

論文の要旨

題目 回流水槽による船舶の針路安定性に関する研究

(Investigation Study on Course Stability of Ships by a Circulating Water Channel)

氏名 橋詰 泰久

回流水槽は様々な研究分野で流体现象の調査のツールとして用いられている。造船工学の操縦性分野でも約 60 年前に舵の実験に供されて以来、回流水槽での試験は小型模型船を対象にした針路安定性調査を目的に実施されている。しかしこれまで回流水槽での試験について制限水路影響等の問題について指摘はなされていたが操縦性能試験に及ぼす定量的な議論はなされていなかった。そのような議論がなされないままに、手軽に比較的低コストで結果が得られるという利点と実用上の必要性から回流水槽での針路安定性の評価は行われてきた。そのため、回流水槽から得られる操縦性能試験結果への信頼性は高いとは言いがたかった。本論文はその状況を受け、回流水槽の操縦性能試験が持つ主な問題点として、制限水路影響と強制動揺試験の周波数依存性の 2 つをピックアップし、それらの試験結果への影響を定量的に調査した。また調査結果に基づき、それらの影響を避けるための試験方法の提案を行った。提案された方法に則って実施された回流水槽での試験結果は曳航水槽や角水槽での試験結果と比較することによって提案の有効性を確認した。

第 1 章は緒言であり、背景と研究の進め方を述べた。その中で本研究の対象を小型模型船とその模型船の長さと同程度の幅を持つ回流水槽の組み合わせとすることを述べた。

第 2 章では本研究で用いた供試船 4 隻を紹介した。船型開発の場に針路安定性調査の要望が出るのは肥大度が高い船である場合が多い。そこで方形係数が異なるシリーズ船の 2 隻、方形係数は同程度で船尾フレームラインの特徴の異なる 2 隻の合計 4 隻の肥大船を研究に用いたことを述べた。

第 3 章では本研究で用いた回流水槽や試験装置の解説を行った。回流水槽については船型開発を目的とした高精度の流場設定が可能なものであること、強制動揺試験に用いる PMM(Planar Motion Mechanism)は振動が抑えられたものであることの重要性を示した。また、電車で曳航しながら模型船に強制動揺を与える一般的な PMM 試験と、設定流速と横運動とを組み合わせる回流水槽での PMM 試験では解析式が異なることを論じ、それを示した。回流水槽では対地運動に基づいて解析されるべき慣性力と対水運動に基づいて解析されるべき操縦流体力に分ける必要があるという内容であり、筆者が知る限り、海外の文献も通じてその詳細を具体的に示した例としては本論文が最初である。第 3 章では回流水槽での操縦性能試験を実施する際の注意点も示した。

第 4 章では回流水槽での操縦性能試験が受ける制限水路影響について議論した。まず、過去の報告や文献に基づき、本研究で対象としている条件では浅水影響が無いと考えて良

いことを明確にした。次に CFD（数値流体力学）解析を用い、幅が異なる水路で斜航状態にある同一の模型船に作用する力を求め、船体横方向に作用する流体力に影響が出始める条件を示した。CFD 解析の妥当性については同条件で実施された回流水槽での模型試験結果との一致から確認されたものであった。また、斜航する船体を回流水槽の中での幅方向位置を変更した条件での CFD 計算と水槽試験を実施し、船体と側壁の間隔が L_{PP} （船の垂線間長さ）の 25%以下になるとその間に作用する負圧力の作用で船体の力が変化することを示した。それらの結果から、回流水槽での操縦性能試験で制限水路影響を避けるための基準を提案した。この基準に基づいて 4 隻の供試船を対象として観測部幅 2.0m の回流水槽での斜航試験を実施した。そのうち 2 隻については水路幅 8.0m の曳航水槽でも斜航試験を実施して両社を比較し、良い一致を得た。残る 2 隻については過去に角水槽で行われた試験結果と比較してこれも良い一致を得た。これらの結果から、回流水槽での制限水路影響を顕著に受けないために本論文で提案した、 L_{PP} の 25%以上を模型船と側壁の距離として確保するという試験計画における基準の有効性が確認された。

