

学 位 論 文 題 名

成分分離型数学モデルによる
船の操縦流体力推定に関する研究

学位論文内容の要旨

【 研究の背景と目的 】

日本は世界有数の経済水域を持ち、世界3大漁場の一つである北太平洋を包括している。また、伝統的に魚食国民であることから漁業は不可欠の産業である。漁船は漁業の生産手段として重要な役割を担っており、その隻数は商船のものに比べて比較にならない程格段に多い。その漁船の操縦性能については、一般に商船に比べ舵面積比が大きく船尾トリムを有することことから旋回性能・進路安定性に優れ、特に操縦性を検討する必要はなかった。しかし、トロール船第5龍寶丸の転覆事故では操舵による旋回性能が転覆の要因の一つとなっている。また、北欧におけるトロール船のように船幅に比べ船長の短い漁船船型では進路不安定な船型も存在する。将来このような船型が我が国でも採用されると漁船の操縦性能の推定は重要な課題になってくる。一方商船においても海難事故の発生はかなりの数に上っており、海難事故の原因に関して国際海事機関では航行の安全性確保の観点から船舶の操縦性に注目し、操縦性能を十分に有する船舶の建造を目指して、設計の段階においてこの操縦性能を考慮する操縦性基準が採択された。操縦特性を設計段階から推定する方法には様々あるが大洋航行中の操縦性能は大略推定可能な状況となってきた。しかし、特に問題となるのは出入港時等の低速航行中の操縦性能である。また、港湾内などの水深が浅い水域では船底の流れが大きく減少し、船体に働く流体力や付加質量が大きく異なるためである。また、出入港時の低速航行時には風や潮流等による外力が大きくなる場合があり、この時船の横流れや旋回運動が前進運動より大きくなって、船舶等を危険な状況にさらすことになる。

本研究では低速航行時に前進速度が小さくなって斜航角や旋回曲率が増大する場合の主船体操縦流体力を表現する数学モデルを提案し、それらの流力特性係数を決定するための適切な実験方法とその解析方法を構築することを目的とする。その際、成分分離型数学モ

デルの利点を生かした実験方法と解析手法についても併せて考案する。また、港湾内等の浅水域におけるこの成分分離型数学モデルの適用の可能性についても検証し、必要に応じてこの数学モデルを改良し、より広範な操縦運動に適用可能な数学モデルを確立することを目的とする。

[方法及び内容]

本研究に用いる成分分離型数学モデルは、通常航行時の運動を含む横流れ角が大きくなる大斜航時と旋回運動を対象とし、船体に作用する Surge, Sway, Yaw の3分力を運動変数 u , v , r と渦の強さ等の係数の関係式によって流体力学的な視点から表現しようとするものである。この数学モデルは渦モデルで構築され、渦の強さを表す係数を斜航時と旋回時とで共通で用いることにより、比較的少数の係数で大斜航、旋回の主船体操縦流体力を推定できる特長がある。さて、このモデルを用いて精度良く低速時の操縦流体力を求めるには模型船に運動を強制して流体力を求める拘束模型試験が必要になる。運動を一定に与える定常試験は斜航角や旋回角速度が一定に保たれるので、多少の実験的なバラつきが発生しても、平均値の形で解析できるため精度が高い。ただし、一つの試験で一つの運動状態の流体力しか得ることができないため、一通りの操縦運動をカバーする流体力を得るには数多くの試験を行う必要がある。また、旋回試験では大きな角水槽も必要となる。一方、動的な試験には、正弦状に運動を変化させて行う PMM 試験がある。PMM 試験では斜航角や旋回角速度が一定でなく時々刻々変化するために1つの試験データに含まれる情報量が多く、比較的数少ない試験で広い運動範囲の流体力の特性が得られる利点がある。しかしその反面、強制した運動の履歴が流体力に影響をおよぼす、いわゆるメモリーエフェクトが現れることに注意が必要である。

