A106

環状気泡の周囲流体の流れの可視化

大石 義彦[◎] (北大), 村井 祐一 (北大)

Flow Visualization around a Toroidal Bubble

Yoshihiko OISHI and Yuichi MURAI

ABSTRACT

In nature, dolphins enjoy making a toroidal bubble which is called bubble ring. There is little research on flow visualization of the toroidal bubble in steady state. The toroidal bubble accompanying circulation around it is studied experimentally using particle tracking velocimetry. We reconfirm that vortex-ring-like flow is produced around the toroidal bubble, judged from velocity vector and vorticity.

Keywords: Vortex ring, Toroidal bubble, Particle Tracking Velocimetry

1. 緒 論

自然界や水族館でバンドウイルカやシロイルカなど唇をもつ海洋哺乳類においてバブルリングと呼ばれる環状気泡を口からだし、遊ぶ様子を観察することができる¹⁾。動物たちの気まぐれで発生させるため、幸運のリングとして広く一般に知られている。また、ダイバーを初め、人間も軽く空気を噴出だけで、発生することができ、玩具や鑑賞用としても用いられることがある。また、巨大な環状気泡を用いて海上の深くの海水を大量に輸送するための手段として一部では工業的に利用が考えられている。

これ間の研究では Lundgren & Mansour らによる環状気泡の発生機構についての研究がある²⁾。これまでの研究では環状気泡の形成メカニズムの解明を中心に研究が進められている。しかし、生成後の環状気泡については気液界面の散乱や反射によって周囲流れ場の可視化が用意ではない。すなわち、本研究で対象とする流れは気液二相流の流れの可視化であり、近年に開発されつつある混相流の可視化技術を応用させる必要がある。本研究では生成された環状気泡を可視化し、環状気泡まわりの流れの可視化を行い、環状気泡のとりまく流体力学的な考察を行う。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

実験装置を図1に概略を示す。水槽は幅 800mm、奥行き 700mm、高さ 700mm で、可視化のために透明アクリルを用いた。作動流体は水道水を用い、大気圧開放である。

環状渦輪の発生には専用の発生装置を用いた。コンプレッサーで加圧された空気(0.5Mpa)は電磁バルブ(ノーマルクローズタイプ)、逆止弁を通過し、環状気泡発生装置に流入される。発生装置を図2に示す。発生装置は直径 120mm の円台上に高さ 70mm、外形 20mm、内径 9mm の中空円筒に直径 4mm の出口ノズルを取り付けた。なお、出口ノズルは図2に示すように気泡が噴出した直後に循環ができやすいようにノズルの形状を鋭角にした。なお、吹き込み周期 0.3Hz、吹き込み時間 0.03s とし、パルスジェネレータ(SRS)電磁バルブの開閉を制御した。

Fig.1 Experimental setup

Fig.2 Schematic diagram of nozzle for bubble ring generation

2.2 可視化方法

流体の可視化のためにトレーサ粒子(三菱化学、ダイ

ヤイオ, HP20SS, メディアン直径 $100\mu\text{m}$) を用いた。可視化にはハイスピードビデオカメラ (Photron FASTCAM Max) を用い、撮影条件はフレームレートを 500FPS, シャッタースピードを $1/500\text{s}$ とし、撮影画像サイズは 1024×1024 , 撮影画像の空間解像度は 0.11mm/pixel である。照明にはメタルハライドライト (Photron) と低出力 YAG Laser (カトウ光研, 50mW , LD 励起 YAG 532nm) を使用した。メタルハライドライトはバックライトとして用い、気液界面を投影し、YAG Laser は環状気泡の中央 2 次元断面の粒子画像を投影する。ただし、メタルハライドライトと環状気泡との間に散乱シートを複数枚重ねた。本研究における計測方法の特徴は環状気泡の気液界面を画像の低階調の領域で、周囲流れ場を画像の高階調の領域で分類することで両者を同時に撮影することである。また、粒子数を極端に少なくすることで、気液界面近傍にトレーサ粒子が停滞することが防がれる。

トレーサ粒子の検出方法には、粒子直径を中心波長とする 2 次元のバンドパスフィルタを用いた。その後、残存した気液界面を取り除くため、原画像のエッジ検出・細線化処理を使用した。ラベリング処理により粒子画像位置の検出し、Particle Tracking Velocimetry (PTV) を施した。このとき採用した PTV 解析アルゴリズムは 4 時刻追跡法である。本研究では気泡周りの流れ場を可視化するため、気液界面を考慮した楕円型方程式再配置法³⁾を用い周囲流れ場を示す。

3. 結果

図 3 に可視化された環状気泡のスナップショットを示す。環状気泡は形成過程で空気が一様につながった環状気泡と断裂した環状気泡が存在する (図 3 は断裂した環状気泡)。また、空気が一様につながった環状気泡には泡の核の直径が大きいものと小さいものに分類される²⁾。図 4 にハイスピードカメラによって撮影された映像を示す。図 4(a) は空気が一様な環状気泡で、図 4(b) は断裂した環状気泡である。それぞれ、環状気泡の直径や核の直径に差異は見られなかった。これは気泡の直径や核の直径は気泡が環状になる前に決定されるためである。

図 5 に図 4(a) の条件における環状気泡周りの周囲流体の流れ場を示す。図 5(a) は環状気泡の速度ベクトル、図 5(b) は渦度である。環状気泡の周りに渦輪と同様な渦が形成され、環状に気泡を維持している様子が観察できる。気液界面における計測技術としては界面近傍のデータの精度には課題があるが、本研究により環状気泡周りの流れ場が計測可能であることを示した。

4. 結 言

気液二相流である環状気泡周りの流れを PTV によって計測し、気液界面を考慮した再配置法を用いて描画した。その結果、速度ベクトル及び渦度を計測することに成功し、環状気泡の周りに渦輪と同様な渦が形成されていることを再確認した。

参 考 文 献

- 1) McCowan, B., Marino, L., Vance, E., Walke, L., Reiss, D.: Bubble ring play of bottlenoses dolphins (*Tursiops truncatus*): Implication for cognition. *J. Comparative Psychology*, 114, (2000), pp.98-160.
- 2) Lundgren, T.S. and Mansour, N.N.: Vortex ring bubbles, *J. Fluid Mech.* (1991), 224, pp.177-196.
- 3) 大石義彦, 福田浩士, 村井祐一: 水平壁面乱流境界層内の単一気泡がもたらす流動場変調, 日本機械学会論文集 73 巻 730 号 B 編, (2007), pp.1298-1306.

Fig.3 Snap shot of toroidal bubble.

Fig.4 Backlight and laser sheet illumination.

Fig.5 (a) Velocity vector and (b) vorticity around the toroidal bubble.