

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14891

研究課題名(和文) 波浪中を動揺しながら旋回運動する船の運動履歴影響に関する研究

研究課題名(英文) A study on memory effect for ships manoeuvring and oscillating in waves

研究代表者

鈴木 良介 (Ryosuke, Suzuki)

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・研究員

研究者番号：20711328

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、船体運動に対する流体による反力の過去の履歴影響(メモリー影響)に着目しながら、波浪中を航行する船の操縦運動を含む6自由度船体運動を適切に推定しうる計算法を開発した。新たに実施した自由航走模型試験との比較から、メモリー影響を無視して流体反力のある1つの周波数で代表することは必ずしも適切でないこと、従来の耐航性能分野で検証されている線形理論におけるインパルス応答関数の畳み込み積分によるメモリー影響関数を考慮することで、船体動揺や波による航跡の漂流ならびに平均的な船速低下等の推定精度が改善されることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの研究は、その簡易性から、波浪中の操縦運動や船体動揺に対する流体による反力のある1つの周波数で代表して、準定常的に扱うことがほとんどであった。本研究の様に、実験との比較からその問題点ならびに、流体反力の過去の履歴の影響度合いを具体的・定量的に示された例はほとんどない。また、開発された波浪中操縦運動計算法は、波浪中において船が備えるべき操縦性能を評価するための基礎的手法になりえる。以上により、本研究で得られた成果は意義があり、重要と言える。

研究成果の概要(英文)：The researcher developed a numerical simulation method to estimate 6 degrees-of-freedom (DOF) motion for ships manoeuvring in waves by focusing on the influence of past ship motion: memory effect, on hydrodynamic forces as the reaction of the ship motion. The researcher clarified the following points by comparison with free-running model tests conducted in this study:

- 1.The neglect of the memory effect by approximating the hydrodynamic forces with those at a certain frequency is possible to deteriorate estimation accuracy of ship motion.
- 2.Memory effect functions represented by convolution integration of impulse response functions based on a linear theory, which is common in seakeeping problems, can improve the estimation of ship motion such as wave-induced oscillation, drifting of trajectory and the time-averaged value of speed decrease by waves .

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：波浪中操縦運動 6自由度船体運動

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2013 年から適用された波風のある実海域を対象とした船からの温室効果ガス排出規制 (EEDI 規制) に伴い、荒天下での操縦性能を確保するために必要な最低主機出力の評価が現在の国際的な技術課題となっている。そのため、従来の操縦性基準が対象としている平水中だけでなく、波浪中 (特に大波高) における船の操縦性能と動揺特性に関して理論に基づいた推定が今後より重要になりつつある。

波浪中を操縦運動する船の 6 自由度運動推定に関する研究は、近年増加傾向にある (例えば 1), 2)。それらのほとんどでは、その簡易性から、波浪中の操縦運動や船体動揺に対する流体による反力のある 1 つの周波数で代表して、準定常的に扱うことがほとんどであった。しかし、実際の海象に近い不規則波や大波高中での操縦性能や船体運動を計算する場合には、旋回航跡など波浪中船体運動を全体的傾向として捉えるだけでなく、個々の波に対する船体応答の推定も不可欠である。そのため、この準定常仮定は十分ではなく、船体運動による流体反力の履歴影響 (メモリー影響) を適切に考慮することが必要と考えられる。

以上により、波浪中を操縦運動する船の 6 自由度船体運動計算法を確立するためには、船体運動のメモリー影響の取り扱いに関する精力的な研究が望まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的を次の通り設定する。

- (1) 有限振幅波中を旋回運動する船の操縦運動と船体動揺に対する運動履歴影響を適切に考慮しうる履歴影響関数 (メモリー影響関数) の構築。
- (2) 個々の波に対する船体応答の推定が必要となる過渡的な非定常波浪場を航行する船の 6 自由度船体運動を適切に評価しうる計算法の開発。
- (3) 波浪中において船が備えるべき操縦性能の評価。

3. 研究の方法

本研究では、第一に従来より用いられてきた船体運動に基づく流体反力の準定常仮定の適用限界について、数値計算と模型実験の比較から検証する。本検証は、タンカー船型とコンテナ船型を代表として、複数の船を対象に行う。数値計算には研究実施者が過去に開発した波浪中 6 自由度船体運動解析プログラム³⁾を活用する。また、模型実験は、研究実施者の所属する機関の試験水槽で自由航走試験として行う。

第二に、操縦運動時の船体運動に基づく流体反力の履歴影響を考慮可能な実用的メモリー影響関数の構築を行う。メモリー影響関数の導出は、Cummins⁴⁾の提案した線形理論におけるインパルス応答関数の畳込積分を基にする。また、提案したメモリー影響関数を用いて数値計算によって、保針操舵や旋回運動時の時間平均的な操縦運動や波浪動揺の推定精度に及ぼす影響を調査する。