本研究の構成は以下のとおりである。第1章である本章において船舶の操縦性能把握、特に低速航行時の操縦性能を含めた数学的取り扱いの必要性を示し、大斜航角までの操縦流体力を表現できる主船体操縦流体力モデルの必要性について述べる。第2章においてはまず、本研究の核となる成分分離型数学モデルの詳細について述べる。続いてこのモデルを構成する流力特性係数を、斜航試験、拘束旋回試験(CMT)といった定常試験から解析する手法について示す。第3章ではダイナミックに運動を強制する PMM 試験などから定常流体力を抽出する手法を提案し、2章同様の広い運動範囲の主船体定常流体力を推定する方法について論じる。第4章では港湾内操船等で問題となる浅水影響について成分分離型数学モデルを用いた低速航行時の流体力への適用を行い、この数学モデルの妥当性と今後

の改良に向けての方策について論じる。第5章は本研究のまとめを述べる。

[結論及び考察]

- 1) 成分分離型モデルの流力特性係数の解析方法については、各係数の特性を考慮した上で分類し、これを精度良く解析する手法を確立した。
- 2) 小斜航角範囲で解析を行っても、流体力の大概の推定ができることがわかった。これは、本数学モデルが流体力学に基づいた構造となっていることによるもので、本数学モデルの利点と言える。
- 3) 動的な運動を強制する PMM 試験では、一度の試験で多くの流体力のデータが得られることに注目し、PMM 試験結果から定常流体力を抽出する手法を確立した。その際、PMM 試験から得られる計測力から加速度に比例する流体力を特定し、その後これを慣性力とともに差し引くことによって非線形項を含んだ定常流体力の抽出を行う手法である。このようにして得られた定常流体力を斜航試験や拘束旋回試験、CMT 結果と比較した結果、十分小さい周波数を選ぶことで精度良い定常流体力の抽出ができることを明らかにした。
- 4) Pure Sway Motion から斜航の線形係数、Pure Yaw Motion から純旋回の線形係数を求め、周波数の十分小さく最大斜航角が大きい Combined Motion から斜航の非線形係数を求めることにより、幅広い運動範囲の流体力の精度の良い同定が可能になることが明らかになった。
- 5) 通常の PMM 試験では運動が最大加速度で始まるため、初期の実験データの精度が落ちる。そこで、速度と加速度が 0 から始まる新しい PMM 試験方法を開発した。この新しい試験方法の採用によって、計測精度の向上と小規模水槽での実験が可能になる。
- 6) 浅水域の定常流体力に成分分離型数学モデルを適用した結果、小斜航角流体力を利用することで大斜航角を含む浅水域流体力を精度よく表現出来る事がわかった。ただし N'_H の $\beta > 40^\circ$ については精度的に不十分でこの点は今後の課題になる。
- 7) 浅水影響として喫水・水深比に対する成分分離型数学モデルの流力特性係数の変化傾向を把握することができた。この傾向をデータベース化することによって、将来、深水域の流体力特性から浅水域の流体力特性を推定できる可能性がある。
- 8) 深水および浅水域にかかわらず船尾横力 $Y'a$ は斜航角に比例して直線的に変化する傾向をつかんだ。成分分離型数学モデルを浅水域の流体力に適用するに際しては、理想流体力のムンクモーメントに偶力モーメントの補正を加えることで浅水域流体力に適用できる可能性を示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 芳 村 康 男

副 査 教 授 天 下 井 清

副 査 助 教 授 蛇 沼 俊 二

学 位 論 文 題 名

成分分離型数学モデルによる

船の操縦流体力推定に関する研究

本研究は、漁船を含む船舶の操縦性能を推定するに際し、特に港内操船や漁労中の操船のように、低速航行時で前進速度が小さくなって、斜航角や旋回曲率が増大する局面の主船体操縦流体力の数値的表現方法、及びその実験・解析方法についてそれぞれ新しい手法を構築した。具体的には、操縦流体力モデルとして従来にはない、可能な限り流体力学的根拠に基づいた成分分離型の数学モデルを提案し、それらの流力特性係数を決定するために、「one shot PMM試験」といった新しい模型実験方法を開発して、船舶操縦運動シミュレーションを行うための流体力の数値的表現について研究を行った。その主要な研究成果は以下のとおりである。

