

Title	Prediction of flow field and hydrodynamic forces around a ship with steady drift angles using an unstructured grid based RANS solver
Author(s)	Osman, Md. Amin
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59916
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

Viscous flow simulation around ships for manoeuvrability prediction has become one of the highly sought-after issues nowadays among the ship hydrodynamic researchers. Among many of the flow simulation techniques, RANS equation based flow solver has been proven to provide reasonably accurate predictions of results in ship resistance and propulsion fields. In case of ship manoeuvring, the applicability of RANS solver is yet to be firmly established in terms of predicting detail pressure and velocity distribution around the ship. For the established RANS solvers, the wake distribution at the propeller plane has been considered to be the most difficult quantity to predict accurately. The orientation and number of grid elements around the propeller plane dictate the solution accuracy for wake calculation. Mostly these factors are controlled by the turbulence model that has been used in the solver. The organization and implementation of different algorithms in a RANS solver depend upon three factors, i.e., grid topology, the complexity of the flow and the order of accuracy needed in the solution. Only through the manipulation of these algorithms the accuracy of solution can be achieved. Since the source codes of the commercial solvers are not available for public, the author in this thesis developed a RANS based flow solver for the prediction of flow field and hydrodynamic forces acting on a ship moving with steady drift angles. An unstructured grid system has been used in these simulations because it is easy to generate as compared to the structured grid. Although there are some inherent problems related to the discretization scheme concerning unstructured grid, recent advancements in the slope limiting algorithm prescribed the usage of unstructured grid in RANS solver to be much more efficient than before. On the above premises, this thesis investigates the following aspects related to the development of a RANS solver for ship manoeuvring simulation:

- a) For various drift angles of the moving ship, wake distribution and hydrodynamic forces are being calculated using the developed RANS solver. The effect of grid orientation at the propeller plane and usage of different turbulence models on the wake distribution have been thoroughly investigated. The dependency of the solution on grid types has been reduced through the development of the solver for unstructured grid on the framework of finite volume method. Substantially lower number of grids have been used in the simulations along with several wall function models.
- b) Verification and validation of the code are needed to evaluate the modelling errors involved with the solver. A standard procedure for this purpose has been used, which is based on Richardson Extrapolation technique.

The main conclusions of the study are:

- 1) The calculated values of hydrodynamic forces and moment acting on the drifting ship show a reasonable accuracy in their determination through the usage of the developed RANS solver. An average error of 5-8% has been observed in the simulated data as compared to the experimental one. A slope limiter algorithm has been implemented in discretization of the diffusion term of the Navier-Stokes equation to maintain second order of accuracy and boundedness in the solutions.
- 2) Three different grid sizes have been used to carry out the verification and validation study on the resistances acting on ships in straight ahead motion. Through the validation process it was concluded that modelling of the RANS simulation code was appropriate as long as the wave making resistance doesn't become significant. As the solver is still to be included with a free surface simulation algorithm, the validation of the code is justified as long as the Froude number of the ship remains around or below the value of 0.2.
- 3) The dependency of the code on the grid size to simulate the wake distribution has been thoroughly examined. For different drift angles, it has been found that larger amount of grid element distribution around the propeller plane predicts comparatively better the wake distribution. The missing details of vortices in the simulation cannot be recovered even if the grid sizes are increased.
- 4) The above mentioned drawback in the simulated result can be due to the usage of two equation

【26】

氏 名	オスマン エムディー アミン Osman Md. Amin
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	第 2 5 6 4 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 9 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科地球総合工学専攻
学 位 論 文 名	Prediction of flow field and hydrodynamic forces around a ship with steady drift angles using an unstructured grid based RANS solver (非構造格子 RANS ソルバーを用いた斜航船舶まわりの流場と流体力の予測)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 長谷川 和彦 (副査) 教 授 戸田 保幸 准教授 鈴木 博善

turbulence models in the solver. Since turbulence models are highly empirical in their nature of formulation, the near wall behaviour has been investigated using two different turbulence models. Usage of different wall function models has shown some imbalance in the determination of turbulence kinetic energy production and dissipation near the wall. These results got reflected in the simulated data for wake distribution, where the outline of the distribution has been predicted fairly well with occasional missing of subtle vortices.

- 5) An adaptive wall function, minimizing the grid dependency of the near wall turbulent flow behaviour, has been utilized to simulate the wake using a structured grid for straight ahead motion of the ship. In this method, the inclusion of laminarization effect and pressure gradient term in the viscous sub-layer has produced much better result in the determination of energy dissipation rate, which in turn shows significant improvement in the wake prediction at the propeller plane.

Real time simulation of different ship manoeuvring requires accurate determination of the total forces and moment acting on the ship hull. For these purposes, RANS simulations as carried out in this thesis not only provides the reasonable approximation of hydrodynamic forces acting on the hull, but also provides the details of the bow and stern vortices shed during steady drifting manoeuvres. These data may provide an insight into the way the viscous lift and drag forces get generated along the hull. The simulated wake distribution, although is missing some details at the propeller plane, the average wake fraction may get well predicted from these simulated data. Therefore, through the extension of this solver for moving grid simulation and consideration of rudder and simplified propeller model may provide the means to numerically predict the motion behaviour of actual manoeuvring ship.

