D110

3D-PTV を用いた水中気泡噴流の基本構造

川口 遼[○] (同志社), 舟木 治郎 (同志社), 平田 勝哉 (同志社)The Basic Structure of a Bubble Jet in Water
Using 3D-PTV

Ryo KAWAGUCHI, Jiro FUNAKI and Katsuya HIRATA

ABSTRACT

The bubble flow often becomes a key phenomenon in diverse engineering aspects. However, bubble flows have not been clear yet. In this research, we reveal basic features of a simple air on bubble-jet flow in water quantitatively. Specifically speaking, we try to apply a three-dimensional particle tracking velocimetry (3D-PTV) to the bubble-jet flow, and to show velocity vectors of bubbles. Air bubbles are shed from a nozzle in a large water tank. The tilting-angle effect of the nozzle is investigated. As a result, the tilting-angle effect makes small bubbles less than 0.5[mm] rise outside the bubble-jet centre core.

Keywords: Bubble Jet, Three-Dimension, Flow Visualization, PTV

1. 結 論

近年, 湖や池, 港湾などでは富栄養化による水質汚染が見られる. この水質汚染を改善するための簡単な方法の一つに, 気泡噴流 (曝気) を用いて水中に酸素を送り込む方法がある. この他の気泡噴流の応用例として, 原子力プラントや化学プラント, 気泡塔やバイオリアクター, さらに化学反応器や, 気泡ポンプなどが挙げられる. このように, 水中もしくは他の流体中での気泡運動は様々な用途に幅広く応用されているが, これらの気泡群の運動は, あまりわかっていない.

本研究では, 最も単純で基本的な水中における気泡噴流を考えて, その空間構造を定量的に明らかにする. 具体的には, 3D-PTV(Three-Dimensional Particle Tracking Velocimetry)を気泡噴流に適用して, 個々の気泡の運動を定量的に求めることを試みる. 3D-PTVとは, 一対のステレオ画像からトレーサ粒子の3次元位置を算出し, 連続するトレーサ粒子の位置情報から粒子の速度ベクトルを得る手法である⁽¹⁾⁽²⁾. 本実験では気泡をトレーサ粒子として適用することを試みている.

2. 実験装置と実験方法

Fig.1 は実験装置の概略図である. 空気は, 圧縮機②で加圧され, 充分大きな水槽①内部のチャンバー⑤からノズルを通して, 水中に噴出する.

ノズルからの気泡噴流全体を観察するために, ノズル先端から水面付近までの広範囲の画像を撮影する. 使用したノズルは内径 0.1[mm], 管長さ 15[mm]のストレートパイプノズルである. また, 噴出角度 α は鉛直上方 (0[deg]) と, 水平方向 (90[deg]) の2種類の状態で実験を行

う. このとき, 圧力比 $p_{\infty}/p_0=0.85\sim0.20$ の範囲内で実験を行っている.

Fig. 1 Experimental apparatus

3. 結果と考察

3.1 気泡噴流全体画像

Fig. 2 は, ある圧力比における気泡噴流の全体画像である. 図(a)はノズルの向き $\alpha=0[\text{deg}]$, 図(b)は $\alpha=90[\text{deg}]$ の場合である.

$\alpha=0, 90[\text{deg}]$ ともに, 1~3mm の大きな気泡が気泡噴流の明瞭な核を形成する. $\alpha=0[\text{deg}]$ では, 0.5[mm]以下の微細な気泡が気泡噴流核の内側のみならず, 外側の広い範囲にも分布する. $\alpha=90[\text{deg}]$ では, 微細な気泡は核内部にはほとんど存在せず, 核よりもノズルから若干遠方に存在しがちである. この核からの偏りは p_{∞}/p_0 が低くなるほど顕著になる.

