保安大学校 y-nakayama@jcga.ac.jp

互干渉問題に適用し、その計算の妥当性について検討するとともに、高速域における相互干渉問題について考察することを目的とする。

2 CFD 及び数値計算ソフトウェアの概要

2.1 CFD について

CFD とは、先に示した通り、Computational Fluid Dynamics の略で、Navier-Stokes 方程式に代表される流体に関する運動方程式を、コンピュータで直接解くことによって、流体運動を観察する数値解析・シミュレーション手法のことである。航空機・自動車分野における空力特性解析、内燃機関等における熱流体解析、さらには燃料電池の性能解析等幅広い分野に適用可能な技術であり、近年、船舶分野においても、その操縦性や耐航性に関する性能解析、プロペラ特性解析等盛んに研究が行われている。

CFD を用いた研究を実施するに当たっては、その研究対象に適した数値計算ソフトウェア（CFD コード）を使用することが肝要である。そのソフトウェアは、自前で作成するものもあれば、企業が作成して販売しているもの（いわゆる商用コード）、オンライン上でライセンスフリーで取得できるものまで様々であるが、本論文においては、CD-adapco 社が販売している商用コード（STAR-CCM+ ; Version8.04）を使用することとしたので、以下、それについて説明する。

2.2 STAR-CCM+について

STAR-CCM+は、流れ・伝熱・応力の問題を解析することに優れ、図1に示すようなユーザが直感的に操作しやすいGUI（Graphical User Interface）を備えているため、操作が比較的容易であるとともに、高品質な計算結果が得られるソフトウェアである。また、単一のコードのみで、3D-CAD による設計、計算格子（Mesh）の生成、数値計算、結果の可視化まで行えるという特徴がある。さらに、船体運動のような二層流（空気、水の混合流れ）の中を運動する物体周りの流れについても、問題なく計算を行うことができるソフトウェアであるため、本ソフトウェアを用いて研究を実施することとした。

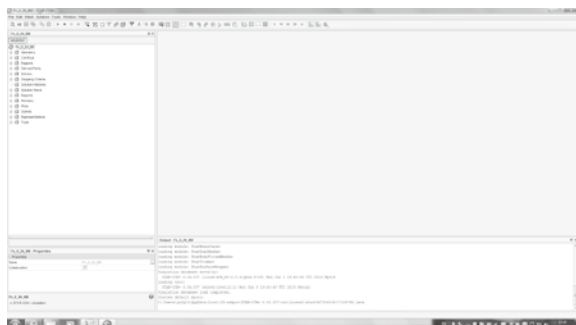


図 1 STAR-CCM+の操作画面

2.3 STAR-CCM+による数値計算手順

本ソフトウェアを使用する場合の一般的な数値計算手順について図2に示す。まず、Geometry の設定として、3D-CAD を用いて計算対象の物体を作成し、Simulation Topology について、物体周りの空間条件（計算領域及び境

界条件）を設定する。続いて、作成した物体及び空間に対して計算格子（Mesh）を生成し、目的とする流れ場を再現するような物理モデル（Physics）を定義するとともに、数値計算の時間刻み等の解析条件（Analysis）を設定する。以上が計算を始める前に実施すべき手順であり、特に、計算格子の生成及び物理モデルの定義を如何にすべきかが、計算精度を高める上で非常に重要な要素となる。この後、実際にシミュレーション計算を実施すると、数値計算結果が得られ、流れ場について分析することが可能になるとともに、それらを可視化した図表を作成することによって、より直感的にその現象のメカニズムを理解することができるようになる。なお、計算対象や計算格子の大きさ、又は、使用するパソコンの性能によって様々ではあるが、一般的に、1つのケースの計算を完了する時間（シミュレーションをスタートしてから結果が得られるまでの時間）は、数時間～数日のオーダーとなる。

