

液中の気泡核特性を考慮した均質媒体モデルによる キャビテーション流れの数値解析

鶴, 若菜

<https://doi.org/10.15017/1931905>

出版情報 : Kyushu University, 2017, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 鶴 若菜

論 文 名 : 液中の気泡核特性を考慮した均質媒体モデルによる
キャビテーション流れの数値解析

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

キャビテーションは、あらゆる液体で起こり得る気化現象である。また、液体を作動流体とする流体機械の内部でキャビテーションが生じると、振動や騒音、性能低下を引き起こす。キャビテーションは周囲の圧力が飽和蒸気圧まで低下することにより発生するが、実際には低圧だけでは十分ではなく、液中の気泡核、溶存空気などの水質や流れ場などの様々な因子に影響される。一般に、液中に気泡核が多く存在する場合や物体表面を層流境界層が完全に覆っている場合は、気泡核が大気泡へ成長し流下するバブルキャビテーションが生じる。一方、液中の気泡核が少なく流れが乱流に遷移する場合や流れのはく離を伴う場合は、気膜状のシートキャビテーションが生じる。液中の溶存空気は、その気液界面から気泡内への析出により液中の気泡核数密度分布に影響する。このようにキャビテーションは気泡核、溶存空気、境界層特性など様々な因子が関係する複雑な現象であり、とくに流体機械で問題となるシートキャビテーションの初生過程は十分に解明されていない。

また、流体機械の設計・開発段階においてはキャビテーションを考慮した数値流体力学 (CFD) 解析による性能予測が広く行われている。キャビテーション流れに対する様々な予測手法の中でも、連続相である液相と分散相である気相を一つの流体として扱う均質媒体モデルは、計算負荷が軽く最も適用例が多いが、その一方でキャビテーションの初生や空間分布、機器の性能の予測精度にばらつきがあることが報告されている。流体機械のさらなる小型化・高性能化を実現するためには、汎用性が高く計算負荷の軽い均質媒体モデルの改良が不可避である。

そこで本論文では、液中の気泡核の流動特性を考慮することにより、均質媒体モデルによるシートキャビテーションの予測精度を向上することを目的とした。液中気泡核の数密度および溶存空気がシートキャビテーションの初生・発達過程に及ぼす影響を実験的に明らかにした上で、その結果を均質媒体キャビテーションモデルに反映させることにより、キャビテーション予測精度の向上の可能性を提示した。本論文は以下の 6 章で構成される。

第 1 章では、キャビテーション形態の分類およびキャビテーションの初生、形態に影響を及ぼす因子について説明した。続いて、キャビテーション流れの数値解析に関する既存のモデルとそれらの課題を述べ、本論文の目的と構成を示した。

第 2 章ではまず、液中気泡核の数密度および液中溶存空気が単独翼周りのキャビテーション流れに及ぼす影響を解明することを目的に、溶存空気量をパラメータに気泡核数密度をモニターしつつ高速度カメラによる可視化を含めた実験を行い、複数の迎角条件においてキャビテーションの初生、形態、時間平均揚抗力、揚抗力の変動およびキャビティの変動を調査した。これにより、翼負圧面に発達する境界層特性が異なることで、キャビテーションの初生および非定常挙動などに対する気泡核数密度および溶存空気の影響が大きく異なることを明らかにした。また、層流境界層から乱流

遷移または層流はく離・再付着する条件下において、気泡核数が多い場合は最低圧力点近傍からバブルキャビテーションが生じるのに対し、気泡核および溶存空気が少ない場合は乱流遷移点または層流はく離点からシートキャビテーションが形成されることを確認した。

続いて第3章では、第2章と同様に単独翼周りの流れを対象とし、キャビテーション流れの予測精度の確認のため、気泡流ベースの均質媒体モデルによるキャビテーション流れのCFD解析を行った。モデルパラメータである気泡核数密度および気泡核径に対し、過去の研究で推奨された値と第2章で得られた気泡核数密度分布より算出した値を用いることにより、とくに気泡核数密度がシートキャビティの体積変動および揚力変動に及ぼす影響を明らかにした。さらに、シートキャビテーションの初生に関しては、実験により得られた気泡核数密度を用いた場合にキャビティの前縁の位置が実験結果とよく一致したことから、モデルパラメータである気泡核数密度の取り扱いによってキャビティ前縁位置の予測精度を向上し得ることを示した。

第4章では、液中の気泡核を起点としたシートキャビテーションの形成過程をより詳細に明らかにすることを目的に、よりシンプルな二次元縮小拡大流路内の流れを対象に気泡核の挙動の詳細な観察を行った。気泡核数の低減を目的としたフィルターの使用の有無により、液中溶存空気量に加えて気泡核数密度分布をパラメータとした。液中の気泡核数を十分に低減して単一の気泡核を追跡することにより、気泡核が液体とは異なる速度で流路の喉部近傍で壁面に近づき、気泡核の一部が壁面に付着してシートキャビテーションを形成する過程を確認した。また、シートキャビティの持続時間を調査し、気泡核数密度分布および溶存空気のそれぞれがシートキャビティの安定性に大きく影響を及ぼすことを示した。

第5章では、第4章で確認された気泡核の液流からのすべりによる気泡核数密度の空間分布が、シートキャビテーションの初生に及ぼす影響を、数値解析により検討した。単相流のCFD解析結果をもとに気泡核に作用する流体力を適切に考慮して運動方程式を解くことにより、気液間のすべり速度およびそれによって生じる気泡核数密度の空間分布を得た。この気泡核数密度の空間分布を適用した均質媒体モデルによるキャビテーション流れのCFD解析を行い、気泡核数密度の空間分布がシートキャビテーションの初生に及ぼす影響について検討した。さらに、気液間のすべり速度による気泡核の成長の遅延を考慮したCFD解析を行い、シートキャビテーションの初生に対する気液間すべり速度の適切なモデリングの必要性を示した。

第6章では、本論文で得られた成果をまとめた。

以上のように、本論文では、流体機械で数々の問題の原因となるシートキャビテーションの均質媒体モデルによる予測精度の向上を目指し、既存のモデルでは考慮されなかった気泡核の流動特性について、実際のキャビテーション流れに対するその影響を実験的に詳細に明らかにした上で、均質媒体モデルに適用できる形に落とし込み、そのシートキャビテーションの初生への影響を明らかにした。また、より適切なモデリングを施すことによるシートキャビテーションの予測精度の更なる向上の可能性を示した。

〔作成要領〕

1. 用紙はA4判上質紙を使用すること。
2. 原則として、文字サイズ10.5ポイントとする。
3. 左右2センチ，上下2.5センチ程度をあげ，ページ数は記入しないこと。
4. 要旨は2,000字程度にまとめること。
(英文の場合は，2ページ以内にまとめること。)
5. 図表・図式等は随意に使用のこと。
6. ワードプロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」
の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。