

論文の要旨

題目 回流水槽試験による船型開発に関する研究

(Study on Hull Form Development of Ships by a Circulating Water Channel Test)

西本 仁

船舶用試験水槽の歴史は 18 世紀末の欧州での曳航水槽の出現から始まり、その後世界各地に曳航水槽が造られていった。回流水槽は、船体まわりの流れの観察を主目的に 1933 年にベルリンの水力一船舶研究所に造られた、全長 16.3 m の垂直循環型が始まりである。その後、米海軍船舶研究所に全長 44.7 m、最大流速 5.1 m/s の垂直循環型が、イギリス国立物理学研究所に全長 120 m、最大流速 3.0 m/s の水平循環開水路型が造られた。欧米では古くから可能性が着目され、測定部寸法の大型化および高速化等の要素技術の構築と性能向上のための付随機械技術の開発が行われたが、性能を分析的に扱う姿勢に乏しい¹⁾。

我が国では 1951 年に東京水産大学（現、東京海洋大学）に造られた。Flume（水路）と称される水平循環型で、流れの可視化などを主目的とし実験精度を要求しないものであった。第二世代型は 1956 年から始まり、大学を中心に設置された。1966 年から始まる第三世代型の代表的な水槽は、民間企業に設置された大型の垂直循環型で、供試模型は小型であるが曳航水槽に準じた定量的な船型試験を可能とすることを目的とした。第四世代型は 1979 年からで、第三世代型の大型水槽よりも水量を少なくして建設コストと試験コストの効率化を図り、今日の回流水槽を先導した。2 インペラ駆動方式を特徴とし、水槽の全体形状および各種管路形状の見直しを図り高性能の水槽を具現化した。また水面近傍流れの均一化のために新形式表面流加速装置が開発された。その後も技術追究は連綿と続き、今日では第五世代とも称される水槽に移行し、水槽の主要目や循環路内の構造と形状の抜本的な改良だけでなく、より高性能の表面流加速装置の開発等、水槽に装備される要素技術が改良、開発されている。これにより流速分布がほぼ均一、定在波が小、水面勾配が僅少、サージング（流速変動、水位変動）が僅少、混入気泡が無視できる水槽が実現している。近年の我が国の回流水槽は継続した性能追究により、特に自由表面の制御技術と流体力学的性能に優れ、世界最高水準と位置づけできる。

一方、我が国の回流水槽は、まずは流れの可視化および船体まわりの流れ構造の研究に活用された。1966 年に抵抗試験が可能な技術の研究を目的とする回流水槽懇談会が発足し、持ち廻り抵抗試験が行われ、その試験精度が明らかにされるとともに水槽特性の計測に及ぼす問題点もクローズアップされた²⁾。回流水槽では制限水路影響が大きいこと、曳航水槽に存在しない水面勾配の影響があることは知られていたが、各水槽の持ち廻り試験結果が大きく異なり、それらの検証は困難であった。その後、回流水槽の抵抗試験は比較試験の捉え方で行われてきた。同一水槽であれば流速分布、制限水路影響および水面勾配の作用等は、比較する 2 船型で同じように作用するという考え方を根拠としていた。第四世代型になり、タイプシップ（類似船型）のデータを用いて小型模型による回流水槽試験結果を大型模型による曳航水槽試験レベルに修正し、船型改良の相対的効果の確認だけでなく、実船の性能推定を行う手法が開発された³⁾。この方法は第四世代型回流水槽が多数の造船所に建設されるとともに広まり、大型商船を中心に実船の定量的な評価を必要とする船型開発に回流水槽が日常的に活用されてきた。我が国は利用においても、実船性能の推定などの定量的な試験を追究し、独自の発展をとげてきた。しかし近年は第五世代型水槽が出現しているにもかかわらず、推進性能に関する活用の進展はほとんどない。

本論文では回流水槽試験による船型開発について論ずる。省エネルギーを図る船型開発のニーズは内航の小型商船および漁船にまで広がっており、回流水槽試験が曳航水槽試験より短い期間で結果が得られることは自明であるが、さらに低コストで短期間に実船性能が得られる船型開発手法が望まれている。また船型開発がこれまであまり行われてこなかった漁船では、商船とは異なる、最適な船型開発手法の構築が急がれている。

まず船型開発試験に活用されている第四世代型の水槽特性を明らかにする。この水槽は水槽性能が改善され、流速分布の偏差は小さく、定在波が小さいために Froude-Krylov 力が船体抵抗に及ぼす影響も商船を対象とした計測範囲ではほとんどない。しかし、制限水路影響および水面勾配が抵抗試験に及ぼす影響は大きい。一方、水面勾配は凸状で計測部中央部付近に勾配ゼロの位置が存在し、模型船設置位置を工夫すればその影響を少なくできる。

