

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 11 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630452

研究課題名(和文)水槽施設活用のための試験水槽シミュレータの構築

研究課題名(英文)Development of Towing Tank Simulator for Effective Use of Tank Facilities

研究代表者

日野 孝則(Hino, Takanori)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60373429

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：水槽試験の精度評価や新たな水槽利用技術の展開を図るために、計算流体力学技術によって水槽実験状態を再現する試験水槽シミュレータを構築した。重合格子法を適用して、水槽形状を再現する格子ブロックとその中を航行する模型船のまわりの格子ブロックなどを用いることで、水槽環境の中での流れを再現する数値シミュレーションを可能とした。また、自航計算のためのプロペラ体積モデルを重合格子法へ適合させた。開発した水槽試験シミュレータにおける流れの計算によって、水槽壁における波の反射を確認するとともに、水槽実験結果に関する経験的なブロック影響修正法とシミュレーション結果の比較により、本手法の有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：A towing tank simulator has been developed based on CFD technique in order to evaluate the accuracy of tank tests and to extend the usability of towing tanks. An overset grid method is adopted in which a grid block represents a tank geometry and a grid block for a model ship are separately generated and overlapped and a tank test condition is reproduced. In addition, a body force based propeller model for self-propulsion simulations is extended to an overset grid method. Computations by the towing tank simulator show the reflection of ship waves on the tank walls and the so-called blockage effect to the resistance is analyzed. These results demonstrates the applicability of the towing tank simulator.

研究分野：船舶流体力学

キーワード：船舶流体力学 計算流体力学 船型試験水槽

1. 研究開始当初の背景

船型試験や海洋開発の実験では種々の水槽施設が用いられるが、施設のサイズや特性により、用いる模型の大きさや流れの条件が制限されるため、計測精度に問題を生じたり、実験の要件を満たすようなパラメータを設定することが困難になることも多い。

従来、船舶などの流体機器の流体力学的性能評価は実験による手法が主体であったが、近年は計算機の発展と計算流体力学(CFD:Computational Fluid Dynamics)技術の進展により、数値シミュレーションの役割が増大しつつある。数値シミュレーションの利点の一つは、水槽試験における制限条件を取り払い、「理想状態」における性能評価が可能なることである、とされてきた。実際、ほとんどの数値シミュレーションでは水槽環境ではなく、無限領域をモデル化している。

本研究では、上記とは逆の視点から、水槽試験における制限条件を数値シミュレーションに組み込み、実験状態を再現する試験水槽シミュレータを構築することで、水槽試験の計測精度評価と、新たな水槽施設利用技術への展開を可能とする。

水槽試験シミュレータによる計算結果と従来の「理想状態」における結果の比較によって、実験における制約条件が計測結果に与える影響を評価することが可能となり、実験精度評価や実験計画へ大きなインパクトを与える。さらに、各水槽施設に対応したシミュレータを構築することで、水槽施設間の計測結果の相関を評価することができる。国際試験水槽会議(ITTC:International Towing Tank Conference)の抵抗委員会(Resistance Committee)では、水槽施設間の計測誤差(Facility Bias)の評価のために同一の模型船を用いた持ち回り試験を実施しているが、その結果施設間の計測値のバラツキは予想より大きいことが示された。試験水槽シミュレータが構築されると、このような施設間の計測誤差の評価にある程度定量的な説明を与えることが可能になると期待される。

また、模型船の断面積が水槽の断面積に対して比較的大きい場合のブロッケージ影響を定量的に評価できるので、必要な補正量を考慮することで、比較的小さな水槽でも大模型を使用した実験が可能になる。

2. 研究の目的

船型試験や海洋開発の実験で用いられる種々の水槽施設は、その施設の大きさや特性により模型サイズや流れの条件が制限されるため、計測精度維持や実験パラメータ設定が困難になることも多い。一方、計算流体力学による数値シミュレーションは実験を補完するものとして、近年その活用が進んでいる。従来、数値シミュレーションは水槽実験の制限を取り払って「理想状態」の流れ解析を行う役割を担ってきた。本研究では逆の発想から、数値シミュレーション技術によって

