



Title	数値解析によるターボポンプにおけるキャビテーション不安定現象に関する研究
Author(s)	安, 炳辰
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27536
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	安 炳 辰 (An Byungjin)
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 26189 号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科機械工学専攻
学位論文名	数値解析によるターボポンプにおけるキャビテーション不安定現象に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 梶島 岳夫 (副査) 教授 田中 敏嗣 教授 矢野 猛

論文内容の要旨

ターボ機械に生じるキャビテーションは、流量が著しく非定常または不均一となる不安定現象を引き起こし、機器の性能低下や損傷、騒音の主な原因になる。その代表例として、液体燃料ロケットエンジン用ターボポンプのインデューサがあり、これらの高性能化と安全のため、キャビテーション不安定現象の予測と制御は不可欠である。翼列のキャビテーション流れでは、翼間ごとに不均一なキャビティ領域が移動する巡回キャビテーション、キャビティの体積変動が流路系と相互作用して激しい流量変動を引き起こすキャビテーションサージが知られている。前者は翼列内の局所的な不安定現象、後者は輸送系のシステム不安定現象に分類される。両者は密接な関係があると考えられるが、因果関係や遷移過程は未解明である。実験で翼列内部流れを計測すること、液体水素や液体酸素を用いることは困難である。現状では、水による実験結果と比較して妥当性が検証された数値計算法を用い、実際の作動流体による性能を予測することが最も現実的であると考えられる。そこで、キャビテーションの物理モデルと数値シミュレーション手法の進展が工学的に重要なテーマと位置づけられている。

本論文は、著者が所属する研究グループで独自に開発しているキャビテーション乱流モデルを進展させ、システム不安定現象の解析に関する管路系応答モデルを取り入れることにより、ターボポンプのインデューサにおける局所不安定のパターンを明らかにし、さらにシステム不安定への遷移過程を検討した結果を取りまとめたもので、以下の8章から構成されている。

第1章では、ターボポンプにおけるキャビテーション不安定に伴う技術的な課題を示し、これに対する従来のキャビテーション流れ解析法の有効性を論じ、本研究の背景と目的を明示した。

第2章では、非定常キャビテーション流れ場を解析するために用いた数値計算法について述べた。

第3章では、翼周りのキャビテーション流れの実験結果を参照し、本研究で用いられたキャビテーションモデルの有効性と、乱流モデルが数値計算結果に与える影響を示した。

第4章では、翼列における巡回キャビテーション挙動の数値計算を行い、非定常キャビテーションの伝播に関する普遍的な関係性を提示した。

第5章では、キャビテーション数の低下につれて巡回キャビテーションからキャビテーションサージへ遷移する傾向に着目し、流量一定の流入境界条件を設けた流れ場で再現された巡回キャビテーション流れを解析し、巡回モードとは別に、サージに移行すれば顕在化すると考えられているモードと検出できることを示した。

第6章では、第5章で予測した指標の周波数で変動する強制流量変動を巡回キャビテーション流れ場に加え、

その応答特性を調べることにより、サージ発生 の 診断方法としての有効性を確認した。

第7章では、翼列流れの状況に応じて流量が変動する簡便な一次元モデルで管路システムを近似し、第5章で抽出したサージへの遷移を示唆するモードに近いモードの変動が大きく成長することを確認することで、サージそのものをシミュレートしなくても、第6章で実施した応答解析によってこれを予測できる可能性があることを実証した。

第8章では、以上の結果を総括した。

本研究は、ターボポンプの翼列における旋回キャビテーション流れからキャビテーションサージへの遷移過程を初めて明らかにしたものであり、困難な実験や高負荷の計算によってサージを再現しなくても予測できる手法を提示した点で、液体燃料ロケットエンジンなどの開発の高度化および低コスト化に寄与するものである。

論文審査の結果の要旨

ターボポンプ内の低圧領域に生ずる空洞現象(キャビテーション)は、羽根車内に生じる旋回キャビテーションのような局所不安定から配管系との相互作用によるキャビテーションサージのようなシステム不安定に発展する場合、機器の性能低下や損傷の原因となる。近年、ターボ機械を小型化・軽量化するために高速化が進んでおり、キャビテーションが発生する条件で作動させることを前提とした設計も少なくない。そのため、キャビテーション不安定現象の解明および抑制が重要な研究課題となっており、特に液体水素・液体酸素を扱うロケットエンジンのポンプの開発では、コストや安全性の観点から数値シミュレーションに対する期待が高まっている。

本論文は、ロケットエンジン用ターボポンプに装着されるインデューサを対象として、その翼端領域を模擬した二次元翼列内のキャビテーション流れに数値シミュレーションを適用し、旋回キャビテーションの特性ならびにサージへの遷移の過程を調べた結果をまとめたものである。本論文の成果は次のように要約できる。

1. キャビテーションをとまなう非定常流れの解析に対して、均質流体モデル、空洞成長モデルおよびレイノルズ平均乱流モデルから構成される実用的な計算手法を構築し、Clark-Y翼型の周りの流れに適用して、キャビテーション数の減少によって翼の揚力が低下するブレイクダウン特性を再現できることを実証している。
 2. インデューサ内の流れにおいて、実験的に観察されている旋回キャビテーションおよび交互翼キャビテーションを再現し、部分キャビテーションの伝播、成長、旋回の特性を示す線図を提示し、これらの関係を定式化している。
 3. 旋回キャビテーション発生時のキャビティ体積変動を詳細に解析し、一定流量のもとにサージを示唆する周波数を探索し、該当する周波数の流量変動を与えたときの応答を調べることによりサージモードを予測する手法を提案し、配管系の一次元モデルを接続したシミュレーションによって現実にサージに発展することを実証している。
- 以上のように、本論文は、回転軸の振れ回りの原因となる旋回キャビテーション、過大な圧力変動を引き起こすキャビテーションサージといった代表的なキャビテーション不安定現象を扱い、前者の伝播特性を定式化するとともに後者への遷移の過程を数値シミュレーションによって明らかにしたもので、実験が困難な流体機械の設計手法の進展および事故解析の高精度化に寄与するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。