

令和 5 年 4 月 21 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04947

研究課題名（和文）船体の斜航による定常波力の変化と波浪中操縦運動に及ぼす影響の解明

研究課題名（英文）Study on steady wave forces and the moment acting on drifting ships and the effects on the prediction of ship manoeuvring motion in waves.

研究代表者

鈴木 良介（Suzuki, Ryosuke）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・主任研究員

研究者番号：20711328

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、最初に、水槽試験によって直進時と比較した斜航状態における定常波力（前後・左右・回頭の3成分）の変化を定量的に評価した。次に、既存の平水中操縦運動推定モデルに、波浪外力として定常波力の実験値を考慮した計算法を基に、定常波力に対する船体斜航影響の考慮の有無が波浪中操縦性能推定へ与える影響を評価した。最後に、既存の推定法を拡張することで、船体の斜航影響をより適切に考慮し得る短波長波中の定常波力の実用的計算法を新たに構築した。定常波力の計測値ならびに自由航走模型試験による操縦運動の計測値との比較から、構築した計算法は、波浪中の船の操縦運動を評価するのに有望であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの定常波力に関する研究は、実験的にも理論的にも船体が直進状態であることを仮定したものが殆どであった。そのため、本研究で示した斜航状態における定常波力の実験値の希少性は高く、またこれは本研究で構築した計算法のためだけでなく、これからは開発される斜航状態を対象とした様々な定常波力推定法の検証に役立つことから、学術的に大変意義がある。本研究で構築した定常波力の推定法についても、既存の手法をベースとしながらも、その推定精度が向上したことで、波浪中において船が備えるべき操縦性能をより妥当に評価することが可能になった。従って、本成果は、船舶の航行安全性に大きく貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, first, we evaluated the influence of ship's lateral drift on wave-induced steady longitudinal and lateral forces and yaw moment quantitatively via captive model tests in a basin. Second, we investigated the influence of the variation of the wave-induced steady forces due to the ship's lateral drift on ship manoeuvring based on numerical simulation using a conventional manoeuvring model for a ship in calm water with the measured wave-induced steady forces. Third, we developed a new prediction method of the wave-induced steady forces acting on an obliquely moving ship in short waves by improving the existing method. The developed method was validated based on the wave-induced steady forces measured in the captive model tests and manoeuvring motions measured in free-running model tests. As a result, we clarified that the developed method is promising to evaluate ship's manoeuvrability in waves.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：船舶海洋工学 船舶操縦性能 操縦運動計算 波浪中操縦性能 波浪中抵抗増加 定常波力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

船舶に対する CO2 排出規制(EEDI)の導入により、船舶の低速運航化が進むと予測される。これに伴い 2013 年に国際海事機関(IMO)では、荒天時に船舶が操船不能に陥らないために必要な最低機関出力を定めた暫定ガイドラインが導入された。しかし、これは十分な検討を経ていない暫定値である。そのため、特に低速運航時の船舶の波浪中操縦性能を理論に基づき合理的に評価できる手法の構築が必要である。

船舶の波浪中操縦性能を妥当に評価するためには、「定常波力」として知られる高次の波力の時間平均的成分(操縦運動による波との出会角等の変化に伴い、ゆっくりと変化する波力成分)を精度よく推定することが不可欠となる。実海域を航行する船は、運動が直線的であっても外乱の影響によりわずかながらも斜航(横流れ)していると考えられる。幾何形状が実船と相似な縮尺模型(模型船)を用いた水槽試験によって、船体斜航時の定常波力は直進時(合成船速と船首方位が一致する状態)と異なり、その影響は短波長域中で大きくなること示されている。しかし、これまでに提案された定常波力の理論計算法の殆どは、取り扱いの簡便さから、船体停止状態あるいは直進状態の仮定の基に成り立ったものである。一部の研究では、自由航走模型試験との比較から、このような定常波力の近似的取扱いをしても、波浪中の操縦運動を大略推定可能であることが示されているが、短波長域では、必ずしも推定精度は良好でない。また、低速航行時あるいは、模型船と比較して粘性影響によりプロペラや舵の制御力が外乱に対して相対的に小さい実船に対して、許容できるものかは検討されていない。