水槽実験状態を再現する試験水槽シミュレータを構築し、それによって水槽試験の精度評価や新たな水槽利用技術の展開を図る。

3. 研究の方法

重合格子法をベースに用いて、試験水槽シミュレータを開発する。水槽形状のモデル化および水槽壁境界条件を検討し、抵抗試験におけるブロッケージ影響の評価を可能にする。

本シミュレータでは、船体近傍部と側壁や底部などの水槽形状の両者を精度良く扱う必要がある。そのため、重合格子法(OverSet Grid Method)を適用する。重合格子法は、計算領域を互いにオーバーラップを許容した複数の格子ブロックでカバーし、それぞれのブロックの解を相互に補間することでカップリングして、全体の流場を求める手法である。図1に重合格子法のコンセプトを示す。ブロックの単部で他のブロックと重なった計算点(Receptor)において、変数を他のブロックにおいて計算された値(Donor)から補間することで情報を受け渡す。

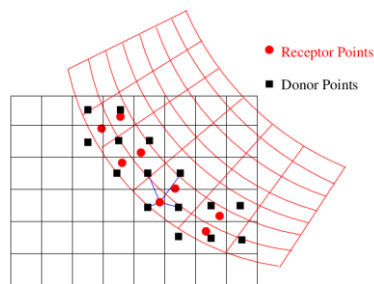


図1 重合格子のコンセプト

この手法により、複雑形状や相対運動する物体まわりの流れ解析における格子生成の労力を低減することができる。この重合格子法のもう一つのメリットは、サイズの異なる水槽や無限領域を擬した計算領域を扱う際にも共通の船体近傍の格子ブロックを用いることで、計算結果の比較が容易になることである。また、計算領域の中で高精度の計算が必要な領域に格子密度を高くした細密格子ブロックを配置して、全体の格子点数を抑えながら、高精度の計算を行うことも可能となる。

図2に重合格子の例を示す。船体近傍の格子ブロック(図2a)が水槽形状に対応した矩形ブロックおよび、高精度化のために自由表面近くに配置した細密化ブロック(図2b)と重合している。

図3は船尾部分の格子ブロックの重合状態を示している。重合された格子ブロックの格子点は、流れを計算すべき点、他のブロックから変数を補間する点(Receptor)、他のブロックへ変数情報を与える点(Donor)などに分類され、Receptor および Donor では、ブ

ブロック相互の位置関係から、補間係数を定める必要がある。

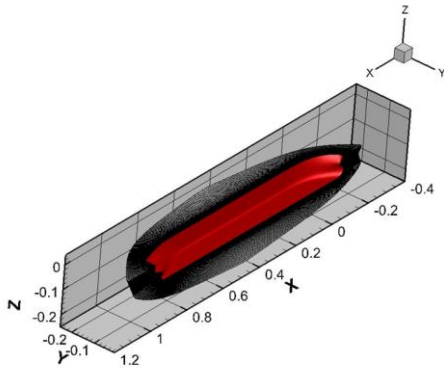


図 2a 重合格子における船体ブロック

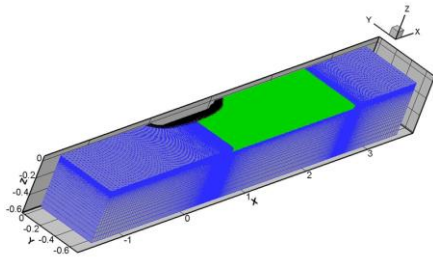


図 2b 重合格子における水槽格子ブロック (青)および細密格子ブロック(緑)

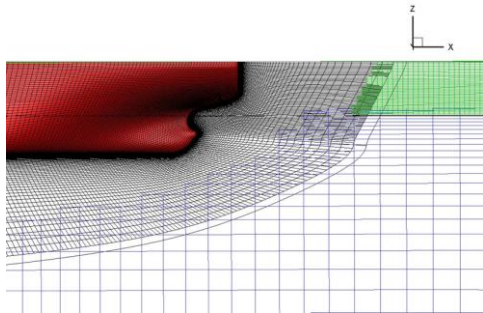


図 3 格子ブロックの重合

定常状態を扱う場合、計算格子は固定して一様流を流入境界で与えることになる。この場合、水槽の側壁および底部は一様流れと同じ速度で移動することになり、境界条件は流速一定となる。側壁では船体によって造られた波が壁面に到達し反射するので自由表面条件を満たす必要があるが、流速一定の境界条件と両立しない。流速ゼロの条件が与えられる船体表面における自由表面の扱いに類似した新しいモデルを開発する必要がある。

また、自航状態のシミュレーションのためには、プロペラモデルの導入が必要である。計算効率と簡便性のバランスを考慮して、体積力モデルを採用する。このモデルではプロペラの幾何形状を格子で表現するのではなく、プロペラの効果を体積力として扱う。重

