

論文の内容の要旨

論文題目 キャビテーションの新しい数値モデルに関する研究

氏名 竹腰 善久

キャビテーションはその有害な性質ゆえ、プロペラ設計者にとって深刻な問題となっている。ポンプや水車がほぼ一様な流れの中で作動するのに比べて、船用プロペラは船体の後方に配置されるため、伴流と呼ばれる空間的に不均一な流れの中で作動する。翼素の単位で考えると、プロペラの一回転の間に流入迎角が大きく変動し、キャビテーションの発生がプロペラの回転とともに時々刻々変化する周期現象があらわれる。

この非一様性が、キャビティの周期的な成長と崩壊を引き起こし、結果として船尾変動圧力やプロペラ軸へのベアリング・フォースが発生する。キャビティが崩壊する際には、非常に大きな圧力が翼の後縁近くにおいて発生し、最悪の場合、有害なエロージョンが発生することもある。加えて、過度の船体への変動圧力は船体疲労や騒音を引き起こす。騒音は、船体の居住性や、音響を使った測深儀、魚群探知機、位置検知装置、ソナーなどへの悪影響を及ぼす。

筆者らはポテンシャル理論に基づく渦格子法プログラムと最適化アルゴリズムを組み合わせたプロペラの自動最適設計プログラムを作成し、翼断面形状を変更することにより、耐キャビテーション性能に優れた翼型の圧力分布をプロペラの三次元流れ中で実現するような設計を行い、実験によりキャビテーションの抑制を確認した。しかし、キャビテーション発生予測については、キャビテーションを考慮しない計算の結果として得られた圧力分布から揚力等価法などによる半ば経験的な推定にとどまっている。将来的にはナビエストークス方程式にキャビテーションモデルを組み合わせることによる推定法の実用化が望まれる。

現在のところ、キャビテーションの予測に関しては、キャビティの全体的な形状と、性能への影響に留まり、キャビテーションによって発生する変動圧力の予測などのレベルには達していない。そこで、キャビテーションの予測精度を向上することが本研究の目的である。

第1章において、現在のキャビテーションの予測方法について簡単に説明をする。第2章において、既存のキャビテーションモデルについて詳しく紹介をする。第3章において、本論文における数値計算方法について述べる。

第4章からが、本研究の中心部分である。既存のキャビテーションモデルの中で最も優れたものの一つである **Full Cavitation Model** について計算を行い、モデルの適応範囲と限界について示した。また、相変化、乱流による圧力変動、非凝縮ガスの存在など実際の物理現象を考慮したモデルであるが、それら物理現象のモデル化のキャビテーション流れへの影響について詳細に調べた。既存のモデルの多くは、翼厚の小さい翼については実験と良く一致するが翼厚の大きい翼についてはキャビティを過小評価することが報告されているが、**Full Cavitation Model** も同様な結果となった。

第5章において、4章で得られた知見をもとに新しいキャビテーションモデルを提案した。このモデルは、キャビテーション流れを分散性の気泡流として扱う気泡流モデルと、シャープなシートキャビティ界面を直接解像する界面捕獲法との組み合わせによって構成されるものである。シートキャビティの部分は界面の空間的スケールが計算格子よりも大きいため移動境界問題として陽的に解き、クラウドキャビティの部分は分散性気泡流に対するモデルを用いて取り扱うことになる。界面捕獲法を用いる場合に問題となる、キャビティの初生やシートキャビティの後縁の取り扱いに対して合理的な解法である。また、この新しいモデルと **Full Cavitation Model** を詳細に比較すると、**Full Cavitation Model** の方が前縁側からキャビティの初生が起きていることが分かった。前縁半径の小さな翼の場合その差は重要でないが、前縁半径の大きな翼に対してはキャビティ初生位置のわずかな違いがキャビティ形状に大きな違いを生むことが分かった。

第6章において、5章で提案したキャビテーションモデルについて、ピッチング振動した2次元翼周りに適用した。ピッチングにより、流れ場そのものの時間スケールが加わる流れとなる。このとき、シートキャビティ長さおよびその位相については、振動の時間スケールと渦運動の時間スケールの比が支配的であることが分かった。

第7章において、全体のまとめと今後の課題について述べる。

キャビテーションの新しい数値モデルを開発することにより、既存のモデルよりも時間平均値および変動量についても正しく予測することができることを示せた。また、既存のキャビテーションモデルの多くが、シートキャビティを過小評価し、キャビティも定常に落ち着いてしまう問題を抱えていたが、その原因を解明することができた。