E23 オリフィス自吸方式による微細気泡流生成に関する研究 (気泡生成量に及ぼす空気自吸位置の影響)

Generation of Micro Bubble Flows Using the Air Suckable Type Orifice (Influence of the Air Sucking Position)

正 甲斐 照高(大分大), 正 山田 英巳, 学 榎園 伸一郎, ○学 園田 泰久

Terutaka KAI, Oita University, Dannoharu 700, Oita-city, Oita

Hidemi YAMADA, Shinichiro ENOKIZONO, Yasuhisa SONODA, Oita University

Keywords: Micro-bubble Generation, Air Suckable Orifice, Air Sucking Position, Visualization

1. 緒言

近年微細気泡は水質改善や水産漁業、医療、船舶航行の摩擦抵抗軽減など様々な分野で利用されており⁽¹⁾、このため、簡便で有効な微細気泡流生成技術が必要とされている。現在微細気泡流の生成法のうち、オリフィスなどを用いたせん断方式では高いボイド率の気泡流が得られることが知られている⁽²⁾。せん断方式の中で、特にオリフィスを用いる場合にはその背後の負圧を利用した空気自吸が可能であり、今後の展開が期待される。したがって、本研究では、単純な構造を持つ自吸方式のオリフィスによる微細気泡流生成装置における気泡生成量および気泡の微細化過程に及ぼす空気自吸位置ならびに開口面積比の影響について検討した。

2. 実験装置及び方法

Fig.1 は本実験で使用した実験装置の全体概要を示す。ポンプにより貯水槽から吸水された水は、浮子式流量計(流量 Q_w)を経て内径 20mm の透明なアクリル製の測定部である円管路に送られる。測定部内のオリフィス(厚さ 1mm の真鍮製)の下流では、その背後の負圧部で空気を吸入するため気泡流が生成される。気泡流を生成するオリフィス部の記号を Fig.2 に示す。P₁ はオリフィス 1D 上流位置、P_x は、オリフィスからの下流位置 X を $X=0.25D \sim 4D$ に変化させた点で測定される圧力です。また $X=0.5D$ における P_x はオリフィスを用いて通常の流量計測を行う際に取出す圧力である。空気の吸入には、アクリル壁面と直角に挿入された外径 $b=1.2\text{mm}$ 、内径 $a=0.93\text{mm}$ のステンレス製細管を使用した。その細管の先端位置を空気自吸位置 (X_s, Y_s) として、これを種々に変化させて実験を行い、その際の空気流量を測定した。また、オリフィス後方の気泡生成領域におけるフローパターンは、シャッタースピード(1/6000)秒で高速ビデオカメラ(500f/s)により撮影した。本実験におけるレイノルズ数 $Re=U \cdot D/\nu_w$ (U は主流の平均流速、 ν_w は水の動粘度)は、 $Re \approx 15600 \sim 24000$ の範囲とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 流れ場 オリフィス下流の流れ場の概要を把握するため、開口面積比 $m=0.09$ および 0.25 の場合においてオリフィス孔端からの剥離流が再付着していると考えられる $X=4D$ 下流位置での壁面圧力 $P_r(=P_X(X=4D))$ を基準とする圧力係数 $\Delta C_p=(P_X-P_r)/(1/2)\rho_w U^2$ として示したものが Fig.3 である。いずれの開口面積比の場合ともおよそ $X/D \leq 1$ の範囲で最小圧力を示し、その後は下流に向かうにつれ圧力は回復してい

る。 $X/D=3.5$ 付近での ΔC_p の変化は小さく、円管内壁面上のこの領域内に軸対称的な再循環流が形成しているものと考えられる。また、開口面積比が小さい場合の方が圧力は低く、その回復も急激である。

