

1473 気泡-気泡と気泡-固体壁間の衝突における渦度構造の相違

The Difference of Vorticity Structure between the Bubble-Bubble collision and the Bubble-Wall collision

○学 曾根大治 (静大院), 榊原和也 (静大院), 正 真田俊之 (静大工), 正 齋藤隆之 (静大院)

Daiji SONE, Kazuya SAKAKIBARA, Toshiyuki SANADA, Takayuki SAITO

Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561

The interaction between the bubble motion and its surrounding liquid motion in a rest water column was experimentally investigated at two kinds of collisions; one is bubble-bubble collision and the other is bubble-vertical wall collision. Hypodermic needles and a bubble generator utilizing pressure oscillation were employed to exactly extract and highly reproduce the interaction between the liquid-phase motion and bubble motion at the collision. The recursive cross correlation PIV technique made it possible to obtain the accurate velocity field of the surrounding liquid motion of a pair of bubbles. As regarding the bubble motion, the different velocity fluctuation of bubble was observed after the two kinds of collisions. The difference is considered to be due to the different surrounding liquid motion, especially the formation of vorticity.

Keywords: bubble-bubble collision, bubble-wall collision, velocity fluctuation, PIV

1. 緒言

気液二相流は熱交換器や化学反応器など、幅広い産業分野に見受けられ、さらに地球環境技術分野においてはGLADシステムに応用されている。これらのシステムの効率を向上させるためには気泡流の流動構造を詳細に把握することが必要不可欠となる。しかし、気泡流の流動構造は気泡-液相間、気泡-壁面間、気泡-気泡間それぞれが相互干渉し、非常に複雑になる。そのため、それぞれの干渉について研究が行われているが、気泡の合体や反発などの気泡-気泡間や気泡-壁面間の干渉については、未だ不明な点が多い。

本研究は、気泡-気泡間および気泡-壁面間でおきる干渉を分類し、2種類の干渉における気泡運動の違いを明らかにすることを目的とする。さらに、衝突時に起きる周囲液相運動をPIVにより計測することで、液相運動が気泡運動に与える影響を詳細に考察する。

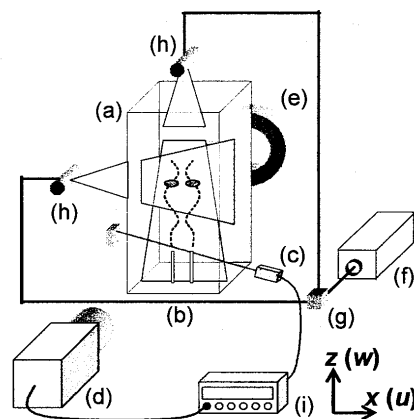
2. 実験装置

Fig. 1に気泡-気泡衝突実験での実験装置の概略を示す。アクリル製矩形水槽 (a) に煮沸脱気したイオン交換水を満たし、水槽底部から2気泡を射出した。気泡射出には、気泡径や気泡軌道などを再現性よく発生できる注射針 (テルモ製、内径 0.4mm) (b) 一組を、傾斜面を向かい合わせて用い、気泡発生制御には、オーディオスピーカーを利用した装置^[1]を用いた。また、2気泡の初期気泡間距離は 24.6mm~42.0mm の範囲で変化させた。気泡の球等価径は、気泡-気泡衝突では 2.93mm、気泡-垂直壁衝突では 2.92mmであった。気泡軌道に設置したレーザー通過センサ (c) からのトリガ信号により高速度ビデオカメラ (d) の撮影を開始し、2気泡衝突時の気泡運動と周囲液相運動を、同時に可視化撮影した。気泡運動を赤色 LED (波長 660nm) (e) のバックライトで可視化した。

気泡運動の計測は、露光時間 350 μ s、フレームレート 2000fps、空間分解能 0.171mm/pixel (気泡-気泡衝突)、0.151mm/pixel (気泡-壁面衝突)で行った。得られた原画像に2値化、FFTによる気泡輪郭の再構築、重心座標算出などの画像処理により気泡軌道、気泡速度を得た。