合格子法に適合させるための手法を開発する。

図 4 は重合格子の例であり、船体ブロック、舵ブロック、船尾管ブロックなどで構成されている。

図 5 に体積力モデルによる計算例を示す。プロペラによる加速や舵に当たる旋回流などが表現されていることが分かる。

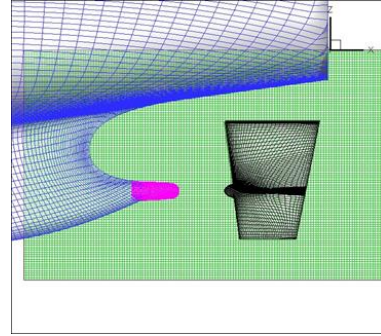


図 4 プロペラモデルのための重合格子の例

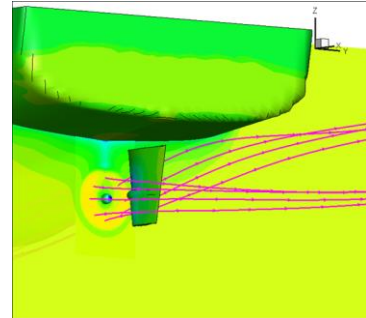


図 5 プロペラ体積力モデルによる計算例

以上により開発した水槽試験シミュレータによって、水槽サイズに比べて大型の模型船を用いた水素試験をシミュレートし、無限領域における解析結果との比較によって、水槽試験におけるブロック影響を評価する。

4. 研究成果

水槽試験シミュレータの有効性を確認するために長さ (L_{pp}) が 6.0m のばら積み貨物船模型を対象にして検討を行った。なお、模型船の船幅は 0.9588m、喫水は 0.3127m である。

比較のため、水槽形状の影響の無い無限流体中での模型船まわりの流れをシミュレーションした。計算には、有限体積法による 3次元非圧縮ナビエストークスソルバーを用いた。自由表面はレベルセット法によってモデル化し、乱流モデルとしては $k-\omega$ SST モデルを用いた。

計算格子を図 6 に示す。単一ブロックの格子とし、計算領域は、船長で無次元化して、

$$\begin{aligned} -1.50 \leq x \leq 3.50, \quad 2.00 \leq y \leq 0.00, \\ -2.00 \leq z \leq 0.0275 \end{aligned}$$

と十分広くとり、また外部では自由境界条件を与えている。格子点数は約 260 万である。

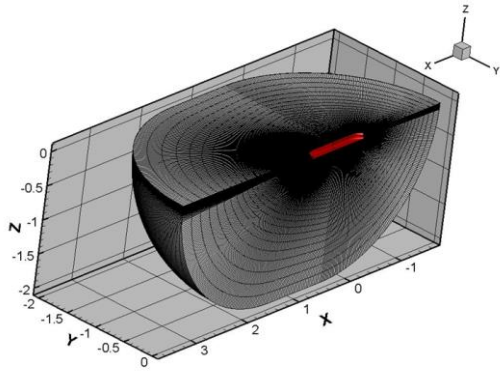


図 6 無限領域中の計算格子

対応する実験結果として、長さ約 200m、幅約 10m、水深 6.3m の水槽における抵抗試験結果を参照した。模型船に比べて十分に大きな水槽であり、水槽形状の影響は無視できると仮定した。

水槽試験状態と同様のフルード数とレイノルズ数を与え、抵抗試験をシミュレートした結果を図 7 に示す。

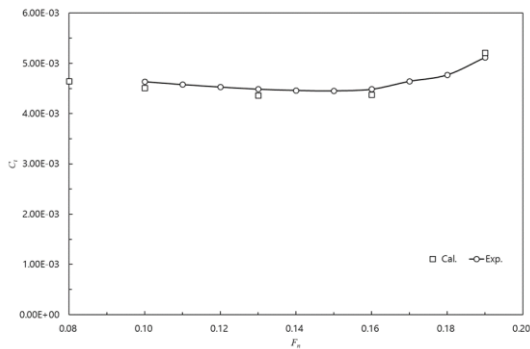


図 7 抵抗試験における全抵抗係数無限流体中の計算値と大型水槽における計測値

計算値は計測値よりやや低いが、広いフルード数範囲において、計測値の傾向をよく再現しており、計算手法の妥当性を示している。

フルード数 0.19 における波紋の計算値を図 8 に示す。船首波の形成およびケルビンパターンと呼ばれる、八の字状に広がる波の伝播がシミュレートされている。

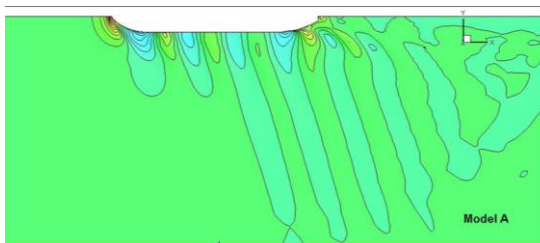


図 8 フルード数 0.19 における計算波紋図 (無限流体中)