第三に、提案したメモリー影響関数を用いて数値計算によって、種々の波浪中で船の操縦性能指標がどのように変化するかを船体動揺と関連付けて調査する。

4. 研究成果

- (1) 波浪中操縦運動時の 6 自由度船体運動計算法の開発

① 船体運動に基づく流体反力の準定常仮定の適用限界

上記計算プログラムを用いた数値計算により、前後・左右・回頭方向における船体運動に基づく流体反力の慣性力成分と減衰成分を周波数 0 の値で代表した場合、船体動揺の大きくなる波条件で操縦運動時の 6 自由度船体運動の推定精度が低下する可能性があることを明らかにした。一例として、タンカー模型に対する規則波 (操舵開始時正面向波、波長船長比 $\lambda/L=1.0$ 、波高船長比 $2\xi_a/L=1/50$) 中 35 度旋回時の計算結果を図 1, 2 に青線で示す。実験結果 (橙色点ならびに線) と比較して旋回航跡ならびにその漂流量、回頭角速度の波による高周波数変動成分が過大評価されていることが確認できる。

② 波浪中操縦運動時のメモリー影響関数の構築

船速・針路一定・非粘性を仮定した従来の耐航性能分野で検証されている Cummins⁴⁾の提案した線形理論におけるインパルス応答関数の畳込積分を基に、波浪動揺に基づく流体反力の高周波数成分に対する波浪中操縦運動時の左右・回頭方向のメモリー影響関数を構築した。なお、前後・左右・回頭方向の粘性に基づく低周波数の流体反力は、周波数 0 の値として代表している。これを上記計算プログラムに組み込んだ数値計

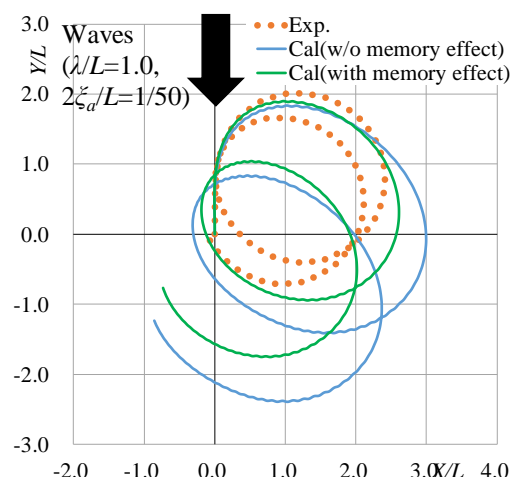


図 1 規則波中 35 度旋回時の航跡 (タンカー)

算により、流体反力の準定常仮定の準定常仮定の限界と考えられる条件で、旋回航跡・回頭運動の推定精度が改善され、その他の船体運動の時系列も大略推定可能であることが明らかとなった(図1、2の緑線参照)。また、その他の波条件や、コンテナ船型に対しても本計算法で大略旋回時の船体運動を推定可能であることを明らかにした(図3参照)。

