

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18日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760644

研究課題名（和文）動的重合格子法による大振幅運動する船体周りの粘性流シミュレーション

研究課題名（英文）Viscous CFD simulation for ships with large amplitude motions by dynamic overset grid method

研究代表者 坂本 信晶（Nobuaki Sakamoto）

（独）海上技術安全研究所・実海域性能研究グループ・研究員

研究者番号：80550003

研究成果の概要（和文）：船舶の安全な航行に欠かせない、実海域波浪中での船体運動を、粘性数値流体力学（CFD）手法を用いて計算することの出来るコードを開発した。様々な形状の非定常計算結果を、実験値等と比較することにより、開発したコードの妥当性を検証した。

研究成果の概要（英文）：Investigation of ship motions in waves would be one of the crucial issues in ship-hydrodynamics to achieve safety transportation of surface vessels in real sea state. Computational Fluid Dynamics (CFD) software has been developed in order to solve incompressible viscous flow around ships moving in waves. The validity of the code has been confirmed throughout comparisons between computational results and experimental/reference data of unsteady motions of 2D and 3D objects.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
22年度	2,400,000	720,000	3,120,000
23年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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：推進/運動性能・CFD・重合格子

1. 研究開始当初の背景

船舶の性能推定や安全性能評価においては、しばしば大振幅運動時の流体力・船体運動の推定が必要となる。船舶の大振幅運動には、耐航性の観点から見れば、中～大波高を航行する際に生じるスラミングや、甲板冠水、スロッシング、追い波中でのブローチング等が挙げられる。一方、操縦性の観点からは、転舵を繰り返しながら Zig-zag 航行する船舶や、高速船が急旋回する際の遠心力によるヒール等が挙げられる。このような船舶に働く流体力を精度良く推定し、船体運動、船

体周りの流場情報を得ることは、旅客貨物の安全な輸送の達成に欠かすことが出来ない。

従来より、耐航、操縦の各性能評価は、主として模型実験を用いて行われることが多い。しかし、模型実験は、模型船製作、実験設備の設定に掛かる金銭的、時間的コストが大きく、それらは実験結果が速やかに設計現場に反映される際の妨げとなる。加えて、詳細な流場観察を行うことも、設備上や実験遂行上の観点からも難しい。

これらの問題を解決するための最も有効

な要素技術の 1 つは、数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) である。中でも、Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) 方程式を自由表面モデルと共に数値的に解く方法は、船体からの非定常な渦の放出(粘性影響)、自由表面砕波(強非線形現象)を取り扱うことが出来る。RANS 法は、これらの現象が特に顕著である大振幅運動する船体周りの流場計算を行う際には強力なツールとなる。動的運動を扱う際の格子生成技術には、移動格子法、重合格子法がある。移動格子法は、流体の保存則を満たしながら、有る程度の振幅の運動を解くことが出来る反面、転覆等の極端な運動や多体問題の取り扱いに限界がある。一方、重合格子法は、物理量の保存性は移動格子法に劣るものの、移動格子法を用いた場合に格子が破綻してしまうような大振幅運動、また多体問題の計算が可能である。これらの手法を用いた研究は、船舶の波浪中航行シミュレーション、平水中動的拘束試験 (Planar Motion Mechanism, PMM) シミュレーション等と幅広い。

2. 研究の目的

本研究の申請者が所属する(独)海上技術安全研究所では、船舶用 3 次元非圧縮粘性流体ソルバーの開発を行っている。そのソルバーに、非定常船体運動を取り扱うことの出来る技術を組み込むことで、実用船型のより柔軟な流力設計が可能となる。それゆえ、本研究の目的は、非定常船体運動の計算に必要な要素技術、即ち、船体運動方程式と流場支配方程式のカップリング方法、および移動する格子の取り扱い方法を開発し、それらの既存ソルバーへの組み込み、および精度検証を目的とする。

