

PS-14 海底から流出する油の浮上に関する実験的研究

環境・動力系 * 宮田 修, 亀山 道弘

1. はじめに

2010年のメキシコ湾でのディープウォーターホライズン油井事故で初めて大規模な油処理剤の水中散布が行われ、これまでの海上流出油への空中散布の常識を覆した。しかし、当時は水中での油処理剤散布の効果の詳しい検証はなかったため、諸外国での調査・研究と同様に著者らも実験を行い油処理剤の効果を確認した¹⁾。しかしながら、油処理剤の水中散布における油粒の形状と挙動に関しての詳細な結果を示すことは出来なかった。

本研究の目的は、①油の放出条件による単一油粒や油粒群の形状の変化を含む挙動を明らかにする。次に、②油粒径の異なる O/W 型エマルションの終末浮上速度を求める。さらに、③水中散布の方法としてダクトによって油を集め処理剤を投入し油粒径が最小になる条件を求めることである。

本報告では、①の実験結果について報告する。

2. 実験及び解析方法

2.1 実験装置

油の浮上を再現する実験に用いた水槽を図 1 に示す。水槽は、内径 0.3m、深さ 1.0m の透明なポリカーボネイト製で内部に水を満たし、水槽底部に設けたノズルから油を流出させ浮上する油の挙動を再現した。油は高粘度用ポンプにより供給し、ニードルバルブと圧力計により油量を調節した。また、油粒の形状や挙動は高解像度カメラにより記録を行った。実験画像の取得は、次の①から③の手順で行った。

①ポンプを on, バルブを開, 所定の圧力に設定。②圧力の安定を確認し、録画を開始する。録画時間は 10 秒。

③ポンプを off, バルブ閉。

2.2 実験条件

実験に用いた油は A 重油と C 重油の混合などにより調整し、粘度などの性状の異なる表 1 に示す 6 種類の油を使用した。動粘度は、音叉式粘度計により実測した。油と水の界面張力は外部機関（懸滴法, (株) 協和界面科学）により取得し回帰式より求めた。また、油の流出流量は、表 2 に示す吐出圧力とノズル径及び流出係数²⁾ からトリチェリの式より流出速度を求め算出した。

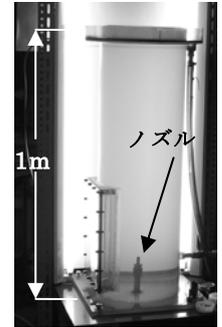


図 1 水槽

表 1 油の物性値 (at 25°C)

油の割合		密度 ρ	動粘度 ν	界面張力 σ
C 重油	A 重油	kg/m ³	cSt	mN/m
0	1	860	4	28.4
0.2	0.8	883	85	25.4
0.4	0.6	908	207	22.5
0.6	0.4	934	688	19.5
0.8	0.2	947	2992	16.6
1	0	990	13689	13.6

表 2 油の流出量 (ℓ/min.)

吐出圧力 (MPa)	ノズル径 D (φ mm)			
	4	7	9	14
0.0161	0.10	0.33	0.56	1.28
0.0162	0.15	0.46	0.79	1.81
0.0165	0.23	0.73	1.24	2.86

2.3 解析方法

流出油の油粒の形状や挙動を画像解析により水槽内での油粒の位置、浮上速度、投影面積を計測した。画像の解析は、二値画像相関法を用いた流体計測ソフト ((株) ライブラリー, Flow-PTV) を用いた。粒子状物質を評価する場合の指標である累積体積頻度 d_{50} を求め油粒の代表径とした。

