

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560833

研究課題名（和文） 三次元離散渦法を適用した斜航船体に作用する流体力推定法の開発に関する研究

研究課題名（英文） Development of prediction method for hydrodynamic forces acting on a drifting ship using three-dimensional discrete vortex method

研究代表者

古川 芳孝（FURUKAWA YOSHITAKA）

九州大学・工学研究院・海洋システム工学部門

研究者番号：90253492

研究成果の概要（和文）：

船体から流出する渦要素を渦シートおよび渦ブロブによって表現する三次元離散渦法を適用し、斜航する船体に作用する流体力を推定する手法の開発を行った。船体周りに設定する渦層の高さや流れ場に導入する渦ブロブの初期渦核半径、ならびに渦シートの最大循環等の計算パラメータが流体力の推定精度に及ぼす影響を明らかにするとともに、斜航角の変化に対する流体力の変化の定性的な傾向を推定可能であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

Applying three-dimensional discrete vortex method, prediction method for hydrodynamic forces acting on a drifting ship was developed. Vortex elements which are shed from ship hull were expressed by vortex sheets and vortex blobs. We clarified the influence of the height of vortex layer around ship hull, the initial radius of vortex blob and the maximum circulation of vortex sheet on the accuracy of the prediction of hydrodynamic forces acting on a ship hull. Then we confirmed that the prediction method can estimate a qualitative tendency of hydrodynamic forces due to the change of drift angle.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：船体流体力、三次元離散渦法、渦モデル、大斜航角、高レイノルズ数流れ

1. 研究開始当初の背景

2002年12月のIMO（国際海事機関）による船舶の操縦性基準の採択により、良好な操縦性能を有する船舶の建造を目的として、模型実験やシミュレーション計算等に基づき、旋回性能や変針・保針性能といった基本的な

操縦性能の評価・検討が設計段階において広く実施されるようになった。しかしながら、操縦運動中の船舶の航行安全性を確保するためには、操縦性基準において想定されている通常航行時ばかりではなく、港湾内等における離接岸時や係留中の振れ回り運動等の

ように、大きな斜航角を伴って運動している状態（前進速度と比較して横移動速度が支配的な状態）における運動特性についても、正確に把握しておくことが重要である。

船舶の水平面内の運動を推定する方法としては、シミュレーション計算が有効であるが、精度良く操縦運動を推定するためには、船体に作用する流体力（以下、船体流体力と呼ぶ）を正確に推定することが不可欠である。通常の操縦運動（斜航角がそれほど大きくない場合）については、類似船型の実績に基づくデータベースや、模型実験結果に基づいて船体主要目等をパラメータとして構築された流体力微係数の近似式等を用いて、ある程度の精度で船体流体力の推定を行うことが可能になりつつある。また、各種理論計算法に基づく流体力の推定法に関する研究も過去に多く行われており、模型実験データも多い。一方、大斜航角を伴って運動中の船体に作用する流体力については、その推定法に関する研究はさほど多くなく、模型実験データも少ない。従って、大斜航角を伴って運動中の船体に作用する流体力推定法の開発が望まれる。

2. 研究の目的

通常の操縦運動中の船体に作用する流体力を推定する方法については、従来より多くの研究が行われている。代表的な船体流体力の推定法としては、以下のものが挙げられる。

- (a) 操縦流体力微係数の近似式
- (b) 細長体理論に基づく推定法
- (c) クロスフローモデルに基づく推定法
- (d) CFD を利用した推定法

(a)の操縦流体力微係数の近似式は、船体主要目や船型要素を用いて、簡便かつ比較的精度よく船体流体力の推定を行うことが可能であるが、その適用範囲は斜航角が小さい範囲に限定されている。大斜航角を伴う運動へ拡張するためには、模型実験による流体力の計測データの蓄積および船型要素との関連の詳細な解析が必要となる。

