

## 研究の課題名

# ボルテックス・コントロールによる キャビテーション壊食の抑制

室蘭工業大学工学部 教授

報告者 風間 俊治

報告日 2005年(平成17年)5月12日

## 1. 本研究の意義、特色

本研究では、液圧機器内部に生じるキャビテーション壊食を、噴流衝突型キャビテーション壊食試験装置を用いて、流れ場をコントロールすることにより効果的に抑制・低減する方策を探った。本研究で実施した一連の実験結果より、キャビテーション噴流の出口ならびにその噴流が衝突する部材近傍の形状を工夫することにより、壊食量の大幅な減少を見込めることを示した。その結果に基づき、キャビテーション壊食対策に焦点を当てた最適設計指針を提案した。

## 2. 実施した研究の具体的内容、結果

液圧ポンプ・モータやバルブにおいて生じるキャビテーションに関する最大の問題は、気泡を伴う噴流の衝突に基因する部材の壊食である。キャビテーション壊食は、機器やシステムの信頼性や寿命、効率や性能を著しく損なう。液圧機器内部で問題となる壊食は、高压側圧力室と低压側圧力室との間に形成される絞り状の狭い流路において、キャビテーション気泡を伴う噴流が形成されることに基づく。ここで、高压側と低压側の圧力は、実機では基本的に与条件となる。したがって、壊食の阻止あるいは抑制は、キャビテーション噴流の発生を前提として、流れ場ならびにキャビテーション噴流をコントロールすることにより対策を施すことが大きなポイントとなる。

コントロールの手法は、一般にアクティブとパッシブに大別できるが、液圧機器への適用を前提とすれば、寸法の設計自由度が厳しいもとの、パッシブなアプローチを選択せざるを得ない。

そこで、本研究では、実機との対応に優れる噴流衝突式キャビテーション壊食試験装置を用いて、キャビテーション噴流の出口近傍ならびにその噴流の部材衝突面近傍の形状を系統的に変化させた実験を行った。一連の実験結果に基づき、流れ場をパッシブに制御し、壊食を効果的に低減させる方策を提案した。

実験装置の主要部(チャンバー)は、内径80mmのステンレス製で製作した。絞りは、シャープエッジの入口部を有する、直径1.00mm、長さ4.0mm、の円筒絞りであり、以下のすべての実験で同一絞りを用いた。試験片は、直径15mmのアルミニウム合金(A5056、Hv=81)であった。供試液体は、VG32の石油系一般油圧作動油(33/5.5mm<sup>2</sup>/s at 40/100°C)であった。

主な実験条件は、上流圧力(絶対圧) $p_u=10.1\text{MPa}$ 、キャビテーション係数 $\sigma(=p_d/p_u, p_d$ : 下流圧力) $=0.02$ 、スタンドオフ距離(絞り出口から試験片の噴流衝突面までの中心軸上距離) $L=17.5\sim 32.5\text{mm}$ 、液温 $T=40\pm 1^\circ\text{C}$ などとした。設定したLは、これまでの実験結果から、特別な形状に施さない条件で壊食量が最大となるスタンドオフ距離を参考とした。実験は、設定時間毎に試験片の質量と表面粗さを測定し、表面の写真撮影と観察を行った。試験時間は8

時間とした。

噴流衝突面近傍の流れ場をコントロールするために、試験片の周囲に円筒壁を設けた。円筒壁は、噴流衝突面近傍を可視化するために透明なアクリル樹脂で製作した。なお、試験片表面となる噴流衝突面からの高さをHと定義して、 $H=-15\sim 10\text{mm}$ で実験を行った(この円筒壁を装着しない場合は、 $H=-5\text{mm}$ (試験片の厚さ))。

さらに、絞り出口での流れ場をコントロールするために、直径や流路形状が異なる3種類( $\phi 3\text{S}$ 、 $\phi 3\text{T}$ 、 $\phi 6\text{S}$ 、S: ストレート穴、T: テーパー穴)の絞り押えを準備した。この絞り押えは、強度を確保するためにステンレス鋼で製作した。

壁高さ $H=10\text{mm}$ とした場合の、キャビテーション噴流衝突面近傍を透過光でビデオ撮影した写真をPLATE 1に示す。同写真中のステンレス製皿ねじは、この透明アクリル樹脂製円筒壁を固定するためのねじである。あまり鮮明ではないが、円筒壁に囲まれた領域で安定した大きな軸対称の渦が生じており、噴流衝突面の近傍から少し隔たった位置に、キャビティ・クラウドが滞留している状態が観察できた。

