

スプリッタ付インデューサと小径吸込み管の採用によるターボポンプのキャビテーション性能向上

田中, 陽平

<https://hdl.handle.net/2324/4475123>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 田中陽平

論 文 名 : スプリッタ付インデューサと小径吸込み管の採用による
ターボポンプのキャビテーション性能向上

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

ターボポンプの小型・高速化にはキャビテーション対策が欠かせない。インデューサを主羽根車の上流へ設置する方法は、キャビテーションによる吸込み性能劣化の有効な防止策として知られている。しかしながら、インデューサ自身がキャビテーションにさらされる条件で運転され、設計流量近傍においてもキャビテーション不安定現象がしばしば生じることが知られている。これまで、ロケットエンジン用ターボポンプインデューサを対象とした研究が数多く行われ、インデューサの設計指針やキャビテーション不安定現象の抑制方法が報告されている。

限られた流量範囲で運転されるロケットエンジン用ターボポンプインデューサとは対照的に、汎用ターボポンプでは運転範囲は極低流量から過大流量まで幅広い。汎用ターボポンプへのインデューサの適用のためには、締切点近傍を含む広い流量範囲で高い吸込み性能および信頼性を有する必要がある。しかしながら、低流量域においてはインデューサで大規模な入口逆流が発生し、このような低流量域では大きな流量変動をともなうキャビテーションサージが発生することが多い。

そこで本研究では、汎用ターボポンプへのインデューサの適用範囲の大幅な拡大を狙い、高吸込み性能を保ちつつ入口逆流を制御することによりキャビテーションサージを抑制することを目的とし、スプリッタ付インデューサまたは小径吸込み管への接続によるキャビテーションサージの低減・抑制手法を提案した。本論文は以下の8章で構成される。

第1章では、インデューサに生じるキャビテーション不安定現象と、これまでに検討された抑制方法と課題を挙げ、本論文の目的と構成を示した。

第2章および第3章では、本論文で用いた実験装置および実験方法に加えて、数値解析方法の概要を示した。

第4章では、既存の指針に基づいて設計されたインデューサを用い、インデューサの設計衝突角が、インデューサ付ターボポンプの吸込み性能およびキャビテーション不安定現象の発生範囲に及ぼす影響を実験的に調査した。その結果、設計衝突角の小さなインデューサを用いた場合にはキャビテーションサージの発生する流量範囲が狭くなり、サージ防止策として有効であることが分かったものの、高流量域においては吸込み性能が低下することが確認された。

第5章では、通常の翼設計では相反する低入口翼角による入口逆流の抑制と広のど部断面積による高吸込み性能の両立を狙い、インデューサにスプリッタを採用した。まずは、翼端を想定した二次元翼列を対象とし、スプリッタの設置条件が翼列の水力性能および吸込み性能に及ぼす影響を明らかにし、好適なスプリッタ付翼列を探索した。その結果、各翼間流路における損失係数が等しくなるようにスプリッタを配置することで、翼間流路における過度な増速にともなう低圧部を緩和し、水力性能および吸込み性能が向上した。次に、得られた好適なスプリッタ付翼列をストレートハブ

のインデューサへ適用し、幅広い流量範囲において水力性能、入口逆流に加えて吸込み性能を数値解析によって評価したところ、インデューサにスプリッタを適用した場合でも低流量域での逆流抑制効果は保たれることが示唆された。最後に、より実機形状に近いターボパハブのインデューサにスプリッタを適用し、数値解析によって性能評価を行うとともに、実験によってキャビテーションサージ等の不安定現象の発生範囲を評価し、スプリッタ付インデューサの設計の妥当性を検証した。その結果、スプリッタ付インデューサでは高流量域での吸込み性能を維持しつつ、低流量域において入口逆流およびキャビテーションサージが抑制された。

第6章では、入口逆流のせき止めがキャビテーションサージの抑制に有効であるとの知見に基づき、インデューサ上流へ小径吸込み管を接続することによるキャビテーションサージの抑制効果について実験的に調査した。また、インデューサ上流への小径吸込み管の接続には、入口逆流のせき止めと、流路断面積の低減による衝突角低減の二つの効用があると考えられることから、低衝突角設計のインデューサを用いた場合の結果との比較も行った。その結果、キャビテーションサージの完全な抑制には至らなかったものの、キャビテーションサージの抑制には入口逆流のせき止めがより有効であることが示唆され、低衝突角設計のインデューサを用いた場合には吸込み性能が低下する高流量域においても、小径吸込み管を接続した場合には吸込み性能はある程度保たれることがわかった。

第7章では、小径吸込み管への接続のみでは入口逆流が小径吸込み管を乗り越えて上流へと伸展する極低流量域でキャビテーションサージの抑制効果が不十分であったことから、小径吸込み管の先端に旋回止めを付与し、入口逆流の有する旋回成分を除去することによる入口逆流およびキャビテーションサージのさらなる抑制を試みた。まずは数値解析により、小径吸込み管と旋回止めを併用することによる入口逆流抑制効果について評価した。その結果、旋回止め部が十分な半径方向長さもしくは軸方向長さを有する場合には入口逆流が効果的に抑制されることがわかった。次に、実験によって入口逆流抑制効果の検証を行うとともに、キャビテーションサージの発生範囲について評価した。その結果、小径吸込み管と旋回止めを併用した場合には、キャビテーションサージは全く確認されず、広い流量範囲で不安定現象の発生しない領域が確保された。

第8章では、本論文で得られた成果をまとめた。以上に述べたように、本論文では汎用ターボポンプへのインデューサの適用範囲の拡大を狙い、キャビテーション性能向上策としてスプリッタ付インデューサの採用および種々の小径吸込み管の適用を提案し、それらの有効性を数値流体解析および実験により明らかにした。