

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360359

研究課題名(和文) 船体に作用する流体力に及ぼす側壁影響の系統的实验に関する研究

研究課題名(英文) Systematic Experiment of the Influence of Bank Effect on Hydrodynamic Forces Acting on a Ship Hull

研究代表者

古川 芳孝 (Furukawa, Yoshitaka)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90253492

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：コンテナ船型のKCSとタンカー船型のKVLCC2の模型船を対象として、側壁近傍の航行を想定した拘束模型試験を実施し、船体流体力(横力および回頭モーメント)の計測を行うとともに、水深、水路幅、斜航角、船体と側壁との距離が船体流体力の変化に及ぼす影響を明らかにした。また、船体流体力の計測結果に基づき、側壁近傍航行時の船体流体力の変化を近似計算するための数学モデルを構築した。さらに、両船が側壁近傍を航行する場合の自由航走模型試験を実施し、近似計算式を用いて船体流体力の計算を行ったシミュレーション計算結果と比較することにより、その妥当性の確認を行った。

研究成果の概要(英文)：Using the model ships of KCS (container vessel) and KVLCC2 (tanker), captive model tests were carried out to measure hydrodynamic forces (lateral force and yawing moment) acting on hulls when the ships run in the proximity of a bank wall. The influence of water depth, the width of narrow waterway, drift angle and the distance between a ship and a bank wall were clarified. Based on the measured hydrodynamic forces, approximate formulae for estimating lateral force and yawing moment with the above mentioned parameters were proposed. Furthermore free running model tests were performed to compare with simulation results, then simulation results were validated by comparing with the measured trajectories and other parameters.

研究分野：船舶運動制御工学

キーワード：操縦運動 操縦性 船体流体力 干渉力 側壁影響 狭水路 制限水路

1. 研究開始当初の背景

IMO (国際海事機関) において船舶の操縦性基準 MSC.137 (76) が 2002 年に採択されて以来、船舶の設計段階において、深水域における操縦性能について十分な検討が行われるようになった。ところが、船舶の実際の運航を考えた場合、その航行航路は深水域ばかりではなく、港湾や運河等の浅水域や狭水路等の制限水域も含まれる。船舶の航行の安全性を総合的に確保するためには、これらの海域を航行する場合の操縦性能を十分に把握しておくことが極めて重要である。

一般に、航行海域の水深が浅くなるにつれて船舶の操縦性能が大きく変化することはよく知られており、拘束模型試験による船体に作用する流体力 (船体流体力) の計測、あるいは自由航走模型試験による操縦運動の計測の両面から多くの研究が行われている。研究代表者らは、これまで水深の違いによる船体流体力の変化に着目した研究を行っており、操縦流体力微係数に対する水深変化の影響を推定するための近似式の提案を行っている。

一方、狭水路を航行する船舶に対しては、水路側壁と船体の間に生じる流体力学的な干渉の影響により、側壁からの吸引力や回頭モーメントが作用することが知られており、実験的・理論的な研究がいくつか行われている。研究代表者らも、タンカーの模型船を対象として、側壁近傍を航行する際に船体に作用する流体力の計測結果に基づいて、側壁の影響による船体流体力の変化の推定式を提案している。しかしながら、この近似式はわずか 1 隻の模型船を対象とした実験データに基づいて導出されたものであるため、他の船型の船舶への適用については検討の余地が残されている。他の研究者による研究論文においても、特定の船舶を対象として側壁から受ける干渉力について論じたものは多々あるが、複数船に対する実験データを系統的に取り扱ったものは見られない。

運河を使った海運が盛んなヨーロッパはもとより、近年の中国における急速な経済の発展により、中国内陸部の物資の輸送手段として運河を航行する船舶の重要性が増してきている。また、パナマ運河の拡張工事が完了すれば、同運河を通過する船舶数が一段と増加することが予想され、狭水路における船舶の操縦運動特性を把握しておくことの重要性はさらに増すものと考えられることから、本研究課題を着想するに至った。

2. 研究の目的

研究代表者らは、前項で述べたタンカーに加えて、ばら積み貨物船 (Ship A) および石炭運搬船 (Ship B) の模型船を対象として、九州大学船舶運動性能試験水槽内に狭水路を設置し、側壁の近傍を航行する際に船体に作用する流体力の計測試験を実施している。ただし、これらの模型船はいずれも方形係数