(b)の細長体理論に基づく推定法については、船体形状を正確に表現して船体流体力を精度よく推定する方法が提案されている。しかしながら、基本的に斜航角の小さい運動中における船体流体力を推定するための方法であり、離接岸を行う場合のような大斜航角を伴う運動時における船体流体力の推定は困難である。逆に、(c)のクロスフローモデルに基づく推定法は、大斜航角運動時の船体流体力の推定については問題ないが、斜航角の小さな運動への適用は難しい。また、(b),(c)の方法においては、三次元形状の船体とそのまわりの流れを取り扱うための仮定や近似の導入が一般に必要である。

一方、(d)の CFD を利用した推定法では船

体形状のわずかな変化を表現可能であり、また三次元流れをそのまま取り扱うことが可能であるため、あらゆる運動状態における船体流体力を推定する方法として期待されている。しかしながら一般に、CFD 計算においては膨大な計算時間を要し、さらに、船体周囲の流れ場に複雑な計算格子を生成することが必要であることから、設計ツールとして用いるためには、いまだ改良すべき課題が残っている。

以上のように、現在までに提案されている船体流体力の推定法には、それぞれ一長一短の特徴があり、あらゆる斜航角の範囲における船体流体力を推定することが可能な計算法は確立されていない。そこで、本研究においては、非定常な流れ場を解析する手法として研究が進められている三次元離散渦法に着目し、あらゆる斜航角の範囲において船体に作用する流体力を実用的な精度で推定するための数値計算プログラムの開発を行うことを目的とする。

本研究において開発予定の船体流体力推定のための数値計算プログラムに導入する三次元離散渦法の代表的な特徴としては、以下のようなものが挙げられる。

- ・ 流れ場における格子生成が不要である。
- ・ 非定常・非圧縮の高レイノルズ数流れを解析可能である。
- ・ 移動境界・変形境界を容易に取り入れることが可能である。
- ・ 微小渦要素間の相互作用が考慮されているため、乱流モデルの導入が不要である。
- ・ 流れの変化が激しいところに渦要素が集中するため、その場所が自動的に高解像度となる。
- ・ 数値積分主体の計算法であるため、数値計算が安定している。

3. 研究の方法

(1) 渦要素導入時における各種パラメータの影響の検討

三次元離散渦法に基づく流れ場推定において、その推定精度に大きな影響を与えると考えられる以下のパラメータについて、検討を行った。

- ・ 物体表面において吹き出しを分布させるパネルの形状および大きさの設定
- ・ 渦要素の渦度を決定するために物体表面に設定する渦層の高さの設定
- ・ 渦層内における速度勾配の設定
- ・ 渦層から物体周りの流れ場へ流出する渦要素モデルの選択
- ・ 渦度の三次元粘性拡散の効果を表現するモデルの選択

本検討段階における計算対象としては、流れ場の観測や圧力計測等の実験データが多数報告されている円柱や球、一様断面形状を

有する三次元翼とした。

(2) 船体周りの流れ場および圧力推定への数値計算プログラムの開発

円柱や一様断面形状を有する三次元翼を対象として、渦要素導入時の各種パラメータが物体周りの流れ場や圧力分布に及ぼす影響を把握した後、船体周りの流れ場ならびに圧力推定のための数値計算プログラムの拡張を行った。数値計算プログラムの計算精度の確認には、文献調査等を通じて収集した実験データならびに模型実験によって得られた流体力データを利用した。

(3) Hybrid Vortex Method 適用の検討

渦要素の導入方法が計算結果に及ぼす影響をより明確に把握することを目的として、三次元翼型周りの流れ場を対象として、渦モデルの検討を行った。渦モデルとしては、境界層内の渦度分布を渦シートで表現し、渦シートが境界層内よりも高い位置に移動した時点で渦 blob に変換する手法 (Hybrid Vortex Method) を適用した。また、翼端まわりの渦シートの移動方法についても併せて検討を行い、渦シートの動きをより現実的に表現できるようにモデル化を行った。

4. 研究成果

(1) 渦層高さがならびに渦プロブの初期渦核半径が流体力の推定結果に及ぼす影響

三次元円柱を対象として、渦層高さ h がならびに渦プロブの初期渦核半径が流体力の推定結果に及ぼす影響について検討を行った。まず始めに、Rayleigh の排除厚さに基づいて渦層高さ h を薄く設定したところ、抗力係数 C_D の計算結果は発散する結果となった。そこで、境界層厚さを基準としてパラメータ k_h により渦層高さ h を変化させた結果、 k_h の値が大きな場合、即ち渦層高さ h が高い場合には抗力係数 C_D の値は 0 に近づき計算精度が悪くなることが分かった。従って、渦層高さ h については計算が発散しない範囲で可能な限り低く取る必要があり、三次元円柱を対象とした場合においては $k_h = 0.5$ とすることが適当であることが分かった。

