

氏 名	緒 芳 宏 幸
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 3 年 3 月 28 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学専攻
学 位 論 文 題 目	流体機械構成要素のキャビテーションの挙動と 性能への影響
指 導 教 官	東北大学教授 大場利三郎
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 大場利三郎 東北大学教授 猪岡 光 東北大学教授 太田 照和 東北大学教授 長南 征二

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

ポンプ, 水車および推進器などの流体機械は, 航空宇宙, 発電所, 原子力プラントおよび化学プラントなどのさまざまな所で常用されており, それらの運用に極めて重要な役割を果たしている。そして, それらの流体機械に緊急に求められていることは, 高速化, 高性能化, 省エネルギー化および高信頼性化などである。

流体機械を高速化する際には, さまざまな問題が生じ, 中でも最大の障壁はキャビテーションである。キャビテーションが発生すると, 性能の低下はもちろん, 騒音, 振動およびキャビテーション壊食(壊食)の発生など致命的障害が起こるので, これらをいかに克服するかの研究がなされてきている。この種の解明には, キャビテーションの挙動の詳細な観察は必要不可欠であるし, また, キャビテーションの三次元的構成を考えれば, 立体的な観察も必要となろう。その上で, 流体機械構成要素の揚・抗力ならびに振動加速度の変動などの測定が必要であろう。

本論文では, 高速流体機械のキャビテーションの発生に伴う諸問題の解明を目的として, まず, 流体機械の主要構成要素である翼形について, サブキャビテーション(Sub. C)からスーパーキャビテーション(SC)の広いキャビテーション係数 σ の領域にわたって詳細なキャビテーション観察を行うとともに, 揚・抗力ならびに非定常キャビテーション特性を明らかにし, 優れた特性を持つ平頭翼形数種を見出した。次いで, この好性能平頭SC翼形を基に, 好性能を呈する超高速SCスクリュープロペラを試作した。

第2章 翼形に発生するキャビテーションの多元的構成

キャビテーション性能が良く知られているCY11.7翼形を取り上げ、Sub.C状態で発生する種々のタイプのキャビテーション気泡（以下気泡という）の発達過程を、高速映画と二方向からの瞬間写真法により詳細に調べた。そして、Sub.C状態においては、一様流中に置かれた同一翼面上においても、実にさまざまなタイプのキャビテーション気泡が同時的に発生するというキャビテーションの多元的構成を明示した（図1参照）。すなわち、今後のキャビテーションに関する議論においては、気泡のタイプを明示すべきであることを示した。

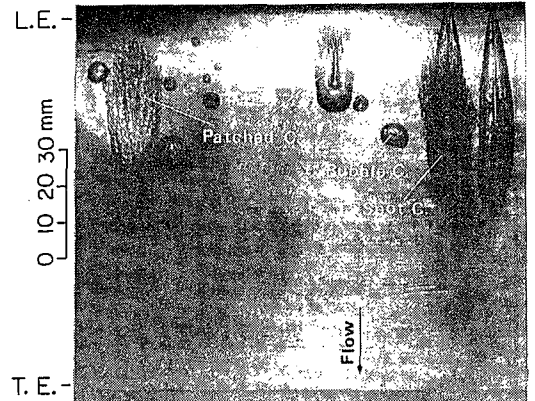


図1 種々のタイプのキャビテーション気泡

第3章 定常流入場に置かれた翼形まわりの変動流れの挙動

低抗力船外機支柱断面と同形状の二次元対称翼形を用いて、Sub.C領域におけるキャビテーション流れを観察しつつ、揚・抗力ならびに揚・抗力変動特性を測定した。また、キャビテーションなし流れにおいてN-S方程式を解いて流れパターンをシミュレートした。そして、実験結果と比較検討した結果、この種の複雑な流れの数値解析の有効性、特に、翼形の極近傍の局所的渦キャビテーションの挙動の解析への有効性を立証した。

第4章 激振時における翼形まわりの透明付着キャビティの挙動

第3章と同じ翼形の激振領域におけるキャビティ・ブレイクダウンの発生機構の解明を試み、その結果、透明付着キャビティの破断線の発生位置は、リエントラント・ジェットの先端の位置と一致しており、キャビティ・ブレイクダウンの発生にはリエントラント・ジェットが支配的役割を果たしていることを示した。また、その非定常特性を振動加速度を介して調べ、振動加速度の実効値はキャビテーションの発生・発達および激振に伴う様相に対応して変化することを明らかにした。

第5章 失速状態における翼形の非定常特性

対称翼形について、キャビテーションなしの状態で失速、非失速状態において、キャビテーションなしからSC状態までの翼形の非定常特性を揚・抗力の面から調べた。また、これらの非定常特性をキャビテーションなしの状態の数値のシミュレーション結果と比較検討した。その結果、キャビテーションなしにおいてstatic stallであるかないかの違いにより、揚力特性におけるキャビテーション失速の形態が異なる（図2参照）ことが明らかになった。そして、翼形まわりの変動流れの直接的結果である揚力変動のスペクトル（図3参照）を介して、キャビテーションなしにおけるstatic stall状態とキャビテーション・ブレイクダウンを伴うキャビテーション失速状態の流れと