3. 研究の方法

船体運動方程式と、RANS 方程式のカップリングは、両式を交互に解きながら時間発展させる弱形式カップリングと、両式を同期しながら時間発展させる強形式カップリングを用いる。

船体運動に伴う計算格子の移動には、移動格子法および重合格子法を用いる。移動格子法では、単一格子を用いて、格子を構成するノード点に移動量を与え、各セルの形状を時間毎に変更する。ノード点には、船体近傍では船体運動と同一の移動量を与え、外周境界に近づくにつれ、その移動量をゼロとする。重合格子法では、船体とそれ以外の格子(バックグラウンド格子と称する)を個別のブロックに分け、格子間の補間情報を、時間発展毎に計算する。計算中、船体格子の移動量は、船体運動と同一であり、バックグラウンド格子は移動しない。

4. 研究成果

最初に、非定常運動をする物体に働く流体力の推定精度、および開発した格子移動の取り扱い方法を検証するため、2 次元翼 (NACA0012) の強制 heave/pitch 運動計算を行い、計算結果を参照値(パネル法による解)と比較した。図 1a に、揚力係数 C_L の時系列、図 1b に、各運動の最大振幅における瞬時流場(主流速 U)を示す。揚力係数は、どちらの運動の場合も、参照値と非常に良い一致を示している。乱流モデルを使用した計算の方が、層流計算よりも参照値に近い結果を示している理由は、乱流モデルにより流場に付加された渦動粘性係数の影響で、翼後端での流れの剥離が抑制され(図 1b を参照のこと)、結果として、流場がパネル法で得た解(非粘性なため、流れの剥離が存在しない)と似たものになるためと考えられる。

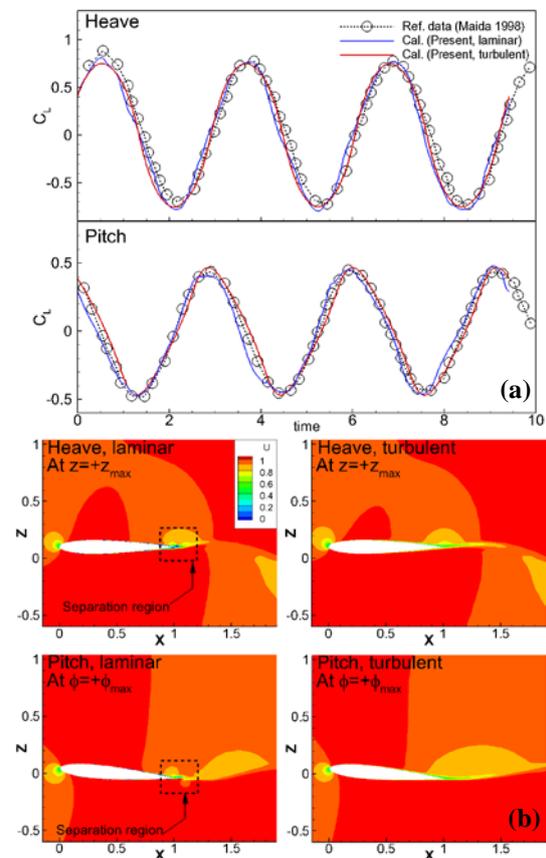


図 1 2 次元 NACA0012 の強制運動 (heave/pitch) 計算結果: a) 揚力係数時系列, b) 各運動における最大振幅での瞬時流場(主流速 U)

2 次元問題での計算精度が確認出来たことから、問題を 3 次元へと拡張し、回転楕円体の linear pitch-up 運動および船体(KVLCC2)の pure sway 運動を解析した。図 2a および図 2b に、回転楕円体に働く流体力係数および異なるピッチ角での瞬時流場(圧力係数)をそれぞれ