次に Series 60 船型模型の回流水槽と曳航水槽による抵抗試験結果を比較し、回流水槽では制限水路影響の修正が不可欠であることを示す。また制限水路影響と水面勾配の作用がどのような性質にあるのかを Taylor 展開にて解析的に考察する。制限水路影響による流速増加は船長フルード数 Fn の 1 次項と 3 次項の線型和で表され、低速域 ($Fn < 0.2$) では 1 次項が主になる。また制限水路および水面勾配の抵抗への作用は、高速域では Fn の高次項の作用が顕著になる。これらの影響は回流水槽が曳航水槽より顕著である。

実船の推進性能推定では大型模型による曳航水槽試験が基本である。そこで小型模型による回流水槽抵抗試験結果を大型模型抵抗試験レベルに修正する手法が開発された³⁾。その手法では、形状影響係数と造波抵抗係数に対してタイプシップ（類似船型）のデータによる修正を行う。そのためタイプシップの曳航水槽試験結果を必要とすると共に、同時期に 2 船型の試験を行わねばならず時間が倍増する。この手法ではコストおよび時間効率で難点を伴い、折角の回流水槽の試験効率の高さを阻害する。しかも 2 船型に対して水槽特性の作用量が同じである保証はなく、水槽活用の発展の観点から解決しなければならない課題がある。そこで商船の回流水槽試験による船型開発について、タイプシップを必要としない大型模型抵抗試験レベルの抵抗要素を求める手法を提案する。商船 10 船型を対象に制限水路影響と水面勾配の作用を具体的に明かし、相似模型の曳航水槽試験結果と比較検討した。制限水路影響と水面勾配の作用の修正を加えても、回流水槽試験の形状影響係数は大きく、造波抵抗係数は粗い捉え方では設計フルード数でほぼ同一である。そこで形状影響係数と造波抵抗係数に修正係数を導入して、タイプシップ不要で大型模型抵抗試験レベルのデータを得る手法を提案した。そしてこの手法が船型開発に必要な抵抗要素と有効馬力を実用上さしつかえないレベルで推定できることを確認した。修正係数は各々の水槽により異なるが、要目や流体力学性能が異なる他の水槽にも適用できる。本手法によりタイプシップが不要になれば、コスト削減、船型開発模型試験の時間半減等、船型開発の効率が向上する。船型形状が年々変化している中、従来と異なる斬新な船型の開発とその実船性能推定の精度向上も望まれている。タイプシップとの比較による実船性能推定の場合にはこのような船型に対する性能推定は難しいが、直接実船性能推定が可能となればその問題は解消される。

次に漁船を対象とした、回流水槽の特徴を十二分に活かした、商船とは異なる船型開発手法を提案する。商船の船型開発では水槽試験が実施されることが一般的で、数値流体力学 CFD による船型開発も常套化し、船型開発のためのデータベースも蓄積されている。漁船のような船型開発があまり行われてこなかった船舶の船型開発では、船型の問題点とその改善指針を的確に明らかにすることが先決で、この目的のためには船型に起因する流体现象の把握および精査が簡単にできる回流水槽が

適している。そして、その指針を基に船型学の数値計算手法（線形造波理論，非船型計画法，最適化手法，数値流体力学）を活用して改良船型を具体化すれば，短時間に低コストで効率良く船型開発を行うことができる。また試験に対する影響が大きい制限水路影響の修正を行えば，解析精度の向上が計られる。本手法を小型サンマ漁船と定置網漁船に適用し，その妥当性を検証し効果を確認した。小型サンマ漁船では，開発された船型が大幅な馬力削減が可能な船型であることを実船にても確認した。また，小型模型（長さ 1.0～1.5 m）が船型開発に充分活用できることも確認された。

なお，さらに回流水槽試験を船型開発に活用していくための課題として，1) 回流水槽独自の制限水路影響の修正方法の確立，2) 実船の推進性能推定のための形状影響係数と造波抵抗係数の修正係数の分析による精度向上がある。

参考文献

- 1) 川島敏彦，橋詰泰久：回流水槽の現状と課題，日本船舶海洋工学会 推進性能研究会シンポジウム-水槽試験の現状と展望-テキスト第 8 章，pp.161-196，2010.
- 2) 高幣哲夫，田古里哲夫，岸本 修：回流水槽における抵抗試験，関西造船協会誌，No,159，pp.57-63，1975.
- 3) 小倉理一，松井志郎，玉島正裕，西本 仁：新型回流水槽の諸特性と抵抗試験について，西部造船会々報，第 64 号，pp.81-91，1982.

その他

- 高幣哲夫：回流水槽の歴史と展望，回流水槽懇談会 回流水槽セミナーテキスト第 2 章，1985.
- 小倉理一：回流水槽の性能，回流水槽懇談会 回流水槽セミナーテキスト第 3 章，1985.
- 奥野武俊：回流水槽の魅力と将来の課題，回流水槽懇談会 第 100 回記念シンポジウム-回流水槽の魅力と将来の課題-テキスト，1992.