

学位論文題名

船舶航行時の主船体操縦流体力および操縦運動の推定

学位論文内容の要旨

1. 研究の背景と目的

漁船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にもかかわらず、その運動性能、中でも操縦性能は操船者や技術者に多くの関心を払われてこなかった。その大きな理由として、商船に比べると漁船は小型で操船が容易であること、また船価が安いことや海難事故等で与える被害額が極端に違うことなどがある。しかし、一旦多数の死者や行方不明者を出す漁船の海難事故が発生すると、海難審判等では漁船の横揺れを含めた4自由度の操縦運動性能が問題となる場合がある。一般商船についていえば、70年代、80年代のタンカーの座礁などによる油流出事故が甚大な環境汚染を引き起こし大きな社会問題となったことを契機に、国連の海事に関する専門機関である国際海事機関(IMO: International Maritime Organization)によって1993年に操縦性暫定基準が、2002年に操縦性基準が採択された。これにより一般商船の建造に際してはこの基準を満たしていることが必須要件となっている。

これらの背景をもとに、船舶研究者や設計者は船舶建造や海難事故調査に際して操縦性能をできるだけ精度良く把握することが求められている。また船舶の建造には多大な資材や労力といったコストがかかるため、建造後に手直しができないように基本計画段階で精度良く把握しなければならない。これらのことから、操縦性能の把握には注意が必要で、実際には主に海上試運転結果や模型試験、データベースを用いて操縦性能を推定する方法がとられている。これらの中でも推定精度が良いとされる手法の拘束模型試験や流体力データベースを用いる際は、これらの結果を用いて運動方程式により操縦運動を推定するため、できるだけ確かな運動モデルが必要となる。その際、運動方程式を構成する流体力、中でも基本的な運動推定に決定的な影響を与える裸殻船体つまり船体からプロペラや舵を除いた主船体流体力の推定が重要である。また設計初期段階での使用に耐えうる程度に簡便にこれらを推定できることが望まれる。

本研究では主船体流体力の表現モデルには船体に働く流体力を起因する流体力の成分ご

とに分離して物理的に表現した鳥野らによる成分分離型数学モデルを用いる。船体に働く力が簡易な渦モデルを用いて物理的に明確に与えられており、通常航行時ばかりでなく港湾内のような低速で航行し横流れが大きくなる大斜航時や、航走等によるトリム変化時の船体流体力を同一の式で表現できる特長があるからである。このモデルは一部大手造船所で実船での運動制御やシミュレータ開発に用いられ成果をあげているが、船体主要目だけからモデルに含まれる流体力係数の推定式を提案するには至っておらず、設計の初期に操縦性能を推定できる段階にはない。そこで本研究は漁船を含めた船舶が通常航行を超えた大斜航運動と横揺れ運動をする 4 自由度の操縦運動を発展性や万能性が期待される成分分離型数学モデルを用いて操縦運動モデルを考え、船舶の基本計画段階および海難事故調査で 4 自由度操縦運動の推定を行えるようにすることを目的とした。

2. 論文内容

第 1 章では操縦性能把握の必要性を述べ、港湾内や操業時のような大きな横流れを伴う操縦運動を推定できる主船体操縦流体力モデル、即ち成分分離型数学モデルの概要を説明する。

第 2 章において、成分分離型数学モデルに含まれる流力特性係数を船体主要目で推定するためのデータベース化を目指し、漁船 3 隻を含む 4 隻の拘束模型試験を実施し、その試験結果と解析するための成分分離型数学モデルを示す。

第 3 章では第 2 章で行った模型試験結果とすでに報告されている試験データを合わせて流体力係数をデータベース化し、それらから船体主要目を用いた係数の推定式を提案する。

第 4 章では第 3 章で提案した推定式を用いて、大斜航角範囲におよぶ主船体操縦流体力の推定について検討する。またデータベースの手法を上回る推定精度が求められる場合のことを考えて、実験工数の少ない小斜航角範囲の拘束模型試験から、大斜航角範囲の主船体操縦流体力の推定について検討する。

第 5 章では第 4 章の推定手法による主船体操縦流体力を用いて操縦運動を推定するために、横揺れモーメントも成分分離型数学モデルで構成した 4 自由度操縦運動モデルの妥当性を検討する。

第 6 章では第 5 章で妥当性を確認した操縦運動モデルを用いて舵角 35°の通常旋回試験や低速で横流れの大きな操縦運動などを推定し、模型試験やデータベースの手法などを用いた場合の流体力推定精度の違いが運動へ与える影響について検討する。また海難事故の再現シミュレーションを簡便に行えるよう、船体主要目や海上試運転結果から操縦運動を推定する手法を開発する。

