



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	船舶操縦性能に及ぼす横傾斜影響と4自由度操縦運動モデルの研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	福井, 洋
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(水産科学)
Dissertation Number	甲第13093号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/70015
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yo_Fukui_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称：博士（水産科学）

氏名：福 井 洋

学 位 論 文 題 目

船舶操縦性能に及ぼす横傾斜影響と 4 自由度操縦運動モデルの研究

船舶の操縦性能は安全性と密接に関わっており、船の設計にあたって操縦性能の正確な把握は重要である。船舶の操縦性能の把握は数学モデルを用いた操縦運動シミュレーションによるものが一般的であり、そのモデルは平面内の 3 自由度の運動が基本となっている。一方でコンテナ船やフェリー、漁船のような中高速で航行する船は回頭運動の発達に伴い大きな横傾斜が発生することがある。この横傾斜は船に更なる回頭運動を誘起することが知られている。それが原因で操船不能に陥り、海難事故が発生したと推測される事例は近年でも報告されており、横傾斜が操縦運動に及ぼす影響は少なくない。

操縦性能に与える横傾斜影響に関する研究は以前より行われており、横傾斜影響の推定手法として、斜航・旋回・横傾斜角をパラメータとした 4 自由度操縦モデル等が提案されてきた。しかし、過去に実施されてきた横傾斜角を付けた模型試験による流体力計測では運動の範囲が不十分なものもあり、さらに自由航走試験まで一貫して行い、モデルの妥当性まで十分に確認された研究は少ない。

また船舶設計の視点からは、船舶の操縦性能推定は設計の初期段階で精度よく行えることが望ましいが、従来の試験的手法はある程度設計が固まった段階で実施されることが多く、加えて時間とコストが必要なことや、船のまわりで起こる流場現象を正確に把握することが困難である等の課題もある。この点で CFD を用いた手法が有効と言えるが、船型開発における CFD の利用は操縦性能分野では実用的な面で十分に検討されておらず、横傾斜を含めた計算となると、まだほとんど検討されていない。

本研究では、横傾斜影響を含めた操縦性能推定法の現状を踏まえ、まず実験的な検討として横傾斜角を付けた拘束模型試験を実施し、その結果を基に 4 自由度操縦運動数学モデルの構築を試みる。さらに自由航走試験を実施し、その結果と比較してモデルの妥当性を検証する。次に CFD を用いて横傾斜付き操縦運動時の計算を行い、実験では計測していない上下力成分の分離や流場の可視化を行うことで、船体形状や姿勢変化による横傾斜影響の差を確認し、横傾斜時に船体まわりで起きる現象の物理的背景を解明する。

【模型試験による検討】

・ 自由航走模型実験による横揺れと操縦運動の連性影響の把握

コンテナ、フェリーの 2 船型について、GM や船速を数ケース変更した自由航走模型試験を実施し、横傾斜が操縦性能に与える影響を検討した。試験結果から両船型とも GM の減少、船速の増加とともに、運動時の横傾斜角が大きくなり、旋回試験では旋回圏が小さくなる等、旋回性能が強くなる傾向が現れ、同様にスパイラル特性カーブの解析、Z 試験からはそれぞれ不安定ループが大きくなる、1st オーバーシュートが大きくなる等、針路安定性が低下する傾向が現れることを示した。中高速船の正確な操縦性能の把握のためには横傾斜影響を考慮することが重要であることを示した。

・ 拘束模型実験による操縦流体力特性の把握

2 船型について斜航、旋回運動に加え、横傾斜をパラメータとした拘束模型試験を実施し、各横傾斜角に対する操縦流体力微係数を解析、及びその特徴について考察した。また試験により求めた各係数を用いて 4 自由度操縦運動を表現するのに最適な操縦運動モデルを検討し、そのモデルを用いたシミュレーションと自由航走試験の結果を比較し、操縦運動モデルの妥当性を確認した。流体力微係数は横傾斜

