324

球体貫入時に二液界面で発生する微小液滴の数と寸法の計測

米原 紀吉[○], 植村 知正 (関西大学), 井口 学 (北大院), 山内 慎 (関西大院)

Number and Size of Droplets near Liquid-Liquid Interface Generated by a Penetrating Sphere

Noriyoshi Yonehara, Tomomasa Uemura, Manabu Iguchi and Makoto Yamauchi

ABSTRACT

This experiment was executed to investigate the deformation of liquid-liquid interface and making droplets by a penetrating sphere. This phenomenon will be related to problem of chemical reaction and contamination. Water and silicon oil under the room temperature are used for two kinds of liquid. An acrylic sphere or a brass sphere which is coated by paint is naturally released upon the oil layer respectively. The scene of penetration is captured by use of two cameras, that are high-speed video camera (500 frame/s) and high-grade video camera (30 frame/s, 1024-1024 pixel). The velocity of falling sphere and the numbers, positions, diameters, migration vectors of droplets are measured by image analyzing. These characteristics values (Table 1) are varied according to the velocity of a penetrating sphere. The time to generate droplets is measured about 0.1 second in this experiment.

Key words: Image Measurement, Liquid-Liquid Interface, Droplets

1. ま え が き

物体が二液界面を貫入する現象は化学反応や汚染, 混入問題と深い関係がある. 本研究はこの動的現象を画像計測によって取得することを目的としている. 前報^{1)~7)}では物体が貫入の時に漏斗状に引き込まれる上界面の体積, 表面積および物体付近の随伴流などを計測した. 本報では貫入後に界面付近に発生する微小液滴に注目し, その発生位置, 個数, 移動等の追跡を行う. これは貫入後の液滴発生時に二液の相対速度が意外に速い現象であり, 化学反応や混入に影響があると思われるからである.

2. 実験方法

実験装置を図1に示す. 内径174 mmの円筒に深さ300 mmの常温水を入れ, その上に厚さ70 mmのシリコン油(動粘度500 cSt)を置き, 油の表面上75 mmの位置から単一球を自然落下させる. 二液界面を球が通過していく様子を側面から高速(500 frame/s)と高解像度(30 frame/s 1024 × 1024 pixel)の二台のビデオカメラで同時撮影した. 高速度カメラは従来撮影が困難だった落下球の速度や油が切断して油滴が形成していく様子の

ために用いる. また高解像度カメラは生成した微粒子の正確な計測用に必要であった. この際, 水中に発生する微小な油滴を撮影するために, 油に染料を加え, 照明としてバックライトを用いた.

球体はφ14.9 mmのアクリル(比重1.22)と, φ9.6 mm(比重8.46)の黄銅としている. 球の表面性状を同じにするため, 市販の合成樹脂エナメル塗料を塗布した.

Fig.1 Experimental setup

3. 実験結果と考察

落下球が濃紺の油と透明な水の界面を通過していく様子として, 高解像度カメラで撮影した画像の一部を図2に示す. 図中に示した数字は球の中心が界面を通過する時からの経過時間(秒)をフレーム数を用いて表示している. 図2(a)はアクリル球の場合で, 静かに水中を落下していく. 油の糸が細くなり, やがて切断し, この例では大小5個の油滴が発生した. 油の糸が切断されて油滴形成の所要時間はわずか0.1秒である. しかし, 油滴の動きは緩やかで密度差によってゆっくり上昇していく. 最初の油滴が界面へ戻るのは約3秒である. そして5秒以内には大きい油滴も界面に戻る.

図2(b)は黄銅球を落下させた場合で球が油膜平面を突き破った後は図2(b)の左端に示すように球の後半部にリング状の油が形成されているのがわかった. その後球の落下につれて油層本体との繋がりは細くなり, 速い球の後流のためかき乱されている様子が撮影されて

いる. 曲がりくねった糸状の少し太い部分を核として図2(b)の例では大小11個の油滴が発生した(約0.2秒). 発生した油滴が界面へ初めて戻るのは球貫入後4.1秒である. そしてこの画面の油滴がすべて戻るのは約5秒である. この画面下方にも少しの油滴発生がひきつづいて起こっていたが, 球と油層間の繋がりが最初に切れる界面下領域を対象としているので今回は考慮しないこととしている.

図2の画像から, 球体が界面を貫入通過することによって引き起こされる様態は混合や化学変化を考えていく上で興味あることがうかがえる. 得られた画像から主として球体貫入直後の界面付近に限定して, いくつかの計測結果を示す.

3-1 球速度

高速度カメラによって撮影された画像から経過時間に対する球の位置と速度を図3に示す. 本報では油滴

Fig.2 Behavior of silicone droplets generated by a penetrating sphere

の撮影に重点を置くため、高濃度な染色油を用いたので球だけ油の中から抽出はできず、油層先端部を球の速度とみなしている³⁾。本報告の図はすべて長さや速度は球の直径 D を単位とし、また界面を球の中心が通る時刻を零としている。比重の小さいアクリル球は界面付近で停滞気味であることがわかる。そして直径の15倍付近の深さで少し減速がみられるのは終端速度での少し左方向への球の片振れ($0.72D$)を起こしているからである。これは付着した油の影響と思われる。