数少ない斜航影響を考慮した定常波力の推定法の研究として、短波長域においては、平山¹⁾や上野²⁾の研究がある。しかし、前者については、その理論的根拠が不明な上に、模型実験等による検証は一切なされていない。また、後者については、実験結果と比較すると前進速度や斜航の影響が必ずしも精度よく反映されてはならず、改善の余地がある。以上により、特に低速航行時の実船の波浪中操縦運動を推定可能にするために、斜航時の定常波力に関する精力的な研究が望まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、船体に働く定常波力の斜航影響に焦点を当てて、特に低速航行時の実船を対象とした波浪中操縦運動推定法を改善・高度化することである。そのために、以下の研究を実施する。

- (1) 直進時と比較した斜航状態における規則波中の定常波力の変化の解明
- (2) 船体斜航時に働く定常波力が与える波浪中操縦運動推定への影響の解明
- (3) 斜航影響をより適切に考慮し得る定常波力の実用的計算法の構築

3. 研究の方法

第 2 節「研究の目的」で示した各項目について、それぞれ以下に示す方法で実施する。

- (1) 直進時と比較した斜航状態における規則波中の定常波力の変化の解明

模型船を用いた規則波中の曳航試験を直進ならびに斜航状態で実施することで、様々な波条件(波長、波向き)を対象として実験的に解明する。実施施設は、研究代表者の所属する海上技術安全研究所の実海域再現水槽である。船体運動は基本的に 6 自由度自由と見なせるように、船体に復原力の生じない前後・左右・回頭成分には、弱いばね機構を有する曳航装置を用いる。

- (2) 船体斜航時に働く定常波力が与える波浪中操縦運動推定への影響の解明

操縦運動は波周波数と比較して低周波数での運動あるという性質を利用して、前後・左右・回頭方向の水平面内の運動を対象とした既存の平水中操縦運動推定モデルを基に、波の影響として定常波力のみをその外力項に考慮した数値計算によって評価する。その際に与える定常波力は、(1)で取得した模型試験結果としながらも、2 通りの方法を採用する。1 つ目は、船体斜航影響を無視した停止時と直進時の計測結果を内挿する。2 つ目は、斜航状態で計測した結果とする。操縦運動計算の尺度は、模型船ならびに実船相当とする。更に実船の場合には、主機の連続運転の制限(トルクリミット)の考慮した場合でも計算を行う。これにより、定常波力に対する船体斜航影響の考慮の有無が、模型船ならびに実船の波浪中操縦運動推定へ与える影響を評価した。

上記の波浪中操縦運動推定の検証には、実際の操縦運動の計測が必要となる。模型尺度の場合には、数値計算と同じ条件の波を水槽に生成した自由航走模型試験において運動を計測すればよい。一方、実船尺度の場合には、海上公試が必要となるが、その実施は容易ではない。そこで、研究代表者が過去に開発した実船舵効き状態での自由航走模型試験³⁾を活用することで、実船と相似になる操縦運動を計測し、これを検証に用いることとした。

- (3) 斜航影響をより適切に考慮し得る定常波力の実用的計算法の構築

既存の推定法として、短波長域を対象とした上野らの方法²⁾に着目して、それを改良すること

で新たな計算法を構築する。具体的には、船体近傍の波振幅の推定式、船体近傍の流れの定式化の2点について改良を行う。上野らの方法²⁾において、船体近傍の波振幅の推定式は、波の作用量(wave action)の保存則から導出されるが、その過程に不合理な点がある。そのため、動座標系における波エネルギーの移流方程式を求めることで、この点を解消し、船体近傍の波振幅の推定式を理論的に修正する。この推定式は定常波圧の船体水線面周りにおける積分条件の導出に用いられているため、この修正に併せて積分条件の見直しも図る。船体近傍の流れについては、上野らの方法²⁾では、操縦運動に伴う遠方の流れの船体水線面接線方向成分として簡易的に与えられている。そこで、CFD(computational fluid dynamics)計算を基にした粘性を考慮した流れのモデル化を行い、実現象に沿ったより合理的な高度化を行う。