れ示す。本計算により得た、回転楕円体に働く鉛直方向流体力係数 C_N は、実験値と非常に良く一致しているが、回頭モーメント係数 C_M は、ピッチ角によっては実験値より大きくなる傾向を示した。格子密度および使用する乱流モデルの変更により、この傾向が改善することから、計算値と実験値との不一致は、流体现象を捉えきれていないことにより、回転楕円体に働く力の分布の推定が不十分であったためと考えられる。次に、図 3a、図 3b に、KVLCC2 に働く横力係数および回頭モーメント係数から求めた操縦微係数、および 4 sway motion phase における瞬時流場(主流方向渦度)をそれぞれ示す。計算により得た操縦微係数は、実験値と良い一致を示している。また、船体からの非定常な渦放出も、計算により捉える事が出来ている。2次元および3次元物体の強制運動計算を通じて、大振幅の運動でも、物体にかかる流体力を、精度良く推定することを確認した。

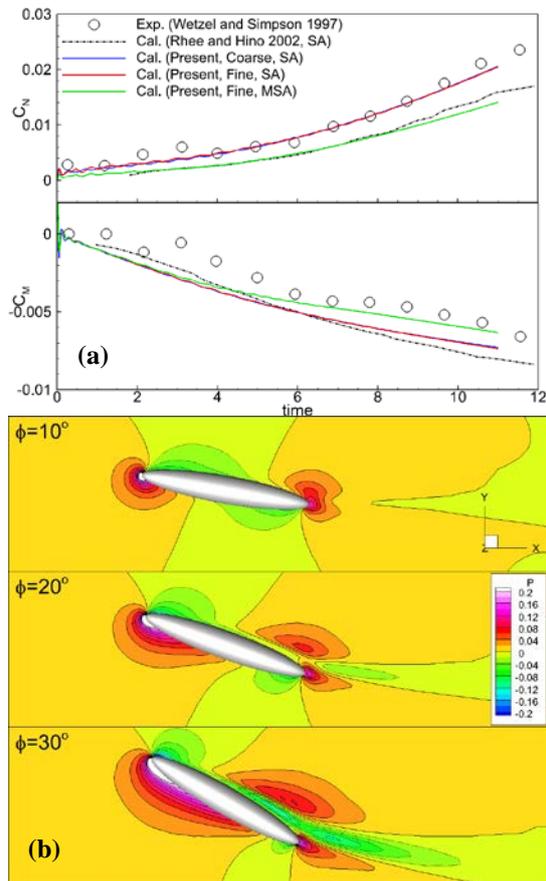


図 2 回転楕円体 linear pitch-up 運動計算結果: a) 流体力係数時系列, b) 異なるピッチ角での瞬時流場(圧力係数)