それに対して、比重の大きい黄銅球の場合は界面抵抗の影響をあまり受けることなく貫入通過していることを示し、終端速度に未だ入らない状態までを捉えている。

(a) Trajectory of sphere

(b) Velocity of sphere

Fig. 3 The velocity of falling sphere

3-2 界面付近での油滴発生

高解像度カメラで界面直下を撮影した画像の中から、最初に球形化したときの油滴の状態を計測する。図2(a)の87/30 s, 図2(b)の20/30 sを用いて油滴の位置と寸法、そして発生油滴の体積、表面積を求める。画像上で油滴の境界位置を求めるのは、縦と横の二方向の直線と交わる三点以上の点から円とみなした油滴の

中心座標と直径を算出する手法⁹⁾を用いている。油滴発生直後の二画面から油滴の移動速度も求めて、これらの計測結果を図4に示す。○印は貫入速度が8.9 mm/sで発生した場合であり、●印は419 mm/sの場合である。なお図4の油滴の直径は軸とは関係なく大小だけと移動速度を描いている。

貫入速度の小さい場合は界面付近に3個取得された。それに対して、貫入速度の大きい場合は深い場所で多数の大きな油滴が発生し、この画面から10個の油滴を捕捉することができた。原画像では肉眼で視認される $\phi 1$ mm以下の微粒子は今回での処理では捕捉できなかった。

つぎに発生直後の油滴の速度ベクトルをみると、いずれも球の落下方向に向かっている。いずれも油滴発生直後は落下球の後流の影響を受けており、速度の速い●印は乱れによって水平方向の速度成分をもつことを示している。肉眼の実体観察では、球が水中を落下した後では螺旋状に回る油滴も見られ、油滴の動きを三次元的に取り扱う必要がある。

Fig. 4 The position and velocity of generated droplets

Table 1. Measurement values of droplets

Sphere	φ15 Acrylic	φ10 Brass
Velocity (mm/Ds), (mm/s)	-0.6, (-8.9)	-43.8, (-419)
Number of Droplets	3	10
Location (mm/D)	x; -0.030 ~ 0.093 y; -1.46 ~ -5.47	x; -1.48 ~ 0.73 y; -6.80 ~ -16.14
Diameter (mm/D)	0.077~0.29	0.11~0.74
Velocity of Droplets (mm/Ds)	2.3~56	31~51
Total Volume (mm ³ /W)	0.031	1.0
Total Surface (mm ² /A)	0.12	1.7
Maximum Volume of Oil Interface Deformation (mm ³ /W)	14.3	33.4
Maximum surface Area of oil Interface Deformation (mm ² /A)	3.52	8.46

D : Diameter of sphere, W : Volume of sphere, A : Surface of sphere

3-3 油 滴 の 計 測 値

界面付近で発生した直後の油滴を画像計測した結果をまとめて表1に示す。ここで球の速度とは界面下1直径分の位置に球の中心があるときの球の落下速度としている。貫入速度の違いによって、油滴の発生個数、発生位置とその広がり、大きさ、浮遊速度等異なっていることを示している。

参考のために、表1の下端の欄には貫入球によって界面が下の水中へ漏斗状に引き込まれるときの最大体積と表面積を示している²⁾。発生油滴に対してオーダが異なる大きさをもっているが、これは液-液界面全体のいわば移動動作であり、短時間で微粒子が発生する現象とはまったく変形動作が異なるものである。

4. 結 言

常温の水とシリコン油を用いた二液界面に、表面は同一の塗装を施した二種の単一球をそれぞれ自然落下させて、界面下の水中で発生する微小な油滴を高速度(500 frame/s)と高解像度(1024 × 1024 pixel)の二台のカメラで同時撮影した。その結果、界面付近での油滴発生の様子、個数、位置、大きさ、移動を計測し、画面上の油滴のもつ体積や表面積を算出することができた。貫入速度の違いによって異なる結果(表1)を示している。また糸状に伸びた油から油滴が発生する所要時間は0.1秒であった。

参 考 文 献

- (1) M. Iguchi, K. Okita, F. Yamamoto, and T. Uemura, Behavior of a Solid Sphere passing through the Interface between Stratified Two Liquid Layers, J. of Flow Visualization and Image Proceeding, vol. 2, pp. 375~391, 1995.
- (2) 米原, 山内, 植村, 重栖, 湯口, 物体貫入時の液・液界面形状の画像計測, 日本鉄鋼協会講演論文集, vol.10, No.5, p.1030, 1997.
- (3) 山内, 植村, 重栖, 湯口, 物体貫入時の液・液界面の境界検出(不鮮明な境界の検出と形状計測), 可視化情報, vol. 17, Suppl. No.2, p.225~228, 1997.
- (4) 米原, 植村, 山内, 物体貫入時の液・液界面現象の画像計測, 可視化情報, vol. 18, Suppl. No.1, p.125~128, 1998.
- (5) 米原, 植村, 山内, 井口球体貫入時の液・液界面に生じる随伴流れの計測, 機械学会関西支部 256 回講演論文集, p.6-13~6-14, 1998.
- (6) N.Yonehara, T. Uemura, M. Iguchi, M. Yamauchi, Image Measurement for Analyzing Liquid-Liquid Interface Phenomena Caused by a Penetrating Sphere. Proc. of the 11th Int. Symp. on Transport Phenomena, pp.273~277, 1998.
- (7) N.Yonehara, T. Uemura, M. Iguchi, M. Yamauchi, Flow Induced by a Sphere Penetrating Liquid-Liquid Interface, Proc. VSJ-SPIE98, Yokohama, pp.260~261, 1998.
- (8) 郷原, 植村, 円形パターン的高速検出と応用, 可視化情報, vol. 18, Suppl. No.1, p.193~196, 1998.