

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06905

研究課題名（和文）制限水路航行船舶の流体力特性推定法の高度化

研究課題名（英文）Development of advanced estimation method for hydrodynamic forces acting on the maneuvering motion ships in restricted water area

研究代表者

西尾 茂（NISHIO, Shigeru）

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：30208136

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、船舶の大型化に伴う水深／喫水比や岸壁や防波堤などの周辺境界との相対距離の現象による操縦流体力の特性変化を、水槽実験と数値計算による流場解析により明らかにしたものである。特に、船型要素による特性変化の違いや離着岸時の非定常流体力の挙動変化について、流体力学的メカニズムの解明とともに、非定常挙動の評価法の提案とその妥当性検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

港湾内の操縦性能の変化について、特に浅水影響が及ぼす影響についての知見に、水深／喫水比が1.2を下回るような極めて浅い条件下での流体力特性変化に関する知見を加えることにより、近年の船舶の大型化に伴う課題の解決に光明を与えた。これまで経験的に知られていた定性的な知見に対して、実験と計算に基づく定量的な基礎データを提供した意義は高く評価できる。

研究成果の概要（英文）：The behavior of hydrodynamic force acting on ships under maneuver operation are investigated, and the characteristics change due to the decrease of water depth / draft ratio or the relative distance from the surrounding boundaries caused by the increase of ship size are clarified. The dependencies to the hull form factors and the behavior of characteristics change under berthing/deberthing operation was focused, and the mechanism of characteristics change was clarified and an evaluation approach to the unsteady case was proposed.

研究分野：船舶海洋流体力学

キーワード：浅水域 制限水路 船型要素 離着岸操船 数値流体力学 流場解析 水槽実験 流体力特性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年の急速な船舶の大型化は、港湾内を航行する船舶の水深喫水比(H/d)を著しく低下させ、操縦特性の想定していなかった大きな変化をもたらす可能性を生じさせている。港湾内での操縦性能の検討する上での浅水影響考慮の重要性は早くから指摘され、精力的に研究がなされてきた。これまで行われてきた浅水域に関する研究は、港湾内での一般的な航行状態や係留が想定され、主に $H/d=1.2\sim 2.0$ の範囲での流体力特性の調査が主流であった。一方、冒頭で述べた船舶の大型化は、従来研究が行われてきた範囲を越えた領域での運航や水底堆積物による想定外の状況発生が懸念されるに至っている。また、津波の来襲や事故などの非常時では、管理されない状態での漂流や陸域への侵入が考えられ、これまでの研究範囲を広げた調査が必要になると考えられた。

2. 研究の目的

研究者らは、浅水域航行船舶に作用する操縦流体力特性の解明を目的に、平成 27 年度までに模型実験と数値シミュレーションの環境整備を行い、肥大船の極浅水域での低速横移動時の横力特性についての研究を行ってきた。この研究により、極浅水域においては船底と水底との間隙における圧力損失がもたらす「塞き止め効果」により流場構造が大きく変化し、水深に対して横力が鋭敏に変化する可能性が模型船レベルでは発生することを示した。この事実は、尺度影響を考えると実船に直ぐに適用できる知見ではないが、少なくとも大きな流体力の変化発生の可能性が潜在的にあることを示唆しており、調査の価値があると判断されるに至った。

そこで本課題では、浅水域における操縦流体力と流場の関係を明らかにし、流体力挙動の船型依存性や離着岸などの複合要因にも対応可能な運航指標の策定を目指した。具体的には、これまで肥大船について蓄積してきた流体力挙動の知見に加えて、新たに瘦型船についての流体力特性の調査及び流場解析を実施し、現象の主要な支配要素の抽出を試みることを主要課題とした。また、主要目比やファインネス係数などの基本的な船型要素での整理を試み、運航指標として利用可能な基礎データの整備を進めることとした。

3. 研究の方法

本研究では、正横方向に一定速度で横移動する船体に作用する横力特性に着目して調査を進めた。本課題では、先行研究（課題番号：25420866）で調査を進めた肥大船（タンカー船型）に関する知見に加えて、新たに製作した瘦型船（コンテナ船型）を対象に、水槽実験と数値計算による流場解析を行い、制限水路における操縦流体力の特性変化とその流体力学的メカニズムの解明を目指した。また、本研究では、流体力特性の船型要素依存性を系統的に調査するために数式船型の計算モデルと作成し、流場解析に加えた。

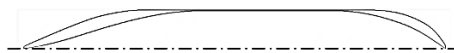
(1) 供試船型

Table 1 及び Fig.1 に、調査対象とした 2 種類の実用船型と 6 種類の数式船型の主要目及び船型の概形を示す。数式船型は、肥大船と主要目($L\times B\times d$)を同じにした上で C_p を系統的に変化させて作成した。モデル作成はオープンソフトウェア Blender を用い、非一様有理 B スプライン(NURBS) 曲線で構成される船型を作成した。

Table 1 Principal dimension of target hull forms.

