



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	CFD解析を用いたオッターボードの設計に関する研究 [全文の要約]
Author(s)	高橋, 勇樹
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(水産科学)
Dissertation Number	甲第11776号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58611
Type	doctoral thesis
File Information	Yuki_Takahashi_summary.pdf



主論文の要約

博士の専攻分野の名称：博士（水産科学）

氏名：高 橋 勇 樹

学 位 論 文 題 目

CFD 解析を用いたオッターボードの設計に関する研究

これまで、オッターボードの設計に関する研究は模型実験によるものが主流であった。そのため、模型作成にかかる時間的、費用的なコストの問題から試行できる形状は限られており、その設計は経験則によるところが大きく、形状も従来のものが踏襲されてきた。本研究では以上のような問題を解決する手法として CFD 解析に着目した。CFD 解析はシミュレーション手法であり、ためらいなく様々な形状のオッターボードを試行できるだけでなく、詳細な流れの可視化を行えるため、より精密な設計が可能になると考えられる。

以上から、オッターボード設計の効率化、設計の自由度の向上を目標として、オッターボード設計への CFD 解析の導入を試みた。本研究では、まず CFD 解析と水槽実験による結果を比較して精度を確認したのち、オッターボード周囲の流れ場を詳細に分析し、現状オッターボードの流体力特性を明らかにした。さらに、この情報を基に現状のオッターボードに改良を加え、新しい形状のオッターボードを設計し、CFD 解析を用いたオッターボード設計の一連の流れを示した。

本論文は 4 章構成であり、具体的には以下のように研究を進めた。

第 1 章では、複葉型オッターボードと縦湾曲型オッターボードを対象に CFD 解析を行い、水槽実験と比較した。流体力係数、流れの可視化の両面から CFD 解析の精度を検証し、オッターボードに対する CFD 解析適用の有効性を示した。

第 2 章では、CFD 解析を用いてオッターボード周囲の流れ場を可視化し、複葉型、縦湾曲型オッターボードの流体力特性について考察した。また、これらの結果から、複葉型、縦湾曲型オッターボードの特徴、および問題点について議論した。

第 3 章では、オッターボードの効率的な設計手法の提案を行った。これまでに述べたとおり、オッターボードの設計は経験則によるものが主流であった。しかし、設計パラメータの組み合わせは膨大であり、水槽実験はもちろん、CFD 解析を適用しても全ての組み合わせを試行するのは困難である。ここでは CFD 解析と、最適化手法の一つである多目的遺伝的アルゴリズムを用い、効率的な設計手法を提案した。

第 4 章では新しい形状のオッターボードを提案した。まず、第 2 章で得られた結果を集約して、現在のオッターボードの問題点について考察した。その後、マイナスの要因となっている設計パラメータを排除し、必要な箇所には整流板を取り付ける等の工夫を行うことで新たなオッターボードを提案した。同オッターボードについては第 3 章で提案した最適化手法を適用して、形状の最適化を行った。

第1章 複葉型、縦湾曲型オッターボードを用いた CFD 解析の妥当性の検証

複葉型オッターボードと縦湾曲型オッターボードを対象に CFD 解析と水槽実験を行い、結果を比較することで CFD 解析の精度を検証した。なお、複葉型オッターボードについては、水槽実験でオッターボード周囲の流れを可視化し、流れ場の面からも CFD 解析と比較した。

その結果、複葉型オッターボードでは最大揚力係数が CFD と実験値でよく一致し、抗力係数についても全ての迎角で実験値とほぼ一致した。縦湾曲型オッターボードでは、一部で最大揚力係数を示す迎角に誤差が見られたものの、設計パラメータを変えたことによる流体力の増減傾向はよく一致した。また、複葉型オッターボードを対象にタフト法と水素気泡法によって可視化実験を行い、それぞれ CFD による剥離域と流線と比較したところ、両者の傾向は似かよっていた。以上から、以後オッターボードを対象に CFD を用いた詳細な考察を行うにあたって、その妥当性を流体力、流れ場の可視化の両面から確認することができた。

第2章 CFD によるオッターボードの流体力特性の考察

本章では前章で使用した複葉型オッターボードと縦湾曲型オッターボードを対象に、CFD 解析のポスト機能を用いて特定部位の流体力の抽出や流れ場の可視化を行い、それぞれの流体力特性について議論した。

複葉型オッターボードについて、前翼と後翼それぞれの流体力係数を抽出したところ、前翼では後翼が失速を迎えた後もその揚力係数を維持しており、これによって複葉型オッターボードは広い迎角範囲で高い揚力係数を維持できたものと考えられる。また、設計パラメータを変更したときの結果について、翼の相対位置を変えた場合には前翼の流体力特性へ与える影響が大きく、反り比を変えた場合には後翼へ与える影響が大きかった。これに加えて、剥離が流体力に与える影響についても考察し、オッターボードにおいては剥離の拡大は揚力の減少につながるが、抗力の爆発的な増加にはつながらないことを指摘した。

縦湾曲型オッターボードについて、上反角、後退角を変えたときの結果から、これらの角度を過度に与えると剥離が増加し、結果、その揚力係数は減少した。上反角、後退角はオッターボードの安定性のために取り付けられたものだが、オッターボードの設計においては、流体力特性に悪影響を及ぼさない範囲で上反角、後退角を設定する必要があると考えられる。また、翼端渦によるオッターボードの流体力特性への影響を評価するために、オッターボードを高さ方向に分解し、それぞれの流体力を抽出した。各部位の揚力係数、抗力係数と翼端渦の渦度との相関係数を見ると、翼端渦は揚力よりも抗力の発生要因になっていることが分かった。また、揚抗比について見ると、翼端部では中心部の 66% にまで減少することが分かった。以上から、オッターボードの性能を高めるためには、翼端渦を抑制するような設計が必要になると考えられる。

