

メカニカルシールにおけるキャビテーションに関する研究

板谷, 壮敏

<https://hdl.handle.net/2324/5068225>

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 板谷 壮敏

論 文 名 : メカニカルシールにおけるキャビテーションに関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

メカニカルシールは、軸に垂直な二つのしゅう動環の端面をバネ力等により互いに押し付けることで、軸回転による相対すべり運動を行いながら流体の漏洩を防止する密封装置である。メカニカルシールのしゅう動面は、長期にわたり安定した密封性を維持する必要がある。近年、表面テクスチャリングによる流体の制御により、適度な液膜を形成して表面損傷を防止するとともに、密封流体の漏洩を防止することが可能となり、従来の限界性能を超える高性能化が実現されている。これらの密封機構では、しゅう動面の拡がり隙間部において生じる負圧により流体膜が破断し、蒸気や溶存気体の析出による空洞（キャビテーション）が発生する。密封機構の最適設計にあたっては、このキャビテーションの圧力と領域の推定が必要不可欠である。

キャビテーションの圧力は、その値が変化すればキャビテーションの領域も変化するため、設計において非常に重要な設定値である。しかし、しゅう動面のような薄膜領域に生じるキャビテーションにおいて、その圧力を推定する方法は存在しない。また、種々のしゅう動環境やしゅう動条件においてキャビテーション圧力がどのような値を示すか、実験的にもほとんど明らかにされていない。これらの背景より、本研究は、メカニカルシールにおいて生じるキャビテーション圧力の把握と、その推定技術の確立を目的とした。

本論文は次の7章からなる。

第1章では、本論文で取り上げた研究課題の背景および研究目的について述べた。

第2章では、従来研究に基づいて、しゅう動面におけるキャビテーションの観察とキャビテーション領域の計算を行い、実験結果と解析結果の比較を通じてキャビテーション圧力の推定を行った。

第3章では、しゅう動面に生じるキャビテーション現象を顕微鏡により観察し、同時にキャビテーション気泡の圧力を測定可能な実験装置の開発を行い、その詳細を示した。メカニカルシールの固定環に逆レイリーステップ溝を設けてキャビテーションを生じさせ、その気泡領域に圧力測定用の穴を設け、直下にダイアフラム型のセンサーを埋め込むことで、気泡の圧力を直接測定することを可能とした。また、キャビテーション圧力に影響すると考えられる因子として、しゅう動面外周流体圧力、しゅう動速度、しゅう動面近傍温度、しゅう動面膜厚、溶存酸素量の同時計測を可能とし、キャビテーション圧力に及ぼす影響の調査を可能とした。

第4章では、メカニカルシールで一般的に用いられる「水」を密封流体として実験を行い、水の温度（蒸気圧）、負圧溝の形状や速度、流体圧力などのしゅう動条件と、キャビテーション圧力との関係を調べた。また、第5章では、合成油等の各種液体を密封流体として実験を行い、流体の性質や溶存気体量と、キャビテーション圧力との関係を調べた。これらの実験により、以下の結果を得た。

液体の種類によらず、しゅう動面間の隙間、負圧溝の形状、溝深さ、溝長さのそれぞれがキャビテーション圧力に影響を及ぼすことを示し、これら隙間形状を総合的に表現する圧力係数の最大値

とキャビテーション圧力に負の比例関係があることを示した。また、周囲の液体の圧力が小さいほど、しゅう動速度が高いほど、キャビテーション圧力が低下することを明らかにした。さらに、キャビテーション圧力は、しゅう動環境温度における液体の飽和蒸気圧以下には低下しないことを示した。加えて、負圧溝内に残留するキャビテーション内の気体分子の量がキャビテーション圧力と相関があることを示し、液中の溶存気体量を減少させた実験により溶存気体が少ないほどキャビテーション圧力が低くなることを明らかにした。これらの結果に基づき、気泡内にある当該液体の蒸気と液体から放出された気体の割合によりキャビテーション圧力が決まることを示した。

第6章では、前章までの結果に基づきキャビテーション圧力の推定モデルを検討した。キャビテーション気泡内の蒸気と気体の割合は、液中の溶存気体のキャビテーション気泡への放散と排出のバランスにより決定されると考え、移流方程式を用いたしゅう動面液膜内の気体拡散モデルを検討した。その結果、各実験におけるキャビテーション圧力は、液体の特性値と溶存気体量により説明が可能であることを示し、キャビテーション圧力推定モデルの基礎を完成させた。本モデルにおける（溶存気体がキャビテーションから排出される）流量係数を、しゅう動環境・条件から推定することができれば、キャビテーション圧力推定モデルが確立できる。さらに、しゅう動速度、周囲の液体の圧力、しゅう動面最小膜厚、負圧溝の深さ、長さの5つのパラメータからキャビテーション圧力を推定する実験式を作成し、これを用いたメカニカルシールのしゅう動面設計手順の詳細を示した。

第7章は結論であり、本研究の統括と実用化に向けた課題、および今後の展望を述べた。

以上、本研究は、メカニカルシールにおけるキャビテーション圧力の測定技術を確立し、種々の条件におけるキャビテーション圧力特性の把握を行い、その結果に基づいて、メカニカルシールの最適設計のために必要なキャビテーション圧力の推定技術を確立した。