C_b の値が 0.8 を超える肥大船であり、船長船幅比 L/B および船幅喫水比 B/d についても、それほど極端な差はない。

しかしながら、研究代表者らが前述の 3 隻とは異なる 7 隻の模型船を対象として水深による船体流体力の変化について検討を行った結果、 C_b の値が 0.8 を超える肥大船については、水深による線形流体力微係数の変化が同様な傾向を示しているのに対し、 C_b が約 0.6 ~ 0.75 の範囲の値を取る瘦せ型の船型については、肥大船とは異なる傾向を示すことが分かっている。従って、側壁の存在が近傍を航行する船舶に与える影響を正確に評価するためには、 C_b の値 0.8 を超える船型に対する実験データだけでは不十分であると考えられる。

以上より、本研究課題においては、Ship A, Ship B とは異なる 2 隻の模型船を対象として、側壁近傍を航行する場合を想定した拘束模型試験を実施することにより、船体流体力の計測データの充実を図るとともに、船型、水深、水路幅、斜航角、側壁との距離等の違いが船体流体力の変化に及ぼす影響を明らかにするとともに、これらの影響を考慮して、側壁近傍航行時における船体流体力の変化を簡便に表現可能な数学モデルを構築することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 表 1 に示す瘦せ型船型の KCS (コンテナ船型) と肥大船型の KVLCC2 (タンカー船型) の模型船を対象として、拘束模型試験 (旋回試験, 斜航試験) を実施し、船体に作用する流体力 (横力 Y_H , 回頭モーメント N_H) の計測を行う。

表 1 供試模型船の主要目

	KCS	KVLCC2
船種	コンテナ船	タンカー
船長 L (m)	2.5	2.5
船幅 B (m)	0.350	0.453
喫水 d (m)	0.117	0.162
方形係数 C_b	0.651	0.810

(2) 上記の 2 隻の模型船を対象として、狭水路において側壁近傍を航行する際の船体に作用する横力 Y_H および回頭モーメント N_H の計測を行う。なお、狭水路を船舶が航行する場合、水路幅の制限により回頭運動は緩やかになり、生じる旋回角速度は極めて小さな値であるものと考えられるため、斜航試験のみを実施する。実験パラメータとしては、図 1 に示す座標系において、水深 H , 水路幅 W , 斜航角 β , 船体中央と側壁間の距離 s を設定する。

(3) 「研究目的」で述べた Ship A, Ship B および KCS, KVLCC2 の模型船が側壁近傍を航行する際に船体に作用する流体力の計測データの再解析を行う。このとき、(1) に示

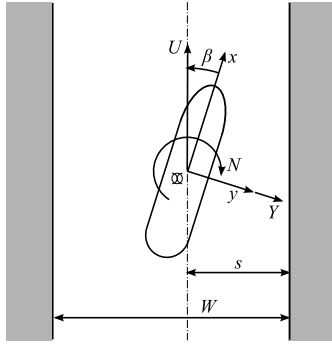


図1 座標系

したパラメータの違いによる船体流体力の変化に着目し、各パラメータが船体流体力に及ぼす影響の特徴を明らかにするとともに、側壁近傍航行時の船舶の船体に作用する流体力の変化を簡易に表現するための数学モデルの構築を行う。

(4) 本研究の供試船以外の船型にも適用可能な数学モデルの構築を目的として、Ship A, Ship B および KCS, KVLCC2 の船体流体力の計測結果を計算精度の検証用データとして利用することにより、理論計算に基づく側壁からの干渉力計算プログラムの開発を行う。

(5) 操縦運動シミュレーション計算の検証用データを得ることを目的として、KCS と KVLCC2 を供試船として、側壁近傍の航行を想定した自由航走模型試験を実施する。さらに、(3) で開発した側壁影響による流体力の変化を簡易に表現するための数学モデルを用いて、船舶が側壁近傍を航行する場合の操縦運動のシミュレーション計算を実施し、自由航走模型試験の結果と比較することにより、流体力変化の簡易推定モデルの妥当性の検証を行う。

