

高速水中水噴流の流れ場の可視化と金属の壊食特性

吉田 篤史[○](早稲田大学大学院), 北嶋 大遵(早稲田大学大学院),
下村 啓介(元早稲田大学大学院), 山本 勝弘(早稲田大学)

Flow Visualization of High Speed Submerged Water Jet and its Erosion Characteristics on Metal

Atsushi YOSHIDA, Hiroyuki KITAJIMA,
Keisuke SHIMOMURA and Katsuhiro YAMAMOTO

ABSTRACT

High-speed submerged water jet causes cavitations, then it can be applied to cleaning, peening, drilling, cutting, and so on. However, its flow structure is complicated, and erosion mechanism is not well understanding. In this study, to clarify the mechanism, visualization of the flow field of cavitating jet and erosion test of aluminum specimens are conducted. In visualization of cavitating jet, the region of cavitation clouds with high speed and the surrounding flow field with low speed are clearly distinguished. In erosion test, mass loss curve in case of injection pressure 100 MPa decreases monotonously, with S.O.D. increasing. But in case of 50 MPa, the curve has a peak in S.O.D.=32~36 mm.

Keywords: PIV, Cavitating Jet, Mass Loss Curve, Pits Damaged Area

1. 緒 論

高速の水中水噴流は、気中水噴流に比べてその速度が短距離で低下するが、キャビテーションの存在により、材料の洗浄、ピーニング、掘削、切削さらに水質浄化などで気中水噴流にない効果を発揮する⁽¹⁾。しかし、その噴流構造は複雑で壊食作用には不明な点が多い。本研究は、超高压ポンプ(最大噴射圧 $P_i=200$ [MPa], 定格流量 5×10^{-4} [m³/s])と内径 $d=0.155$ [mm]のオリフィスノズルを用いて、噴流の可視化及びアルミニウム試験片の壊食実験を行い、キャビテーションジェットの流動構造と加工特性を解明すると共に、数値計算のキャビテーションモデルの開発⁽²⁾に必要な知見を得ることを目的とする。

2. 実験方法

2.1 噴流の可視化

キャビテーションジェットの瞬間写真を閃光時間約 180[ns]のストロボスコープを用いて撮影した。また、水槽にトレーサー粒子(比重 1.4, 径 10[μ m])を混入し、シートレーザー(波長 532[nm], 出力 1000[mW])を照射する。それを高速度ビデオカメラ(画素数 512 \times 512)で撮影し、画像解析ソフトを用いて PIV 解析を行った。

2.2 壊食実験

ウォータージェットをアルミニウム試験片に1200秒間照射し、その前後の質量の差を質量欠損量、ピットにより色が白く変色した表面積を損傷領域として求めた。

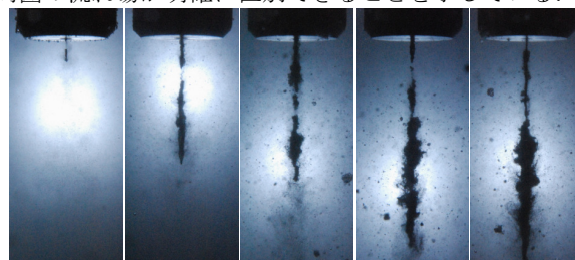
実験は水温 10, 20, 30[$^{\circ}$ C]一定の下、噴射圧 $P_i=50, 100$ [MPa], S.O.D.(Stand-Off-Distance)=2~50[mm]で行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 噴流の可視化

Fig. 1 に各噴射圧におけるキャビテーションジェットの瞬間写真を示す。図より、キャビテーションジェットは間欠的かつ非対称な性質を持っていることが分かる。また、キャビテーション気泡雲は周囲の静止水との干渉により、ノズルからの距離が大きくなるにつれ細かな気泡雲へと変わることが分かる。

PIV 計測結果の 10 秒間の時間平均による流線と、瞬間写真を合わせた画像を Fig. 2 に示す。図は、時間平均による流線からキャビテーションジェットの存在範囲と周囲の流れ場が明確に区別できることを示している。



(a) 10[MPa] (b) 50[MPa] (c) 100[MPa] (d) 150[MPa] (e) 200[MPa]
Fig. 1 Instantaneous photos of cavitating jet
(sparkling time 180[ns])

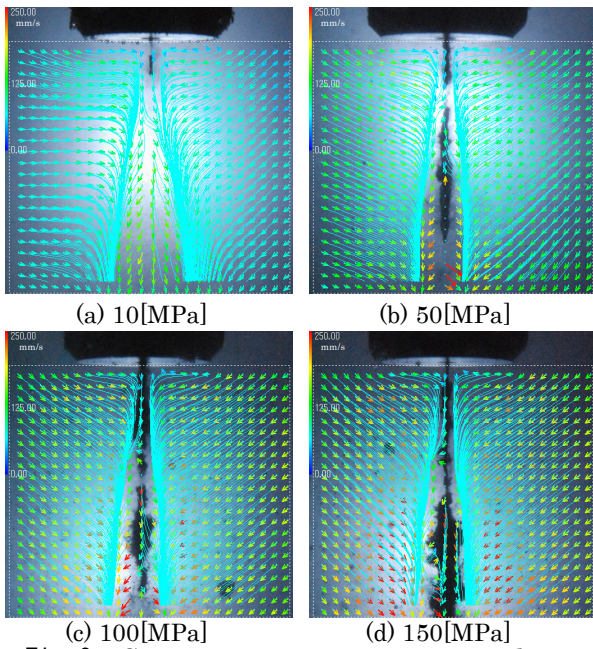


Fig. 2 Cavitating jets in time-averaged flow field during 10[s]