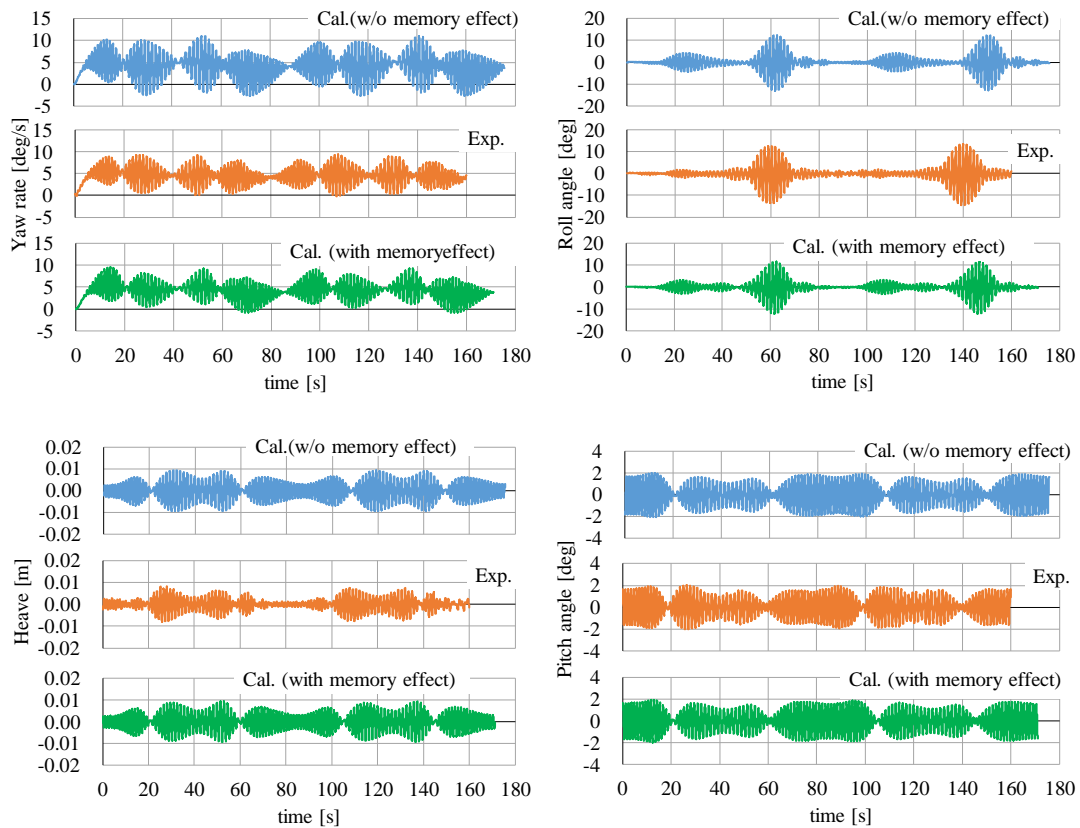


図2 規則波中(操舵開始時正面向波、波長船長比 $\lambda/L=1.0$ 、波高船長比 $2\zeta_a/L=1/50$) 35度旋回時の船体運動の時系列(タンカー)

更に、本計算法で旋回運動だけでなく、規則波中の保針航行時の平均的な船速低下や針路保持に必要な当て舵量、高周波数の6自由度船体動揺振幅も大略推定可能であることを明らかにした(図4参照)。

これまでの研究は、その簡易性

から、波浪中の操縦運動や船体動揺に対する流体による反力がある1つの周波数で代表して、準定常的に扱うことがほとんどであった。そのため、本研究により、具体的・定量的に明らかとなったその問題点ならびに、流体反力の過去の履歴の影響度合いに関する知見は大変貴重である。

今後の課題としては、非線形のモデルにも適用可能なメモリー影響関数への拡張、より実際の海象に近い不規則波中での計算ならびにその検証が挙げられる。

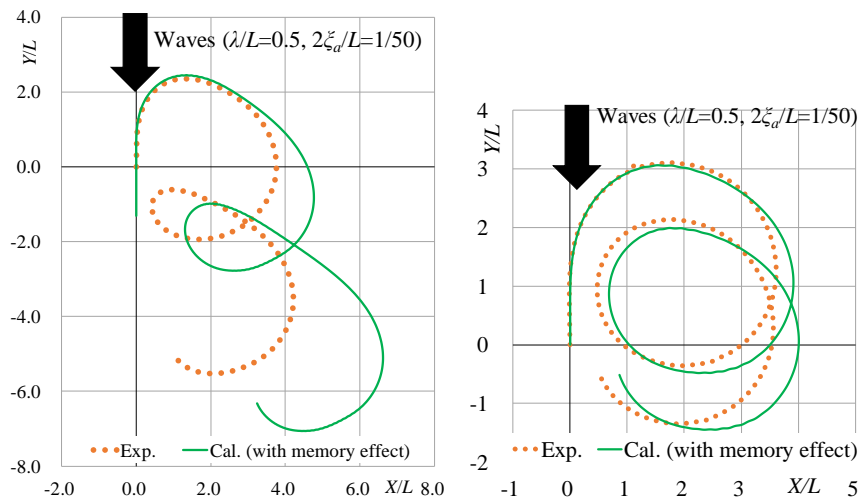


図3 規則波中 35度旋回時の航跡(左図:タンカー、右図:コンテナ船)

(2) 波浪中において船が備えるべき操縦性能の評価

本研究で開発したメモリー影響を含む波浪中操縦運動時の6自由度船体運動計算法を用いて、タンカーを対象に旋回時の操縦性能指標(縦距、旋回圏)の波浪影響と旋回1周中の波浪動揺の最大値を関連付けて明らかにした(図5参照)。

本計算は一例であるが、提案した計算法は、波浪中において船が備えるべき操縦性能を船体動揺と関連付けて評価する基礎的手法になりえるため、得られた成果は意義があり、重要と言える。今後の課題としては、上記拡張をした本計算法を活用して、実海域中で船が備えるべき操縦性能を具体的に定量化していく点が挙げられる。