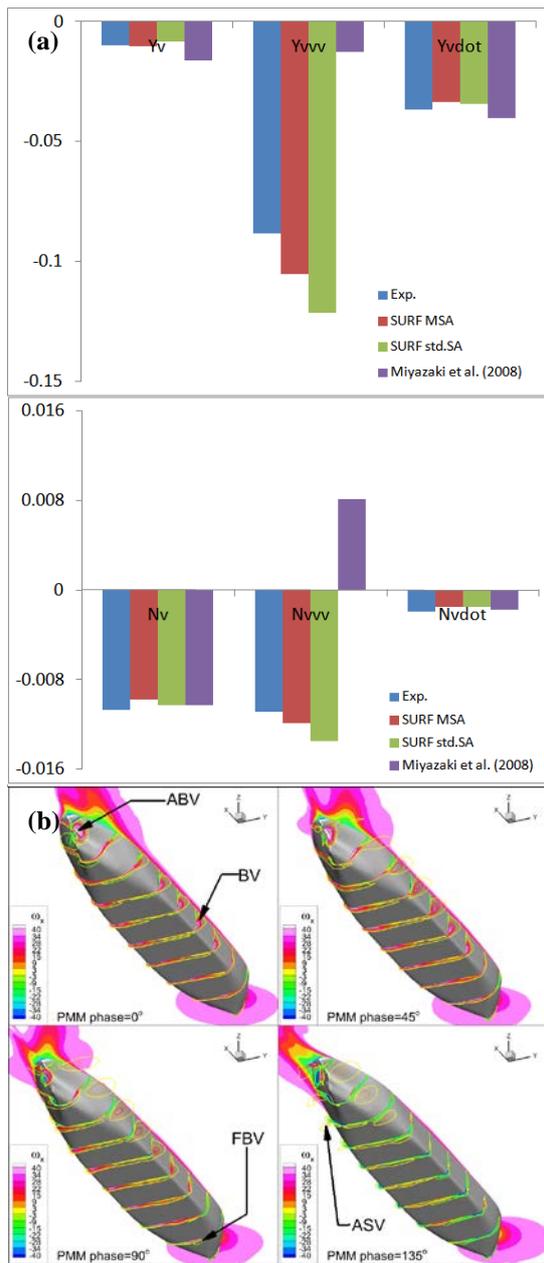


図 3 KVLCC2 pure sway 運動計算結果: a) 操縦微係数, b) 異なる sway motion phase における瞬時流場(主流方向渦度)

強制運動により、流体力の計算精度を確認した後に、予測運動計算に移行した。まず、弱形式および強形式カップリングを用いた、2次元円柱の2自由度(surge-sway)予測運動シミュレーション結果を、図 4a (円柱中心のリサージュ曲線), 図 4b(鉛直方向渦度で色付けされた瞬時流場)に示す。リサージュ曲線は、どちらのカップリング方法も、参照値と良い一致を示しており、特に強形式カップリングの方が、参照値に近い結果となっている。”8の字運動”の振動中心が、参照値に比べ後方にずれている理由としては、本研究での計算法と、参照値を得る際に用いられた計算法(直

交格子-埋め込み境界法)とで、円柱表面の剥離点位置の予測が異なり、結果として surge 運動予測に変化が生じたためと考えられる。瞬時流場は、円柱から放出されるカルマン渦とその後方への輸送を良く捉えていることが分かる。2次元円柱に加え、2次元翼のフラッター運動予測計算(本報告書には示していないが、学会発表資料①に記載あり)を通じて、弱形式カップリングでは、時間刻み幅をある程度小さくとらなければいけない反面、強形式カップリングで必要となる内部繰り返し計算(sub-iteration と称する)が少なく設定出来るため、結果として計算時間が節約できること、強形式カップリングでは、sub-iteration により、運動と流場が同期するため、計算時間はかかるが、弱形式カップリングよりもロバストな計算が可能であることが分かった。そのため、波浪中船体運動の予測には、強形式カップリングを用いることとした。