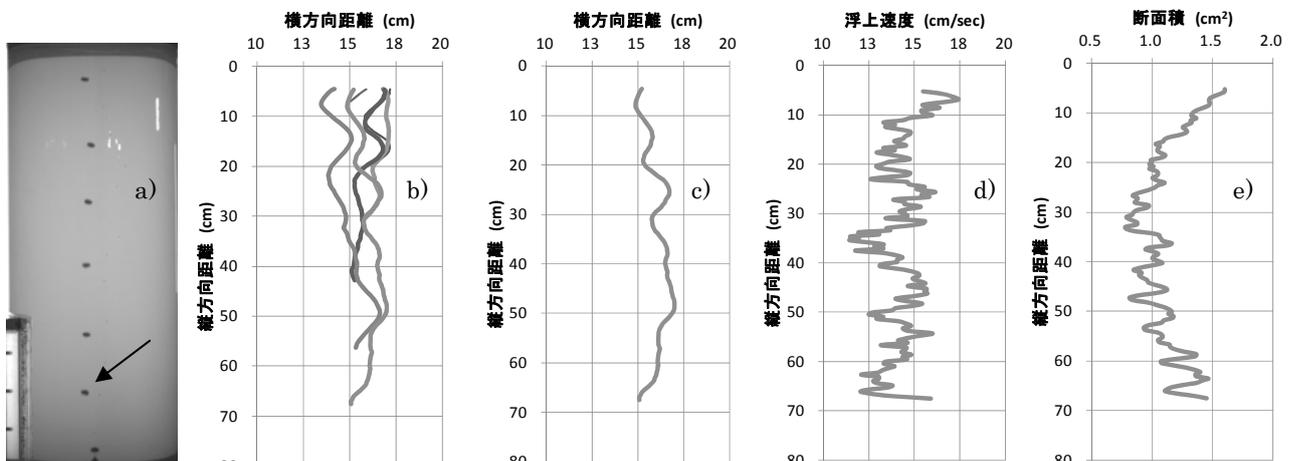


図 2 油粒の挙動の一例 (ノズル径 9φ mm, 流出流量 0.56ℓ/min.)

3. 実験結果

3.1 油粒の挙動

A 重油 (C:A=0.0 : 1.0) 油粒の位置・浮上速度・断面積の変化の一例を図 2 に示す. a)が解析開始の画面で, b)は a)の矢印で示した油粒から上方の油粒の軌跡を示す. それぞれの油粒は左右に移動しながら浮上して行く. しかし, 実際はらせん状に回りながら浮上していることを目視している. c)~e)は a)で示した矢印の油粒の軌跡と浮上速度と断面積の変化を示す. c)の横方向の変化が大きい時は, d)の浮上速度は小さくなる. 一方, e)の断面積は, 浮上速度の増減と反対の傾向を示した. シリコン油を対象とした液滴挙動に関する文献³⁾によれば「液滴が蛇行する際, 曲がり角で形状が扁平し抵抗が大きくなり上昇速度が減速する. その後, 表面張力により形状が復元し加速すると推測できる.」とあり, 重油を対象とした本実験でも同様な挙動を確認した.

3.2 油粒の累積体積頻度 d_{50}

図 2 で示した油粒の累積体積頻度 d_{50} を図 3 に示す. a)のように流量が少ない場合は, 油粒径に大きな差は生じない. 一方, b)の流量が多い場合, d_{50} が示す油粒径は若干大きい値を示すが頻度の最大は小さくなった. さらに, 粒径分布の範囲も拡大し, 油粒群となっていることを確認した.

3.3 油粒の浮上速度

油粒径と浮上速度で求めたレイノルズ数 ($Re = \rho d_{50} U / \mu$) と浮上速度の関係を図 4 に示す. 浮上速度は, レイノルズ数に対し比例的に増加し, 油の性状によりレイノルズ数に対する浮上速の増加傾向の傾きの違いを示した.

3.4 エトベス数とモルトン数

文献⁴⁾のCliftの分類図に倣い, 実験結果の d_{50} を用いてエトベス数 ($Eo = g d_{50}^2 \Delta \rho / \sigma$), で整理した結果を図 5 に示す. エトベス数とレイノルズ数には比例関係にあり, 油と水の物性値で示されるモルトン数 ($M = g \mu^4 \Delta \rho / \rho^2 \sigma^3$) のオーダーをLog Mで図中に示すと, C重油とA重油の割合によって変化することを確認した.

4. まとめ

油とその放出条件による単一油粒や油粒群の形状の変化を含む挙動の一端を示した.