角に対しておおよそ線形的に変化し、また従来の 3 自由度の操縦モデルで考慮されていた左右対象型の微係数については ϕ に対して偶関数的に、従来モデルで考慮されていなかった左右非対称型の微係数については ϕ に対して奇関数的に変化を表すべきであることを示した。さらに感度解析を用いて横傾斜影響を考慮する係数の採択を行い、出来る限りシンプルな実用的なモデルを構築した。4 自由度モデルを用いたシミュレーションも GM の減少、船速の増加とともに、横傾斜角が増加し、旋回性能が強くなる、または針路不安定となる傾向となり、自由航走試験結果とも定量的に一致する結果となったことから、本モデルは横傾斜を含む操縦運動を推定するのに、十分妥当なものが構築できたといえる。

・ 漁船舶型を対象とした模型試験と操縦運動シミュレーション

横傾斜影響を受けやすい船型として漁船も挙げられ、漁船はフルード数が高く、重心が上がった状態で航行すること、またその運用条件から横傾斜影響を受けやすく、横傾斜が直接的に転覆に繋がりがやすい。旋網漁船舶型についても同様に横傾斜影響を含めた模型試験を実施し、4 自由度モデルを用いた操縦性能推定とその妥当性の確認を行った。試験結果から漁船についても GM 減少、船速増加とともに、横傾斜角が増加し、旋回性能が強くなる、または針路不安定となる傾向を確認したが、横傾斜に対する流体力の変化は前 2 船型と異なって、線形微係数 Y_{β} はやや増加し、針路安定性が上記とは逆に良くなる傾向となることが示された。4 自由度操縦運動シミュレーションは、試験結果と針路安定性の変化が定性的に一致し、概ね 4 自由度操縦運動モデルの妥当性、及び漁船舶型へ適用可能であることを示すことができた。一方で、横傾斜影響による変化が小さく、傾向をうまく捉えられていない部分もあり、4 自由度モデルを用いた操縦性能推定が重要なとなる漁船の検討にあたっては、シミュレーション精度向上のため、横傾斜時の流体力特性の更なる検討を行う必要があると考えられる。

【CFD による検討】

・ CFD による操縦流体力の検討

コンテナ、フェリーの 2 船型を対象に前述の拘束模型試験の条件に合わせて、CFD を用いた操縦運動計算を実施した。計算結果から横力、回頭モーメントについては模型試験の傾向を定性的に捉えられ、横傾斜に対する変化も試験と近い傾向が得られたことで、横傾斜影響を検討するツールとしての CFD の有効性を示した。横傾斜モーメントは定量的には捉えられていないが、成分分離により横傾斜モーメントに寄与する上下力が無視できないことを明らかにした。

・ 横傾斜による流場現象の把握、及び船型要因の検討

CFD の計算データから船体流体力分布の解析や表面圧力の可視化を行い、横傾斜影響の発生原理の検討を行った。また 2 船型間の流体力の差、及び船首バルブ有無の計算格子やトリムを付けた格子を用いた船体形状や姿勢による横傾斜影響の変化を検討した。その結果から横傾斜による流体力発生は船体長手方向の船体形状の変化に伴った圧力分布の変化に起因することなどを明らかにした。船型による肩張り位置や平面部の大きさの違いが船型差として現れる一方で、船首バルブについてはその有無による横傾斜影響に与える変化は大きくないと考えられる。船体姿勢の影響については、トリム変化による縦渦の強弱や圧力回復等による圧力分布の変化と没水形状の変化が操縦流体力に影響を与えていることを示すことができた。CFD を用いた検討により、実験的手法では明確にされていなかった横傾斜時の船体まわりの流場現象、その船型や船体形状、姿勢による変化を明らかにし、また横傾斜モーメントの上下力を含めた考え方等、本論で検討した 4 自由度数学モデルの妥当性を裏付けすることができた。