	Tanker	Container	Numerical
Length: L_{pp} [m]	3.05	3.05	3.05
Breadth: B [m]	0.57	0.43	0.57
Draft: d [m]	0.19	0.14	0.19
Prismatic coef.: C_p	0.82	0.67	0.65~0.83
Midship coef.: C_m	0.997	0.973	0.960

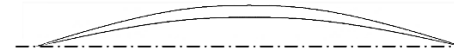
(a) Tanker



(b) Container



(c) $C_p = 0.65$



(d) $C_p = 0.83$

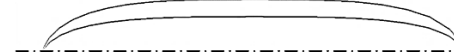


Fig.1 Overview of target hull form

(2) 実験概要

相似模型を用いた水槽実験では流体力計測を実施し、水深変化に対する流体力挙動の変化を調査した。また、離着岸操船を模擬した実験では、水槽内に設置した壁面近くで船体を運動させ、作用する流体力の時系列挙動の分析を行った。Table 2 に主要な実験条件を示す。

Table 2 Experimental conditions

Ship speed: V	0.04 [m/s]
Acceleration of ship: α	0.07 [m/s ²]
Reynold's number: R_n	1.42×10^5
Restrict ratio: B_w/L_{pp}	2

(3) 計算概要

水槽実験と同条件で、数値計算による流場解析を行った。数値シミュレーションには、OpenFOAM コードを用い、離着岸操船の計算では変形計算格子を用いた解析法を導入した。Table 3 に数値計算の主要パラメータを示す。

Table 3 Computation codes for numerical simulations

Main source code	OpenFOAMver2.2.2
Turbulence model	N/A
Solver	SIMPLE, PIMPLE

(4) 流体力挙動の概要

Fig.2 に、本研究で解析対象とする流体力挙動の例を示す。Fig.2 では、静止状態から一定加速度で所定速度まで加速した後、定速走行をする場合の流体力の変化を時系列で示しており、航行方向に制限のない場合 (Without quay) と模擬岸壁近くでの離岸 (Berthing) 及び着岸操船 (Deberthing) における船体運動と流体力変化の関係を示している。図中 s は、離着岸時の岸壁からの船体側面までの距離を示している。

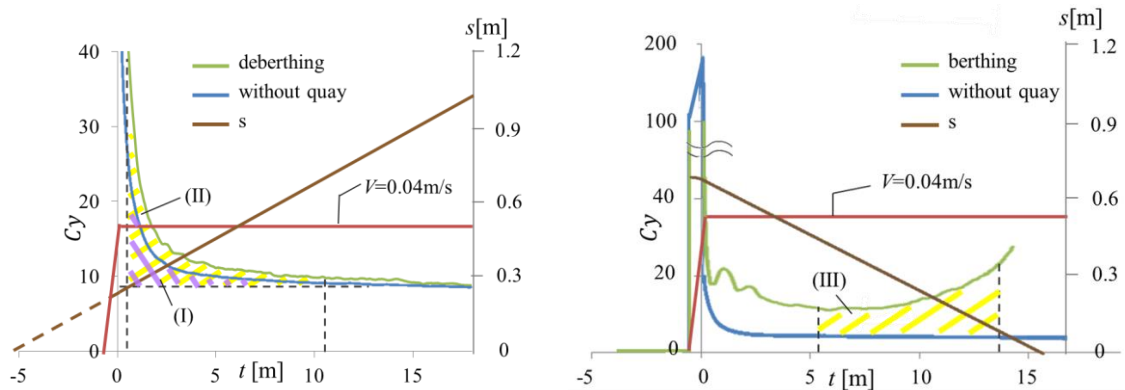


Fig.2 Schematic description of the outline of lateral force behavior and its evaluation, (a) deberthing motion, (b) berthing motion

4. 研究成果

本研究では、開始当初に3段階の研究プロセス (①流体力特性の基礎メカニズムの解明、②船型依存性の調査、③流体力特性の要因分析と応用) を提案し、研究に着手した。以下に、それぞれのプロセスで得られた成果を示す。

