

Title	NUMERICAL STUDY OF BACKFLOW AND BACKFLOW VORTEX AT THE INLET OF INDUCERS
Author(s)	喬, 向宇
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46777
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	喬 尚 宇
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 19717 号
学位授与年月日	平成 17 年 5 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科システム人間系専攻
学位論文名	NUMERICAL STUDY OF BACKFLOW AND BACKFLOW VORTEX AT THE INLET OF INDUCERS (インデューサ入口上流における逆流と逆流渦に関する数値解析)
論文審査委員	(主査) 教授 辻本 良信 (副査) 教授 杉本 信正 教授 宮崎 文夫

論文内容の要旨

大型ロケットエンジン用ターボポンプでは、高速回転しているポンプ入口にキャビテーションを防止する目的で羽根車上流にインデューサが設けられる。このインデューサにおいて種々の不安定現象が発生する場合がある。不安定現象の抑制のため、いくつかの方法が採用されている：インデューサにスイープを付けること、ティップクリアランスを広げること、インデューサ入口配管径をインデューサ外径より大きくすること。これらの方法から、インデューサ入口の逆流キャビテーションが不安定現象と関係があることが分かる。この関係を解明する目的で、数値解析を行った。

実験により、インデューサ入口では旋回成分を持った逆流が生じている。そのため、この旋回逆流と順流との速度剪断層に渦が生じている。また、剪断層内の渦の中心付近が飽和蒸気圧を下回った場合にキャビテーションが発生すると考えられる。この逆流キャビテーションと不安定現象の関係を解明するために、まず入口逆流と逆流渦の発生機構と構造を解明する必要がある。そこで、汎用熱流体解析ソフトを用い数値計算を行った。インデューサスイープによって生じる前縁ティップ付近の圧力面側からティップを回って漏れ出す流れが入口逆流の発生に大きく影響していることが分かった。ケーシング形状が逆流の発生に与える影響を調べるため、三種類のケーシング形状に対して計算を行った。計算結果により、ティップクリアランスを増加させる、あるいは段を付けると、逆流領域の増加に伴い、入射角が減少し、キャビテーション不安定現象が防止されることが判明した。

流量変動に対するインデューサ入口の逆流の応答を調べるために、 $\phi = 0.078 + 0.01 \sin(2\pi ft)$ の流量変動を与えた。流量変動の周波数はインデューサ回転数 fn の倍数として、 $f = 0.0625fn$ 、 $f = 0.125fn$ 、 $f = 0.25fn$ 変動の場合について計算を行った。これより、周波数が高いほど、逆流の長さが短くなることが分かった。また、解析結果から応答関数を計算した。この応答関数により、逆流部の大きさは流量変動に対して一次遅れ要素として応答することが分かった。インデューサ入口の逆流渦構造を解明するため、LES 解析方法を用い計算を行った。計算結果は実験結果とよく一致した。計算結果から、流量増加に対するキャビティ体積の減少率を表すマスプルーゲインファクタ M 、入口圧力の減少に対するキャビティ体積の増加率を表すキャビテーションコンプライアンス K を求めた。これより、逆流キャビテーションは低周波数の変動を不安定化し、高周波数の変動を安定化する効果をもつことがわかった。

論文審査の結果の要旨

ロケットエンジン用ターボポンプインデューサではキャビテーションの不安定現象の発生を防止することが信頼性確保の上で最重要課題である。現状ではインデューサケーシングの形状を変更して不安定現象を防止する方法が採られているが、この方法がどのような機構により安定化に寄与するのか必ずしも明確でない。一方、このような形状の変更により入り口に発生する逆流が増加することが知られており、経験的には逆流は不安定現象を安定化する効果を持つように考えられる。一方準静的な考察からは、逆流渦キャビテーションも、翼面キャビテーション、翼端漏れ渦キャビテーションと同様、流れを不安定化させる効果を持つ。そこで入り口逆流がキャビテーション不安定現象に対して安定化する効果を持つのか否か、また、それがどのような機構によるものかを明らかにすることは緊急の課題である。

本論文は数値流体解析を用いて逆流・逆流渦の発生機構並びに流量変動に対する応答を調べ、この問題に取り組んだものである。第1章ではキャビテーション不安定現象一般に関する研究の現状を概観し問題点を明らかにしている。第2章では RANS モデルを用いた定常流れの詳細な数値解析により、入り口逆流は主として前縁スイープを持つ翼端部分から翼面圧力差に駆動されて生じること、前縁スイープが入り口逆流に及ぼす効果は翼端の漏れ流れによる効果より大きいことなど、その発生原因・性質を明らかにした。第3章では不安定キャビテーションの防止のために用いられている、入り口管の拡大やテップクリアランス増大などのケーシング形状の変更が流れに及ぼす影響が検討された。これらの形状変更に伴い逆流部分の断面積が増加し、上流に供給される角運動量が増加することによって逆流の大きさが増加することが明らかにされた。また、これに伴い羽根入り口の衝突角が減少する事が不安定現象防止の一つの原因になることが示された。第4章では流量変動に対する逆流の応答が調べられた。キャビテーション不安定現象に特有の低い周波数においても、逆流に大きな遅れが発生することが見いだされ、角運動量保存則より逆流の応答が一次遅れ要素として表されることが示された。以上の解析では逆流の強さや羽根車の性能は正しく評価されるが、解析モデルの制約から逆流渦構造は再現できない。第5章以降では RANS モデルを用いて逆流の角運動量供給量を求め、これを単純化した形状のモデルに対して与えて LES を用いた解析を行う方法により逆流渦構造が解析されている。第5章ではこのような方法で逆流渦構造が正しく再現できることが示された。第6章では逆流渦の流量変動に対する応答が調べられ、逆流渦が存在する場合にも第4章で得られた応答性に関する結果がそのまま成り立つ事が示された。また、逆流渦内の飽和蒸気圧以下の部分にキャビティが発生するものとして逆流渦キャビテーションの体積を評価し、キャビティの成長に伴う排除仕事から不安定現象に対する影響が調べられた。その結果、逆流渦キャビテーションは羽根車回転数の10%程度より低い周波数を持つモードに対しては不安定化の効果を持つが、これよりも高い周波数のモードに対しては逆流の応答遅れにより安定化の効果を持つ事が明らかにされた。この結果はこれまでに経験的に知られている事実を合理的に説明できるものである。

本論文で得られた知見はキャビテーション不安定現象の防止を通じてターボポンプインデューサの信頼性向上に直接貢献するばかりでなく、ターボ機械一般の流れのより深い理解を与えるものであり、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。