第 5 章では回流水槽での PMM 試験の周波数影響を試験結果に基づいて議論した。海上を航行する船舶の一般的な操縦運動の周波数は 0 で取り扱われるものであり、水槽試験で設定された周波数が試験結果に影響することは避けられるべきである。本研究では PMM による強制 Yawing 運動の周期 T を 6sec から 16sec の広い範囲で設定し、解析結果を相互に比較した。曳航水槽での PMM 試験の場合の周波数依存性については過去に複数の調査が行われ、それらの文献では試験状態としての設定が推奨される無次元化された周波数 ω' の範囲のみが示されている。本研究では、 ω' と一定以上の Yawing 運動の大きさを示す回頭角速度係数 (r'_θ) の組み合わせで周波数影響が顕著になることを明らかにした。本研究の結果は過去の知見に符合しているが更に船体の横運動の大きさの条件を加えた点で一步進めたものとなった。

周波数依存性の調査は研究の当初は予想していなかった結果も得ることとなった。周期 T を長くすることは周波数が 0 に近づくと同時に計測される流体力が小さくなるため、試験精度が低下することを覚悟していた。しかしそれ以外に船体が回流水槽の側壁に接近することによる非線形な流体力の作用が明らかとなった。長い周期で回頭角速度を設定する場合、運動振幅を大きくすることになる。その結果、短い周期の場合より、模型船が側壁に接近する結果となったためである。第 5 章ではそれらを総合し、横軸に運動周波数の無次元値、縦軸に Yawing 運動の回頭角速度の無次元値をとり、設定が推奨される条件の範囲を示す図を提案した。ちなみに同図の中の側壁影響に関わる部分は第 4 章で得られた結果とも符合していた。本章での提案の図に従って 4 隻の供試船について Yawing 試験を行い、曳航水槽や角水槽での CMT 結果との比較を試みた。ただし、直接の比較ではなく、回流水槽での PMM 試験で得られた微係数 $Y'_r, Y'_{rr}, N'_r, N'_{rr}$ を用い、CMT で船体に作用する横力 Y' とモーメント N' を演算する方法を採った。その結果、全てのケースについて良い一致を見た。そのことで回流水槽における PMM 試験条件の設定基準の提案の妥当性が得られた。こま

で、回流水槽において小型模型船を用いた試験は本研究で提案された基準を守って取得されれば、有効な結果を得られという目途が得られた。

第 6 章では回流水槽での試験結果を用い、船の持つ針路安定性の推定を行った。SR221-A 船型と B 船型の $L_{PP}=2.0\text{m}$ 模型船について斜航試験で得られた主要微係数 Y'_v, N'_v を用い、船体の重心から横方向の斜航流体力の見かけ上の作用点までの距離 l'_v を求めた。また、Yawing 試験で解析された主要微係数 Y'_r, N'_r を用い、重心を基準とした旋回抵抗の横力成分の着力点位置 l'_r を求めた。船の針路安定性を判別式 C は l'_r から l'_v を引いて得られる。回流水槽での SR221-A 船型、B 船型について $L_{PP}=2.0\text{m}$ の模型船で実施された試験から得られた C は $L_{PP}=3.5\text{m}$ 模型船について角水槽で行われた CMT 結果から得られた値と良く一致した。SR221-A 船型、B 船型については 3.5m 模型船の自由航走試験結果が実施されており、A 船型は不安定ループ幅が 10deg 程度の針路不安定船、B 船型は針路安定であることが報告されている。

針路安定性指数 C は舵付き船体の持つ操縦流体力の性質で決まるものである。 C が正なら針路安定であり、負なら針路不安定である。針路不安定であれば、船として航行することが不可能であるかと言えばそうではない。針路不安定な船であっても、その不安定の度合いが比較的小さく、尚且つ十分な性能を持つ舵が装着されていれば、小舵角の操舵を行うことで船の針路を保つ航行は可能である。従って舵効きも船にとって重要な性能の一つである。第 6 章では供試船 4 隻についての舵角試験結果を示した。模型船が小型であるゆえにホーン部が一体として設定されている Trapezoid 舵を用いた舵角試験で、本来の Mariner 舵が設定された船体に誘起される操舵による制御力の推定が可能であることを示した。

第 6 章では 4 隻の供試船のうち、S-Cb81, 87 の 2 船型に関する針路安定性を回流水槽での模型試験結果から評価する局面を想定し、計画・水槽試験・解析・針路安定性評価・舵効き性能の比較という 5 段階の手順を示した。その際、針路安定性については自由航走試験結果が既に得られている SR221-A,B 船型との比較を用いることで信頼性の高い検討を行う方法を用いた。

第 7 章は結言であり、第 6 章までの各章で得られた結果について述べた後、回流水槽での操縦性試験での問題点に留意すればそこから得られた針路安定性の推定には信頼がおけることを述べた。最後は回流水槽と回流水槽での操縦性試験の有効性を世界に発信するという筆者の今後の役割を示して結んだ。