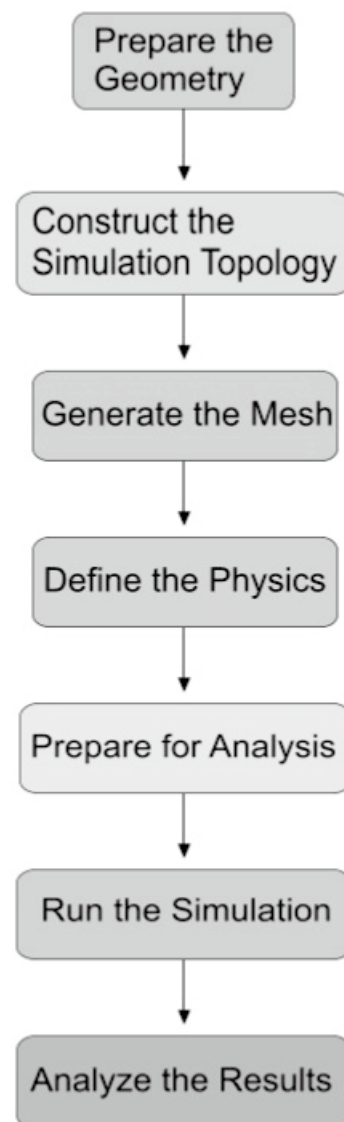


図 2 STAR-CCM+の一般的な数値計算手順

3 数値計算の妥当性に関する検証

CFD を用いて 2 船間相互干渉問題について考察する前段階として、本ソフトウェアによる数値計算の妥当性を確認しておくことが重要である。前述のとおり、数値計算の妥当性を確保するためには、計算格子の生成及び物理モデルの定義を如何にすべきかが肝要であるが、その設定に王道はなく、計算対象・境界条件等に応じて個別に設定し、構築した物理モデル等について妥当性を検証していかなければならない。ここでは、著者等が実施した単独船の抵抗試験結果を用いて、数値計算の妥当性を検証することとした。

3.1 水槽試験の概要

ある模型船が単独で直進航行する場合の船体に作用する抵抗を各速力ごとに計測する、いわゆる抵抗試験を広島大学工学部船型試験水槽にて実施した。対象船は、図 3 に示す 2 軸 POD 船（ただし、水槽試験は裸殻状態で実施）とし、その主要目は表 1 のとおりである。表中、 L は垂線間長、 B は船幅、 d は喫水（even keel）、 Δ は排水容積、 C_b は方形係数、 x_G は浮心位置座標、 k_{yy} は慣動半径を意味する。抵抗試験における速力の設定は、船長ベースのフルード数で、 $F_n = 0.09 \sim 0.25$ とし、各速力における船体に作用する抵抗について計測した。

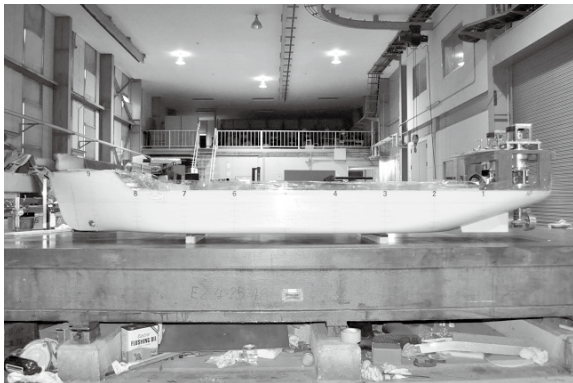


図 3 対象船（側面図）

表 1 対象船の主要目

symbol	Fullscale	Model
L (m)	40.00	2.655
B (m)	7.88	0.523
d (m)	2.50	0.166
Δ (m ³)	632.64	0.185
C_b	0.799	0.799
x_G (m)	-1.01	-0.067
k_{yy}/L		0.278

3.2 数値計算手法

3.2.1 計算領域及び境界条件

数値計算で用いた計算領域を図 4 に、各境界の境界条件の概略図を図 5 に示す。計算領域は 3 次元の矩形流路状で、領域のサイズは、対象船の前方主流方向に $1.5L$ （ L は船

長、以下同じ）、後方主流方向に $3.0L$ とし、対象船の横方向に $1.2L$ 、静水面の上方向に $0.56L$ （空気領域）、静水面の下方向に $0.75L$ （水領域）とした。これらは広島大学船型試験水槽の寸法にできる限り合わせるとともに、文献⁷⁾を参考に決定したものである。なお、主流方向を x 軸方向、船体から見て横方向を y 軸方向、静水面に対して上下方向を z 軸方向として定義している。次に、境界条件として、流れが流入する入口境界（Inlet）には、 x 軸方向に一律な流入速度を与えると同時に、静水面の上下で流体の密度を変更することで、空気と水の混合流れを再現している。一方、流れが流出していく出口境界（Pressure）については、速度勾配をゼロとし、圧力を固定した自由流出条件を与えた。また、境界の天井面、床面（水底面）、横方向の壁面については、Non-Slip Wall とし、滑りなしの境界条件を与えている。なお、計算時間の短縮化の観点から、計算領域には対称面（Symmetry plane）を設定した。

