

114 キャビテーション噴流の挙動観察と壊食実験 (水道水と石油系作動油との比較)

Observation of Cavitating Jet and Experiment of Cavitation Erosion (Comparison between Tap Water and Mineral Oil)

○正 風間俊治 (室工大) 正 藤原 満 (室工大)
後藤達也 (室工大院) 正 山口 惇 (横国大)

Toshiharu KAZAMA, Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto-cho, Muroran, Hokkaido
Mitsuru FUJIWARA, Muroran Institute of Technology
Tatsuya GOTO, Graduate, Muroran Institute of Technology
Atsushi YAMAGUCHI, Yokohama National University

The behavior of cavitating jets and the intensity of cavitation erosion were correlated experimentally using the cavitating jet apparatus. The cavity-clouds of the jets were observed and recorded with video cameras, the existence-probability distributions of the clouds were obtained by picture processing techniques, and in parallel the cavitation erosion test was performed. Tap water or ISO VG 32 hydraulic fluid was alternatively used at 40 ± 1 °C. The upstream and down pressures were specified as 10 MPa and 0.1 to 0.3 MPa respectively. The stand-off distance was varied from 7.5 to 35 mm. The specimens were made of aluminum alloy, whose diameter was 15 mm. The specimen was eroded severely at a specific probability region; As the downstream pressure decreased, the range of the jet lengthened and the mass loss increased; In comparison with the oil-jet, the water-jet reached at the great distance and eroded the specimens substantially.

Keywords : Cavitation erosion, Cavitating jet, Tap water, Mineral oils, Fluid power systems

1. はじめに

フルードパワー (液圧) システムは、液体の圧力エネルギーを活用する高動力密度・高応答性の動力伝達システムである。システムを構成する機器の内部では、主に高压室から低压室への狭い流路において、キャビテーションを伴った噴流を形成する。これが部材に衝突して激しい壊食を引き起こすため、その防止や抑制が強く要請されている。

本研究では、噴流衝突型キャビテーション壊食試験装置を用いて¹⁾壊食実験を行う。これと並行して、可視化およびコンピュータ画像処理を行い、キャビテーション噴流の挙動を定性的・定量的に把握する。これらの実験結果を比較して、液体圧力や衝突面間距離と試験片の壊食量や損傷度との関係を探る。なお、近年、鉱油ベースの油圧システムに替わり、水道水ベースの水圧システムへの関心が高まっていることを踏まえて、両液体を供試液体として用いる。

2. 実験装置ならびに方法

実験装置のチャンバーを Fig.1 に示す。チャンバーは内径 80 mm のステンレス製とした。絞りは直径 1 mm、長さ 4 mm のシャープエッジ円筒絞りであり、ホルダー (噴流出口部流路の直径 3 mm、長さ 3 mm) で取付けた。すべての実験を通して同一絞りをを用いた。試験片は直径 $d=15$ mm のアルミニウム合金 (A5056, $Hv=81$) 製であった。供試液体には、水道水および石油系作動油 (ISO VG 32) を用い、フィルタとクーラを備えた液圧回路内を循環させた。水道水の場合、実験毎にタンクを洗浄し、一晩汲み置きした。

可視化実験および壊食実験のすべての実験で、上流圧力 $p_u=10$ MPa、下流圧力 $p_d=0.1, 0.2, 0.3$ MPa に設定 (ゲージ圧) し、液温は 40 ± 1 °C に保った。噴流長さ L (絞り出口

から試験片表面までの距離) は、最小 2.5 mm 間隔で 7.5~35 mm とした。

噴流側面の撮影では、チャンパー側面に対向して設けられたガラス製観測窓の一方からキセノンランプで照明し、もう一方の観測窓から透過光で撮影した。なお、試験片を適宜交換することにより、壊食による表面形状の変化の影響を抑えた。噴流衝突面の撮影では、試験片マウントをアクリル製円板に交換した。これらの方法で撮影したキャビテーション噴流の動画を、ノンリニア編集システムを搭載したパーソナルコンピュータを用いて画像処理し、キャビテーションクラウドの存在確率を濃淡で表す画像を作成した。

さらに、キャビテーション噴流の挙動と壊食量との相関関係を調べるために、平行して、キャビテーション壊食実験を行った (実験装置および測定方法は、文献 2, 3 参照)。