謝辞

本研究の実施に際しては, 元環境・動力系の原 正一氏に多くの助言と助力を頂いた. また, 本研究は, JSPS 科研費 JP18K04590 の助成を受け行った.

参考文献

1) 宮田 修, 他, 油処理剤の水中散布による分散化油粒の浮上速度, 日本マリンエンジニアリング学会誌,

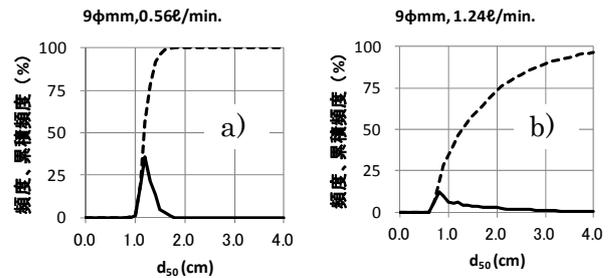


図 3 油粒径の頻度と d_{50}

● C:A=0.0:1.0 ■ C:A=0.2:0.8 ▲ C:A=0.4:0.6
◆ C:A=0.6:0.4 ○ C:A=0.8:0.2 ■ C:A=1.0:0.0

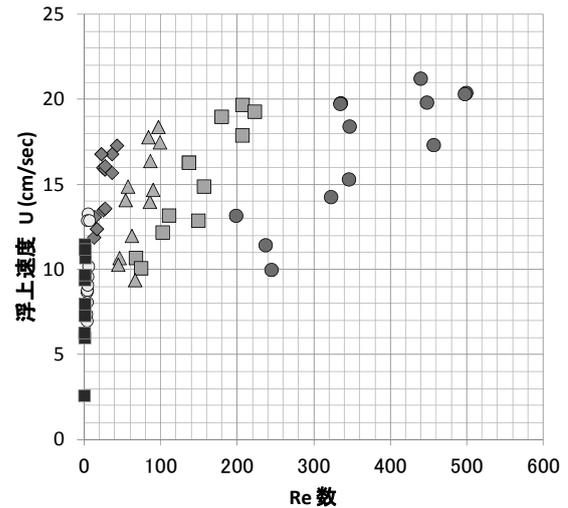


図 4 Re 数と浮上速度

● C:A=0.0:1.0 ■ C:A=0.2:0.8 ▲ C:A=0.4:0.6
◆ C:A=0.6:0.4 ○ C:A=0.8:0.2 ■ C:A=1.0:0.0

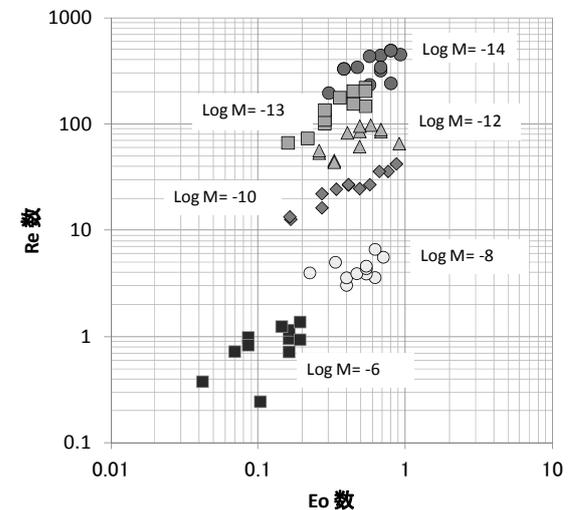


図 5 エトベス数 Eo とモルトン数 M

第 51 卷 第 3 号, 平成 28 年 5 月.

2) 笠原栄司, 例題演習水力学 (増補改訂版), 産業図書, 1994 年 3 月 15 日, 第 37 刷.

3) 片山 智喜, 他, 液-液系二相界面の挙動と物質の研究, 可視化情報学会論文集, Voi. 21 No. 2 (2001 年 2 月)

4) Clift R., J.R. Grace, and M.E. Weber, Bubbles, Drops and Particles, Accademic press, New York, 1978