

油圧制御バルブ内のキャビテーション流れ

日大生産工(院) ○小林 凱亜 日大生産工 沖田 浩平
 (株)小松製作所 古川 輝幸 宮本 祐介 名倉 忍
 東京大学 高木 周 加藤 洋治

1. 緒言

油圧制御バルブは建設機械などのクレーン車やフォークリフトのアームなどに広く使用されている。Fig. 1 のようなスプール弁では、スプールの軸方向移動により、高圧部の開口面積が変化することによって流量が調節される。このスプール弁において、キャビテーションエロージョンによるブロック壁面の材料損傷が観察されており、材料損傷の進行による漏れ流れが問題となっている。

これまでに実施されたキャビテーションエロージョン試験において、スプール孔に面したブロック壁面で材料の壊食が観察されているものの、どのようにしてエロージョンが生じるかは未だ明らかになっていない。よって、本研究では、油圧制御バルブ内におけるキャビテーションエロージョン発生メカニズム解明を目的に、スプール弁内のキャビテーション流れに対する可視化実験を行った。

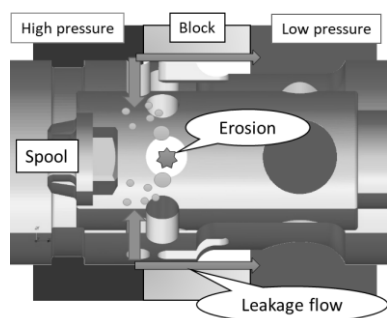


Fig.1 スプールの概略図

2. 可視化実験装置

スプール弁内キャビテーション流れの可視化実験装置の断面図を Fig. 2 に示す。シャドウグラフ法に基づいて可視化するため、スプール両端に観察用のアクリル窓を設け、一方からレーザー光源（CAVILUX）を照射し、もう一方から高速度カメラ（Phantom TMX-7510 もしくはナック HX-7s）で撮影した。また、スプール本体

