The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	A Unified Computation Method for Seakeeping-Maneuvering of a Ship in Waves Using Slender-Ship Theory and MMG Model
Author(s)	Wicaksono, Ardhana
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/73579
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name （Ardhana Wicaksono ）	
Title	A Unified Computation Method for Seakeeping-Maneuvering of a Ship in Waves Using Slender-Ship Theory and MMG Model （細長船理論とMMGモデルを用いた波浪中での船の耐航性と操縦運動の統合計算法に関する研究）

Abstract of Thesis

The maneuverability and propulsion performance of a full-scale ship is normally evaluated in a calm sea through the so-called sea trial. However, in actual seaways, ships must sail in ocean current, wind, and wave; among which the wave effect is the most complex and difficult to treat. Generally ships encounter oblique waves in which not only the added resistance but also the same kind of second-order steady sway force and yaw moment are exerted, which makes a ship drop its advance speed, drift from its desired course, or at least move with check helm and drift angle to attain equilibrium. Therefore, accurate prediction of wave-induced added resistance, steady sway force and yaw moment becomes important in considering the seakeeping and maneuvering of a ship in waves. In this thesis, a practical seakeeping-maneuvering analysis tool with high efficiency and reasonable accuracy is proposed through the study of slender-ship theory, resulting far-field formulation of wave-induced steady forces, modular mathematical model for calm-water maneuvering, and their coupling within two-time scale framework.

After describing the background and objective of the thesis in Chapter 1, a study is made in Chapter 2 on the wave-induced added resistance, steady sway force, and steady yaw moment using the calculation formula derived by Kashiwagi for the general forward-speed case. The Kochin function which is the complex amplitude of far-field disturbance wave generated by a ship is computed by means of both Enhanced Unified Theory (EUT) and New Strip Theory (NSM) to see the importance of bow-wave diffraction, three-dimensional and forward-speed effects in predicted results. Special attention is paid on the precise integration method to ensure the convergence in semi-infinite integrals appearing in the calculation formulae not only for the added resistance but also for the steady sway force and yaw moment.

In Chapter 3, a modular mathematical model is constructed to define the ship maneuvering motions in calm water, mainly based on the MMG (Mathematical Modelling Group) standard method. In order to keep the accuracy of the simulation model, captive model test results measured by Yasukawa with SR108 container ship model are used to define the derivatives of the force on the ship hull, and other maneuvering coefficients used for predicting the rudder and propeller forces are estimated by semi-empirical formulae.

In Chapter 4, a unified seakeeping and maneuvering model is developed by the concept of two-time scale method. At each time step, the wave-induced horizontal steady forces and yaw moment are estimated by the far-field method utilizing the Kochin function as a function of incident-wave frequency and amplitude, relative heading angle between incident wave and ship, and forward speed. These wave-induced steady forces and yaw moment are taken into account as external forces in the maneuvering-motion equations described in Chapter 3. Accordingly, the maneuvering-motion simulation provides the instantaneous forward speed of a ship and the wave-encounter angle to the seakeeping analysis. A comparison of simulated and measured results is made for the turning motion in waves of SR108 container ship model, which indicates practical reliability of the mathematical model proposed. At the same time it is noted that improvement in the estimation of wave-induced steady forces and yaw moment is crucial, particularly in short waves. Sensitivity study in this short-wave condition also implies that the steady sway force is the largest contributor to the phenomenon that the ship drifts to the incident-wave direction.

Chapter 5 describes conclusions and future work to be done for further improvement.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　Ardhana　Wicaksono　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教　授	柏　木　正
	副 査	教　授	梅 田　直 哉
	副 査	准教授	箕 浦　宗 彦

論文審査の結果の要旨

新造船の操縦性能や推進性能の計測・確認は、通常、外乱のない平水中でのいわゆる試運転解析によって行われる。しかしながら就航後の実海域では海流や風波浪が存在し、その中でも波浪の影響が船の実海域性能を考える上で最も複雑であり、それに関する理論計算も簡単ではない。波浪中では一般的に船は斜め波に遭遇するが、その時には船の推進方向に対する波浪中抵抗増加だけでなく、水平面内には波浪による時間平均値としての定常横力や定常回頭モーメントも働き、それらによって船の前進速度が低下し、さらに船は予定の航路から逸脱するか、あるいは当て舵や横流れ角を保った状態のまま航行するかを余儀なくされる。したがって、波浪による抵抗増加、定常横力、定常回頭モーメントを正確に推定することは、実海域での船舶の耐航・操縦・推進性能を評価する上で極めて重要である。

このような背景の下、本論文では、最新の細長船理論を用いて上述の波浪による定常流体力・モーメントを短い計算時間で且つ実用的に十分な精度で計算できる方法を提案している。さらにそれらの定常流体力・モーメントを船舶の操縦運動方程式の右辺に外力項として考慮し、ゆっくりした時間スケールで応答する船の操縦運動と比較的早い波との出会い周期で応答する波浪中船体運動とを間接的に連成させて計算する実用的なシミュレーション手法を提案し、それらの妥当性を水槽実験結果との比較を通じて検証している。

