

審査の結果の要旨

氏名 姫井 弘平

最大船速 40 ノットを超えるような超高速艇では通常型のプロペラを適用することはできず、半没水プロペラがしばしば採用される。これは船尾に取り付けた巨大なプロペラの下半分程度を水中で作動させることにより、作動面積の拡大と付加物抵抗の低減を狙うものである。しかしこのプロペラの設計は非常に難しい。プロペラ翼が回転ごとに高速で水中に突入するだけでなく、ベンチレーションと呼ばれる気膜を伴う状態で回転する翼の性能を推定しなければならないためである。

従来用いられてきた船用半没水プロペラの性能推定法としては、模型試験結果をまとめた性能図表を用いる方法や実績・経験に基づく簡便な推定法が主流である。通常型のプロペラ理論を援用したり、スーパーキャビテーション理論を利用したものも散見するが、流れ場の大きな違いにより、目立った成果は上がっていない。一方、最近の CFD（数値流体力学）手法の発達により、半没水プロペラのような、複雑な流れ場にもこれを適用できる可能性が出てきた。しかし、実際に数値理論計算にてプロペラ性能を導く手法は、一般の船用プロペラと比較してほとんど研究されていない。本研究は、系統的な CFD 解析を半没水プロペラに適用した、初めての研究である。

本研究の CFD 解析には市販ソフトウェアである SCRYU/Tetra を用いているが、V&V(Verification & Validation)を詳細に実施し、再現されるべき物理現象と計算格子品質や解析条件の関係を明らかにし、性能推定手法の高度化を示したことに本論文の特徴がある。

本論文は 5 章より構成されている。第 1 章は「序論」であり、研究の背景や動機、これまでの関連研究の解説ならびにこの研究の位置付けと意義が述べられている。

第 2 章「半没水プロペラ推進性能解析手法の構築」では、本研究で用いる数値流体力学のツールと解析手法を詳細に述べている。上述のように本研究では市販 CFD ソフトを用いているが、その計算パラメータは無限にあり、数値計算としての計算精度を担保することは極めて重要である。そのため、乱流モデル、自由表面表現手法、解析領域、計算格子品質などを物理的考察に基づき丹念に検討し、解析の検証と妥当性の確認を行っている。特に、本研究で対象とする

半没水プロペラ固有の問題として、翼周りに形成される自由表面の表現を正確に行うことが重要であることを指摘し、そのための格子生成が鍵の一つであることを明らかにしている。

第 3 章「半没水プロペラ単独性能の数値予測」では、実験との比較により、本研究で開発した半没水プロペラの性能解析法の定量的検証を行っている。比較する実験結果は、プロペラのスラスト、トルクというマクロな量だけでなく、一翼ごとの 6 分力も計測している世界唯一の実験である Olofsson のものを用いている。また、翼面圧力分布については半没水プロペラの計測例がないため、通常型の全没プロペラの実験結果ならびに他の CFD 手法による計算結果と比較している。これらの比較の結果、翼面圧力分布、広範囲なプロペラ作動条件におけるプロペラ単独性能およびプロペラ 1 翼の 6 分力変動、プロペラ翼面周りのベンチレーションパターンとも実験結果と良く一致する解析結果が得られることを示している。また、部分的に見られる不一致についても、その原因を丹念に考察し、将来の改良の方向性を明瞭にしている。これらの検証ののちにフルード数、レイノルズ数、ウェバー数を広範囲に変えた計算を行い、相似則特性を調査している。この結果は、模型実験の時の諸条件設定に必要となるばかりでなく、CFD の計算条件設定にも有益な情報である。

第 4 章「半没水プロペラ翼の疲労予測」では、本研究で開発した半没水プロペラの性能解析法を実機採用された半没水プロペラに適用し、その結果得られた翼面荷重分布を入力として汎用 FEM ソフト I-DEAS による翼強度解析を行っている。その結果、翼応力変動が大きな半没水プロペラには、従来適用されてきた一般のプロペラ翼厚規則では不十分であり、個々に応力振幅を考慮した翼疲労強度評価が必要であることを示している。

第 5 章は「結言」であり、本研究で得られた成果を纏めるとともに、将来課題を明示している。

以上要するに、本研究は半没水プロペラの高精度な性能解析手法を考案し、その性能推定精度の高さを定量的に示しただけでなく、応用例の一つとして、反没水プロペラという特殊なプロペラと現行の翼強度規則の不整合性を明らかにしたものであり、船舶流体力学の発展に資するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。