構築した計算法を、まず(1)で取得した模型試験による定常波力の計測値と比較することで、検証する。次に、提案した計算法の波浪中操縦性能評価の適用性を検証する。これは、提案した計算法を外力項に考慮した波浪中操縦運動推定を実施し、(2)で取得した操縦運動の計測結果と比較をすることで行う。

4. 研究成果

本研究で得られた成果について、第2節「研究の目的」ならびに第3節「研究の方法」で示した各項目に分けて、以下にまとめる。

(1) 直進時と比較した斜航状態における規則波中の定常波力の変化の解明

直進時と比較した斜航状態における規則波中の定常波力(前後・左右・回頭の3成分)の変化を、外航大型タンカーを対象とした水槽試験によって定量的に評価した。その結果の一例として、斜航角の条件を変化させながら各波向きと波長において計測された定常波力横方向の無次元値を図1に示す。本図より、斜航角 β が大きくなる($\beta > 0$ は、船体が波下に漂流することを意味する)と、一般に定常横力の絶対値が小さくなることを確認できる。この他、横力ほど明確ではないが、斜航角 β が大きくなると、右舷からの横波に生じる回頭モーメントが左舷回頭方向に大きくなること分かった。また、前後力は、船体動揺が大きくなる波長と波向きのみで斜航影響が大きくなり、その条件では、斜航角 β が大きくなると、船首方向に力が増加することが分かった。

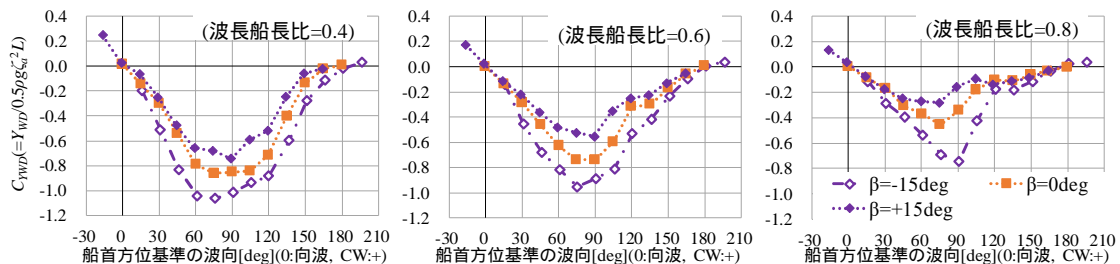


図1 直進時・斜航時における規則波中の定常波力横成分計測結果無次元値(フルード数=0.071)(波長船長比=0.4(左図), 0.6(中央図), 0.8(右図))

(2) 船体斜航時に働く定常波力が与える波浪中操縦運動推定への影響の解明

規則波中を出会い波向き一定となるように保針航行した状態の外航大型タンカーを対象として、定常波力に対する船体斜航影響の考慮の有無が、模型船ならびに実船の波浪中操縦運動推定へ与える影響を定量的に評価した。その結果の一例として、波長船長比=0.4、波高船長比=1/58の規則波中で、各波向きにおいて推定された定常状態の船速比・斜航角・舵角を、自由航走試験結果(FRMT)と比較して、図2に示す。本図より、模型船の舵効き状態では、定常波力の斜航影響を無視しても問題ないが、実船の舵効き状態では横波付近での当舵の絶対値を過大推定することが確認できる。また、トルクリミットを考慮することで、更に主機の出力が小さくなることで、その推定誤差は大きくなること分かった。