1. 操縦運動数学モデルの開発

通常航行時の操縦運動に加え、低速航行時で船の斜航角や旋回曲率が大きくなる局面の操縦運動を対象とし、船体に作用するSurge, Sway, Yawの3分力を運動変数 u , v , r と渦の強さ等の係数の関係式によって、流体力学的な視点から操縦流体力を表現する目的で、成分分離型数学モデルを構築した。この数学モデルは渦モデルで構築され、渦の強さを表す係数を斜航時と旋回時とで共通で用いることにより、比較的少数のパラメータで大斜航、旋回の主船体操縦流体力を数値的に表現できる特長がある。

2. PMM試験による操縦流体力解析法の開発

このモデルには14個の流力特性係数が必要になるが、この係数を求めるには模型船に運動を強制して流体力を求める拘束模型試験が必要になる。本研究では、動的な運動を強制するPMM試験が一度の試験で多くの流体力のデータが得られることに着目し、この試験結果から定常流体力を抽出する手法を確立した。その際、計測力から加速度に比例する流体力を特定し、その後これを慣性力とともに差し引くことによって非線形項を含んだ定常流体力の抽出を行う手法を開発した。この方法は、運動履歴の違いによって生じる流体のメモリー影響を最小

限に抑えることが可能である他、Pure Sway Motionから斜航の線形係数、Pure Yaw Motionから純旋回の線形係数を求めるという各係数の特性を考慮した上で適用試験を分類し、これを精度良く解析する手法を構築した。

3. 新しい「one shot PMM試験」による操縦流体力解析法の開発

通常のPMM試験では運動が最大加速度で始まるため、初期の実験データの精度が落ちる。そこで、速度と加速度が0から始まる新しいPMM試験方法を開発した。この新しい試験方法の採用によって、従来のPMM試験では解析できなかった試験開始直後の計測データに対しても適用が可能となり、流体計測精度の向上と小規模水槽での実験が可能になった。

4. 浅水域の操縦流体力への適用

成分分離型数学モデルを浅水域の定常流体力に適用した結果、小斜航角流体力を利用することで大斜航角を含む浅水域流体力を精度よく表現出来る事がわかった。特に、深水および浅水域にかかわらず船尾横力が斜航角に比例して直線的に変化する傾向をつかんだ。また、成分分離型数学モデルを浅水域の流体力に適用するに際しては、理想流体力のムンクモーメントに偶力モーメントの補正を加えることで浅水域流体力に適用できる可能性を示した。また、浅水影響として喫水・水深比に対する成分分離型数学モデルの流力特性係数の変化傾向を把握することができた。この傾向をデータベース化することによって、将来、深水域の流体力特性から浅水域の流体力特性を推定できることも明らかにした。

審査員一同が評価した点は以下の通りである。

- 1) PMM試験といった動的な運動を模型船に強制することによって、これらの試験結果から定常流体力を抽出する手法を確立した。その際、PMM試験によって得られる計測力から、慣性力と加速度項を差し引くことによって非線形項を含んだ定常流体力を抽出し、これに本研究で構築した成分分離型数学モデルを適用することによって、幅広いレンジの操縦流体力を数値的に表すことを可能にした点。
- 2) 従来のPMM試験は、しかし、運動が最大加速度で始まるため、初期の実験データの精度が落ちる。このため本研究では、速度、加速度共に0から始まる新しい「one shot PMM試験」方法を開発し、この試験方法の構築によって、計測精度の向上と小規模水槽での実験を可能にした点。
- 3) 本研究で構築した成分分離型数学モデルは、浅水域の定常流体力についても適用を試み、その結果、船の喫水の1.5倍までは、大斜航角を含む浅水域流体力を精度よく表現出来る事がわかった。また、数学モデルの主要な流体力係数の浅水変化についても明らかにすることができ、また、この傾向をデータベース化することによって、深水域の流体力特性から浅水域の流体力特性を推定できる可能性を示した点。

審査員一同は本研究が、漁船を含む船舶の設計段階において、操縦性能の推定及び船型

を評価し、改良を行う上で有用な手法になることが期待され、船の航行の安全性確保に資するものと高く評価し、本論文が博士(水産科学)の学位を授与される資格のあるものと判定した。