(1) 基礎メカニズムの解明

本研究は、研究目的でも述べたように、先行研究 (課題番号: 25420866) で得られた肥大船を対象に低速横移動船舶に作用する流体力、特に横力の特性変化メカニズムについての分析を進展させ、高度化することを第一の目標とした。先行研究では、船底間隙の現象による「流れの塞き止め効果」により流場構造が大きく変化し、極浅水域において横力が増大するメカニズムを明らかにした。先行研究において、流体力学的メカニズムの大まかな仕組みが明らかにされた成果は評価に値するが、船体の肥瘦度による特性の違いの理由や側壁が存在する場合の更なる流体力の増大傾向の定量評価は未解決のままであった。

そこで、本研究では、基礎的な流体力特性変化のメカニズムを明らかにし、推定法の高度化と精緻化の基礎を築くため、水深だけでなく、前後/左右の境界との相互干渉が流体力特性に与える影響の調査を進めることとした。実際、港湾内操船においては、浅水影響と同程度に岸壁を含む周辺境界の影響は小さくなく、特に船長方向の閉塞度は船体の大型化によりキロメートル (km) 単位での航路幅の影響への配慮が必要となるため、運航上の安全指標にも少なからず影響を与

える。Fig.3 に、横移動船舶に対して水路幅 (B_{TT}) を変化させたときに得られる横力係数の違いを示す。対象船型は肥大船であるが、 $L/B_{TT}=0.5$ 以下の条件では、 $H/d=1.5$ 程度の比較的緩やかな条件の浅水域でも横力係数は増大傾向を示すことが判る。また、この傾向は、浅水影響と船長方向の閉塞影響の両者が複合すると、極めて大きな変化に発展することが示されており、安全上の重要事項となることを示した。

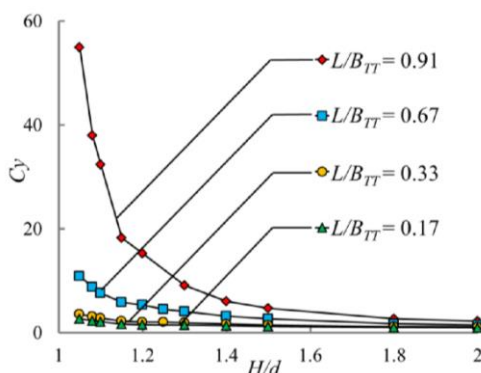


Fig.3 Comparison of lateral force coefficient changes according to water depth and water channel width

(2) 船型依存性の調査

先行研究及び研究プロセス(1)で、制限水路における流体力特性への基礎メカニズムについて明らかにしてきたが、本課題の主目的である推定法の高度化には、船体の肥瘦度やその他の船型要素に特性変化の把握を行うこと必要であり、実運用でも必須の課題となる。先行研究でも、肥瘦度の異なる実用船型を用いた水槽実験を行い、特性変化傾向の概略の把握を行っていたが、肥瘦度が流場構造変化に与えるメカニズムや、その原因を調査する流場解析に至っていなかった。そこで本課題では、実験と数値計算に同時に適用が可能な瘦型船(コンテナ船型)の模型と計算モデルを新たに準備し、先行研究で得られている肥大船に関する知見と合わせて分析を行うことにより、特性変化の船型依存性のメカニズム解明を目指した。

本研究では、基礎メカニズム解明により、浅水域での横移動船舶に作用する流体力の特性変化の主要因が、船底における流れの塞き止め効果によるものであり、これに由来して流場構造がガス方向主体から船長方向主体に変わることが明らかにされた。これを勘案すると、肥瘠係数の中では、船長方向の排水量分布の指標である柱形係数 (C_p) が特性変化の主要因になると考えて、分析を進めた。Fig.4 は、数値計算で得られた定常横力係数の C_p による変化を示したものである。Fig.4 では、実用船型(タンカー/コンテナ)に加えて、研究方法(1)供試船型で述べた数式船型の計算結果を合わせて表示している。Fig.4 からは、 C_p の減少(瘦型船)の方が横力係数が増大する傾向にあり、更に浅水影響の出現は瘦型船の方が比較的緩やかな浅水域 ($H/d=1.5\sim 2.0$) から現れることが明らかにされた。一方、数式船型による系統的な C_p の変化に関する調査でも、同様の傾向が見られるものの、 C_p 単独の整理では期待した程の要因説明にはならず、実用船型における大きな特性の変化を説明するには至らないことが判った。