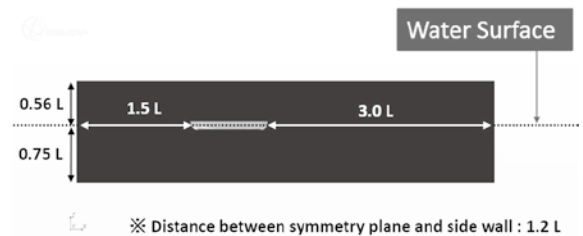


図 4 計算領域（側方断面図）

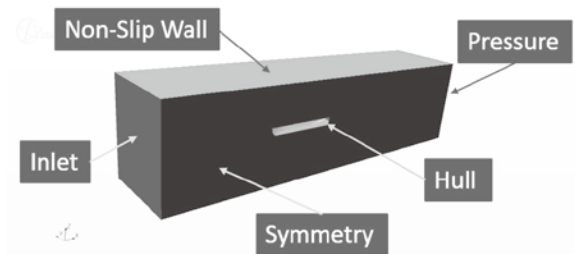


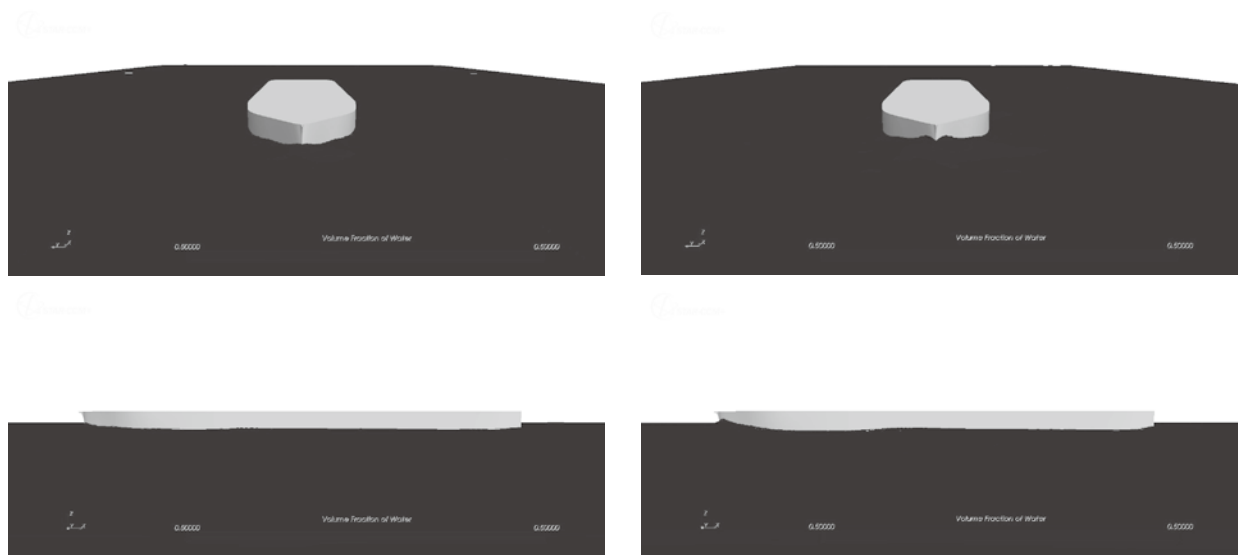
図 5 境界条件

3.2.2 計算格子及び物理モデル

計算格子の生成においては、非構造格子を採用し、そのベースサイズは 0.025m （ $\approx 1\%L$ ）とした。生成した計算格子の例を図 6 に示す。総格子数は約 8.8M（M = million）であり、船体運動のような自由表面を有する流れの計算において、その格子数は十分なものであると判断した。



図 6 計算格子（格子数：約 8.8M cells）

図 7 船体周りの造波現象 (左図: $F_n = 0.17$ 、右図: $F_n = 0.24$)図 8 波高図 (左図: $F_n = 0.17$ 、右図: $F_n = 0.24$)

次に、物理モデルについては、前述と同様の文献⁷⁾及び船舶海洋工学分野において STAR-CCM+ を適用した研究例⁸⁾⁹⁾等を参考に、下記の通り設定した(代表的なもののみ記載している)。なお、入口境界における流入速度については、設定したフルード数 ($F_n = 0.09 \sim 0.25$) に応じて、逐一値を変更して与えている。また、通常、ある速度で航走する船体には、船体沈下及びトリムが発生することが知られているが、本数値計算においては、計算時間の短縮化の観点から、船体の喫水状態は一定と仮定し、それらの現象については考慮しないこととした。

1. 2 層流 (空気、水の混合流れ) モデルを適用。
2. 乱流の数値解析手法として、レイノルズ平均 Navier-Stokes 方程式 (RANS) を使用。
3. 乱流モデルとして、 $k - \epsilon$ モデルを採用。
4. 自由表面における計算に際し、VOF (Volume of Fluid) 法を使用。

3.2.3 数値計算例

ここで、上記で構築したモデルにて、実際に数値計算を実施した例について示す。抵抗試験時の船体周りの流れ場について、数値計算結果が、船体への流入速度の違い、つまりは、船速の違いによる差を正しく再現しているかどうかを確認したものが図 7, 8 である。まず、図 7 は船体周りの造波の状態についての数値計算結果であり、上半分の図