3. 実験結果ならびに考察

試験時間 $t=4$ 時間後の壊食量 M を Fig.2 に示す。作動油

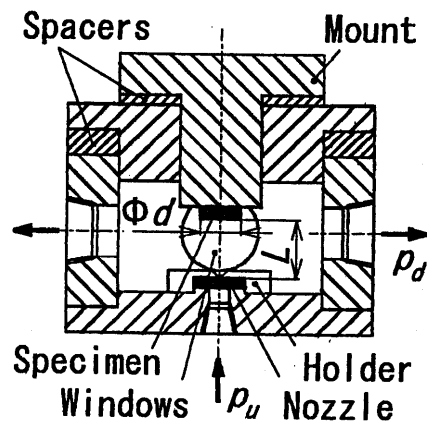


Fig.1 Test chamber of cavitating jet test rig

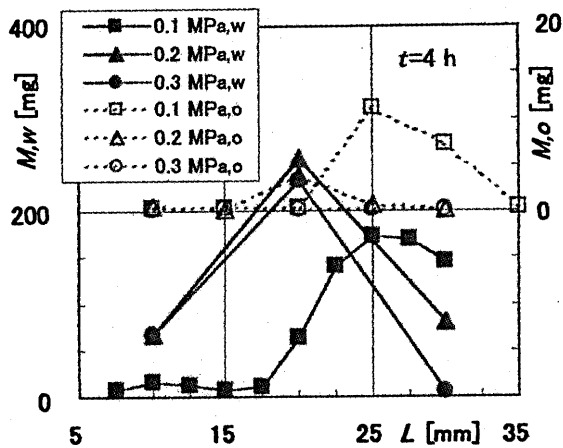
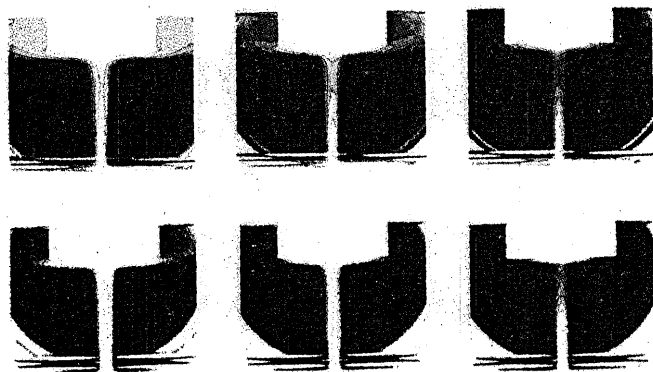


Fig.2 Mass loss M vs. stand-off distance L



(a) $p_d=0.1$ MPa (b) $p_d=0.2$ MPa (c) $p_d=0.3$ MPa

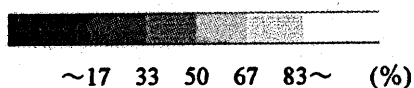
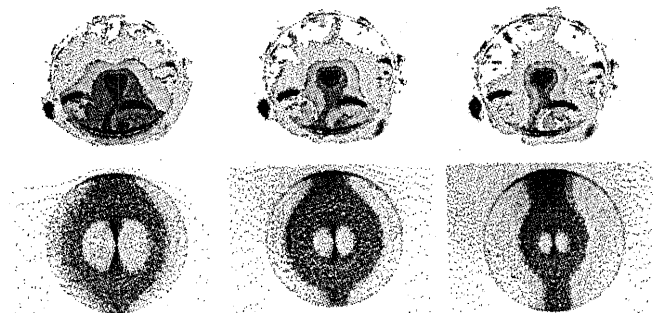


Fig.3 Cavitating jets (Oil/Water, $L=20$ mm)



(a) $p_d=0.1$ MPa (b) $p_d=0.2$ MPa (c) $p_d=0.3$ MPa

Fig.4 Impinged jets and eroded surfaces (Oil, $L=20$ mm)

(添字 o , 右軸)の場合, $L=25$ mm ($p_d=0.1$ MPa), 20 mm (0.2 MPa), 15 mm (0.3 MPa)において M が最大(M_{max})となった。すなわち, p_d が低くなると M_{max} は増加し $L(=L_{max})$ は長くなった。一方, 水道水(添字 w , 左軸)の場合, 実験を

行った範囲内での結果を記すと, $p_d=0.1$ MPa では $L_{max}=25$ mm となり, $p_d=0.2$ MPa と 0.3 MPa の両条件では, $L=20$ mm で M は大きかった ($L=10$ mm と 20 mm での M はほぼ同程度)。液体間の差異を同一 p_d で比較すると, $M_{max,w}/M_{max,o}=16\sim780$ となった。

$L=20$ mm に設定して撮影した噴流側面の合成画像を, 作動油 (Fig.3 上段)と水道水(下段)について示す。 p_d が減少すると, 下流域でのキャビティークラウドの存在確率が高く, キャビテーション噴流が長い距離まで達していることが分かる。また, 衝突面近傍の存在確率は, 作動油よりも水道水の方が高かった。壊食には, 部材壁面近傍にキャビテーション気泡が存在することが必要条件となるから, これらの結果は Fig.2 の結果と定性的に一致している。

Fig.4 に, 噴流衝突面の合成画像と試験片の壊食面写真を示す(濃度指標は Fig.3 と反転)。合成画像が軸対称でない理由は, 光源を観測窓の一方に置いたためである。試験片表面の壊食痕はリング状となった。 p_d が減少すると, キャビティークラウドの存在確率の高い領域が広がり, 壊食域も拡大した。両者の領域を照し合せると, ある値(この例では, おおよそ 33~50%)の領域で壊食が激しかった。これは, 壊食の因子として, 部材壁面近傍における気泡の存在に加え, その気泡が崩壊する条件や気泡のクッション効果などを考察することで説明づけられよう。

以上の実験より, 幅広い条件に対する一般性の高い関連づけや詳細については検討の余地が残るが, キャビテーションを伴う噴流(キャビティークラウド)と壊食(壊食量や壊食面)との関係の一部を実験的に整理することができたと考えられる。

4. むすび

圧力, 噴流長さ, 液体の種類をパラメータとして, キャビテーションを伴う噴流を撮影し, その画像処理データと噴流衝突型の壊食実験データとを比較した。結論として 1)噴流衝突面の画像と壊食面の写真との比較より, キャビティークラウドの存在確率と壊食の激しい領域との間に相関が見られた。

2)噴流側面の画像と壊食量との比較では, 下流圧力が減少するほど, キャビテーション噴流の到達距離が長くなった。

3)液体の比較では, 水道水のキャビテーション噴流の方が, キャビティークラウドの存在確率の高い領域が大きく, 壊食量も多かった。

本実験には, 当時の本学卒研 青柳潤君, 福地泰典君, 山田純一郎君の助力を得た。本研究の一部には, 文部科学省科学研究費(基盤C)の助成を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) ASTM, G134-95 (1995), 529-540.
- 2) Yamaguchi, A. and Shimizu, S.: *J Fluids Eng., Trans. ASME*, 109 (1987), 442/447.
- 3) 清水・山口・風間: 油圧と空気圧, 22-1 (1991), 57/62.