

氏名	笹島孝夫
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和62年3月13日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最終学歴	昭和40年3月 東北大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士課程修了
学位論文題目	Dynamic Blade Stress of Marine Propellers Operating in Wake of Ship Hull (船体伴流中で作動する船用プロペラ翼の変動応力 に関する研究)
論文審査委員	東北大学教授 西山 哲男 東北大学教授 阿部 博之 東北大学教授 太田 照和 東北大学教授 小林 陵二

論文内容要旨

船舶の推進装置としての船用プロペラの設計に際して最も重要な事は、設計で意図する流体力学的性能の達成と必要強度の確保である。特に後者は、船舶の安全航行上欠くべからざるものであり、プロペラが推進装置として使用され始めて以来重要な研究の対象とされてきた。船級協会がプロペラ翼の強度に関する規則を定めているのもそのためである。

船用プロペラ翼の強度設計条件は、プロペラが海水という腐蝕性の強い流体の中で、かつ船体まわりの境界層が剥離してできる伴流という不均一な流場の中で作動している事から腐蝕疲労強度であることは知られており、船級協会規定の翼厚計算式でも、設計応力はプロペラ材（主にNiA/Bz）の腐蝕疲労強度に動的荷重の変化の影響を安全係数の形で導入して決められている。

1960年代の後半に入って、新しい形態の輸送システムの一つであるコンテナ船が就航し始めた。コンテナ船は高速でかつスケジュール運航を前提としたものであるが、1970年代の前半に入るとプロペラ翼の切損事故が報告されるに及んで、これら就航中の高速コンテナ船用プロペラ翼に作用する変動応力の実態把握と設計段階で使える変動応力推定法確立の必要性が強く認識されるに至った。本研究の前半は、このような背景に立って、著者が開発した通常型プロペラ翼の変動応力推定法に

関する研究を報告している。

更に、1970年代の後半に入ると、船舶の居住性の改善が強く要求されるようになり、起振源の一つであるプロペラ起振力の低減が要求されるようになった。この時期に、モルガンらによってハイスキュープロペラがプロペラ起振力低減の有力な方法として再提案され実用に入ったが、ハイスキュープロペラには、その形状の特異性から先に提案したプロペラ翼の変動応力推定法が適用できない。従って、翼強度の設計に関しては、更に高度な計算手法を用いる必要があるが、設計の段階ではスキューの選定に任意性があるため試行錯誤によっていた。スキューはプロペラ翼と伴流との干渉を緩和するように作用するものの、形状の特異性から変動応力を拡大する可能性がある。本研究の後半は、ハイスキュープロペラ翼が船体の伴流中で作動するときの変動応力の見地から、ハイスキュープロペラ翼の強度設計基準、及び具体的にそのスキュー量を選定する指針の提案に関するものである。

第1章 緒言

第1章では、船用プロペラ翼に作用する船体伴流に起因する変動荷重の特徴を述べたのち、本論文の前半(第2章)に報告しているプロペラ翼変動応力推定法開発の背景、及び本論文の後半(第3章)に報告しているハイスキュープロペラの特徴及び翼応力上の問題と、提案しているハイスキュープロペラ翼の強度設計基準、スキュー量選定の指針の背景について述べた。又、最後に本論文の構成について述べた。

第2章 通常型プロペラ翼の変動応力推定法

第2.1節 緒言

第2.1節では、プロペラ翼変動応力の推定に必要な手法について述べた。その中で特に重要な実船伴流推定法、船体伴流中で作動するプロペラ翼の変動荷重推定法、及び翼応力の推定法について、既存の研究の状況と本研究で用いた方法の特徴について言及すると共に、推定法の評価の基となる実船計測の必要性について述べた。

第2.2節 実船計測

本節では、コンテナ船“箱根丸”で実施されたプロペラ翼応力実船計測の方法、経緯及び得られた結果について述べた。特に重要な成果は、船体伴流中でプロペラが作動している時の翼応力レベルの平均値はほぼ設計応力に近かったこと、及び翼応力の変動成分は平均応力と同程度であることがわかったことであり、更に船体運動の影響は主に平均応力に現れることも明らかになった。

第2.3節 プロペラ翼の変動応力の推定

本節では、本推定法の特徴を説明した。即ち、実船伴流推定の為に笹島の方法を簡略化し、船体伴流中で作動するプロペラ翼の変動荷重を推定する為に翼幅平均伴流という新しい考え方を導入し準定常計算手法と結びつけ、更に翼応力計算法として鬼頭一出淵の方法を改良した梁理論を用いたプロペラ翼の変動応力推定法を提案した。更に、簡便な有効伴流推定法の導入と翼幅平均伴流の計算に重み関数を導入することにより、実船計測データと比較して十分な精度を有する推定法に改良

した。同時に、実船伴流の推定精度が重要であることを指摘した。

なお、本節の最後の部分では、船体運動による変動応力の変化を準定常計算手法で推定する試みを行い、この方法により船体運動による変動応力の変化の傾向はつかみ得るものの、船体運動中のプロペラ周りの流場推定精度が大きく影響することを示した。