2 つが船体を正面から見た図、下半分の図 2 つが船体を横から見た図となっており、左が船速の遅い方、右が船速の速い方を示している。これらの図からわかるとおり、船速が速い方 (右図: $F_n = 0.24$) において、船首部が造る波の波高が高くなっており、数値計算結果は、船速の違いによる物理現象の差異を適切に再現しているものと思われる。続いて、図 8 は船体周り及び後方に拡散していく波の波高に関する数値計算結果であり、船体を上から俯瞰した図となっている。図 7 と同様、左が船速の遅い方、右が船速の速い方を示しており、船速が速い方 (右図: $F_n = 0.24$) において、波の高低差がより顕著に現れていることがわかる。このことから、数値計算は、船速が速いほど造波が大きいという物理法則どおりの結果を捉えていると言える。

3.3 数値計算結果と水槽試験結果の比較

上記のとおり構築した数値計算手法を用いて、対象船の抵抗試験 ($F_n = 0.09 \sim 0.25$) に関する数値計算を実施し、水槽試験結果と比較する。通常、船体抵抗に関する水槽試験からは、船体に作用する全抵抗係数、それを成分分解した摩擦抵抗係数、形状影響係数、造波抵抗係数等が得られるが、ここでは、全抵抗係数に焦点を当て、比較の対象とした。なお、全抵抗係数については、計測された抵抗を、以下の関係式を用いて無次元化した値として整理している。

$$C_t = \frac{R}{\frac{1}{2} \rho S v^2} \quad (1)$$

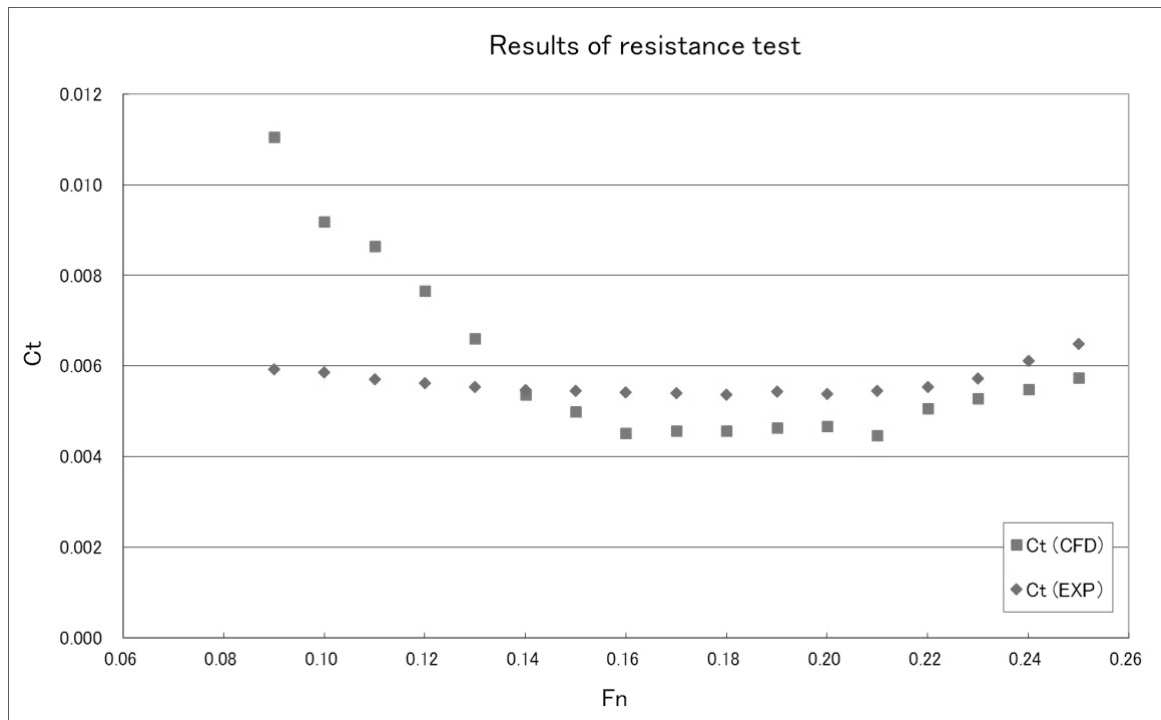


図 9 数値計算結果と水槽試験結果との比較

式中、 C_t は全抵抗係数、 R は全抵抗 (kg)、 ρ は流体の密度 (kg/m^3)、 S は浸水表面積 (m^2)、 v は流速 (船速: m/s) を意味する。各船速における数値計算結果についても、同様に全抵抗係数の形に整理し、水槽試験結果と比較したものが図 9 である。図の横軸には船長ベースのフルード数 F_n を、縦軸には全抵抗係数 C_t をとっている。なお、数値計算結果については $C_t(\text{CFD})$ 、水槽試験結果については $C_t(\text{EXP})$ として、 $F_n = 0.09 \sim 0.25$ の範囲の結果について表記した。