PIV計測には、CW-YAGレーザー (波長 532nm) (f) と蛍光粒子 (粒子径 8 μ m、励起波長 532nm、発光波長

570nm)を用いた。計測は、露光時間 200 μ s (気泡-気泡、気泡-壁面衝突) フレームレート 1960fps、空間分解能 13.1 μ m/pixel (気泡-気泡衝突)、15.3 μ m/pixel (気泡-壁面衝突)で行った。得られた原画像を画像処理し、速度場を得た。PIVアルゴリズムに再帰的相関法を用いることで、誤ベクトルが少なく、空間解像度の高い速度場が得られた。さらに、得られた速度場から渦度場を算出した。



(a) Water vessel, (b) Hypodermic needle, (c) Laser sensor, (d) High-speed video camera, (e) Continuous LED, (f) CW-YAG laser, (g) Half mirror, (h) Rod lens, (i) Function generator

Fig. 1: Schematic of experimental setup (bubble-bubble collision)

3. 結果と考察

気泡-気泡間衝突における気泡運動として、気泡軌道と気泡の水平・鉛直方向速度をFig.2に示す。衝突後、単一気泡とは異なる気泡運動がみられた。Fig.2(a)に示すように、衝突後、気泡の水平方向速度のみ減少する場合 (case1) がみられた。さらに、Fig.2(b)に示すように、衝突後、気泡の水平・鉛直方向ともに現象する場合 (case2) がみられた。Case1,2それぞれの場合における衝突後の周囲液相運動の結果として、渦度の等値線図をFig.3(a),(b)に示す。

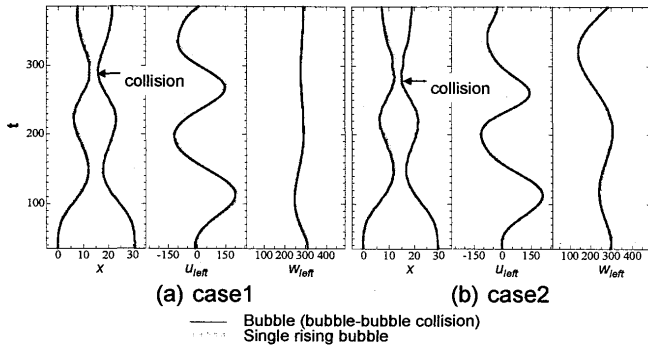


Fig. 2: Bubble motion (bubble-bubble collision)

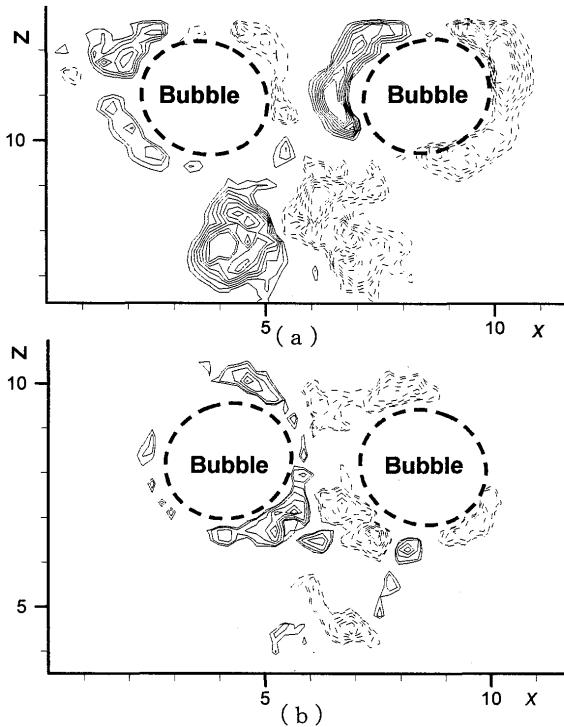


Fig. 3: Vorticity profile of a pair of bubbles
(Solid line: positive value, dashed line: negative value)

Fig.3(a)において、2気泡衝突後、気泡後部に単一気泡ではみられない渦度が生成されていることがわかる。過去の単一気泡の研究^[2]から、ジグザグ運動するメカニズムとして変向点におけるヘアピン渦の放出が報告されている。また、このヘアピン渦の放出は、気泡の鉛直方向速度に大きな変化を及ぼさない。したがって、case 1において、2気泡が変向点付近で衝突後、気泡の水平方向速度のみ減少した理由として、衝突後、各気泡の後流が干渉し、単一気泡の場合起きるはずの変向点における渦放出の範囲が制限されたためと考える。