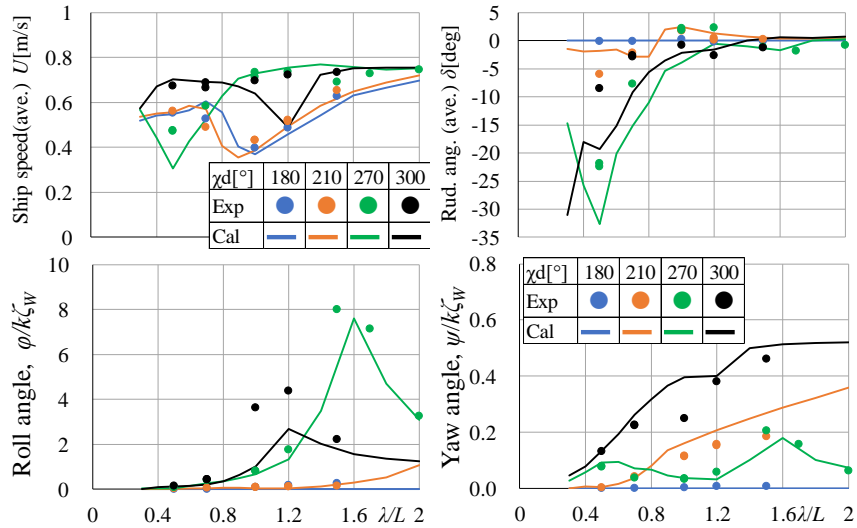


図4 規則波中(波高船長比 $2\zeta_s=1/50$)保針航行時の船速・当て舵の平均値ならびに横揺れ・船首揺れの片振幅(タンカー)

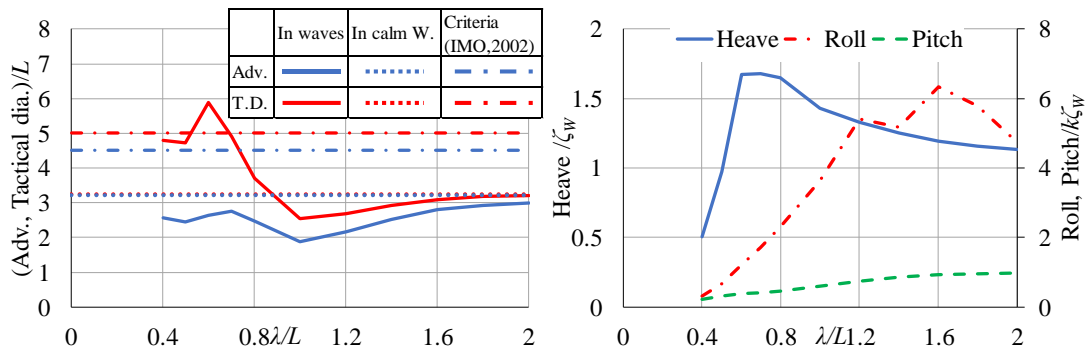


図5 タンカーの旋回時の操縦性能指標(縦距、旋回圏)の波浪影響(左図)と波浪動揺の最大値(右図)

<参考文献>

- 1) 安川宏紀：旋回する船の波浪動揺シミュレーション、日本船舶海洋工学会論文集 第4号、pp.117-126、2006.
- 2) 西本浩二ほか：小型船の大波高中動揺・操縦運動時間ベース計算法の一提案、日本造船学会論文集 第195号、pp.203-210、2004.
- 3) 鈴木良介ほか：規則波中を旋回する船の6自由度船体運動計算、日本船舶海洋工学会講演会論文集 第28号、pp.497-498、2019.
- 4) W.E.Cummins：The impulse response function and ship motions, Hydromechanics laboratory research and development report report1661, pp.1-9, 1962.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0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 鈴木良介、上野道雄、塚田吉昭	4. 巻 第19巻 別冊
2. 論文標題 操縦性と対候性の数学モデルを統合した運動方程式による波浪中旋回時の船体運動推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 海上技術安全研究所報告 第19回研究発表会 講演集	6. 最初と最後の頁 94-95
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 鈴木良介、上野道雄、塚田吉昭	4. 巻 第28号
2. 論文標題 規則波中を旋回する船の6自由度船体運動計算	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 497-498
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 鈴木良介、上野道雄、塚田吉昭	4. 巻 第30号
2. 論文標題 規則波中保針航時の6自由度船体運動計算（掲載確定）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 -
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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 鈴木良介、上野道雄、塚田吉昭
2. 発表標題 規則波中を旋回する船の波浪動揺と操縦運動推定計算法の一提案
3. 学会等名 第12回 推進運動性能研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryosuke Suzuki, Michio Ueno, Yoshiaki Tsukada
2. 発表標題 Prediction of Manoeuvring Motion in waves for KCS Using a Unified Method (発表確定)
3. 学会等名 SIMMAN2020 workshop (国際学会)
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
--	---------------------------	-----------------------	----