まず、図 9 より、 $F_n = 0.14$ より小さい船速の領域においては、数値計算結果と水槽試験結果との一致度が悪いということがわかる。この理由は、本論文の目的を高速域での 2 船間相互干渉問題における考察としている関係上、物理モデルには乱流計算を得意とするモデルを採用しており、船速の小さい領域 (いわゆる層流の範囲) については、精度良く計算することが難しいということによる。よって、今回取り扱った水槽試験における条件設定では、およそ $F_n = 0.14$ を境に層流から乱流へと遷移していたものと推察される。

一方、 $F_n = 0.14$ 以上の船速領域においては、全体的に値を小さく見積もってはいるものの、数値計算結果は水槽試験結果が示す傾向を十分に捉えているものと考えられ、特に、 $F_n = 0.22$ 以上の船速領域については、その一致度が高いように思われる。両者の差異については、水槽試験では、模型船の z 軸方向の並進運動 (船体沈下) 及び y 軸回りの回転運動 (トリム変化) については自由としているのに対し、数値計算では、計算時間の短縮化の観点から、それらの運動を固定した状態を取り扱っているということに原因があると考えられる。船体に作用する抵抗は、船体の喫水及びトリムの状態に応じて変化するものであるため、本数値計算手法においては、これらの影響を考慮すべきであったと言える。

しかしながら、差異はあるものの、数値計算結果は水槽試験結果を定性的には捉えており、さらには、高速域における一致度が比較的良好ということから、本数値計算手法は、実用上の精度を有するものと考ええる。定量的な評価が必要となる場合については、さらなる精度向上が不可欠であるが、本論文が目的とする 2 船間相互干渉問題への CFD 技術の適用に関する妥当性の把握及び当該問題に関する考察を行う上では、本数値計算手法は実用上十分であると判断した。

4 2 船間相互干渉問題における数値計算

前章において、本数値計算手法の妥当性が検証されたので、構築したモデル等を 2 船間相互干渉問題に適用・拡張し、当該問題に関する数値計算を実施するとともに、その現象についての考察を試みる。対象船として、実際の業務を想定して、巡視船及び外国漁船を取り扱うことを予定していたが、船型データの収集が困難であったため、前章と同じ船 (2 軸 POD 船) 2 隻を対象船とし、それらが並走する状態について検討を行うこととした。なお、議論をわかりやすくするため、以後は実船スケールにおける対象船 (船長: 40m) を取り扱い、考察を進めていく。

4.1 数値計算手法

計算領域及び境界条件については、図 4.5 で示したものをほぼそのまま適用し、対象船の位置を横方向にずらしつつ、対称面 (Symmetry plane) を利用することで、同型船 2 船が並走している状態を再現した。2 船間の距離 (以後、 D として表記) としては、 $D = 10\text{m}$ 、 20m 、 40m を採用した (船長を L として、 $0.25L$ 、 $0.50L$ 、 $1.00L$ の距離となる)。これは、中型巡視船と外国漁船が近接して並走してい

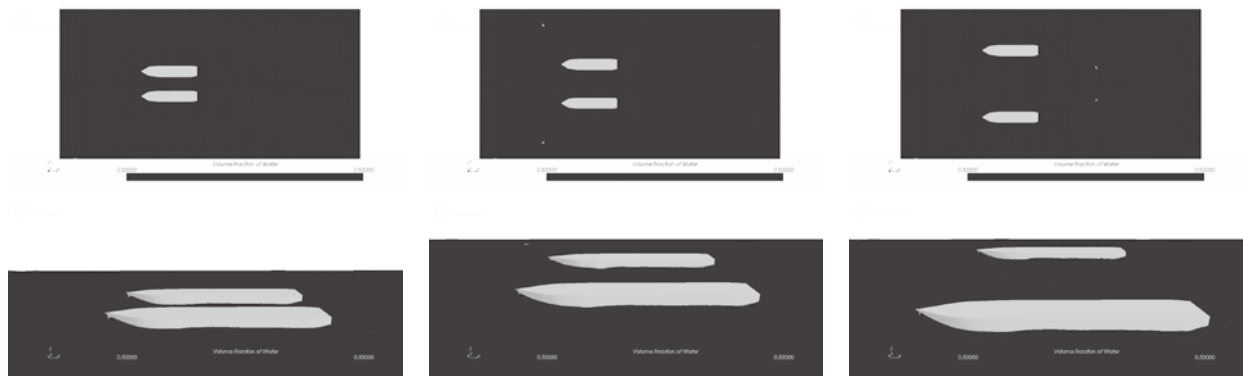


図 10 数値計算における 2 船の位置関係（左： $D=10\text{m}$ 、中央： $D=20\text{m}$ 、右： $D=40\text{m}$ ）