論文審査の結果の要旨

船舶操縦性の推定に関して船舶周りの粘性流体のシミュレーションは高い関心を持たれている。いくつかの流体シミュレーション手法のうち、RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 方程式に基づく乱流モデルを用いた手法 (RANS ソルバー) はすでに船舶抵抗推進の分野では十分な精度で適用できることがわかっている。船舶操縦性に関しては、その適用性については、船体周りの圧力と速度分布の推定に関してはまだ十分とは言えない。RANS ソルバーにおいては、プロペラ面における伴流 (船体周りの流れ) をいかに精度良く推定するかが重要である。そのためには、プロペラ面まわりの計算格子の形状と数とその精度に大きく影響する。また、RANS ソルバーで用いられている乱流モデルも重要である。こうした考察により、はじめて、求められる精度が得られる。市販のソルバーではそのソースコードが公開されていないので、その精度を高めるための細かい検討ができない。そのため、本論文では、定常な斜航角で進む船体に働く操縦流体力を推定する RANS ソルバーを自ら開発している。本論文では、さらに、その生成が比較的簡単な計算格子として非構造格子を採用している。しかし、この非構造格子にはその離散化スキームにいくつかの固有の問題があるが、最新の傾斜制限 (slope limiting) アルゴリズムを適用することにより、それを克服している。

本論文では船舶操縦性のシミュレーションに関する RANS ソルバーの開発に関して、以下のような点について検討を加えている。

A) 開発した RANS ソルバーを用いて、種々の斜航角中を進む船舶の伴流と流体力の計算を行っている。プロペラ面での格子の形状と乱流モデルの伴流推定に及ぼす影響について検討している。格子のタイプが解に与える影響を減少するため有限体積法を用いた非構造格子を用いたソルバーの開発を行っている。また、壁関数を用いて、格子数を格段に減らしている。

B) ソルバーのモデル化誤差を評価するため、リチャードソン外挿法に基づく数値的誤差解析とモデル誤差解析を行っている。

得られた結論は以下の通りである。

1) 開発された RANS ソルバーにより計算された斜航中の船体に働く流体力は十分な精度を持っている。実験値との平均誤差は 5~8% である。ナビエ・ストークス方程式の拡散項の離散化に関して 2 次オーダーの精度および有界性を保つため傾斜制限アルゴリズムを導入している。

2) 直進中の船舶の抵抗の精度検証のため 3 種類の大きさの計算格子を使って計算している。まだ自由表面を扱うアルゴリズムが導入されておらず、造波抵抗の影響が考慮されていないため造波抵抗が顕著でない速度の範囲 (フルード数 (速度の尺度影響を考慮した無次元数) が 0.2 以下) では開発されたソルバーは妥当であると結論している。

3) 伴流分布に与える計算格子の大きさの影響を検討している。斜航角の違いによるプロペラ面での伴流分布をうまく推定するためには十分な数の格子が必要であることを示している。ただし、計算格子数を増加しても斜航中のプロペラ面での伴流に現れる渦を正確に再現することはできていない。

4) 上述のソルバーの欠点は、乱流モデルによると考えている。乱流はその生成の性質上、理論的に求めることが難しいため、2 つの乱流モデルについて、壁近くでの流体の挙動について調査している。違った壁関数を用いて検討した結果、乱流の運動学的エネルギーの生成と壁付近での散逸がバランスしていないことを示している。これらの結果は、伴流分布に基づいて結論づけているが、細かい渦の生成を除いてはおおむねその分布は再現できている。

5) 壁付近での乱流の挙動において、その格子依存性を最小にする適応型の壁関数を構造格子に適用して、直進中の伴流分布を推定している。この方法と層流化効果と粘性流域における圧力傾斜を加味することによりエネルギー拡散率をうまく表現できおり、その結果、プロペラ面での伴流分布の推定にかなりの改善が見られている。

さらに、船舶の操縦運動の推定を数値流体力学的手法を用いて行うためには、任意の運動中の船体に働く流体力を正確に求める必要がある。斜航中の船舶については、本論文で開発した RANS ソルバーが有効であり、船首尾に発生する渦の詳細についての知見も与えている。これによって、船体に働く粘性揚力と抵抗成分に関しての知見も得られている。計算されたプロペラ面での伴流分布は詳細には差異があるものの、平均伴流についてはよく推定できている。したがって、本論文で開発されたソルバーをさらに発展させ、動的格子の採用と舵および簡単化されたプロペラのモデルを導入することにより、操縦運動中の船舶の挙動を数値的に解くツールとして期待される。

以上のように、本論文は、従来、実験的手法や過去の実績をもとにした推定式による方法が中心であった船舶操縦流体力の推定に対して、今後、主流となる可能性の高い数値流体力学による手法の適用性について検討したものであり、プロペラ面での伴流分布の推定、斜航中の船体に働く流体力の推定など多くの知見を与えている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。