第 7 章は次に示す本研究のまとめを述べる。

3. 研究成果

- 1) 漁船模型 3 隻を含む 4 隻の模型試験を実施し、主船体操縦流体力の成分分離型数学モデルによる解析を行い、そのモデルに含まれる船体周りの渦の強さ等を表わす船体固有の流力特性係数を得た。
- 2) 上記模型試験の解析結果の他に多数の供試データの解析結果を加えデータベース化して流力特性係数の推定式を導いた。これを用いて船体主要目から推定した大斜航角範囲の主船体流体力は概ね推定できていることがわかった。
- 3) 更に、上記推定式は等喫水時のものであるが、模型実験により把握したトリム時の流力特性係数の傾向は、トリム変化には殆ど影響を受けないことがわかった。このことからトリムした船体でも上記推定式を利用することができ、実際にトリム変化など载荷状態が変化した流体力を大略推定できた。
- 4) 前述の推定式による手法よりも精度が求められる場合を考慮して模型試験を行う場合、どの程度簡易な試験で済ませられるか検討した。その結果、実験工数の少ない小さな斜航角範囲の斜航試験で、大斜航角範囲の主船体流体力を精度良く推定できることがわかった。
- 5) 漁船などの操縦運動で横揺れが重要となる場合を考えて、前後力、横力、回頭モーメントに加えて成分分離型数学モデルを用いた横揺れモーメントの流体力モデルを構築した。4 自由度拘束模型試験を実施して横揺れモーメントのモデルを検証した結果、流体力を十分に表現できることがわかった。
- 6) 運動推定のために 4 自由度操縦運動モデルを上記成分分離型数学モデルで構成しシミュレーションを行えるようにした。自由航走漁船模型試験を用いて実験値とシミュレーションを比較検証した結果、十分な推定精度を確保できることがわかった。
- 7) また、流体力データベースや簡易な小斜航角拘束模型斜航試験の手法より推定した流体力を用いることでも操縦運動の推定精度を確保できることがわかった。
- 8) 海上試運転の一部のデータを用いて操縦運動モデルを簡易に同定する手法を構築した。その結果、操縦運動シミュレーションで未明の操縦運動の推定ができるようになった。これにより漁船など操縦性能に関する資料の少ない場合でも諸々の操縦運動を推定でき、例えば海難事故が起きた際の運動を簡便に推定できるようになった。

以上のことから、成分分離型数学モデルを用いた流力特性係数のデータベースと 4 自由度操縦運動モデルを構築したことで横揺れや大斜航に及ぶ主船体流体力と操縦運動を推定できるようになった。このことから基本計画段階や海難事故時の操縦運動において船舶性能を知る際には、本研究は大いに貢献できると期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 烏 野 慶 一
副 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

船舶航行時の主船体操縦流体力および操縦運動の推定

漁船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にもかかわらず、その運動性能、中でも操縦性能は操船者や技術者に多くの関心を払われてこなかった。その大きな理由として、商船に比べると漁船は小型で操船が容易であること、また船価が安いことや海難事故等で与える被害額が極端に違うことなどがある。しかし、一旦多数の死者や行方不明者を出す漁船の海難事故が発生すると、海難審判等では漁船の横揺れを含めた4自由度の操縦運動性能が問題となる場合がある。一般商船についていえば、70年代、80年代のタンカーの座礁などによる油流出事故が甚大な環境汚染を引き起こし大きな社会問題となったことを契機に、国連の海事に関する専門機関である国際海事機関(IMO: International Maritime Organization)によって1993年に操縦性暫定基準が、2002年に操縦性基準が採択された。これにより一般商船の建造に際してはこの基準を満たしていることが必須要件となっている。

これらの背景をもとに、船舶研究者や設計者は船舶建造や海難事故調査に際して操縦性能をできるだけ精度良く把握することが求められている。また船舶の建造には多大な資材や労力といったコストがかかるため、建造後に手直しができないように基本計画段階で精度良く把握しなければならない。これらのことから、操縦性能の把握には注意が必要で、実際は主に海上試運転結果や模型試験、データベースを用いて操縦性能を推定する方法がとられている。これらの中でも拘束模型試験や流体力データベースを用いる際は、これらの結