3.2 壊食実験

Fig. 3 に S.O.D.に対する質量欠損量の変化を, Fig. 4 に S.O.D.に対する損傷領域(ほぼ円形)の変化を示す. 質量欠損量は噴射圧 100[MPa]では単調減少であるのに対し, 50[MPa]では S.O.D.=32~36[mm]でピークをもち, その位置では 100[MPa]の値よりも大きい. また, これまでキャビテーションジェットには質量欠損が最大となるカッティング領域と質量欠損がほとんど生じないピーニング領域があり, 後者の S.O.D.は前者より長い事が知られている⁽⁴⁾. しかし, Fig. 3, 4 より噴射圧 50[MPa]ではピーニング領域のさらに後方に, 質量欠損が極大になる領域のある事が分かった.

Fig. 4 の損傷領域を円とみなし, その半径を算出したグラフを Fig. 2 の流線の画像に重ね合わせた図を Fig. 5 に示す. 図より, 短い S.O.D.では損傷領域は衝突のために自由噴流より大きな広がりを持つが, S.O.D.が長くなると壊食力が低下し損傷領域は自由噴流より狭くなる.

4. 結論

PIV 法と瞬間写真により可視化を行った結果, 高速なキャビテーションジェットの存在範囲と低速な周囲流体の流れ場の区別が明らかになった. また壊食実験より, 噴射圧 50[MPa]では壊食量のピークがピーニング領域の前方ばかりでなく, 後方にも存在することを見出した.

謝辞:本研究の一部は JST, CREST(2010年度)の援助及び早稲田大学特定課題研究重点助成(課題番号 2010A-606)を受けて実施した.

参考文献

1) 山内由章, 祖山均他: 高速水中噴流のカッティング領域と

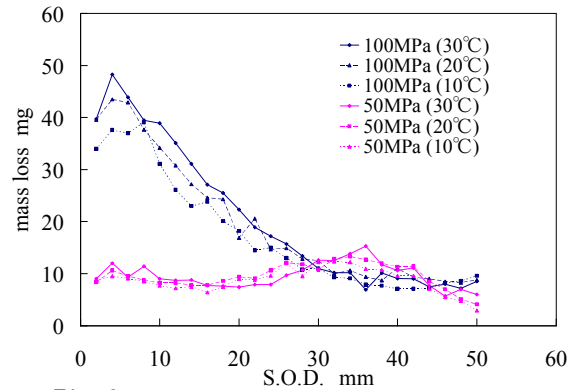


Fig. 3 Mass loss curves of Al specimens

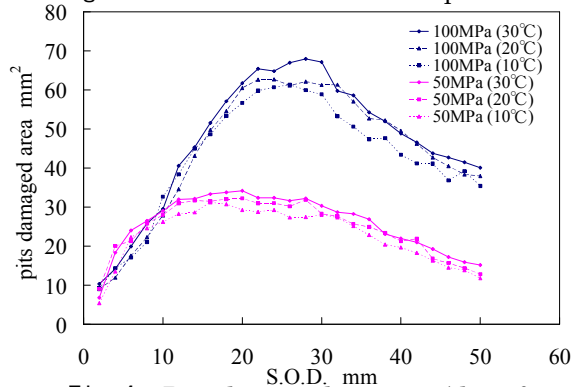


Fig. 4 Pits damaged area on Al surface

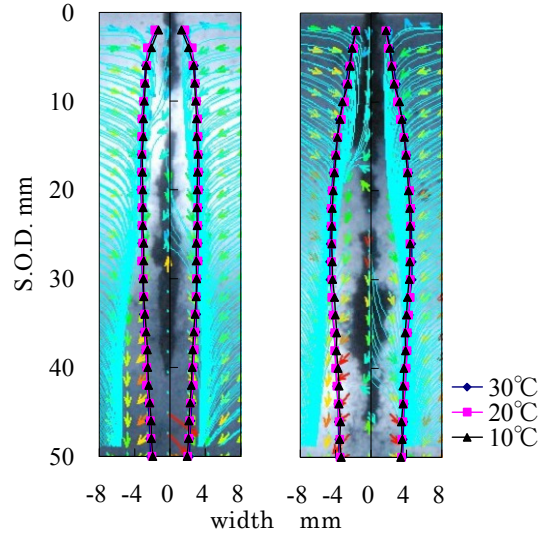


Fig. 5 Comparison of free jet width and pits damaged area

ピーニング領域, 日本機械学会論文集B編, 59-557(1993), pp. 16-22.

2) 下村啓介, 北嶋大遵, 岡秀典, 山本勝弘: CIP法による高速水中噴流の3次元数値解析, 2009年度日本ウォータージェット学会技術年次報告会論文集, (2010), p. 43-47.
 3) 清水誠二, 山口惇: キャビテーションを伴う噴流の衝突による壊食, 油圧と空気圧, 19-1(1988), pp. 68-75.
 4) 村上伸一: 画像処理工学, 東京電機大学出版局, (2004)
 5) 社河内敏彦: 噴流工学, 森北出版株式会社, (2004)
 6) 可視化情報学会: PIV ハンドブック, 森北出版株式会社, (2002)