

## 審査の結果の要旨

氏名 山磨 敏夫

近年の銅資源枯渇の懸念、価格高騰・急変動に伴い、銅合金で製造されている船用プロペラの代替材料として複合材料が注目されている。複合材料は、優れた比強度、比剛性、減衰特性を持ち、プロペラの軽量化による軸系への負担や振動の低減が期待される。さらに、高い疲労強度からプロペラの面積や厚さを減少させることで効率向上の可能性がある。しかし、回転中に生じるキャビテーションによる壊食（エロージョン）に対する耐性が従来材料よりも劣ることが予想される。

複合材料製のプロペラは、すでに海外で商品化されているものもあるが、主にキャビテーション・エロージョンの問題から作動環境が限られ、信頼性に対して課題がある。また流体-構造連成解析を駆使して流体面からの性能評価を主な目的とした研究が行われているが、実験との比較や実船での評価、材料・構造面からの検討がほとんど行われておらず、実用化に向けた総合的な評価が十分とは言えない状況にある。

そこで本研究では、複合材料製プロペラの実用化を目的として、複合材料の材料特性および水中での疲労特性の評価、キャビテーション・エロージョン特性の評価と向上方法の提案、実験と解析によるプロペラの性能評価および設計法の提案、実船試験による特性評価を行い、総合的な観点から複合材料製プロペラの実用性について検討した。

本論文は7つの章から構成される。

第1章は序論であり、プロペラ材料として、近い将来に枯渇が懸念され、価格の高騰・急変動が激しい銅の代替材料の必要性、代替材料に求められる要件が研究背景として概略的に述べられている。また実用化を目的として、材料特性、キャビテーション・エロージョン特性、性能評価・設計法、実船試験について検討することが述べられ、それらに対して以下の章が割り当てられている。

第2章では、船用プロペラ材料の要件をより詳しく解説し、船種による要件の違いについても分析している。そして、代替材料としての複合材料の優位性ととともに問題点を指摘し、取り組むべき研究課題を明らかにしている。

第3章では、各種の複合材料の材料特性試験について、方法と結果・考察が述べられている。強化繊維として炭素繊維が選定され、いくつかの基材、成形

方法による特性の違いについてまとめられ、従来材料であるアルミ青銅（NAB）との比較をしている。また、これまでほとんど行われてこなかった長期間塩水に浸漬した試験片に対する静的試験、疲労試験から、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の強度的な優位性が示され、小面積化・薄肉化による効率向上の可能性が示されている。一方で、弾性率が比較的小さいことから、弾性変形を考慮した新しいプロペラの設計方法の必要性が述べられている。

第4章では、キャビテーション・エロージョン試験について、方法と結果・考察が述べられ、さらにエロージョン耐性の向上についての検討結果が示されている。複合材料のキャビテーション・エロージョン特性については、これまでほとんど検討されていない。いくつかの繊維、樹脂、成形方法、フィラー材を組み合わせた多くの材料・供試体を用意し、実験的な分析からエロージョンのメカニズムを詳しく考察し、新たな知見も得られた。特に、母材となる樹脂特性が耐性に支配的な影響を与えていることを見出し、耐性の向上について提案がなされ、基礎的な検証が行われている。

第5章では、第3章で述べている小面積化・薄肉化による効率向上と新しい設計方法について検討されている。小面積化による効果がより大きく、薄肉化と合わせることで2%以上の効率向上が期待できることが、実験と数値解析の両面から示されている。また、従来は剛体として取り扱われる船用プロペラに対して、弾性変形を考慮した実験と数値解析に基づいた新しい評価手法、および設計方法の提案・検証がなされている。相似則をもとに低弾性率の材料を用いたモデルによる水槽実験、および流体-構造連成解析を合わせた性能評価は新規的な試みであり、複合材料製プロペラの性能評価に利用可能であることが示された。さらに弾性変形後に最適な形状を実現するための流体-構造連成解析を用いた設計方法を提案し、その妥当性を示している。

第6章では、実際にCFRP製のプロペラを製作し、全長約10 mの遊漁船による実船試験の結果が示されている。キャビテーション・エロージョンや数値解析の性能推定精度の課題は残されているが、5章で提案された設計方法がある程度利用できること、加速性や振動低減に効果があることなどが確認された。

第7章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめ、今後の展望が述べられている。

以上を要するに、本論文では、複合材料を用いた船用プロペラについて、総合的な観点からその実用性を評価し、綿密に準備された実験と解析を通して耐久性・効率向上、提案した設計手法についての検証がされている。本研究により実用化に大幅に近づいたとともに、システム的な観点から解決すべき課題など今後の指針を示した点は、システム創成学分野にとって大きな価値がある。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。