OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | Ship Maneuvering Mathematical Model Using System Identification Technique with Experimental and CFD Free Running Trials in Calm Water and Astern Waves |
| Author(s) | Araki, Motoki |
| Citation | 大阪大学, 2013, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/51371 |
| rights | |
| Note | |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【177】

| | |
|---|---|
| 氏名 | 荒木元輝 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士（工学） |
| 学位記番号 | 第　２６２４３　号 |
| 学位授与年月日 | 平成25年３月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第４条第１項該当<br>工学研究科地球総合工学専攻 |
| 学位論文名 | Ship Maneuvering Mathematical Model Using System Identification Technique with Experimental and CFD Free Running Trials in Calm Water and Astern Waves<br>（平水中および追波中における実験および数値流体力学の自由航走試験結果を用いたシステム同定法による船舶操縦性数学モデル） |
| 論文審査委員 | （主査）<br>准教授　梅田　直哉<br>（副査）<br>教　授　長谷川　和彦　　教　授　戸田　保幸 |

## 論文内容の要旨

本論文は、転覆などの重大な海難事故の原因となる追波、斜め追波中操縦不能現象等の発生条件推定のために用いられる４自由度追波中操縦性数学モデルの精度向上のため、新たなシステム同定手法を提案し、従来のものと比較・検討を行った。

第１章では、本論文の背景と目標を述べた。従来の追波中操縦性数学モデルには、膨大な数の拘束模型試験あ

るいは経験式により得られた操縦性流体力係数が用いられてきた。しかし過去の研究より、平水中についてはシステム同定手法を用いることで、拘束模型試験や経験式に頼ることなく、数回の自由航走模型試験から全ての係数を決定できることが知られていた。一方で計算機技術と数値流体力学（ＣＦＤ）の発展によりＣＦＤを用いた自由航走シミュレーションが、未だ膨大な計算時間は掛るものの、高い精度で実験の自由航走試験を再現できるようになった。これらの状況を鑑み、本章では実験による自由航走試験に代わり、ＣＦＤによる自由航走シミュレーションを用いたシステム同定法が新たに提案された。

第２章では、追波中船体運動推定の前段階として、新たなシステム同定手法を用いた平水中操縦運動モデルの推定を行った。まず、従来から多く研究されてきた実験による自由航走試験を用いた拡張カルマンフィルターによるシステム同定結果と、新たに提案されたＣＦＤ自由航走シミュレーションを用いた制約付き最小二乗法によるシステム同定から得られた４自由度平水中操縦性数学モデル中の係数の推定結果が比較検討された。その結果、従来の手法に比べ、新たに提案されたシステム同定手法により妥当性・汎用性の高い係数を推定することが明らかにされた。その要因として従来の実験による自由航走試験では知りえなかった、自由航走時に船体に働く流体力をＣＦＤ自由航走シミュレーションを用いることで知り得て、それを用いることで直接流体力を取り扱った点が挙げられた。

第３章では、追波中船体運動推定のため、追波中操縦性数学モデル中の波浪外力モデルの検討・改良を、新たに提案したＣＦＤ自由航走シミュレーションを用いた制約付き最小二乗法によるシステム同定手法を用いて行った。そのために追波中ＣＦＤ自由航走シミュレーションにおいて船体に働く流体力から波浪外力を分離する必要があった。そこで追波中ＣＦＤ自由航走シミュレーションに加え、その船体運動と全く同様の運動をする平水中強制動揺のＣＦＤシミュレーションを行い、その流体力を追波中ＣＦＤ自由航走シミュレーション中の流体力から差し引くことで、波浪外力を分離することを試みた。以上のようにして分離された波浪外力を用いて制約付き最小二乗法によりシステム同定を行った。新たな波浪外力モデルには従来のモデルに含まれるフルード・クリロフ力、ディフラクション力、波粒子による舵力への影響に加え、波による操縦流体力係数の変動、波浪定常力という２つの要素、さらにそれらを合わせた５つの要素にそれぞれ修正係数を導入した。それらの修正係数をシステム同定により推定した。その結果、新たな波浪外力モデルを用いた４自由度追波中操縦性数学モデルによる自由航走シミュレーションは比較的穏やかな波浪条件では実験の追波中自由航走試験と良い一致を見せた。その一方、操縦不能現象が起こるような厳しい波浪条件においては十分満足には船体運動を推定することはできなかった。しかしその過程で、追波中船体運動において、波浪定常力の有無は影響が小さいのに対し、波による操縦流体力係数の変動が非常に大きな影響力を持ちうること、またフルード・クリロフ力、ディフラクション力、波粒子による舵力への影響のみを考慮し同定した波浪外力モデルにより比較的実験と良い一致を見せることが確認された。