第 2. 4 節 結 言

本節では、実船計測及びそのデータをもとに提案したプロペラ翼の変動応力推定法の成果に付いて纏めた。

第 3 章 ハイスキュープロペラ翼の変動応力と強度設計基準

第 3. 1 節 緒 言

第 3. 1 節では、ハイスキュープロペラ翼の設計に際して強度上の検討が特に必要である背景について述べた。

第 3. 2 節 ハイスキュープロペラ翼の応力計測

ハイスキュープロペラ翼の強度設計基準の確立を図るため、まず肥大船を対象に 4 個のスキューシリーズプロペラを設計し、定常プロペラ揚力面理論及び有限要素法により翼面上の平均応力分布の特徴を調査した。次いで、模型プロペラを製作、空洞水槽に再現した船体伴流中で翼に生じる変動応力の計測を実施し、その結果に基づいて実船プロペラ翼に発生する変動応力を推定し、疲労強度の見地から安全性について検討した。又、模型プロペラを模型船に装備し過渡状態（急速後進、急速前進）でのプロペラ翼変動応力を計測し、実船換算変動応力レベルからその安全性について検討した。

第 3. 3 節 ハイスキュープロペラ翼の強度設計基準

本節では第 3. 2 節で述べたスキューシリーズプロペラ翼の平均応力の特徴と変動応力による疲労強度面からの安全性検討結果を結びつけることにより、平均荷重を基にしたハイスキュープロペラ翼の強度設計基準を提案した。即ち

- (1) プロペラ翼の後縁に平均応力の最大値が生じ、かつ応力集中パターンが生じるようなスキューの選定は適当ではない。
- (2) プロペラ翼の後縁に応力集中パターンが生じても、そのレベルが低い場合には採用できる。

この設計基準を基に、プロペラの要目を系統的に変化させたスキュープロペラを設計し、翼面上の平均応力分布を調査した結果から、プロペラ翼の展開面積との関係で採用し得る最大スキュー量選定に関する指針を提案した。これらの成果を高速コンテナ船用ハイスキュープロペラの設計に適用し、模型試験による変動応力計測結果、及び実船装備による約 3 年の就航実績からその妥当性を示した。

第 3. 4 節 結 言

本節ではハイスキュープロペラ翼の強度設計基準についてまとめた。

第4章 結 言

本研究で得られた成果を概括的に述べた。

以上列記したプロペラ翼の変動応力に関する研究の結果は、通常型プロペラ翼の変動応力推定法に関しては、従来の方法と比較して簡便でかつ精度が良いことが実船計測データとの比較で示されたこと、又ハイスキュープロペラ翼の変動応力の特徴に基づいて提案したハイスキュープロペラ翼の強度設計基準は公表されていないものであり、実船プロペラへの適用によりその有効性が確かめられたことから、本研究の目的は達成したものと考える。

審査結果の要旨

船用プロペラ翼の強度確保は、船舶の安全航行上、重要課題であるが、平均応力のみが取扱われ、船体伴流の不均一性による変動応力は、安全係数の形で経験的に処理されてきた。高速コンテナ船プロペラ翼の切損事故発生により、変動応力の実態解明と推定法確立が要請されると共に、起振力低減のために採用されたハイスキュープロペラでは、その特異な形状と変動応力との関連やスキュー選定法などの新しい問題も生じてきた。

本論文は、船体伴流中で作動する船用プロペラ翼の変動応力に関して、通常形プロペラ及びハイスキュープロペラについて、広範囲に亘る系統的研究を行った成果を含めたもので、全編4章よりなる。

第1章は、緒論で、船用プロペラ翼の変動応力に対する実態把握の背景と体系化の必要性を強調している。

第2章は、通常形プロペラ翼の変動応力推定法に関するもので、本論文の前半を構成する。就航中のコンテナ船プロペラ翼に関する広範な応力計測結果から、平均応力は設計応力にはほぼ等しく、変動応力と同程度であること及び船体運動は平均応力のみに影響することを指摘している。これは有用な知見である。さらに、模型船伴流にレイノルズ数効果を補正して換算した実船伴流から、準定常解法によりプロペラ翼の変動荷重を求め、これに基づく変動応力推定法を提示している。プロペラ翼の吸引作用による有効伴流や翼幅平均伴流に重み関数を導入するなど、新しい創意がみられ、実船計測値との比較から、その信頼性を実証している。

第3章は、ハイスキュープロペラ翼の変動応力による強度設計基準とスキュー選定法に関するもので、本論文の後半を構成する。系統的なハイスキュープロペラについて、揚力面解法による定常荷重から有限要素法により求めた平均応力と空洞水槽に再現した船体伴流中の計測変動応力とから、腐蝕疲労強度に対する安全性を検討している。プロペラ翼の $\frac{1}{2}$ 半径上後縁部に発生する応力集中の緩和を、設計基準にすべきことを提案し、そのスキュー選定法を提示している。これは重要な成果で、模型試験結果との比較及び就航実績を通して、その妥当性を立証している。

第4章は、結論で、成果を総括している。

以上要するに本論文は、船体伴流中で作動する船用プロペラ翼の変動応力に関して、通常形プロペラについては、信頼性の高い推定法を、またハイスキュープロペラについては、応力集中の緩和に基づくスキュー選定法を、それぞれ提示したもので、流体工学及び機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。