(3) 斜航影響をより適切に考慮し得る定常波力の実用的計算法の構築

既存の計算法²⁾をベースとしながらも、短波長域を対象とした斜航影響をより適切に考慮し得る定常波力の実用的計算法を新たに構築した。本計算法による停止時・直進時・斜航時の定常波力(前後・左右・回頭の3成分)と(1)で取得した実験値を比較したものを、図3に示す。本図に示すように、構築した計算法で、短波長波中における定常波力の前進速度や斜航角による変化を大略表現できることが検証された。また、既存の計算法²⁾と比較して全体として定量的な推定精度が向上することが分かった。更に、構築した定常波力推定法に対して、停止時の推定誤差を基に定常波力前後成分を半実験的に修正することで、模型船だけでなく実船舵効き状態の波浪中保針航行状態を妥当に推定できることが明らかとなった(図4参照)。

今後は、幅広い波長域を対象とするために、船体の有限喫水影響ならびに船体動揺の影響による定常波力の変化を考慮できるように、構築した計算法を拡張・発展させて行く予定である。

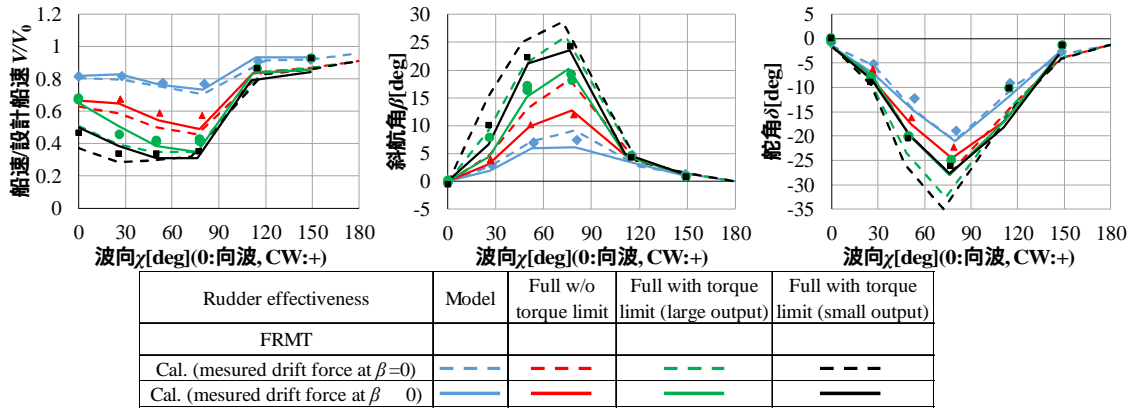
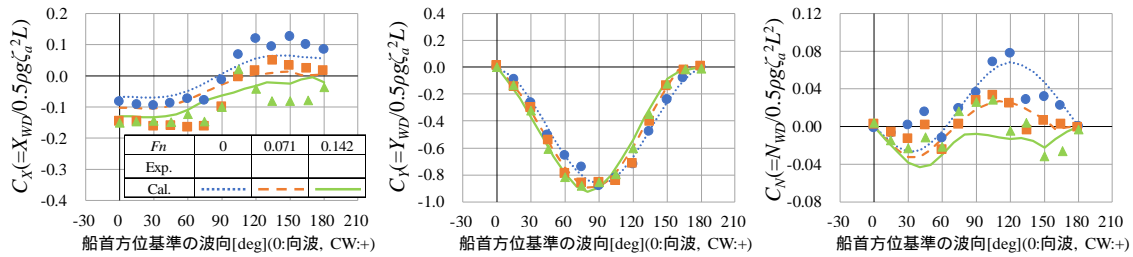
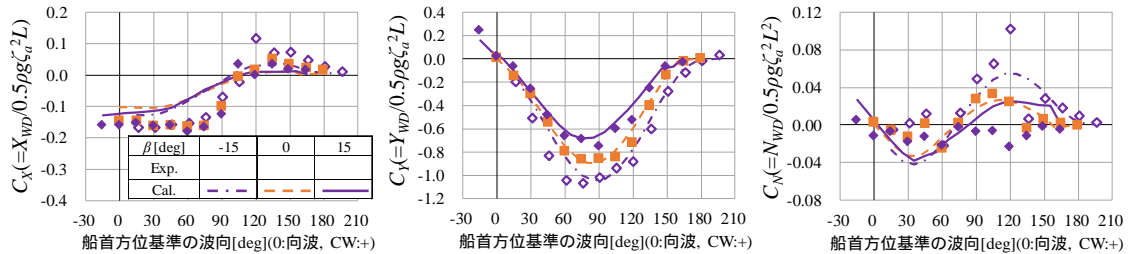


