

多段遠心ポンプの軸スラスト特性および非定常流動 に及ぼす細隙部寸法の影響

高峯, 大輝

<https://hdl.handle.net/2324/4475126>

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 : 高峯 大輝

論 文 名 : 多段遠心ポンプの軸スラスト特性および非定常流動に及ぼす
細隙部寸法の影響

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

多段遠心ポンプはインフラ等の社会基盤を支える重要な流体機械の一つであり、省エネルギー・省スペースの観点から近年高まっている高エネルギー密度化の要求に対応して、小形・高速化、多段化の傾向にある。これに伴って羽根車を含む軸系に作用する流体力が顕在化しており、信頼性確保の観点からその低減が重要視されている。また、多段遠心ポンプは設計点のみならず非設計点でも運転されるため、幅広い流量範囲における流体力の特性を設計段階において予測する技術の確立が強く求められている。

遠心ポンプの軸系に作用する流体力は主軸方向に作用する軸（方向）スラストと主軸偏心方向に作用する半径方向スラストに大分される。羽根車により発生する軸スラストは羽根車の枚数分作用するためポンプの多段化によって軸スラストが顕在化するのとは必然であり、多段高圧ポンプの多くには逆向きスラストにより軸スラストを打ち消すバランス機構が採用されている。したがって、軸スラストの残差の予測が重要となるがその定量的な予測は困難である。これまでに一次元解析や経験則に基づく様々な予測手法が提案されているが、既存の手法はその適用範囲が流れが定常的である設計点近傍に限られており、流れの非定常性が顕在化する低流量域への適用は難しい。また、低流量における軸スラストの発生機構には不明な点が多く、幅広い流量範囲に適用できる軸スラストの予測手法の確立を推し進めるには、その解明が不可欠である。

一方、半径方向スラストは軸系周囲の圧力分布が非軸対称になることで生じ、その変動は軸振動の原因となる。回転する羽根車内と固定流路内の流れがよく整合する設計点では動静翼干渉による変動成分が主であり、これまでに多くの研究がなされている。一方、低流量では羽根車やディフューザ部で流れがはく離・失速し、失速領域が周方向に伝播する旋回失速が発生することが多く、これに起因した回転圧力場によって生じる半径方向スラストに軸回転に非同期の変動が顕れる。旋回失速に関する研究はこれまでに数多く行われているが、その流動現象に対する理解は未だ不十分である。特に多段遠心ポンプでは、複数段において同時に旋回失速が発生しうることから、旋回失速と各段の性能特性との関係、さらには半径方向スラストとの関係の解明が重要である。

本論文では、バランス機構としてバランスドラムを有する三段遠心ポンプを対象に、ポンプの内部流動と軸方向スラストとの関係ならびにディフューザ旋回失速と半径方向スラストとの関係の解明を目的とした。多段遠心ポンプには、羽根車側面の回転部と静止部間の間隙部に流れが存在し、これが各スラストに大きく影響することが知られているので、羽根車-ディフューザ隙間、環状シール部隙間などの細隙部形状・寸法、さらには静止系に対する軸系の軸方向へのずれ（軸ずれ）の影響を実験と数値流体力学（CFD）解析により調査した。加えて、三段ポンプの中間段および最終段を模した部分段モデルを対象に実験とCFD解析を実施し、各細隙部寸法および軸ずれが各段の

性能特性や各スラストの特性、ディフューザ旋回失速に及ぼす影響を調査した。

本論文は以下の5章で構成される。

第1章では、多段遠心ポンプ軸系に作用する流体力の低減および予測の重要性と先行研究の実施状況を述べ、本論文の位置づけを明確にしたうえで研究目的を示した。

第2章では、実験装置や各種物理量の計測方法、またCFD解析の各種手法や、各種パラメータの与え方について説明した。

第3章では、軸スラストに関する調査結果を示した。まず、三段遠心ポンプを対象に、経年摩耗を想定して各環状シール部隙間を意図的に拡大して実験を行い、いずれのシール部の拡大も軸スラストを増大させることを明らかにした。次に、部分段モデルを対象に、羽根車側面の間隙部の入口隙間（羽根車外壁と静止壁との半径方向隙間 **A-gap**）、羽根車翼後縁ーディフューザ翼前縁隙間（**B-gap**）に加えて軸ずれ量をパラメータとして実験を行い、中間段・最終段モデルのいずれにおいても、設計点を含む高流量運転時には軸ずれの影響が小さいのに対し、**A-gap** が通常のように狭い場合には低流量運転時に軸ずれを付与した方向に軸スラストが増大することを明らかにした。さらにCFD解析により、低流量運転時にはディフューザ入口部における二次流れにより発生した逆流が羽根車側面間隙部に流れ込むこと、これにより間隙部の流れが低旋回となり高圧となること、軸ずれを付与した側の間隙部に逆流に加えて高旋回を有する主流も流れ込むようになり軸スラストが増加することを明らかにした。最後に、三段遠心ポンプ全系の特性を各段の軸スラストの特性と関連付けて評価し、各段の特性に基づいた軸スラスト予測手法が確立できる可能性を示した。

第4章では、ディフューザの旋回失速と半径方向スラストに関する調査結果を示した。三段遠心ポンプを用いた実験では、軸ずれおよび各シール部隙間拡大が旋回失速に及ぼす影響を調査した。その結果、軸ずれの付与方向により旋回失速の発生規模が変化すること、細隙部のうち、特に羽根車前面側の環状シール部隙間の拡大によって旋回失速が発生しやすくなることを明らかにした。また、各段で旋回失速の伝播速度が異なることから供試ポンプでは各段で独立に旋回失速が生じていること、最終段の旋回失速の規模が大きく発生流量範囲が最も広いことも分かった。この結果を受けて、最終段モデルを対象に、軸ずれと **A/B-gap** をパラメータとした実験およびCFD解析を実施した。その結果、**A-gap** が大きい場合に旋回失速が発生することを明らかにし、旋回失速に対する流れの寄与の大きさを裏付けた。またCFD解析により、旋回失速セルにより生じる非軸対称流れ場と半径方向スラストの関係を解析し、失速域に羽根車吐出流が衝突することで高圧域が形成されこれが半径方向スラストを生じさせるとともに、失速セルの影響が羽根車側面の間隙部にまで大きく及ぶために、間隙部において羽根車に作用する半径方向スラストも無視できないことを明らかにした。また、**A-gap** を通過する流れを介してディフューザ失速が周方向に伝播するメカニズムを新たに提案した。

第5章では本研究で得られた主な知見をまとめ、これを受けた今後の展望を述べて結論とした。