4. 研究成果

(1) 表 1 に示した瘦せ型船型の KCS (コンテナ船型) と肥大船型の KVLCC2 (タンカー船型) の模型船を対象として、旋回試験と斜航試験を実施し、船体に作用する横力 Y_H および回頭モーメント N_H の計測を行った。水深 H については水深喫水比 $H/d = 1.2, 1.5, 2.0, 6.0$ の 4 状態とし、計測時の船速 U は 0.3m/s (Froude 数 $F_n = 0.061$) と設定した。斜航角 β は $-10.0^\circ \sim 10.0^\circ$ の範囲を 2.5° 刻みとし、加えて $15.0^\circ, 20.0^\circ, 30.0^\circ$ についても計測を行った。旋回角速度の無次元値 $r' (= rL/U)$ については、 $0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6$ とした。また、計測した流体力については無次元化した上で次式に従って解析を行い、操縦流体力微係数を求めた。

$$\left. \begin{aligned} Y'_H &= Y'_\beta \beta + (Y'_r - m' - m'_x) r' + Y'_{\beta\beta} \beta |\beta| \\ &\quad + Y'_{rr} r' |r'| + (Y'_{\beta r} \beta + Y'_{r\beta} r') \beta r' \\ N'_H &= N'_\beta \beta + (N'_r - x'_G m') r' + N'_{\beta\beta} \beta |\beta| \\ &\quad + N'_{rr} r' |r'| + (N'_{\beta r} \beta + N'_{r\beta} r') \beta r' \end{aligned} \right\}$$

さらに、得られた線形微係数を用いて針路安定性指数を計算した結果、両船とも深水域では針路不安定であるが、KCS については $H/d = 2.0$, KVLCC2 については $H/d = 1.2$ より水深が浅くなると、針路安定となる特性を持つことを明らかにした。

(2) KCS と KVLCC2 の模型船を対象として、狭水路において側壁近傍を航行する際に船体に作用する横力 Y_H および回頭モーメント N_H の計測を行った。水深喫水比 H/d は $1.2, 1.5, 2.0$ の 3 状態 ($H/d = 2.0$ は KCS のみ) とし、斜航角 β を $-10.0^\circ \sim 10.0^\circ$ の範囲を 2.5° 刻みで変化させた。水路幅 W については、水路幅船長比 $W/L = 0.6, 1.0, 7.0$ の 3 状態とし、船体中央と側壁との距離 s を水路幅 W に応じて適宜設定した。計測された横力の無次元値 Y'_H と回頭モーメントの無次元値 N'_H の一例として、図 2 に $H/d = 1.2, W/L = 0.6$ の場合における KCS の結果を示す。船体と側壁との距離が近づくにつれて、横力 Y_H については斜航角 $\beta > 0^\circ$ の範囲で吸引力が大きくなる傾向が見られる。また、回頭モーメント N_H については、斜航角 $\beta < 0^\circ$ の範囲で船首を側壁から遠ざける方向に大きくなる傾向があることが分かる。この原因としては、船体の斜航により船首部あるいは船尾部が側壁に近

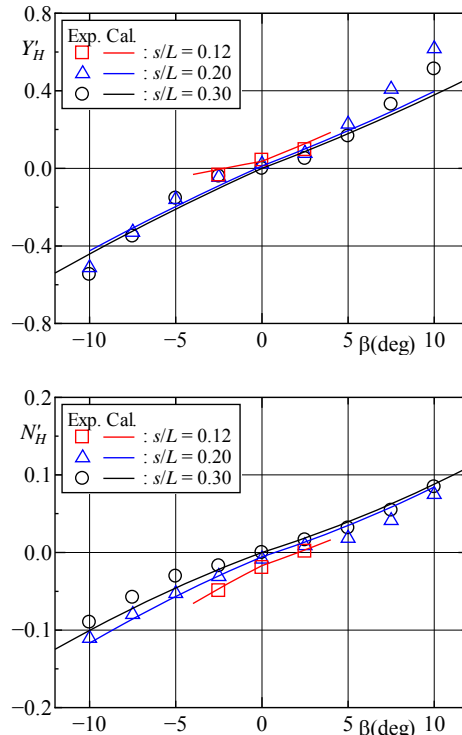


図2 KCS の船体に作用する流体力 ($H/d = 1.2, W/L = 0.6$)

づいた結果、船体と側壁間の流れの流速が増加し、側壁からの吸引力や回頭モーメントが増加したものと考えられる。KVLCC2についても同様な結果が得られたが、 $\beta = 0^\circ$ における吸引力や回頭モーメントの大きさについては、船型によりその特性が異なる。