Fig. 2 A pair of Bubble jet images at $p_{\infty}/p_0=0.42$

3.2 気泡噴流の 3D-PTV 計測

Fig. 3 は 3D-PTV の計測結果の一例である。全体の流れ場は鉛直方向に広いので、高い空間分解能を得るため、領域を 2 つに分けている。すなわち、水槽底部に近い Lower region(図(a))とその上部 Upper region(図(b))である。なお、図(a), (b)は、カメラ台数の制限のため、同時計測されたものではない。

Fig. 3 は $\alpha=90[\text{deg}]$ の結果であるが、速度絶対値の大きい気泡群と小さいものに分かれている。速度の大きい気泡群の位置は可視化による噴流核の位置とよく対応している。さらに、その速度の絶対値は、単一気泡を考えて 2[mm]以上の径をもつ気泡の値とよい一致を示す。一方、速度の小さい気泡群の位置は可視化の結果より得られた微細な気泡群(0.5[mm]以下)の位置とよく一致する。さらに、その速度の絶対値は、単一気泡のそれとよい一致を示す。

Fig. 3 Velocity vectors of the bubbles shed from a pipe nozzle with $\alpha=90[\text{deg}]$

3.3 z 方向における気泡速度分布

先の 3D-PTV により、我々は気泡の三次元速度ベクトルを多量に得ることができる。今回、その結果を統計処理することにより、気泡噴流の時間平均空間構造を明らかにする。ここで、座標系は円柱系(r, θ, z)を考える。ノズル出口中心を原点として、半径方向を r 、鉛直方向を z とする。

Fig. 4(a) より、 $p_{\infty}/p_0=0.5$ までは圧力比が小さくな

るにつれて、気泡平均速度も小さくなる。また、 $p_{\infty}/p_0=0.5$ より小さくなると気泡平均速度はほぼ一定となる。これは、圧力比が小さくなるに従い、速度のおそい微細な気泡が多く発生するためである。とくに、 $p_{\infty}/p_0=0.5$ までは微細な気泡が噴流核中心付近に位置し、それ以後、噴流核全体に広く位置するようになる。このことより、 $p_{\infty}/p_0=0.5$ を境に気泡平均速度がほぼ一定となる。

Fig. 4(b) については、(a) のような大きな変化はない。これは先に述べたように、気泡平均速度が小さくなるのは微細な気泡の存在比率によるものだとすると、 $\alpha=90[\text{deg}]$ では可視化画像からもわかるとおり、噴流核中心には微細な気泡がほとんど存在しない。このことにより、気泡平均速度は圧力比を変化させても明瞭な変化が現れない。

Fig. 4 Bubble's velocity against pressure ratio near the centre (at $r=0.5$)

4. 結言

- (1) 水中における気泡噴流について、気泡の運動を瞬間的にとらえることができる。その基本特性を定量的に明らかにするために 3D PTV 解析手法を用いた計測を実施した。ハイスピードカメラの使用により連続的な変化も観察可能となった。
- (2) ノズルの噴出角度 α を水平方向に変えると 0.5 [mm] 以下の微細な気泡が気泡噴流から離れて上昇する現象が見られた。
- (3) ノズル噴出角度 $\alpha=0[\text{deg}]$ (鉛直上方) の場合、ノズル出口から 20~140 [mm] において、圧力比 $p_{\infty}/p_0 \leq 0.5$ で気泡噴流の中心軸まわりでは、気泡平均速度が最小値をとる。
- (4) $\alpha=90[\text{deg}]$ (水平) の場合、圧力比を変化させても中心軸付近での気泡平均速度に明瞭な変化はない。

参考文献

- 1) D. H. Doh, D. H. Kim, et al: Development of Genetic Algorithm Based 3D-PTV Technique Journal of Visualization, Vol. 5, No. 3(2002), pp. 243-254
- 2) Hwang, T. G., Doh, D. H. and Okamoto, K: 4D-PTV, Journal of Visualization, Vol. 8, No. 3(2005), pp. 245-252