第４章では、以上の総括に加え、将来の展望を示して結論とした。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、転覆などの重大な海難事故の原因となる追波、斜め追波中操縦不能現象等の発生条件推定のために用いられる４自由度追波中操縦性数学モデルの精度向上のため、新たなシステム同定手法を提案し、従来のものと比較・検討を行っている。

第１章では、本論文の背景と目標を述べている。従来の追波中操縦性数学モデルには、拘束模型試験あるいは経験式により得られた操縦性流体力係数が用いられてきている。しかし過去の研究により、平水中についてはシステム同定手法を用いることで、拘束模型試験や経験式に頼ることなく、数回の自由航走模型試験から全ての係数を決定できることが知られている。一方で計算機技術と数値流体力学（ＣＦＤ）の発展により、ＣＦＤを用いた自由航走シミュレーションが、未だ膨大な計算時間は掛るものの、高い精度で実験の自由航走試験を再現できるようになっている。これらの状況を鑑み、本章では実験による自由航走試験に代わり、ＣＦＤによる自由航走シミュレーション結果をシステム同定に用いることが新たに提案されている。

第２章では、追波中船体運動推定の前段階として、新たなシステム同定手法を用いた平水中操縦運動モデルの推定を行っている。まず、４自由度平水中操縦性数学モデル中の係数の推定に対して、従来から多く研究されてきた実験による自由航走試験を用いた拡張カルマンフィルターによるシステム同定結果と、ＣＦＤ自由航走シミュレーションを用いた制約付き最小二乗法という新たに提案されたシステム同定法から得られた結果が比較検討されている。それにより、従来の手法に比べ、新たに提案されたシステム同定手法により妥当性・汎用性の高い係数を推定できることが明らかにされている。その要因として、従来の実験による自由航走試験では知りえなかった自由航走中の船体に働く流体力をＣＦＤ自由航走シミュレーションにより陽に知り得て、それを用いることで直接流体力を取り扱った点が挙げられる。

第３章では、追波中船体運動推定のため、追波中操縦性数学モデル中の波浪外力モデルの検討・改良を、ＣＦＤ自由航走シミュレーションを用いた制約付き最小二乗法によるシステム同定手法を用いて行っている。そのために、追波中ＣＦＤ自由航走シミュレーションにおいて船体に働く流体力から波浪外力を分離する必要がある。そこで追波中ＣＦＤ自由航走シミュレーションに加え、その船体運動と全く同じ運動をする平水中強制動揺のＣＦＤシミュレーションを行い、その流体力を追波中ＣＦＤ自由航走シミュレーション中の流体力から差し引くことで、波浪外力を分離することを試みている。そのようにして分離された波浪外力を用いて制約付き最小二乗法によりシステム同定を行っている。新たな波浪外力モデルには従来のモデルに含まれるフルード・クリロフ力、ディフラクション力、波粒子による舵力への影響という３つの要素に加え、波による操縦流体力係数の変動、波浪定常力という２つの要素にそれぞれ修正係数を導入し、それらの修正係数をシステム同定法により推定している。その結果、新たな波浪外力モデルを用いた４自由度追波中操縦性数学モデルによる自由航走シミュレーションは比較的穏やかな波浪条件では実験の追波中自由航走試験と良い一致を見せている。その一方、操縦不能現象が起こるような厳しい波浪条件においては十分満足には船体運動を推定することはできていない。しかしその過程で、追波中船体運動において、波浪定常力の有無は影響が小さいのに対し、波による操縦流体力係数の変動が非常に大きな影響力を持ちうること、またフルード・クリロフ力、ディフラクション力、波粒子による舵力への影響の３つの要素のみを考慮して同定した波浪外力モデルにより比較的実験と良い一致を見せることが確認されている。

第４章では、以上の総括に加え、将来の展望を示して結論としている。

以上のように、本論文は、追波中船舶の定量的な復原性評価を実現可能とする方法論を新たに提案している。船舶の追波中の極限運動は、波浪と船体運動の間の入出力関係が非線形であることから、決定論的カオスのようにリアプノフ指数が正ともなりうる初期値鋭敏性あるいは実質的にエルゴード性が期待できない確率特性を示す。一方、安全性評価は潜在的危険を網羅的に調べることが要求される。この組み合わせは、非線形船体運動やそれに関わる流体力を膨大な計算時間のもとで定量的に推定できる数値流体力学手法を直接適用することを事実上不可能としている。本論文で提案している新たな方法論は、この困難を解決するため、代表的かつ限定的な運動に対する数値流体力学手法による結果を利用してシステム同定を行い、そのシステム方程式を網羅的シミュレーションに活用しようとするものである。これは、制御入力と運動応答間のブラックボックスモデルを用いる従来のシステム同定法の限界を超えて、流体力学的知見を援用して同定することでより広い汎用性を獲得するものである。これにより、波浪中の船舶の定量的かつ実現可能な安全性評価に向けて大きな前進をもたらすものとして実用的な価値も高い。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。