

## 審査の結果の要旨

氏名 佐藤 陽平

本研究は、CFD 技術による多胴型の高速船型の性能推定法、およびその高速船の運航採算性を評価するための時間発展型のコンテナ貨物輸送シミュレーション法を構築するものである。

本論文は、二部で構成されており、第一部では、CFD による多胴高速船型の性能推定法について述べられ、第二部ではコンテナ貨物輸送シミュレーション法による高速船型の運航採算性の評価法について述べられている。

第一部では、多胴高速船型の抵抗性能、および耐航性能の評価のための CFD シミュレーション法 WISDAM-XI の開発を行っている。高速船型の抵抗性能については、水槽試験を用いてある程度の開発は可能であるが、耐航性能については、実験設備などの制約から水槽試験での評価は難しく、東京大学中心で開発された SSTH (超 Super Slender Twin Hull, 細長双胴船) や Hydrofoil Catamaran (双胴水中翼船型) などの多くの例では、実験船を使った実海域実験で評価するのが通例であった。実験船を用いた開発では、億単位の開発資金、および数年間の実験期間を必要とし、開発リスクが高く効率も低い。また、実験船の場合、実船の縮小モデルであるため、船長と波長および波高の関係が実船の場合と合せることが困難なこともある。従って、数値シミュレーションで、耐航性能を評価できる方法を開発することにより、高性能の船舶の開発が可能になり、更に、開発資金、および開発期間の面で、意義は大きい。

本研究の数値シミュレーション法は、支配方程式としては、URANS (unsteady Reynolds-averaged Navier-Stokes) 方程式を基本としたものであり、有限体積法で空間離散化し、対流項は 3 次精度、粘性項は 2 次精度で解き、自由表面は界面捕獲法のひとつである密度関数法を用いている。また、多胴船型周りの複雑形状の空間を取り扱うために、スタッガード変数配置に対応したマルチブロック法を開発している。耐航性能の推定のために、全方向からの入射波の生成が可能な造波境界条件を開発し、向波、斜め向波、横波、斜め追波、追波の規則波の造波できること示し、ほぼ完全な数値水槽を実現している。

まず、Wigley 船型および三胴船型を用いて、抵抗性能の推定精度の評価を行い、抵抗値、沈下量、トリム量、船側波形、波紋、三胴船型の船体間の相互干渉、全ての項目において、水槽試験結果と計算結果は高い精度で一致することを示し、本計算法の抵抗性能推定における有効性を明らかにした。この方法により単胴、双胴、三胴の 3 船型の抵抗性能の評価を行い、特に三胴船に対してはサイドハルの位置に対する詳細な比較を行っている。

耐航性能の推定法は、まず、もっとも単純な波浪中船体運動である動揺性能で精度評価を行っている。その結果、フリーロールおよび横波中ロール運動の計算が可能であり、またその推定精度は高く、単胴船型、双胴船型、三胴船型の動揺性能の差を良好な精度で評

価できることを明らかにしている。この方法を用いて、多胴船型の耐航性能の推定法の評価を行っている。計算条件は、船体が、波浪中（向波、斜め向波、横波、斜め追波、もしくは追波）を受け、4自由度の運動（サージ、ヒープ、ロール、およびピッチ）をしながら前進する状態である。この CFD シミュレーションは、「多胴船型の耐航性能計算」、および「追波中の耐航性能計算」の二つの点で新規性があるものである。まず、多胴高速船型の波浪中船体運動を、本計算法で計算可能であることを示した。次に、計算結果として、ヒープ振幅、ロール振幅、ピッチ振幅、ヨーモーメント振幅、および上下加速度を示し、WISDAM-XI により単胴船型、双胴船型、および三胴船型の耐航性能の差を評価可能であることを明らかにしている。

第一部の最後では、実海域の波浪特性、CFD 計算結果、および水槽試験結果を基に、7,500 トン型の単胴船型、双胴船型、および三胴船型の基本設計を行い、運航採算と建造費を比較している。

第二部では、コンテナ貨物輸送シミュレーション法を構築している。離散型、時間発展型、マルチエージェントをコンセプトとしたこのシミュレータにより、日中間の全てのコンテナ貨物を作成されたネットワークに乗せ輸送することを一時間ごとの時間発展でシミュレートし、各船舶の運航採算、およびコンテナ貨物輸送システム全体の効率を評価する手法である。

構築されたシミュレータを用いて、日中間コンテナ貨物輸送の現状再現シミュレーションを行い、輸送システム全体の総犠牲量を算出できることを示し、同時に、各船舶の消席率、および採算を検討できることを示している。また、運賃を変えたシミュレーションを行い、運賃が消席率と採算に与える影響、すなわち荷主と海運会社の取引をシミュレートできることを示し、本シミュレーション法の有効性を明らかにしている。

次に、第一部で開発した高速船型が日中航路に投入されたときの運航採算性を評価している。その結果、単胴高速 Ro/Ro 船、もしくは 30 ノットの三胴船が、大阪-上海間に就航した場合黒字となることを示した。黒字となる要因は、短時間で貨物を運べることによる優位性（航海速度が速く、Ro/Ro 船であるため荷役時間の短縮できる）と、Ro/Ro 船の荷役費が安いことであることを明らかにしている。また、運賃シミュレーションを行い、利益が最大となる運賃を算出した。これらの高速船が就航することにより、総犠牲量は低減し、物流システム全体の効率が向上することが示されている。このように、コンテナ貨物輸送シミュレーションにより、船舶の運航採算性と物流システム全体の効率を評価できることを示し、その有効性を検証している。

以上のように本研究は多胴船の CFD シミュレーションによる設計法を開発するとともに、新しい海上物流シミュレーション法を開発しており、造船、海運、物流の世界に大きく貢献するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。