本論文の第１章では、研究背景や関連する過去の研究のレビューならびに研究目的を述べており、第２章では、波浪による時間平均値としての抵抗増加、定常横力、定常回頭モーメントの数値計算法とその妥当性が詳しく論じられている。定常流体力・モーメントの計算には、前進速度をもつ３次元任意形状の浮体に対する柏木の計算公式を用いているが、その中で重要な項は船体の攪乱によって造波された進行波の振幅と位相を表すコチン関数であり、それを細長船理論の外部解、すなわち静止水面内の船体中心線上に置かれたわき出し分布によって計算する方法を示している。その理論として、New Strip Method(NSM)と Enhanced Unified Theory(EUT)の２つを用いているが、EUT は NSM による計算に加え、船体横断面間の３次元干渉影響や船の前進速度影響、船首での波反射による影響などが考慮できる。また波浪定常流体力の計算公式における積分には、積分範囲の端点で被積分関数が無限大になる特異性や半無限積分が含まれるが、それらの正確な数値計算法について新しい方法を示している。特に半無限積分に関しては、従来、収束を早めるための人為的なパラメータを導入することが多かったが、本研究ではそのような曖昧なパラメータを用いることなく、定常横力・回頭モーメントに対しても数学的に厳密な取り扱い方を示している。計算結果の妥当性や NSM と EUT による結果の違いに関しては、バルク船模型（JASNAOE-BC084）を用いた安川らの実験値と比較・考察している。完全な一致が得られているとは言い難いが、実用的に十分な精度で計算されていること、ならびに EUT による結果が NSM による結果より実験値と一致していることなどが示されている。

第３章では、平水中での船舶操縦運動の計算法として従来から用いられている MMG (Mathematical Modelling Group) モデルについてまとめられている。その計算式には、いわゆる操縦流体力微係数が多く含まれているが、それらを理論計算によって求めることは実用的ではないので、船体に働く流体力の微係数は拘束模型試験による SR108 コンテナ

船に対する安川の計測結果を用い、舵やプロペラに働く流体力は半実験的な推定式を用いて求めている。それらによって平水中での船の旋回運動航跡は計測結果と良く一致することが示されている。

第４章では、第２章で示した波浪による抵抗増加、定常横力、定常回頭モーメントの計算値を第３章で示した船の操縦運動方程式の右辺に外力の一部として加え、ゆっくりとした時間スケールでの操縦運動と比較的早い入射波との出会い周期で応答する波浪中船体運動とを間接的に連成させて計算する手法を示している。具体的には、波浪定常流体力・モーメントは耐航性理論によって計算されるが、船の操縦運動によって船速、入射波との出会い角、出会い周波数が時々刻々変化するので、数値シミュレーションの時間ステップごとに波浪定常流体力・モーメントを計算し、その影響を考慮して次の時間ステップでの操縦運動による船の位置や速度を計算するという実用計算法が示されている。その妥当性は、SR108 コンテナ船模型を用いた安川による水槽実験結果との比較を通じて論じられている。その結果、波長・船長比が 0.5 の短波長では波浪による定常横力の影響が相対的に大きく、旋回運動航跡の計測値と一致させるためには短波長域での定常横力の推定精度の向上が重要であることが示されている。一方、波長・船長比が 1.0 になると、波浪定常流体力の相対的な重要性が弱まるため旋回運動航跡が波によってドリフトする現象は小さくなり、計測値と数値シミュレーション結果の一致度は良くなっている。最後に第５章では、本論文のまとめを述べている。

本研究によって得られた主要な研究成果を列記すると、以下のとおりである。

(1) 波浪による抵抗増加、定常横力、定常回頭モーメントをポテンシャル理論ならびに細長船理論の枠内で厳密に計算する数値計算法を確立し、その計算結果が実験結果と実用的な精度で一致することを示している。特に、計算公式における半無限積分に対して、収束を早めるための人為的なパラメータを導入することなく計算することができる半解析的な手法を定常横力、定常回頭モーメントに対して示したことは特筆すべきことである。

(2) 波浪中での船の操縦運動シミュレーションにおいて、時々刻々の船速および入射波との出会い角の変化を考慮した波浪定常流体力の計算を最新の細長船理論である EUT を用いて行い、その流体力の影響を操縦運動の計算に考慮する実用的な連成計算手法とその妥当性について論じている。

(3) 短波長域においては相対的に波浪定常横力の影響が大きいが、旋回運動航跡における計測値との違いがどのタイミングから発達し始めるのかを流体力、船速、旋回角などの時刻歴を詳しく分析することによって見出し、今後のシミュレーション計算手法の改良のために有益な指針を示している。

以上のように、本論文は、最新の細長船理論を用いた波浪による抵抗増加、定常横力、定常回頭モーメントの計算法ならびに波浪中での船舶操縦運動の実用的計算法を提案し、計算結果の妥当性ならびに今後行うべき研究の方向性を示したものであり、耐航性理論と操縦性理論を統合した波浪中での船舶流体力学に関する研究の発展に寄与する成果であると評価される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。