る状態を想定しての設定である。参考として、その状態における 2 船の位置関係を図 10 に示す。

計算格子及び物理モデルについては、前章で示した設定を準用して構築することとし、入口境界における流入速度については、高速域での現象について考察するため、 $F_n = 0.24$ （実船換算：約 9.2knot）で一定とした。また、前進航走中の船体に発生する船体沈下・トリム現象についても、前章と同様、計算時間の短縮化の観点から、考慮しないこととしている。これは、これらの現象が 2 船に互いに作用する干渉流体力へ及ぼす影響は小さい（定性的な傾向を変えるほど大きくない）と仮定したことに等しい。

4.2 数値計算結果

上記で示した数値計算手法を用いて、2 船が近接して並走する場合における造波現象等に関して数値計算を実施した。ここでは、2 船間の距離の違いが造波現象及び船体に作用する横力に及ぼす影響について検討した結果について示す。なお、船体に作用する横力については、2 船が side by side で並走する場合、お互いに引き寄せあう方向に作用することが知られているため、この横力については、以後、吸引力という言葉で表現することとする。

まず、図 11 に、2 船間の距離の違いが造波現象に及ぼす影響について把握するため、波高図に関する比較結果を示している。なお、波高図においては、等高線が密になっている領域ほど、その地点における水面が静水面よりも高い（低い）位置にあることを示している。この図から、2 船間距離が $D=40\text{m}$ ($1.00L$) と比較的距離が開いている場合については、2 船の後流域において若干の波の干渉が確認されるが、各船の船体周りの流れ場（造波の状態）は、単独で航走している場合と基本的に変わらないようである。この傾向は、2 船間距離が $D=20\text{m}$ ($0.50L$) まで近づいた場合であっても同様に確認され、流れ場の干渉による特異な造波現象は生じていないように思われる。最後に、2 船間距離が $D=10\text{m}$ ($0.25L$) とかなり近接した場合について見てみると、2 船に挟まれた領域において、互いが造り出す波が干渉し合い、静水面からの水面の上昇及び低下が増幅されていることがわかる。この現象は、2 船の間の空間の圧力差を強める方向に作用するため、2 船に互いに作用する吸引力を強めるばかりか、その波による船体動揺も誘発する可能性があるため、操船上特に注意を要する現象と言

える。以上から、本論文で対象とした船型においては、他船と並走する場合、自船の船長の半分 ($0.50L$) 程度の距離を保ちつつ航行することが安全上得策であると考えられる。

次に、図 12 に、2 船に互いに作用する吸引力に関する数値計算結果について示す。図の横軸には 2 船間距離 $D(\text{m})$ を、縦軸には吸引力を以下の式を用いて無次元化した吸引力係数 C_y をとっている。

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{1}{2}\rho S v^2} \quad (2)$$

式中、 F_y は 2 船に互いに作用する吸引力を意味し、その他の記号については、前章と同様である。なお、使用した座標系の関係上、吸引力係数 C_y の符号はマイナスとなっており、その絶対値が大きい方が、より大きい吸引力であることを意味する。この図より、2 船間距離 D が小さくなるほど、つまりは、より近接した状況となればなるほど、大きい吸引力が作用していることがわかり、この傾向は、低速域における 2 船間相互干渉問題において報告されている結果と同様のものであると言える。よって、本数値計算においては、高速域を対象としても、吸引力が示す傾向は、低速域の場合と比べて大きく変化することはないという結果を得た。しかし、先に述べたとおり、 $D=10\text{m}$ ($0.25L$) においては、造波の状態が大きく変化するため、低速域の場合とは異なる注意を要するということを強調しておく。

5 結言

本論文では、CFD 技術を高速域における 2 船間相互干渉問題に適用し、その計算の妥当性について検討するとともに、高速域における相互干渉問題について考察を行った。その結果、得られた知見等について、以下に示す。

1. 商用 CFD コード（STAR-CCM+ ; Version8.04）を用いて、模型船の抵抗試験に関する数値計算を実施し、実際の水槽試験結果と比較した。その結果、やや差異はあるものの、数値計算結果は水槽試験結果が示す傾向を捉えており、本コードによる数値計算手法が実用上の精度を有することを確認した。
2. 数値計算手法を高速域における 2 船間相互干渉問題に適用・拡張し、船長 $L=40\text{m}$ の実船 2 隻が近接して並走している状態に関して数値計算を実施した。その結果、2 船間距離が $D=10\text{m}$ ($0.25L$) となるまで 2 船