続いて渦プロブの初期渦核半径を渦プロブが持つ循環量に応じて定義し、パラメータ k_e により、初期渦核半径を調整するものとした。その結果、初期渦核半径が小さい場合には計算が発散し、初期渦核半径を大きく設定した場合には、特に抗力係数において計算結果と実験値の差が大きくなることが分かった。従って、初期渦核半径については、計算が発散しない範囲で可能な限り小さく取る必要があり、三次元円柱を対象とした場合には $k_e = 1.0$ に選ぶことが適当であることが分かった。

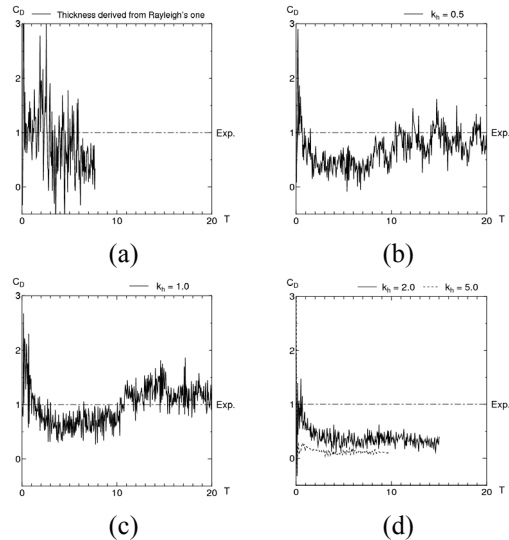


図 1 渦層高さが流体力の推定結果に及ぼす影響

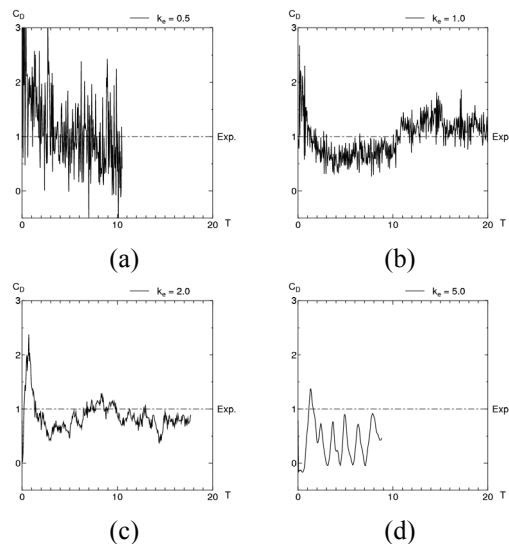


図 2 初期渦核半径が流体力の推定結果に及ぼす影響

(2) 斜航する船体周りの流れ場の解析

斜航する船体周りの流れ場ならびに船体に作用する流体力の計算プログラムの開発し、タンカー船型の模型船を対象として、斜航状態 (斜航角 $\beta = 3^\circ, 6^\circ, 12^\circ$) の船体周りの流れ場の解析を行った。渦層高さならびに初期渦核半径については、計算が発散しない最小の値 $k_h = 1.0, k_e = 3.0$ とした。斜航角 $\beta = 3^\circ$ の場合には横力の計算値は実験値に近い値となるが、斜航角 β が大きくなるにつれて計算値は実験値よりも大きくなる結果となった。ただし、斜航角 β が大きくなるにつれて横力が大きくなるという定性的な傾向を捉えることが可能であることを確認した。