図2 定常波力の斜航影響の考慮の有無が及ぼす規則波中保針航行状態における船速比・斜航角・当舵の推定への影響



(a) 前進速度影響(斜航角=0deg)



(b) 斜航影響(フルード数=0.071)

図3 構築した定常波力推定法の検証(外航大型タンカー, 波長船長比=0.4)

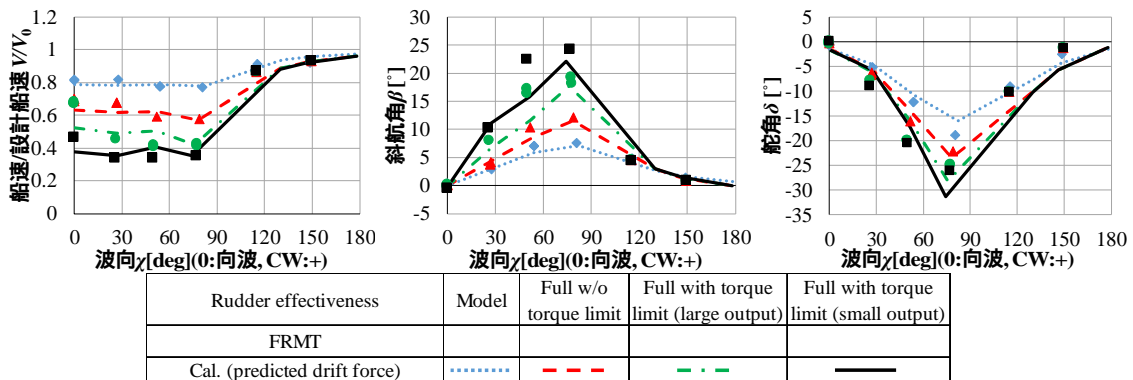


図4 波浪中保針航行状態の評価に対する構築した定常波力推定法の適用性の検証(外航大型タンカー, 波長船長比=0.4, 波高船長比=1/58)

<参考文献>

- 1) 平山次清ほか：肥大船の操縦性能に及ぼす短波長方向スペクトル波の影響の一考察, 日本造船学会論文集, 第176号, pp.129-136, 1994.
- 2) 上野道雄ほか：短波長波中を操縦運動する船に働く定常波力について, 日本造船学会論文集, 第188号, pp.163-172, 2000.
- 3) Suzuki R. et al.: Estimation of full-scale ship manoeuvring motions from free-running model test with consideration of the operational limit of an engine, Ocean Engineering, Vol. 172, pp.697-711, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ryosuke Suzuki, Yoshiaki Tsukada, and Michio Ueno	4. 巻 未定
2. 論文標題 Effects of steady wave forces on course-keeping manoeuvres of full- and model-scale ships moving obliquely in short waves	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SHIP TECHNOLOGY RESEARCH (SCHIFFSTECHNIK)	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/09377255.2022.2149094	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ryosuke Suzuki, Yoshiaki Tsukada, and Michio Ueno
2. 発表標題 Effects of steady wave forces for oblique motion on estimation of manoeuvres of full-scale ships
3. 学会等名 15th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木良介, 塚田吉昭, 上野道雄
2. 発表標題 短波長波中を斜航する船に働く定常波力推定法について
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会 令和4年 秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryosuke Suzuki and Michio Ueno
2. 発表標題 Prediction of Steady Wave Forces and Moment Acting on Ships Manoeuvring in Short Waves (Accepted)
3. 学会等名 The 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木良介
2. 発表標題 実船の操縦運動推定に対する波漂流力の影響に関する一考察
3. 学会等名 第20回研究発表会講演集(ポスターセッション)
4. 発表年 2020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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関