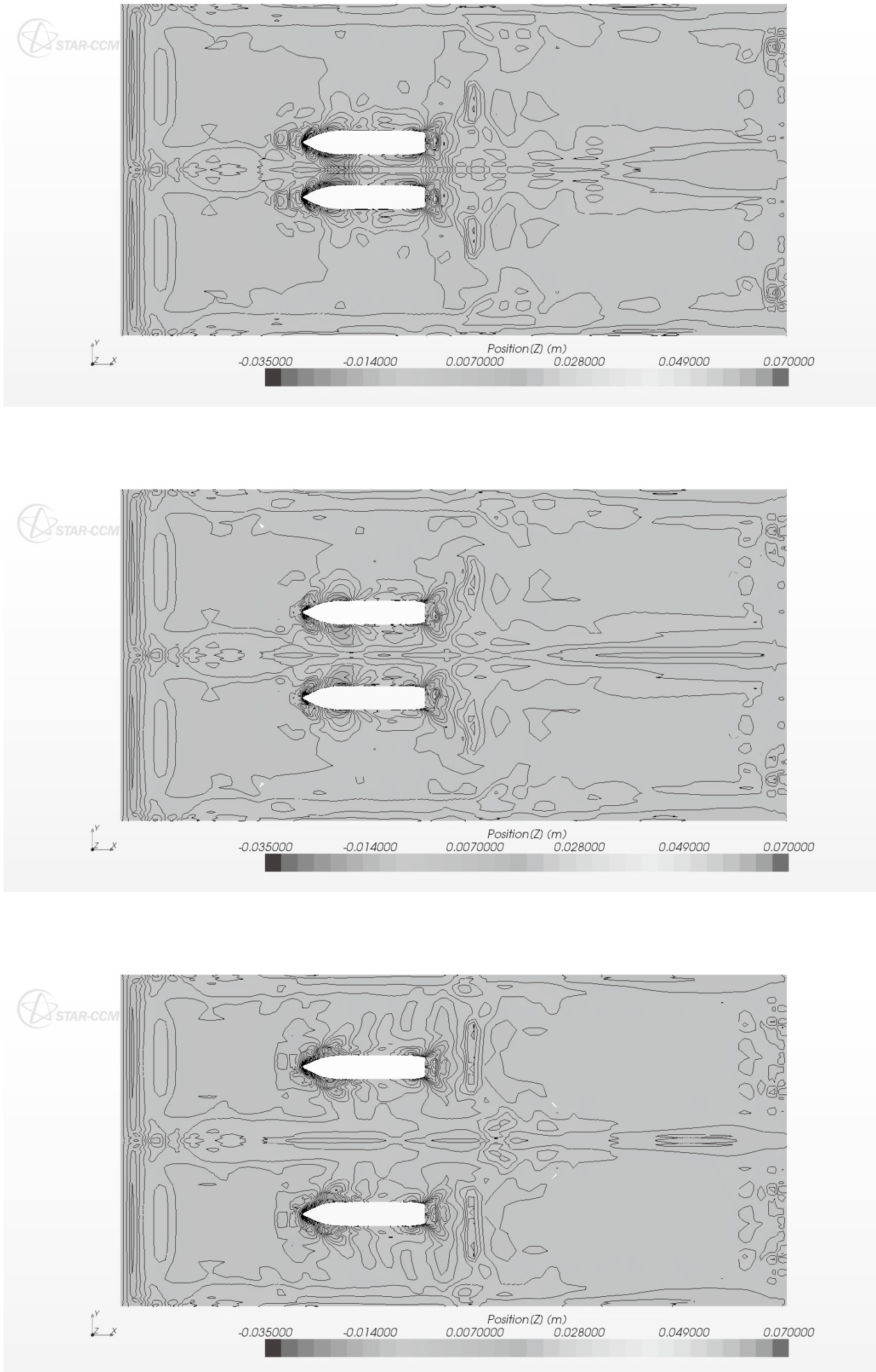
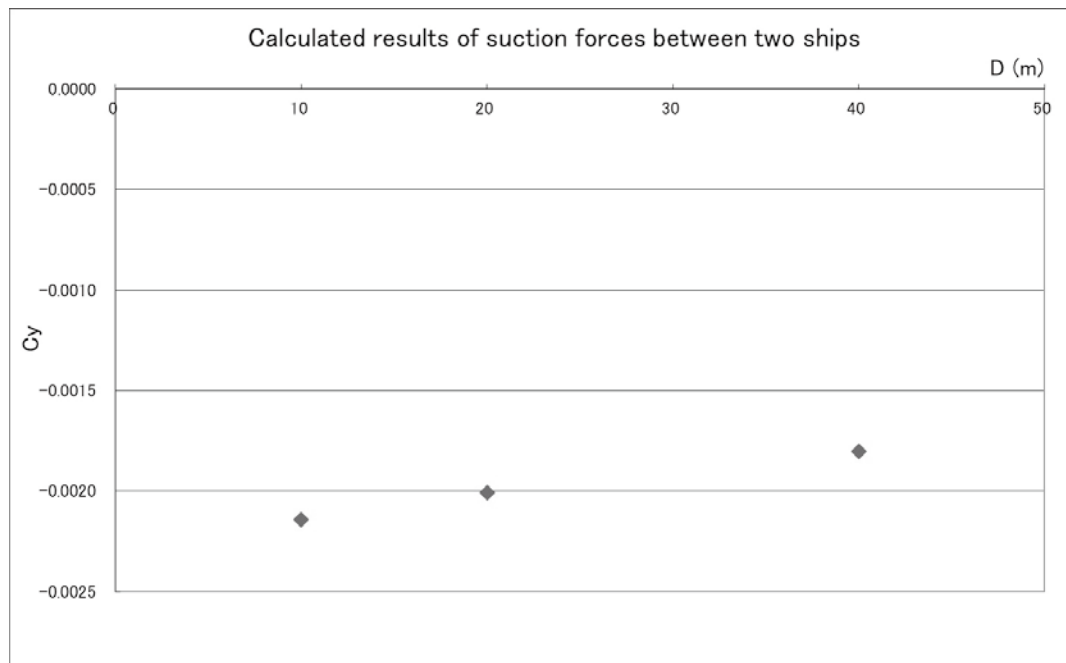