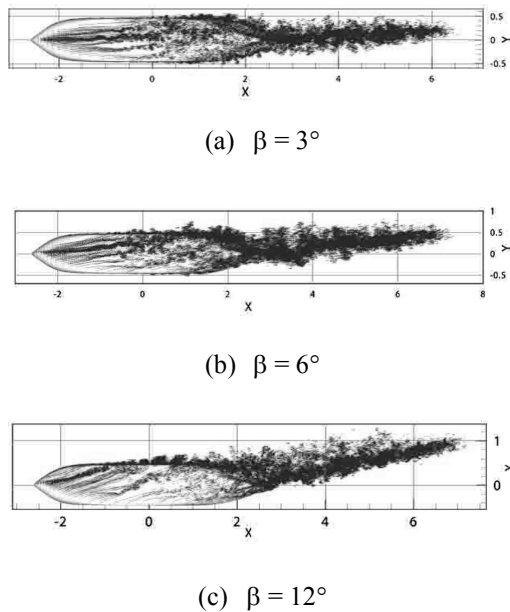


図3 斜航角 $\beta = 3^\circ, 6^\circ, 12^\circ$ に対する船体周りの流れ場の様子

(3) Hybrid Vortex Method 適用時の渦モデルの検討

三次元翼型周りの流れ場を対象として、Hybrid Vortex Method を適用した場合の渦モデルの設定パラメータが推定結果に及ぼす影響について検討を行った。Hybrid Vortex Method では物体表面に垂直な方向の渦シートの移動は乱数に基づいて決定されるため、渦層高さが同じであれば、物体表面の接線方向の流速の大小に関わらず、物体表面からの渦の剥離（渦シートから渦ブロブへの変換）は渦層高さのみに支配されることになる。従って、迎角によって変化する渦の剥離を表現するために、迎角に基づいて渦層高さを変化させるモデルを設定した結果、流体力を定性的かつ定量的に推定可能であることを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 一ノ瀬康雄, 古川芳孝, 三次元離散渦法による高レイノルズ数流れ場の推定に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 査読無, 第 9E 号, 2009, 163-166
- ② 一ノ瀬康雄, 古川芳孝, 三次元離散渦法を用いた斜航船体に作用する流体力の推定に関する基礎的検討, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 第 13 号, 2011, 1-9
- ③ 古川芳孝, 守屋有二, 小柳佑介, 三次元離散渦法による高レイノルズ数流れ場の推定について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 査読無, 第 13 号, 2011, 15-18

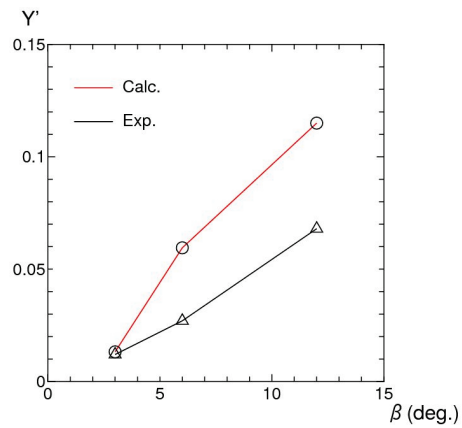


図4 横力の実験値と計算値の比較

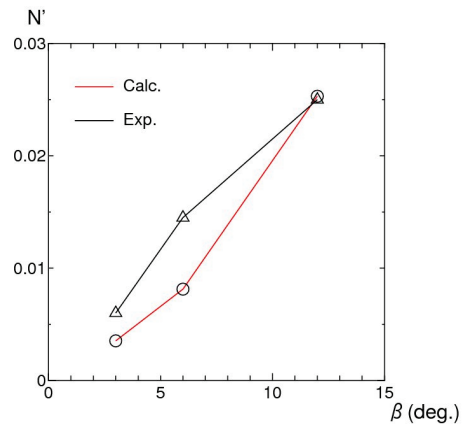


図5 回頭モーメントの実験値と計算値の比較

[学会発表] (計 2 件)

- ① 一ノ瀬康雄, 三次元離散渦法による高レイノルズ数流れ場の推定に関する研究, 日本船舶海洋工学会東部支部秋季講演会, 2009年11月11日, メルパルク東京 (東京都港区)
- ② 小柳佑介, 三次元離散渦法による高レイノルズ数流れ場の推定について, 日本船舶海洋工学会西部支部秋季講演会, 2011年11月1日, シーモールパレス (山口県下関市)

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: 90253592

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

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