(3) KCS, KVLCC2に加えて、「研究目的」で述べた Ship A, Ship B が側壁近傍を航行する際に船体に作用する流体力の計測データの再解析を行い、(2)に示したパラメータに着目し、各パラメータの変化が船体に作用する流体力に及ぼす影響について検討を行った。検討結果の一例として、船体中央と側壁間の距離 s による横力の無次元値 Y_H' と回頭モーメントの無次元値 N_H' の変化を図3に示す。船体が側壁に近づくにつれて流体力の絶対値が大きくなる傾向はどの船型も同様であるが、KVLCC2は横力(吸引力)の増加が大きい反面、回頭モーメントの変化は比較的小さい。一方、KCSはKVLCC2と比較して横力(吸引力)の増加は小さいが、回頭モーメントは大きく変化している。さらに、Ship BはKCSよりもさらに大きな回頭モーメントの変化を示しており、船型による差が顕著に現れている。さらに、4隻の模型船を対象として計測された船体流体力を側壁が存在しない場合の流体力の成分 (Y_{H0} , N_{H0}) と側壁影響を表す流体力の成分 (Y_E , N_E) に分離し、斜航角 β 、水深喫水比 H/d 、水路幅 W 、船体中央と側壁との距離 s をパラメータとして、次式に示す干渉力成分を近似計算するための数学モデルを構築した。

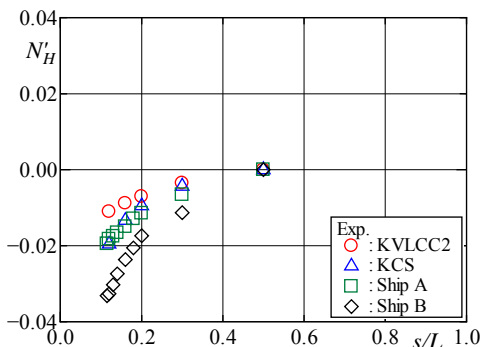
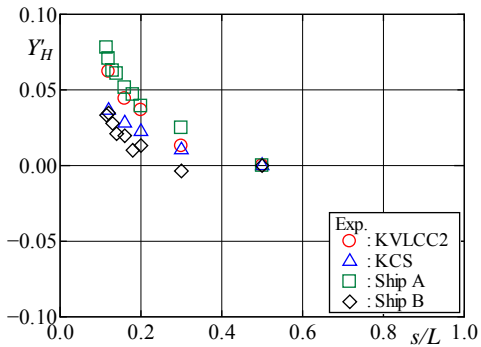


図3 s/L による船体に作用する流体力の変化 ($H/d=1.2$, $W/L=0.6$, $\beta=0.0^\circ$)

$$Y'_E = \begin{cases} (C_{Y0}P + C_{Y1})Q \\ \quad + (C_{Y2}R^2 + C_{Y3})\left(\frac{W}{s}\right)^2 \cos\left(C_{Y4}\frac{s}{L}\right)Y'_{\beta} & \text{for } \beta < 0^\circ, \\ (C_{Y0}P + C_{Y1})Q + (C_{Y5}R + C_{Y6})\left(\frac{W}{s}\right)Y'_{\beta} & \text{for } \beta \geq 0^\circ, \end{cases}$$

$$N'_E = \begin{cases} C_{N0}PQ + (C_{N1}R + C_{N2})\left(\frac{W}{s} - \frac{1}{C_{N3}R^2 + C_{N4}}\right)N'_{\beta} & \text{for } \beta < 0^\circ, \\ C_{N0}PQ + (C_{N5}R + C_{N6})\left(\frac{W}{s}\right)N'_{\beta} & \text{for } \beta \geq 0^\circ, \end{cases}$$

$$P = \frac{1}{H/d-1} - \frac{1}{s}, \quad Q = \frac{L}{s} - \frac{2L}{W}, \quad R = \frac{L}{W} - \frac{1}{2}.$$

ここで、 $C_{Y0} \sim C_{N6}$ は実験定数である。なお、近似計算式の構築に際しては、水深喫水比 $H/d > 6$ の場合を深水域、水路幅船長比 $W/L > 2$ の場合を側壁が片側のみの水路とみなしているため、上記の近似計算式の適用可能範囲は $H/d \leq 6$ および $W/L \leq 2$ となる。この近似計算式を使って KCS について斜航角 β に対する横力の無次元値 Y_H' と回頭モーメントの無次元値 N_H' を計算した結果を図2中に実線で示している。斜航角 β の変化に伴う Y_H' と N_H' の傾きの傾向は表現されているものの、実験結果に現れているような流体力が原点を中心に逆S字状に変化する様子を表現するまでには至っていない。従って、近似計算式による流体力の推定精度向上のためには、船幅 B や方形係数 C_b 等を考慮した検討が必要である。