图 11 波高図（上段： $D=10\text{m}$ 、中段： $D=20\text{m}$ 、下段： $D=40\text{m}$ 、）

図 12 吸引力に関する数値計算結果 ($D=10\text{m}$, 20m , 40m)

が接近すると、2 船に挟まれた領域において、互いが造り出す波が干渉し合い、通常の並走状態とは異なる特異な造波状態が発生することを確認した。また、吸引力については、高速域であっても、低速域で示される傾向と同様、2 船間距離が近づくほど、大きな吸引力が発生するという数値計算結果を得た。

3. 以上から、当該問題について、CFD 技術を用いて研究を行うことは十分に可能であると考えられるが、その精度等に関しては、より詳細な検討が必要である。

今後の課題として、高速域における 2 船間相互干渉問題に関する水槽試験を実施し、本論文で構築した数値計算手法のさらなる精度検証を実施することが必要と考える。また、その際には、実際の巡視船及び外国漁船の線図等、実現象に即したデータを収集して用いることが必要不可欠となる。今後も本研究を継続し、業務遂行における巡視船の適正かつ安全な運用法について、検討を行っていきたい。

謝 辞

本研究は、日本財団による助成事業「海上安全に関する国際情報収集活動」の一環として実施させていただいたものである。また、本研究の実施にあたり、公益社団法人日本海難防止協会の皆様には多大なる御尽力をいただいた。ここに記して謝意としたい。

本研究で実施した数値計算においては、University of Southampton が有するスーパーコンピュータ「Iridis 4」を使用した。その使用に関する御協力及び本研究に関する貴重な御助言を賜った Stephen R. Turnock 教授に深く御礼申し上げる。また、水槽試験実施に御協力いただいた安川宏紀教授をはじめとする広島大学の皆様にも、心よりの感謝を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) J. N. Newman, Lateral motion of a slender body between two parallel walls, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.39 (1969), 97-115.
- 2) 貴島勝郎, 安川宏紀, 狭水路中を航行する船の操縦性能, *日本造船学会論文集*, 第 156 号 (1984), 171-179
- 3) 安川宏紀, 近接して航行する 2 船の操縦運動, *西武造船会会報*, 第 105 号 (2003), 43-54
- 4) 湯室彰規, 操縦流体力における 2 船間干渉に関する近似計算-渦減衰を考慮した場合-, *関西造船協会論文集*, 第 240 号 (2003), 123-128
- 5) 佐野将昭, 安川宏紀, 吉田聖子, 操舵しながら近接航行する 2 船の流体干渉に関する基礎研究, *日本船舶海洋工学会論文集*, 第 16 号 (2012), 59-67
- 6) International Chamber of Shipping, *Ship-to-Ship Transfer Guide (Petroleum)*, UK, 2005
- 7) Lars Larsson et al., *Numerical Ship Hydrodynamics -An assesment of the Gothenburg 2010 Workshop-*, Springer, Nederland, 2014
- 8) Ping Lu, Sue Wang, CFD Simulation of Propeller and Tunnel Thruster Performance, *Proc. of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, OMAE2014-23328
- 9) Jochen Schoop-Zipfel, Moustafa Abdel-Maksoud, Maneuvering in Waves Based on Potential Theory, *Proc. of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, OMAE2014-23826