環状気液二相噴流構造とアブレーション衝突特性*

濱田聡美*¹ 山崎堯右*² 神山新一*³
坪田誠*² 田内一成*⁴

Structure of Annular gas-liquid Jet and Abrasive Impingement

Satomi HAMADA, Takasuke YAMASAKI, Shinichi KAMIYAMA,
Makoto TSUBOTA and Issei TANOUCHI

Characteristics of a gas-liquid annular jet which employs gas passing through a pipe at the center of a nozzle are investigated. That is, the power spectrum of which component in high frequency region is bigger than that of a normal jet, volume flowrate quality, and pressure distributions of the jet of which bubbles exist over the cross section are analyzed. Abrasives can be mixed homogeneously in the annular jet through the inner pipe and collide with the impinging plate. The annular jet has excellent characteristics and hence is effective in use of erosion or washing.

Key Words: Fluid Mechanics, Annular Jet, Two-Phase Flow, Power Spectrum, Abrasive

1. 緒言

超高压タンクから噴出する噴流は切削加工に利用でき、さらに切削効果をあげるため研磨材の混入も行われている。他に噴流は各種の洗浄にも利用され、気泡を混入することによって洗浄効果や壊食効果をあげることができるということも知られている。

これらに関しては、これまでも多くの研究^{(1)~(4)}がなされているが、吸い込み空気がある場合の環状二相噴流の特性については、まだ十分な研究が行われていないのが現状である。

本報では環状二相噴流中の容積流量割合や衝突板上の衝突噴流の圧力変動のスペクトルを求め、さらに環状ノズル内管から研磨材を混入した場合の衝突板上での散乱分布を調べ、内管から吸い込み空気のある場合には環状二相噴流を構成し、吸い込み空気の作用により壊食に有効な高周波成分の脈圧をもつ上、粒子の加速や混入が極めて優れていることを明らかにした。

2. 実験装置と実験方法

し量 $8.6 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{min}$ 、 1.5 kW)の吐き出し側に垂直に設置した環状ノズルを用いて噴流を発生させ、主流に垂直に設置した衝突板に衝突させる。環状ノズルは内管(パイプ)外径 4 mm 、外管内径 7 mm 、内管長さ $6.0 \times 10^2 \text{ mm}$ である。まず衝突板上に半導体圧力計(3000 kPa 用、固有振動数 40 kHz)を設置しFFTアナライザーを用いて圧力変動のスペクトルを求めた。次に内径 1.9 mm の

① Manometer	⑤ Valve	⑨ Pressure transducer
② Flow Meter	⑥ Steel pipe	⑩ FFT analyzer
③ Pump	⑦ Bourdon tube	
④ Cross table	⑧ Impinging plate	

図1 実験装置の概略図

* 原稿受付 平成元年8月23日.

*¹ 准員, 愛媛大学大学院 (〒790 松山市文京町3). *² 正員, 高知大学農学部 (〒783 南国市物部乙200).*³ 正員, 東北大学流体科学研究所 (〒980 仙台市青葉区片平2-1-1).*⁴ 高知県工業試験場 (〒780 高知市桟橋通2-11-15).

全圧管を噴流の主流に平行になるように置き、そこから流入する液、空気、の単位時間当りの量を測定し、ノズル全体を設置してあるクロステーブルを操作して、噴流断面方向の液流量と空気流量分布を測定した。これから自由噴流としての容積流量割合を求めた。なおストロボライト (1.5×10^{-6} sec) を用いて噴流の様相を写真撮影した。また内管上端から吸い込み空気と共に研磨剤 (エメリー、#24、#36の2種)、直径2.5 mmの鋼球 (G4805) をそれぞれ投入し、噴流で加速せしめ衝突板上の感圧紙に衝突させて、その分布を調べた。ただし内管は既報⁽⁵⁾ の理由によりノズル端から12 mm引込めてある。

座標は図1に示したようにノズル端から衝突板方向に z 、これと垂直方向を r とした。

図2 スタンドオフ距離による環状衝突噴流のパワースペクトルの変化

図3 液流量による環状衝突噴流のパワースペクトルの変化

3. 実験結果と考察

3.1 衝突噴流のパワースペクトル 環状噴流において内管から吸い込み空気がある場合は、吸い

図4 衝突噴流のパワースペクトル

図5 環状衝突噴流の全圧分布

図6 環状自由噴流の空気および液質量流束分布

込み空気がない場合や通常の噴流よりも遠方まで高速を維持し得ることをすでに報告した⁽⁵⁾。ここでは吸い込み空気がある場合の環状噴流の特性を知るために、まず衝突噴流圧力のパワースペクトルを測定した。