Fig.3(b)において、2気泡衝突後、case 1 でみられた渦度の生成がみられなかった。さらに、原画像から、衝突後、気泡間に入り込む上向きの流れが観察された。これらの結果から、ケース 2 においては、衝突後、気泡後流が気泡間に流れ込み、気泡を追い抜くことにより、気泡の水平・鉛直方向速度ともに減少したのではないかと考える。しかし、気泡間の流れについては、レーザーの気泡表面での反射の影響で、今回のPIVでは捉えることができなかった。

次に、気泡-壁面間衝突における気泡運動の結果を Fig.4 に示す。Fig.4(a)においては、気泡と壁面は衝突せず、単一気

泡と同じ気泡運動が得られた。Fig.4(b)では、気泡-気泡間衝突である Fig.2(a)と同じように、1回目の衝突後、水平方向速度のみ減少している。また、1回目の衝突後、明らかに気泡軌道の振幅が小さくなっていることもわかる。Fig.4(c)では、(b)とは異なり、1回目の反発後に水平方向速度は減少せず、鉛直方向速度が若干減少している。このケースは気泡-気泡間衝突では得られなかったため、気泡-壁面間衝突特有の反発現象であると考えられる。Fig.4(d)では、1回目の反発現象は、(b)での1回目の反発現象と似ているが、2回目の反発現象は、(c)での1回目の反発現象と似ている。これらの結果から、気泡-気泡間衝突と気泡-壁面間衝突では、同じような反発現象がみられた一方、違った反発現象がみられた。この違いの原因として、周囲液相運動の影響が考えられるが、詳しくは講演にて報告する。

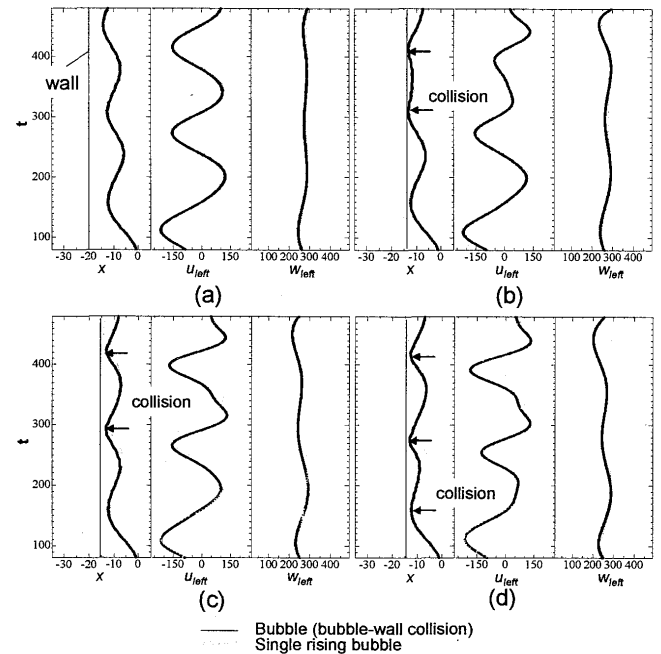


Fig. 4: Bubble motion (bubble-wall collision)

4. 結言

気泡-気泡間および気泡-壁面間でおきる干渉を分類し、2種類の干渉における気泡運動の違いを明らかにした。さらに、衝突時に起きる周囲液相運動をPIVにより計測することで、液相運動が気泡運動に与える影響を考察した。2気泡の衝突においては、衝突後の気泡速度の変化が異なるケースが観察され、それぞれのケースにおける周囲液相運動の結果から、各気泡の後流が干渉し、渦度が生成される、または、後流が気泡間に流れ込むことにより気泡運動が異なったのではないかと考える。

Nomenclature

t :	time	[msec]
x, z :	coordinate	[mm]
u_{left} :	horizontal velocity of left bubble	[mm/s]
w_{left} :	vertical velocity of left bubble	[mm/s]

参考文献

- [1] 仮屋崎侃・逢坂昭治, 発生気泡の制御, 機論B編, Vol. 68 (2002), pp. 2712-2718.
- [2] 榊原和也・宮本悠樹・齋藤隆之, 混相流研究の進展 2, 17-24 (2007)