(4) 本研究の供試船以外の船型にも適用可能な数学モデルの構築を目的として、簡便なパネル法の一つである SQCM 法を適用して船体が側壁から受ける干渉力を推定する計算プログラムの開発を行い、船体が側壁から受ける干渉力の計算を行った。その結果、斜航角による干渉力の定性的な変化の傾向は表現可能であることを確認したが、実験結果と推定結果には定量的な差が生じており、推定精度向上のために計算プログラムのさらなる改良が必要である。

(5) 操縦運動シミュレーション計算の検証用データを得ることを目的として、KCS と KVLCC2 を供試船として、側壁近傍の航行を想定した自由航走模型試験を実施した。舵角を中立に保った KVLCC2 の模型船を対象として、 $H/d=1.2$, $W/L=7.0$, $s/L=0.2 \sim 0.6$

(0.1 刻み) の条件下で計測を行った航跡を図4中に破線で示す。模型船の初期位置が側壁に近づく (s/L の値が小さくなる) に連れて、船首を側壁と反対側に向ける方向の回頭モーメントが大きくなることから、その影響によって航跡が側壁から遠ざかる方向へ湾曲していることが分かる。さらに図4中には、

(3) に示した近似計算式を用いて側壁近傍

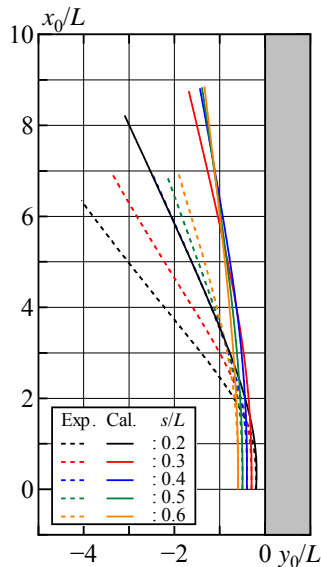


図 4 側壁近傍における自由航走模型試験結果とシミュレーション計算結果の比較の一例 ($H/d = 1.2$, $W/L = 2.0$)

を航行する船舶の船体に作用する流体力の計算を行い、船舶が側壁近傍を航行する場合の操縦運動のシミュレーション計算を行った結果を実線で示している。航跡が湾曲する方向や、側壁からの距離 s/L と航跡の横方向の変位量の相対的な関係は一致しているものの、その絶対量はシミュレーション計算の方が小さく推定する結果となっている。この原因としては、プロペラ推力ならびにおよび舵力に対する浅水影響の考慮が不十分であったことが考えられるため、プロペラ推力および舵力に対する浅水影響についての検討が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- ① 茨木 洋, 名切恭昭, 古川芳孝, Experimental Study on Bank Suction, Proc. of International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability (MARSIM 2012), 査読なし, 2012, 10pp.
- ② 茨木 洋, 名切恭昭, 古川芳孝, 拘束模型試験による船体に作用する流体力への浅水影響に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 査読なし, 第 18 号, 2013, 355-358,
- ③ 茨木 洋, 名切恭昭, 古川芳孝, 拘束模型試験による船体に作用する流体力への狭水路影響に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 査読なし, 第 19 号, 2014, 233-236

〔学会発表〕(計 3 件)

- ① 茨木 洋, 名切恭昭, 古川芳孝, Experimental Study on Bank Suction,

International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability (MARSIM 2012), Singapore, 2012

- ② 茨木 洋, 名切恭昭, 古川芳孝, 拘束模型試験による船体に作用する流体力への浅水影響に関する研究, 平成 25 年日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2013
- ③ 茨木 洋, 名切恭昭, 古川芳孝, 拘束模型試験による船体に作用する流体力への狭水路影響に関する研究, 平成 26 年日本船舶海洋工学会春季講演会, 2014

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

該当なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

古川 芳孝 (FURUKAWA, Yoshitaka)
九州大学大学院工学研究院・教授
研究者番号：90253492

(2)研究分担者

茨木 洋 (IBARAGI, Hiroshi)
九州大学大学院工学研究院・助教
研究者番号：20274508

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

名切 恭昭 (NAKIRI, Yasuaki)
九州大学大学院工学府・技術職員