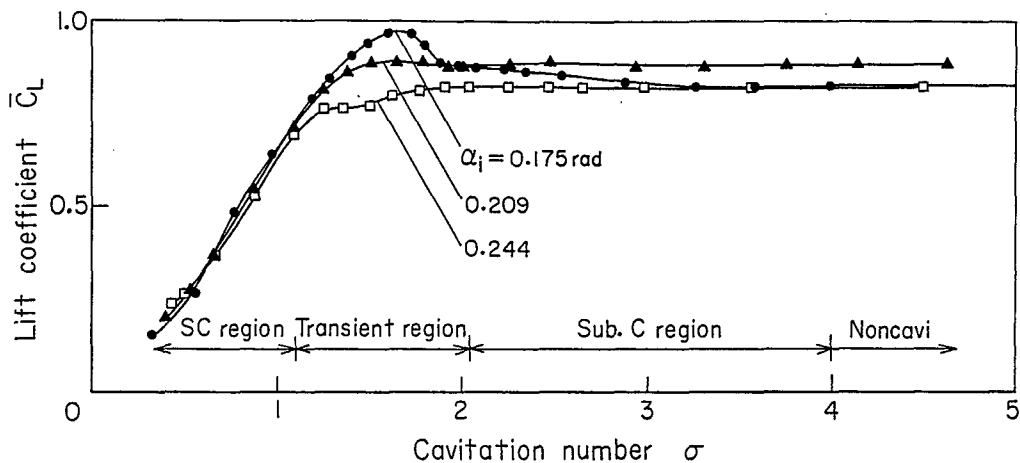


図2 キャビテーション係数 σ による揚力係数 $\overline{C_L}$ の変化

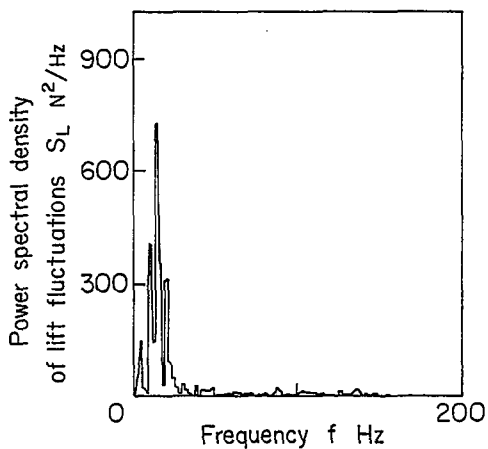


図3 揚力変動のパワースペクトル

の間には類似性があることを明示した。また、キャビテーションなしの流れの数値解析（図4参照）は、Sub.C流れの実際の様相とそれに伴う揚・抗力特性を良く表し、さらに、激振時の流れパターンの予測にも有効であることを示した。

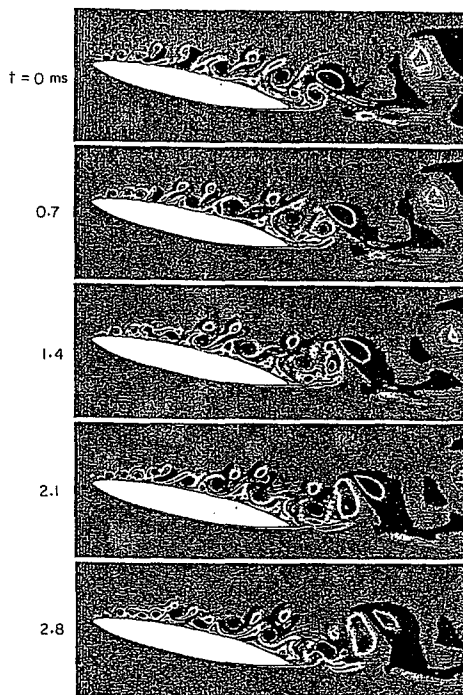


図4 計算により得られた渦度分布

第6章 超高速スーパーキャビテーション翼形まわりの流れの観察

時速100km以上の超高速船外機の超高速SCプロペラ用のSC翼形を取り上げ、遷移領域からSC状態までの広いキャビテーション係数 σ の範囲において、キャビテーションの詳細な立体的瞬間写真観察を試みた。その結果、揚力係数が σ とほぼ直線関係で表されるSC領域は、透明な表面

を持つ透明キャビティからなる典型的な SC 流れの状態となるのはキャビテーションが十分発達する σ がかなり小さいところであり、SC 領域の大部分においては、キャビティ内が微細気泡で満たされた擬似 SC 状態にあることを明らかにした。

第7章 超高速平頭翼形の擬似スーパーキャビテーション領域における特性

第6章で明らかになった事実を踏まえて、超高速 SC プロペラ用として3種類の SC 翼形を提案し、それらの揚・抗力特性を種々の迎え角、キャビテーション係数について系統的に調べた(図5参照)。その結果、いずれの翼形も揚抗比などの翼性能が従来の SC 翼に匹敵する好性能を持ち、しかも前縁強度の点で従来の SC 翼形より優れている実用的な翼形であることがわかった。