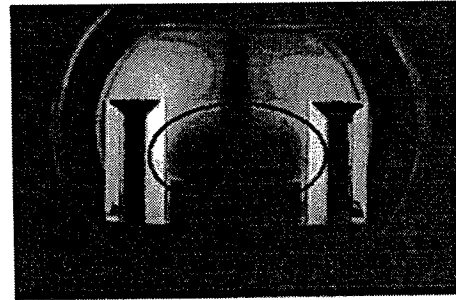


PLATE 1 Side view of cavitaing jet close to impinged surface of specimen with cylindrical wall ( $H=10\text{mm}$ )

FIGURE 1には、壁高さHが壊食量Mに及ぼす影響を、スタンドオフ距離Lに対して示す。絞り押えは $\phi 3\text{S}$ であった。 $H=0$ を基準に採ると、Hを正に採った場合(すなわち、噴流衝突面近傍が凹面)、幅広い距離Lにわたって、Mは大幅に減少したことが分かる。よって、キャビテーション噴流の発生が避けられない場合には、その噴流の衝突が予測される部材に窪みを設けることで、壊食を大幅に低下させることができるといえる。

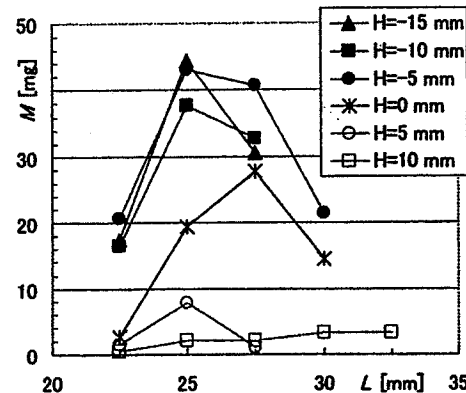


FIGURE 1 Effect of wall height H on mass loss M ( $\phi 3\text{S}$ )

なお、Hが正に条件下におけるMが最大( $M_{\text{max}}$ )となる距離 $L_{\text{max}}$ について考察すると、Mが著しく小さいためにデータの有意性に検討の余地は残るが、 $H=5\text{mm}$ では $L_{\text{max}}=25\text{mm}$ 、 $H=10\text{mm}$ では $L_{\text{max}}\geq 30\text{mm}$ となった。

一方、Hが負(すなわち、噴流衝突面近傍が凸面)の場合には、 $H=0$ のデータを基準に採ると、いずれのLにおいてもMは大きくなった。同時に、Mが最大( $M_{\text{max}}$ )となる距離 $L_{\text{max}}$ は、Hの大小に関わらず、一律、短くなった( $L_{\text{max}}=25\text{mm}$ )。

次に、絞り出口形状の差異による壊食量の変化の結果を簡単に記す。最大壊食量 $M_{\text{max}}$ は、絞り押え形状 $\phi 3\text{S}$ が最大で、 $\phi 6\text{S}$ が最小であった。また、 $\phi 3\text{S}$ の場合に、 $M_{\text{max}}$ を示すスタンドオフ距離 $L_{\text{max}}$ は最長となった。なお、これは絞り出口部における圧力降下により説明付けられる。

本実験で得られた主な結論は以下の通りである。

- 1) キャビテーション噴流の衝突面近傍に窪みを形成することで、幅広いスタンドオフ距離にわたって、壊食量は大幅に減少した。この結果は、透過光撮影によるキャビティークラウドの可視化画像とも関係付けられた。
- 2) 噴流衝突面を突出させると壊食量は増加し、壊食量が最大となるスタンドオフ距離は短くなった。

3) 噴流出口近傍の穴径が大きほど、壊食量は減少した。

### 3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

申請者(研究統括)ならびに大学院生および卒研究生(実験補助)

### 4. 研究実施時期

平成16年3月から17年5月まで

### 5. 本研究に関連して発表した主な論文等

投稿準備中。

### 6. 内外における関連研究の状況

関連した研究としては、噴流出口マイクロアクチュエータを装着して流れ場をアクティブにコントロールする方法や流路に渦発生体を設置して伝熱促進を狙う方法などがある。ただし、その多くが気体を対象としており、圧力差や流速もまたきわめて低い。すなわち、本研究内容は、これらの研究とは一線を引くものである。

### 7. 今後の発展に対する希望

本研究により、流れ場あるいは渦をパッシブにコントロールすることで、キャビテーション壊食を大幅に低減できる可能性を示し、当初の目的は達成できたと考える。今後も液圧機器の高品位化に焦点を当てた、キャビテーション壊食の研究に取り組んでいきたい。