果を用いて運動方程式により操縦運動を推定するため運動方程式の外力項、すなわち船体に働く流体力においてできるだけ確な推定モデルが必要となる。

本研究は、運動方程式の外力を構成する流体力を船体裸殻である主船体とプロペラ、舵およびそれらの相互干渉により構成されるいわゆる MMG モデルを用いて、できるだけ簡便に限られた条件から操縦運動を推定することを目的としている。MMG モデルでは船の操縦運動は主船体、プロペラ、舵力などの単体に働く力とそれらの相互干渉によって誘起されるものとして取り扱われており、各々の流体力の推定精度が全体の運動の推定精度に影響を与える。本研究ではこれら流体力の中でも特に操縦運動に決定的な影響を与える主船体流体力の推定に重点を置いており、その他のプロペラ、舵等に働く力と干渉力については既存の推定法に準拠して取り扱っている。また、実際に操縦運動の推定を行う際は、通常は前後、横、回頭方向の 3 自由度の運動であるが、高速航行する商船や漁船の海難事故調査等の分析においては操舵による横傾斜が重要になることを考えて、横揺れ運動を加えた 4 自由度の操縦運動を推定している。

本研究では主船体流体力の表現モデルとして簡易渦モデルから誘導され船体に働く流体力を起因する流体力成分で分離して構成された表現の成分分離型数学モデルを用いた上で、次のような手順で主船体流体力および 4 自由度操縦運動の推定を行っている。

- 1) 先ず漁船 3 隻を含む 4 隻の供試船を用いて拘束模型試験を実施し主船体流体力をえて、さらに漁船や商船等の公表されている流体力資料を追加して多数模型船の流体力データを収集した。これらデータに成分分離型数学モデルを適用して流体力解析を行い得られた各種「流力特性係数」をデータベース化して、それぞれ流力特性係数の近似推定式を船体主要目を用いて導いた。
- 2) 船体主要目とデータベースから得られた近似推定式を用いて実際に各種船型の主船体流体力を推定した。
- 3) 船体主要目だけから推定した主船体流体力を用いて、操縦性基準に定められている旋回試験や追従性試験を行った。さらにタグボートに曳航され低速で大きく横流れをしている状況の運動も推定した。

- 4) 漁船の運動で重要な横揺れ運動を推定するために、操縦運動による横傾斜モーメントの測定実験から横傾斜モーメントを簡易に推定できる成分分離型数学モデルで構築した。それを導入して成分分離型数学モデルを用いた4自由度操縦運動方程式を漁船に適用した。
- 5) 揚網中の停止状態から急発進、急転舵した急激な操船で転覆事故を起した漁船第五龍寶丸の海難事故と同じ状況を想定して、操縦運動を推定した。

これらの研究を通して次の結論が得られた。

- 1) 成分分離型モデルと流体力データベースから得た流力特性係数の近似推定式を用いることで、主船体流体力を大略推定できることがわかった。またこれを用いて旋回試験や大斜航の操縦運動を十分な精度で推定できることがわかった。このことから船体主要目だけから主船体流体力および操縦運動の推定を行え、船舶の設計の基本計画段階で操縦性能を大略把握することができる。
- 2) 漁船を用いて4自由度操縦運動を行った結果は実験結果と概ね良い一致を見ることができた。このことから操縦運動による横傾斜モーメントの成分分離型数学モデルの妥当性が確認された。
- 3) 上記4自由度操縦運動モデルを用いて、急発進、急転舵し急激な操船による運動推定を行った結果、実験結果と大略一致した。これらのことから、漁船の操縦性に起因する海難事故等を本研究における4自由度操縦運動モデルを用いて調査分析することができる。

申請論文に対する審査員の評価を以下に要約する。

1. 漁船模型を含む多数の供試データを解析し、大斜航を含む主船体操縦流体力の表現モデルである成分分離型数学モデルの流力特性係数をデータベース化して推定式を導いた。これを用いて船体主要目のみから大斜航角範囲の主船体流体力を大略推定できるようになった。
2. 更に、上記推定式は等喫水時のものであるが、模型実験により把握したトリム時の流力特性係数の傾向からそれらはトリム変化には殆ど影響を受けないことがわかり、トリム変化など載貨状態が変化した流体力を大略推定できることを示した。
3. また模型試験を実施してより精度良く主船体流体力を推定する場合、どの程度まで省

略化した斜航試験から精度良く大斜航角範囲の主船体流体力を推定できるかを示した。

4. 漁船などの操縦運動で横揺れが重要となる場合を考えて、前後力、横力、回頭モーメントに加えて成分分離型数学モデルを用いた横揺れモーメントの流体力モデルを構築し、その数学モデルを用いた4自由度操縦運動モデルによって操縦運動のシミュレーションを行えるようにした。

5. 簡単な資料から簡便に操縦運動を推定できる手法を開発し、海上試運転では実施しないが現実では起こりうる危険な状態での操縦運動を推定できる手法を開発した。

以上これらの成果を得るにあたってなされた主船体流体力および操縦運動の推定に関する研究は、船舶の基本計画段階や海難事故調査等における操縦性能の推定に大きく貢献するものであり、高く評価するものである。よって審査員一同は、本論文が博士(水産科学)の学位を授与される資格の有るものと判定した。