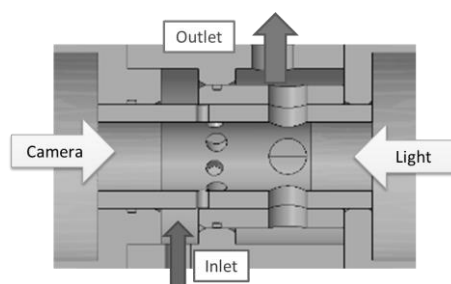


Fig.2 可視化実験装置の断面図

も透明なアクリルで製作することで、スプール円筒部にあけられた孔の中のキャビテーション気泡も観察できるようにした。

3. 結果と考察

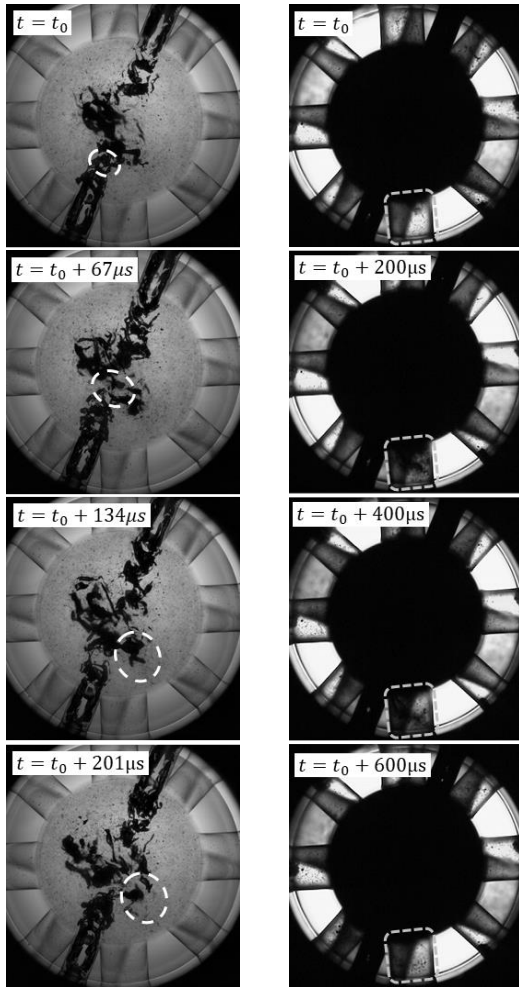
3.1 スプール弁内のキャビテーションの様子

Fig. 3 に流量 $Q=15$ および 24L/min におけるスプール内のキャビテーションの可視化結果を示す。Fig. 3(a) より、 $Q=15\text{L/min}$ の場合、スプールの対向する開口部から流入した噴流が衝突し、発生したキャビテーション気泡が影で黒く映っている。また、 $t = t_0$ で破線に囲まれた領域にあるキャビテーション気泡群が、 $t = t_0 + 134\mu\text{s}$ まで流れによって移動し、 $t = t_0 + 201\mu\text{s}$ で崩壊するという一連の様子がみられる。一方、Fig. 4(b) より、 $Q=24\text{L/min}$ の場合は流量の増加に伴ってキャビテーション気泡も増加し、スプール内部が気泡で満たされて黒くなっている。とくに、破線で囲まれたスプール孔内に着目すると、 $t = t_0 \sim t_0 + 400\mu\text{s}$ までの間にスプール内部からキャビテーション気泡群がスプール孔内のブロック壁面周辺まで流入し、 $t = t_0 + 400 \sim t_0 + 600\mu\text{s}$ の間で急激に崩壊していることがわかる。

以上より、流量の増加に伴ってキャビテーション気泡の発生量が増加し、スプール孔内にキャビテーション気泡群が流入して崩壊していることが明らかになった。

Cavitating Flow in a Hydraulic Control Valve

Gaia KOBAYASHI, Kohei OKITA, Teruyuki FURUKAWA, Yuusuke MIYAMOTO,
 Shinobu NAGURA, Shu TAKAGI, Hiroharu KATO



(a) $Q=15\text{L/min}$ (b) $Q=24\text{L/min}$

Fig.3 スプール内のキャビテーション流れの時間変化 ($Q=15, 24\text{L/min}$)

3.2 スプール内キャビテーション気泡の追跡

スプール内のキャビテーション流れの様子について、画像解析による気泡追跡で得られた結果を Fig. 4 に示す。図は最初の画像に $110/75, 000\text{sec}$ の気泡の軌跡を線として表しており、各画像において点として捉えられるような微小な気泡を追跡した。図より、スプール内部の流れは、スプール内壁を沿うように時計回りに旋回しており、一部の流れはスプール孔に入っていることがわかる。

Fig. 5 に、 $Q=24\text{L/min}$ の流量が多い条件で Fig. 3 の破線で囲まれたスプール孔だけを拡大撮影した画像をもとに気泡追跡した結果を示す。キャビテーション気泡がスプール孔上部左側から流入し、スプール孔底部のブロック壁面に沿って上部右側へ流れ、スプール孔内を反時計回りに旋回していることがわかった。

以上の気泡追跡結果より、スプール内部の壁

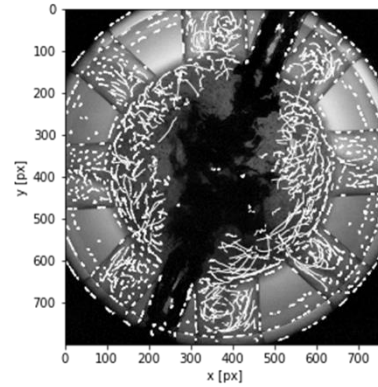


Fig.4 スプール内のキャビテーション気泡の追跡結果 ($Q=18\text{L/min}$, $110/75, 000\text{sec}$)

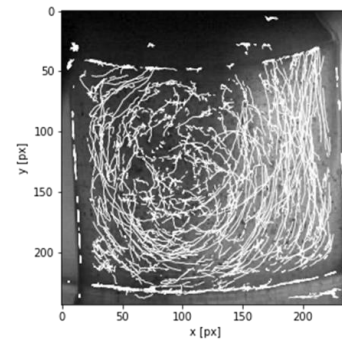


Fig.5 スプール孔内のキャビテーション気泡の追跡結果 ($Q=24\text{L/min}$, $322/300, 000\text{sec}$)

面に沿った時計回りの旋回流によって、スプール孔内へキャビテーション気泡が流入し、スプール孔内で反時計回りに旋回していることがわかった。

4. 結言

油圧制御バルブにおけるキャビテーションエロージョン発生メカニズム解明を目的にスプール内部だけでなくスプール孔内のキャビテーションの可視化を行った。その結果、スプール孔内でキャビテーション気泡が崩壊する様子を本研究ではじめて可視化することができた。また、キャビテーション気泡の追跡により、スプール内部には旋回流が発生しており、それによってキャビテーション気泡がスプール孔に流入し、スプール孔内で気泡が旋回していることがわかった。以上より、スプール孔内に流入したキャビテーション気泡群がブロック壁面で崩壊することでブロック壁面の損傷を生じていると考えられる。