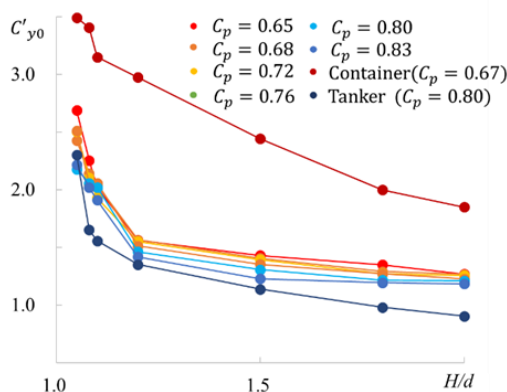


Fig.4 Behavior change of constant component of lateral force coefficient due to the hull form factors.

(3) 要因分析と応用課題

離着岸操船時の流体力特性分析

研究プロセス(1)(2)と並行して、岸壁との相互干渉が浅水影響と複合して作用する離着岸操船時の流体力特性の分析を行った。離着岸操船時には、岸壁と船体とで囲まれた狭い領域の流れを時系列で解析する必要があり、特に数値計算における新たなモデル構築が必要となった。本研究では、OpenFOAM 上で利用可能な変形計算格子を利用した。Fig.5 に、本研究で用いた変形格子

の例を示す。 s は岸壁から船体側壁までの距離を示すが、 $t=0$ で $s/B=0.25$ で静止している船体が、正横方向に離岸運動を始め、周囲の計算格子を変形させながら一定速度で岸壁から一定速度で遠ざかる様子を示している。

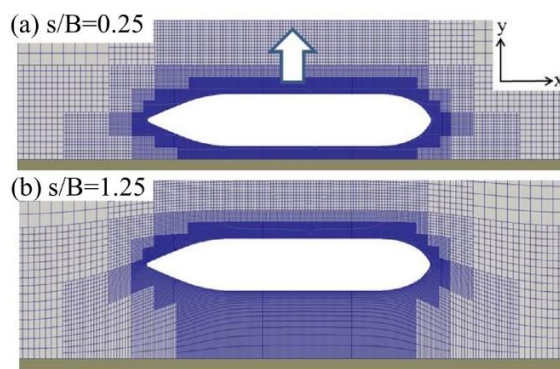


Fig.5 A sample view of deformable computational grid

Fig.6 に水槽実験と数値計算で得られた、離着岸時の流体力挙動の例を示す。Fig.6(a)は離岸運動の場合の流体力挙動の例であり、 $H/d=1.20, 1.50$ の比較を示している。参考のため、岸壁のない開放水域で同じ水深の場合の流体力挙動を示している。時刻 $t=0$ は加速終了時刻を示し、 $t>0$ では一定速度で離岸運動を行っている。加速終了後に流体力は一定値に収束してゆくが、離岸運動時かつ浅い水域では、流体力が一定値に収束するまでの時間遅れが顕著になる様子が示されている。一方、Fig.6(b)は着岸運動の場合の流体力挙動の例であるが、 $t=0$ の加速終了後、岸壁に近づいてゆくことによる横力が増大する様子が、解法水域での結果との比較で明確に示されていることが判る。

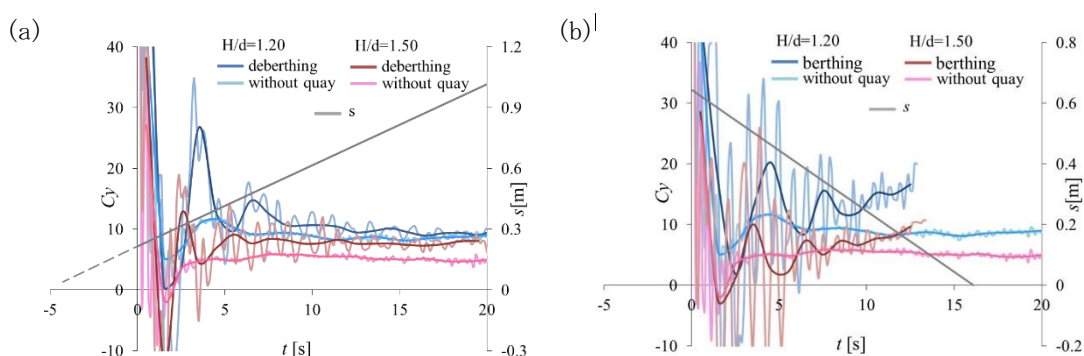


Fig.6 Comparison of time-domain change of hydrodynamic force, (a) deberthing condition, (b) berthing condition