Fig.1 Experimental System

Fig.2 Micro Bubble Generator Using Orifice

3.2 空気自吸位置の影響 開口面積比 $m=0.09$ のオリフィスにおいて y 方向の空気自吸位置を $Y_s=0$ に固定した場合における空気自吸量 Q_a に及ぼす x 方向の空気自吸位置 X_s の影響を、種々のレイノルズ数 Re に対してボイド率 $\alpha=Q_a/(Q_a+Q_w)$ として示したものを Fig.4 に示す。ボイド率の大きさは、大旨① $X_s/D < 1.5$ 、② $2.0 < X_s/D < 2.5$ 、③ $X_s/D > 3.0$ の 3 グループに大別されることが分る。③グループは、オリフィスからの剥離流が再付着する領域付近から空気自吸する場合の結果であるため、オリフィス背後の圧力がかなり回復していることおよび再付着位置の上下流への変動に伴って空気吸入量が減少し、ボイド率が大きく減少している。また、 $X_s/D=4$ を超えるとほとんど自吸せず、空気流量の測定は出来ないことおよび Fig.3 の結果から、オリフィス後方の再循環流の負圧領域は $X_s/D \leq 4$ 程度の範囲であると推定される。①グループは、再循環領域内で負圧が最大となる領域の結果と考えられ、そのため空気吸入量が最大となっている。ボイド率は、各空気自吸位置 X_s でレイノルズ数の増加とともに増加するが、①グループではいずれの自吸位置 X_s の場合ともボイド率は $Re=20000$ 付近で飽和し、その後はレイノルズ数の増加と

ともに若干減衰していく傾向がある。従って本実験の範囲では、 $X_s/D < 1.5$ の領域内でレイノルズ数が $Re = 20000$ のときボイド率は約 15% 程度で最大となる。Fig.5 は、空気自吸位置を $X_s/D = 0.25$ に固定して Y_s/D を変化させた場合の空気自吸量の結果をボイド率で示す。オリフィス孔の端部下流に相当する $Y_s/D = 0.35$ の場合を境に自吸量が大きく異なることが分る。この相違は Fig.6 の映像にもよく現れている。

3. 開口面積比の影響 空気自吸位置を $Y_s/D = 0$ の壁面に固定して X_s/D を変化させた場合と、空気自吸位置を $X_s/D = 0.25$ に固定して Y_s/D を変化させた場合に対する開口面積比の影響を、それぞれ Fig.7 および Fig.8 に示す。Fig.7 では、各開口面積比における空気自吸量は Fig.3 で示されている ΔC_p の分布と逆対応して単調に変化していることが分る。Fig.8 では、どちらの開口面積比においてもオリフィス孔の端部下流に相当する空気自吸位置 Y_s を境に空気自吸量が大きく異なっている。両図の場合も開口面積比が小さくなるとボイド率が増加する。これは Fig.3 で確認される開口面積比の違いによるオリフィス背後の負圧の差がその主要因と考えられる。また、Fig.9 は空気自吸位置 $(X_s/D, Y_s/D) = (0.25, 0)$ における開口面積比 $m = 0.25$ と $m = 0.49$ の場合での気泡生成の様子を示している。同じ $(X_s, Y_s) = (0.25, 0)$ と $Re \approx 23300$ の条件で $m = 0.09$ の場合を撮影した Fig.6(a) と合わせて比較してみると、開口面積比が小さくなるほど気泡の微細化が進展することが分る。気泡の微細化にはオリフィス内径を小さくすることによる剥離せん断流の強さが重要であることを示している。

4. 結言

できるだけ簡単な構造かつ単純な方法を用いた発生装置として、オリフィス自吸方式による微細気泡流の生成を試みた。空気自吸位置および開口面積比が与える影響等を検討した結果、空気自吸量はオリフィス直後の $X_s/D \leq 1.5$ の範囲内で管壁面近傍からオリフィス孔端部までの範囲に吸入させる場合が最大となること、および開口面積比を小さくして剥離せん断流を強くすることによりボイド率の増加と気泡の微細化が促進されること等が明らかとなった。

文献

- (1) 高木, 機学誌, Vol.109, No.1049, (2006), 299.
- (2) 富永・佐田富・ほか 3 名, 機講演, No.06-1 (2006), 277-278.

Fig.3 ΔC_p against m ($Re \approx 15600$)

Fig.4 Void Fraction against X_s/D ($Y_s/D = 0, m = 0.09$)

Fig.5 Void Fraction against Y_s/D ($X_s/D = 0.25, m = 0.09$)

(a) $X_s/D = 0.25, Y_s/D = 0$

(b) $X_s/D = 0.25, Y_s/D = 0.5$

Fig.6 Effect of the Air Sucking Position Y_s/D ($m = 0.09, Re \approx 23300$)

Fig.7 Void Fraction against X_s ($Y_s/D = 0, Re \approx 20000$)

Fig.8 Void Fraction against Y_s ($X_s/D = 0.25, Re \approx 20000$)

(a) $m = 0.25$

(b) $m = 0.49$

Fig.9 Effect of Open Area Ratio ($X_s/D = 0.25, Y_s/D = 0, Re \approx 23300$)