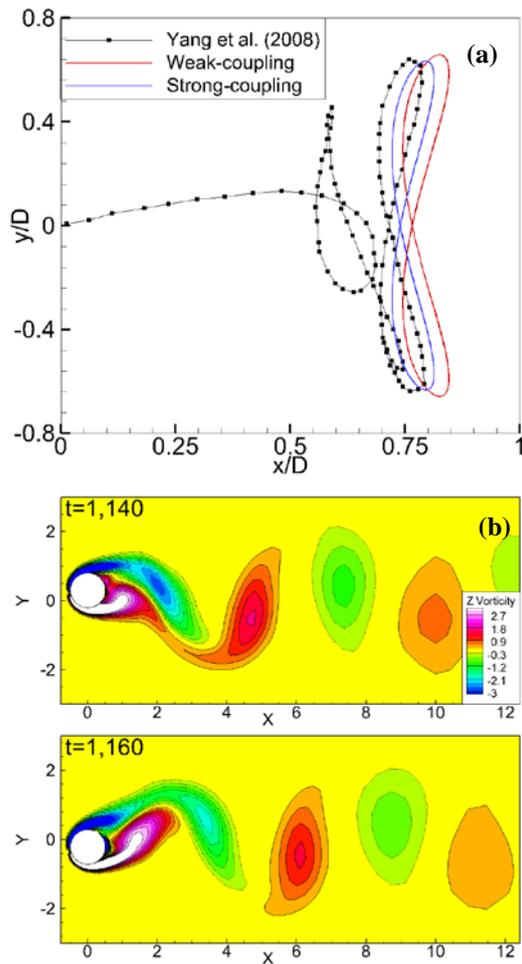
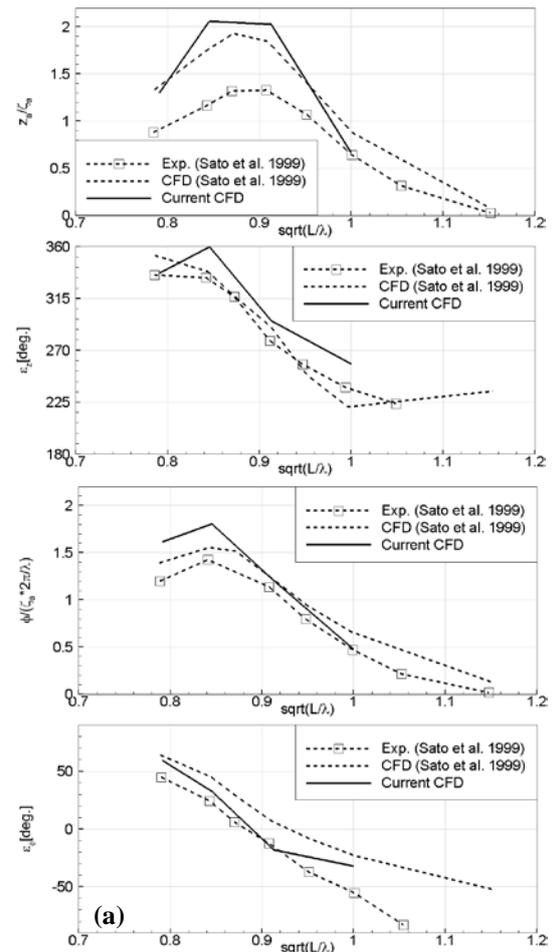


図4 2次元円柱の2自由度(surge-sway)予測運動シミュレーション結果

2次元問題での、運動予測スキームの妥当性を検証した後に、3次元船体(Series 60)の波浪中(正面向かい波)2自由度(pitch-heave)予測

運動シミュレーションを行った。図 5a に、heave および pitch の応答関数(RAO)および入射波に対する位相差、図 5b に、1ピッチ運動間での流場変化(主流速により色付けされた境界層変形、および波高で色付けされた自由表面波紋)を示す。各運動の RAO および位相差は、実験値・参照計算値(粘性 CFD)と定性的な一致を示し、傾向としては参照計算値に近い結果となっている。Heave RAO が全体的に、実験値よりも計算値の方が大きい値を示している理由は、実験に用いた模型船サイズに起因する、運動計測の精度にあると考えられる。模型船サイズは、 $L_{pp}=1.8m$ であり、このサイズのモデルだと、同調点付近での heave 振幅が最大でも 1.3cm 程度となる。このオーダーの運動振幅を計測するには、高い精度が必要となる。したがって、開発したコードのさらなる検証には、標準的な模型(4m-6m)を用いた実験結果との比較が必要であると考えられる。流場解析では、波浪中を運動する船体周り(特に船尾)に発達する境界層の変化を捉える事が出来ており、開発したコードが将来、平水中だけでなく波浪中での推進性能を予測する際に有用である可能性を示している。