第3章 多目的最適化を用いたオッターボードの設計手法

この章では、多目的最適化手法の一種である多目的遺伝的アルゴリズムとニューラルネットワークを組み合わせた最適化手法を提案した。その後、同手法を複葉型オッターボードに対して適用することで、手法の有効性を確認するとともに、最適化したモデルの流体力特性について考察した。

複葉型オッターボードに対して適用した結果、全てのモデルで従来型よりも性能が向上した。また、パレート解の中からいくつかのモデルを選定し、迎角 $\alpha = 0 \sim 40^\circ$ の範囲で流体力を算出したところ、揚力係数では一部のモデルで従来型を下回ったものの、抗力係数、揚抗比については改善が見られた。以上から、提案した手法はオッターボードの形状

最適化において有効な手法であり、今後は効率的にオッターボード形状の最適化が可能になると考えられる。また、最適化した複葉型オッターボードについて前、後翼の流体力を抽出したところ、後翼でほとんどの揚力を稼ぐように設計された。

第4章 新型オッターボードの提案と設計

本章ではここまでで得られた知見を生かして、新しい形状のオッターボードを提案した。提案したオッターボードについては、第3章で示した最適化手法を用いて形状の最適化を行うことで、CFD解析を用いたオッターボードの設計方法の一連の流れを示した。ここでは、複葉型オッターボードと縦湾曲型オッターボードについてそれぞれの問題点を考察し、新複葉型オッターボード、新縦湾曲型オッターボードを提案した。

・新複葉型オッターボード

新複葉型オッターボードについて、従来の複葉型では後翼による流体力が支配的であったのに対し、後翼の翼弦長を主翼(前翼)の1/5にすることで、補助翼としての役割を与えた。CFD解析によって新複葉型オッターボードの流体力を算出したところ、揚力係数は従来型よりも下回ったものの、抗力を大幅に削減でき、結果揚抗比も向上した。近年は燃油費の高騰等の問題から、スマートな漁業が求められている。その観点から、ここで提案したオッターボードは抵抗力が小さいことから燃油費の削減につながると考えられ、環境にも配慮したオッターボードの設計ができたと考えられる。

・新縦湾曲型オッターボード

新縦湾曲型オッターボードについて、翼端板を取り付けることによって、翼端渦の抑制を試みた。また、反り位置を変更し剥離を遅らせることで、広い範囲で揚力係数を維持できるようにした。その結果、新縦湾曲型オッターボードの基本翼形では、迎角 $\alpha = 20^\circ$ における揚力係数は従来の縦湾曲型と比較して大幅に向上した。ただし、 $\alpha = 20^\circ$ 以降の迎角での失速が顕著であり、 $\alpha = 25^\circ$ では従来の縦湾曲型の方が揚力係数は大きかった。これに対して、新縦湾曲型を対象に最適化を行った結果、最適化したモデルでは反り位置が基本翼形よりも前方に配置され、これによって剥離が減少したことで基本翼形よりも広い範囲で揚力を維持できた。

本研究では、これまでに得られた流体力特性に関する知見と提案した最適化手法を用いて、新しいオッターボードを設計した。その結果、従来よりも優れた性能を持つオッターボードを開発できた。以上から、CFD解析を用いることで経験則によらないオッターボードの設計ができ、設計手法の一連の流れを示すことができたといえる。

実際の漁業の現場においては、利用する網の規模、漁船のエンジンの馬力等からオッターボードに求められる流体力が変わってくる。こうした問題に対して、これまではオッターボードのサイズを変更することで様々な網規模やエンジン出力に対応してきた。これに対して、本研究における設計では、揚力係数と抗力係数を目的変数とした最適化を行うことで、一つのオッターボードから様々な特性を持つものを提案できる。そのため、網や漁船規模に適した流体力特性を持つオッターボードを比較的容易に設計でき、それによってオッターボードの小型化が期待できる。結果的に、オッターボードの取り扱いが容易になるばかりでなく、かかる抗力を極力抑えることができるため、環境にも配慮したスマートな漁業の実現に貢献できると考えられる。

また、本研究では全ての解析を一般的なデスクトップPCで行った。なお、各オッターボードの計算時間は1ケースにつき20~60分程度であり、一連の最適化の流れも2,3日

程度で行うことができる。以上から、本研究で示した手法では少ない初期投資でも、短時間でオッターボードの設計が可能であり、導入も比較的容易であると考えられる。今後は実際の設計の現場で提案した手法を用いることで、オッターボード漁業の発展に寄与できると考えられる。

最後に、本研究では **CFD** 解析を用いて新しいオッターボードの提案、設計を行い、その一連の流れを示した。ここで提案した **CFD** 解析を用いた設計手法はスーパーコンピュータ等を用いず、全て一般のコンピュータで行ったものである。そのため、小さい初期投資でも本設計手法を導入できると考えられる。また、今回提案した多目的最適化では、揚力が高いものから、抗力を抑えたモデルまで、様々なモデルが存在する。以上から、今後は使用する網や漁船規模に応じた設計が可能になると思われる。ただし、本研究では設計したオッターボードについて模型実験を行うところまでは至らなかった。実用化に向けては模型実験のステップは必須であり、今後の研究課題となるであろう。