これらの時系列の流体力挙動の比較で、離着岸時に流体力が増加し、更に浅水域影響が複合することにより、それが顕著に現れる要素を把握することができた。しかし、これらの分析は経験的に知られている操縦性能の特性変化を数値計算で再現しただけであり、安全指標の構築には、これらの定量評価法の構築が必要である。そこで、本研究では、Fig.2 の図中で(I)~(III)で示すように、流体力の時系列変化を積分することより得られる指標により評価することを提案した。ここで提案する評価指標は、流体力係数の時間積分であり、離着岸に必要な仕事(エネルギー)を評価していることに相当する。Fig.7 に、離岸、着岸、岸壁なしの場合に水深変化で、このエネルギー相当の評価指標 \bar{E} がどのように変化するかを示している。 \bar{E} は、流体力係数の定常成分を差し引いた上で積分を行っているため、負の値を取る場合も示されているが、水深が浅くなると流体力が増加し、その傾向が岸壁がある場合に顕著になる様子が、評価指標で示すことができる。

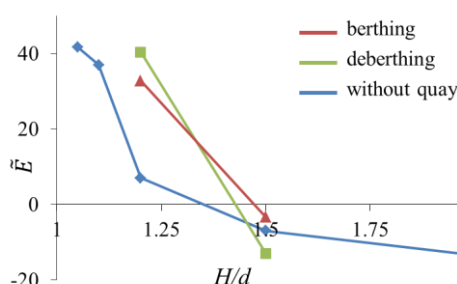


Fig.7 Comparison of evaluation index on time-domain change

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 新谷咲貴, 西尾 茂, 勝井辰博	4. 巻 30
2. 論文標題 離着岸船舶に作用する操縦流体力の極浅水域における特性変化(第2報) - 時系列応答特性の分析と水槽実験による検証 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演論文集	6. 最初と最後の頁 589-591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 西尾 茂, 小西裕太, 谷澤詩子, 勝井辰博	4. 巻 29
2. 論文標題 極浅水域における横移動船舶に作用する流体力の特性変化に船型要素が与える影響の分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演論文集	6. 最初と最後の頁 473-476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tokihiko Katsui, Hisao Tanaka	4. 巻 V07AT06A005
2. 論文標題 The Evaluation Method of the Hydrodynamic Frictional Resistance for the Painted Rough Surface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 37th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering (OMAE2018)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/OMAE2018-77693	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 相澤 流, 西尾 茂, 勝井辰博	4. 巻 23
2. 論文標題 離着岸船舶に作用する流体力の極浅水域における特性変化	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演論文集	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 系田龍一郎, 西尾 茂, 勝井辰博	4. 巻 23
2. 論文標題 極浅水域における横移動船舶に作用する流体力の特性変化 第3報:水路幅との複合要因分析	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演論文集	6. 最初と最後の頁 5-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 河内 暁, 田中悠貴, 勝井辰博	4. 巻 23
2. 論文標題 津波数値シミュレーションにおける簡便な水陸境界更新法	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演論文集	6. 最初と最後の頁 89-90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高松賢一, 西尾 茂, 勝井辰博	4. 巻 24
2. 論文標題 曳航水槽における推進性能試験の高度管理法構築に関する研究 - 模型プロペラに起因する高次不確かさの抽出と解析 -	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 西尾 茂, 小西裕太, 谷澤詩子, 勝井辰博
2. 発表標題 極浅水域における横移動船舶に作用する流体力の特性変化に船型要素が与える影響の分析
3. 学会等名 令和元年年日本船舶海洋工学会秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相澤 流, 西尾 茂, 勝井辰博
2. 発表標題 離着岸船舶に作用する流体力の極浅水域における特性変化
3. 学会等名 平成28年日本船舶海洋工学会秋季講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 糸田龍一郎, 西尾 茂, 勝井辰博
2. 発表標題 極浅水域における横移動船舶に作用する流体力の特性変化 第3報:水路幅との複合要因分析
3. 学会等名 平成28年日本船舶海洋工学会秋季講演会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	勝井 辰博 (KATSUI Tokihiro) (80343416)	神戸大学・海洋底探査センター・教授 (14501)	