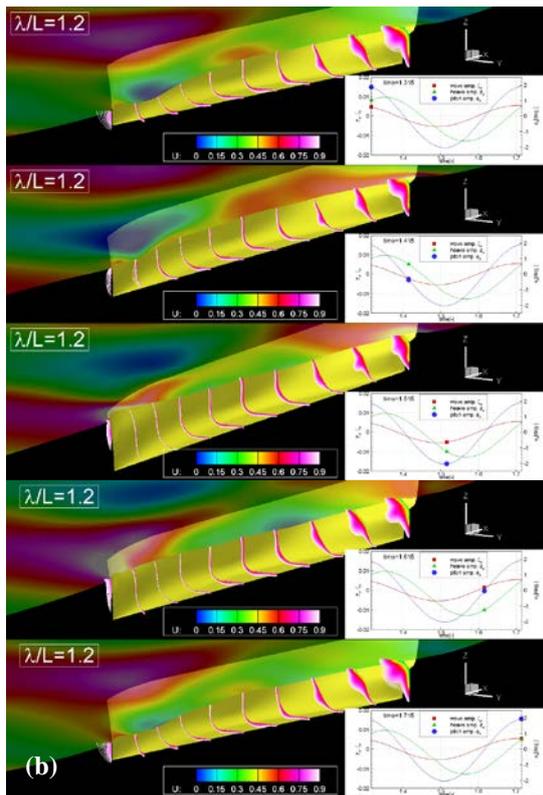


図 5 Series 60 正面向かい波中 2 自由度 (pitch-heave) 予測運動計算結果 : a) Heave&pitch RAO および位相差, b) 1 ピッチ運動中の流場変化

以上の結果から、開発した手法を用いて、ある程度大きな振幅を持つ船体運動の解析が可能となった。しかし、重合格子技術の、動的問題への適用には未だ問題が残っており、今後の開発課題としたい。

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 Sakamoto, N., Ohashi, K., Kobayashi, H. and Hirata, N., 2011, Analysis of nonlinear/large-amplitude motions of submerged and floating bodies by URANS simulation with moving grid technique, Proceedings of The 25th Computational Fluid Dynamics Symposium, Suita, Japan. <http://www2.nagare.or.jp/cfd/cfd25/>
- ② Sakamoto, N. and Hino, T., 2010, Unsteady flow simulations for dynamically-moving 2D and 3D geometries by unstructured grid based RANS solver, Proceedings of The 13th Numerical Towing Tank Symposium, Duisburg, Germany. http://www.uni-due.de/IST/ismt_nutts8

- ③ Sakamoto, N. and Hino, T., 2010, URANS simulation of a ship flow with dynamic motion by a moving grid method, Proceedings of The 24th Computational Fluid Dynamics Symposium, Hiyoshi, Japan. <http://www2.nagare.or.jp/cfd/cfd24/>

[学会発表] (計 3 件)

- ① Sakamoto, N., Ohashi, K., Kobayashi, H. and Hirata, N., 2011, Analysis of nonlinear/large-amplitude motions of submerged and floating bodies by URANS simulation with moving grid technique, The 25th Computational Fluid Dynamics Symposium, Suita, Japan.
- ② Sakamoto, N. and Hino, T., 2010, Unsteady flow simulations for dynamically-moving 2D and 3D geometries by unstructured grid based RANS solver, The 13th Numerical Towing Tank Symposium, Duisburg, Germany.
- ③ Sakamoto, N. and Hino, T., 2010, URANS simulation of a ship flow with dynamic motion by a moving grid method, Proc. The 24th Computational Fluid Dynamics Symposium, Hiyoshi, Japan.

[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]

ホームページ等

該当無し

6. 研究組織

(1)研究代表者

坂本 信晶 (Nobuaki Sakamoto)

(独)海上技術安全研究所

実海域性能研究グループ 研究員

研究者番号 : 8 0 5 5 0 0 0 3

(2)研究分担者

該当無し

(3)連携研究者

該当無し

(4)研究協力者

児玉良明

(独)海上技術安全研究所

CFD 研究グループ 嘱託研究員

大橋訓英
(独)海上技術安全研究所
CFD 研究グループ 主任研究員