第8章 試作した超高速スーパーキャビテーションプロペラの性能

第7章で提案した3種類の SC 翼形の中で、最も揚・抗力性能が良好な翼形をもとにして超高速 SC プロペラ(図6参照)を試作し、その性能を測定した。そして、既存の超高速 SC プロペラと比べて効率などの性能において十分匹敵すること、すなわち、本設計の狙いに近い性能を持つものができた(図7参照)ことを示した。また、大きい前進定数の超高速 SC スクリュープロペラの本来の作動範囲においては、前進定数のわずかな変化に SC キャビティは敏感に反応し、時には揚力を支える腹面側にも発生するので、揚力または効率の著しい劣化をもたらす心配がある。そのため、超高速好性能スーパーキャビテーション・プロペラとしては可変ピッチ型が望ましいことが判明した。

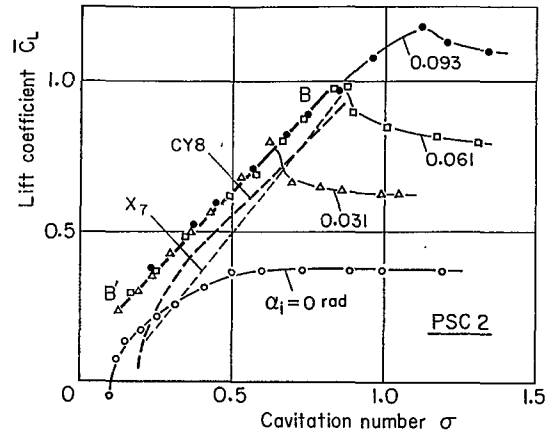


図5 揚力特性

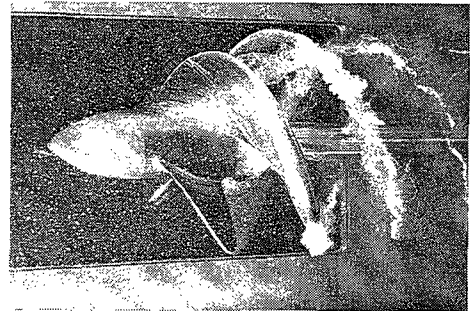


図6 SC状態で作動するSCプロペラ

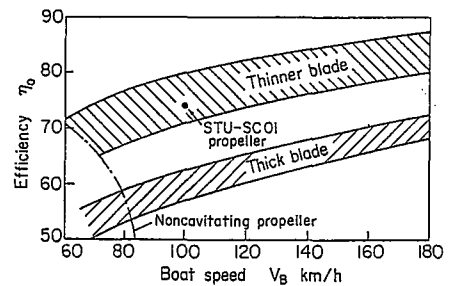


図7 効率と船体速度の関係

審査結果の要旨

ポンプ、水車、推進機などの流体機械の高速・大型化とともに、非常にしばしば性能劣化、激しい騒音、振動、壊食などの致命的障害が発生する。本論文は、このような高速流体機械のキャビテーション諸問題の解明を目的として、その作動領域が広いキャビテーション係数に及ぶ超高速船外機を取り上げ、その主要構成要素まわりのキャビテーションの観察とキャビテーション性能の系統的な研究を試みたもので、全編9章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、クラーク Y11.7%翼形まわりのキャビテーション気泡の発達過程を立体超高速写真法により詳細に観察し、主として流入核に依存するキャビテーションの多元的構成を明らかにし、さらに、多数の高壊食性 Ellis 気泡の存在等を確認している。

第3章では、「サブキャビテーション領域では、流れパターンはキャビテーションの有無により基本的に変化しない」という事実を踏まえて、二次元翼形まわりのキャビテーション流れの観察、揚抗力等の測定結果と NS 方程式の数値計算結果とを対比し、この種の非定常解析の有効性を立証した。

第4章では、翼形の激振領域におけるキャビテーションを詳細に観察し、透明付着キャビティの破断にはリエントラント・ジェットが支配的役割を果たしていることを示した。

第5章では、非キャビテーション状態で既に失速、非失速の二つの迎え角における揚抗力特性を対比し、揚力特性におけるキャビテーション失速の形態が明らかに異なることを明らかにした。さらに、キャビテーションなしの失速状態とキャビテーション失速状態の流れの間の類似性を見いだした。

第6章では、超高速スーパーキャビテーション（以下 SC という）翼形のキャビテーションの様相の詳細な立体的瞬間写真観察を試み、いわゆる SC 領域の大部分が擬似 SC 状態にあることを明らかにしている。

第7章では、超高速 SC プロペラ用として3種類の SC 翼形を提案し、それらの揚抗力特性を種々の迎え角、キャビテーション係数について系統的に明らかにした。

第8章では、第7章で提案した3種類の SC 翼形のうち、最も揚抗力性能が良かった翼形を基にして、超高速 SC プロペラを試作し、それが期待通り好性能を示すことを明らかにしている。

第9章は結論である。

以上要するに本論文は、超高速翼形ならびにスクループロペラのキャビテーション性能を解明し、時速100km以上の超高速プロペラの実用性を実証したもので、流体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。