スタンドオフ距離 z を変化させた場合の噴流中心におけるパワースペクトルを図2に示す。 f は周波数、 I は脈圧のパワースペクトルである。下流ほど脈圧は高周波成分をもっている。環状噴流、通常噴流ともスタンドオフ距離の増加に伴い脈圧は高周波成分をもち、特に内管からの吸い込み空気がある環状噴流ではその傾向が著しい。図3のように液流量 Q_f の増加に伴い、脈圧は高周波成分をもつ。図4に示すように通常噴流、および内管からの吸い込み空気のない環状噴流よりも、吸い込み空気のある環状噴流は、卓越した高周波の脈圧をもち、固体の破壊に有効な噴流となっており、気泡の衝突による崩壊がその原因の一つと考えられる。

また内管からの吸い込み空気がある場合の環状衝突噴流の全圧 P は、ノズル近傍では内管からの吸い込み空気と内管壁による境界層の影響で、中心で欠損した分布となり、自由噴流の全圧分布と同様の傾向となっている(図5)。なお P は最大全圧である。

3. 2 環状自由噴流の容積流量割合分布 上記

図7 環状自由噴流の容積流量割合分布

の現象には内管からの吸い込み空気に関係していることから、次に環状自由噴流の空気流量、液流量を調べ、これらから容積流量割合を求めた。

図6に噴流半径方向の空気質量流束 J_g 、液質量流束 J_f の分布、図7に容積流量割合 β の分布を示す。図の傾向としては、噴流断面の外側付近で容積流量割合が増加し、断面内における全空気量は下流にいくほど増加する。これは周囲からの引き込み空気によるものと考えられる。ノズル近傍では、内管からの吸い込み空気により中心付近でも容積流量割合が大きくなっている。また液流量が多いほど容積流量割合も大きい。内管からの吸い込み空気量が増えるためと、液流速の増加によって周囲から引き込む空気量が増えるものと考えられる。

図8は噴流の写真である。噴流の広がり、吸い込み空気のある環状噴流が最も小さく、液流量を変化させても大きくは変わらない。ついで通常噴流、吸い込み空気のない環状噴流の順に広がり大きい。

3. 3 研磨材の衝突分布 吸い込み空気のある環状噴流のアブレーション・ジェットとしての特性を知るために、内管から研磨材(エメリー)を噴流中に混入し、衝突板上の感圧紙(富士フィルムプレスケール)

図8 自由噴流写真

に衝突させることによりその発色で衝突分布域を調べた。図9のように研磨材のほぼ一定の衝突集中範囲があり、スタンドオフ距離の増加、液流量の増加（同様の傾向なので図は省略）に伴ってこの衝突集中範囲は円形に広がる。粒子径が小さいほど中心に収束している。研磨材が細かい場合には特に噴流幅（半径方向の全圧が0となる部分を噴流端として噴流幅を考え、図中ではこの長さを—I—で示す）と研磨材の集中範囲が重なり、アブレーション・ジェットとして有効な噴流となっている。なおここでは、噴流衝突圧による感圧紙の発色はほとんど見られなかった。

4. 結 論

- (1) 環状噴流は気液二相噴流になり、内管からの吸い込み空気により、全断面で気泡が存在している。
- (2) 環状噴流は内管からの吸い込み空気的作用により衝突脈圧の高周波成分が大きくなり、搾孔や洗浄に有効な噴流となっている。
- (3) 環状噴流は研磨材の混合程度がよく、アブレーション・ジェットとして有効である。

文 献

- (1) 牧・他3名, 機論, 55-511, B(1989-3), 655.
- (2) 小林・新井・山田, 機論, 53-489, B(1987-5), 1539.
- (3) 柳井田・大橋, 鉋業誌, 93-1073, (1977-7), 13.
- (4) 濱田, 他3名, 機論, 55-511, B(1989-3), 670.
- (5) Matsumoto, K., Arasawa, H. and Yamaguchi, S., 9th International Symposium on Jet cutting Technology, Sendai, Japan, (1988), 255.

z	#36 Emery	#24 Emery	Steel ball	Jet diameter
25 mm				I
89 mm				I

 $Q_e = 2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}, Q_g = 5.3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

20 mm

図9 研磨材の衝突分布