図 9 は同じくフルード数 0.19 における船体表面の圧力分布である。ここでの圧力は静圧から静水圧成分を除いたものである。船側波形の形成とそれに対応圧力の高低が示されている。

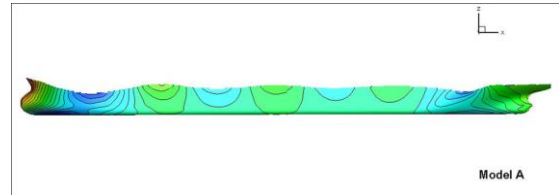


図 9 フルード数 0.19 における船体表面圧力分布の計算値 (無限流体中)

次に、この 6.0m 模型を長さ 100m、幅 8m、水深 3.5m の小型水槽において試験することを想定してシミュレーションを行った。

使用した計算格子は図 2 に示したものであり、計算格子数は、船体ブロックが約 200 万、水槽ブロックが約 140 万、細密格子が約 290 万であり、合計約 630 万である。また、水槽壁面および底面では、一様流と同じ速度で移動する境界条件を与え、水槽形状の影響を考慮している。

図 10 はフルード数 0.19 における計算波紋である。図 8 と比較すると、水槽側壁における波の反射が顕著であり、水槽形状が流れに影響を与えていることがわかる。

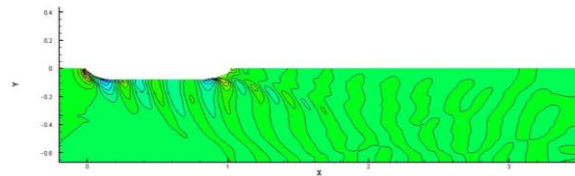


図 10 フルード数 0.19 における計算波紋図 (水槽状態)

図 11 は、水槽状態における船体表面圧力分布である。図 9 との相違は圧力分布のパターンで見ると大きくない。

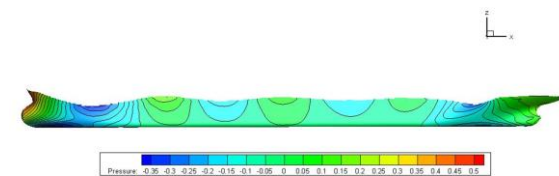


図 11 フルード数 0.19 における船体表面圧力分布 (水槽状態)

図 12 に全抵抗係数の比較を示す。水槽状態の方が無限流体中よりも抵抗が大きくなる傾向を示しており、高いフルード数において、その傾向はより顕著である。計算結果の詳細解析により、抵抗増加は船体沈下量の増

加によるものと推定された。

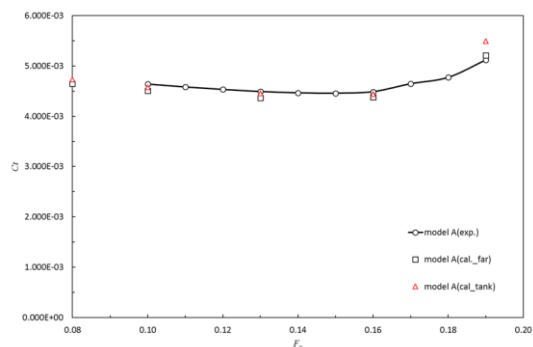


図 12 全抵抗係数の比較

大型模型を比較的小型の水槽で実験した際のブロック影響については、経験的な補正式が知られているが、今回の解析結果はそれらの補正式と同様の傾向を示している。

上述の補正式は、簡単な仮定に基づくものであり、対抗値についてのみ有効である。水槽試験シミュレータによる解析により、水槽形状の影響を流体力学に基づいて定量的に評価することが可能となり、また流場に対する影響も評価することが可能となる。

今後、さらに適用例を追加することによって、本手法の有効性を示すことが期待される。

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)

[学会発表] (計 1 件)

1) 大園拓実、日野孝則、”水槽形状を考慮した抵抗試験シミュレーション”、日本船舶海洋工学会推進・運動性能研究会、2016年10月20-21日、海上技術安全研究所、東京都三鷹市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日野 孝則 (HINO, Takanori)
横浜国立大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：60373429