

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 10 月 5 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360364

研究課題名(和文)油処理剤の水中散布における噴射条件と分散性能に関する研究

研究課題名(英文) Injection Condition and Dispersive Performance During Underwater Injection of Dispersant

研究代表者

原 正一 (HARA, SHOICHI)

独立行政法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：60399524

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：A重油と油処理剤の混合試料を水深3mの水槽の底部から流出させる実験を行い、沈船からの流出油に対する油処理剤の水中散布の分散性能は、油粒の粒径の減少による浮上速度の低下及び拡散量の増加で表現することができた。特に、流出速度と流出ノズルの内径を代表長さとして求めたRe数やWe数と浮上速度の関係、あるいは粘性力係数(We数/Re数)と浮上速度との相関について明らかにした。さらに、浮上する油に対抗して油処理剤を噴射させ、接触率を増すために広口の筒状容器を用い、良好な分散性能を確認した。

研究成果の概要(英文)：The experiment of underwater injection of premixed dispersant with diesel fuel oil has been carried out using water tank of 3 m high. The dispersive performance of dispersant against the discharged oil from sunken vessels can be defined as the reduction of rise velocity due to reduced oil particle size and increase of diffusion volume. The relation among the rise velocity, Weber number, Reynolds number and Viscosity number has been clarified. Further, the injection of dispersant to the rising oil inside the wide mouthed cylinder in order to increase a contact efficiency showed a good dispersive performance.

研究分野：索の動力学 船舶海洋構造物の運動 海洋汚染防止

キーワード：油処理剤 分散性能 油粒の浮上速度 油処理剤・油の比率 We数 Re数 粘性力係数

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、平成 18 年～20 年度までの 3 年計画で「船舶からの油及び有害液体物質の排出・流出による海洋汚染防止に資する研究」を実施した。本研究では、油処理剤による環境影響を漁業被害の観点から油防除支援ツールを開発し、沈船に関しても船体腐食の影響による油流出危険度を求める手法を提示し沈船マップを完成させた。さらに、平成 23 年度からは 4 年計画で「油及び有害液体物質の流出に関する総合的対策の確立に関する研究」を海上技術安全研究所における重点研究として実施する予定で、海難事故等で沈没した船舶からの油流出対応策について研究する。このような経験から沈船からの油流出対応策に関心があり、今回平成 22 年 4 月に発生したメキシコ湾沖の油流出事故における海中での油処理剤散布について詳しく調査研究したいと考えた。

### 2. 研究の目的

海難事故等で海底に沈んだ船舶に搭載された貨物油や燃料油が流出し、周辺の海域に 2 次的環境被害を与える事故に対応して、これまで適用が稀であった海中において油処理剤を効率的に散布する手法を開発し海洋汚染防止に資する。このために油処理剤の海中分散性能を定義する接触性及び分散性について現象面で着目して新しい計測法を研究する。また、油処理剤と油の混合物の挙動モデルを開発し、海上に浮遊する油だけでなく、海中で流出する油に関しても適用可能な新しいシミュレーションツールを開発する。

### 3. 研究の方法

水中における油処理剤散布を模擬できる装置を製作し、実験室で油流出時の油処理剤の分散性能を決定する要因を抽出する。沈船からの油流出を想定して、油流出形態、油の種類、粘度を変化させて、それらに対応する散布ノズル、噴霧形状、散布速度等の散布方

式を検討し、油処理剤の分散性能の定義を確立する。その結果、油処理剤の水中分散効率の向上を図る。

油処理剤が流出油の風化とともに分散、溶解を助長し、その適用の有無で油の移流・拡散の様相が大きく変化する現象を、海中で流出する油に関して挙動モデルを構築してシミュレーションに組み込む。

### 4. 研究成果

油処理剤の水中散布に関する研究は、2010 年以降ノルウェー、アメリカ合衆国で実験的、理論的研究が進んだ。特に、大規模な実験が実施され数多くの解析データが提供された。日本では海底油田等の石油開発環境がないが、浅海域での沈没船から漏出油への対応策として日本の型式承認によって製成された油処理剤が水中における分散効果を有することを確認できた。以下に、その研究成果を箇条書きで記述する。

#### (1) ビーカー試験

ビーカー試験の結果、投入直後では混合試料は水面上に均一な状態を示すが、ガラス棒による攪拌直後では含有率 0%を除き 5%のコーヒー色から処理剤の増加とともに白濁の度合いが増加した。しかし、静置時間 30 分、2 時間となるにしたがい油分は浮上し白濁部分も希薄になっていくことを示した。白濁部分は処理剤の界面活性剤が水と反応した部分であり、処理剤が余剰であることを示していることから、本実験における処理剤の適正な散布量は 5%であるとした。

#### (2) 粒径分布計測

水中散布実験中に採取した試料の油粒の粒径分布を図 1 (処理剤 5%) に示す。採取時間は、実験開始後 30 秒、60 秒、90 秒と終了後 18 時間経過の 4 種類で、それぞれのピークは 105  $\mu\text{m}$ 、50  $\mu\text{m}$ 、80  $\mu\text{m}$ 、60  $\mu\text{m}$  を示した。ビーカー試験における 5%に比べ大きな値を示した理由は、流出速度に起因する攪拌エネルギーが小さいためと考えられる。また、10  $\mu\text{m}$  以下にある小さなピークはビーカー試

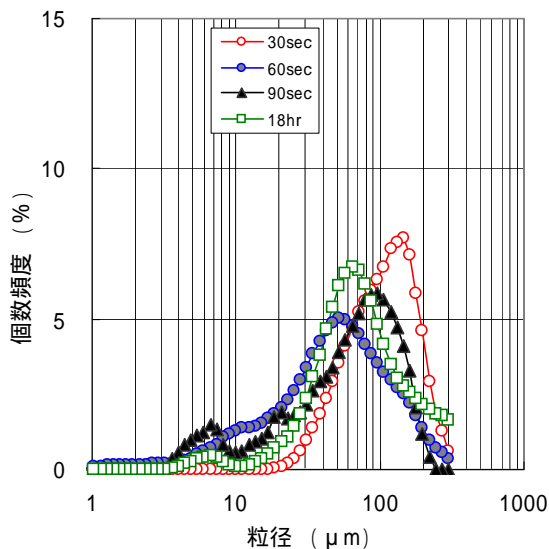


図1 水中散布実験で採取した試料の粒度分布

験時に示した処理剤のみの場合のピークと一致することから、油と反応しなかった処理剤の影響と考えられる。さらに、18時間後に採取した試料の粒度分布のピークは他の試料と同じオーダーであり、18時間程度では油粒の集合による粒径の変化が無いことが分かった。

### (3) 油処理剤と油の混合試料の水中散布実験

PIVによる浮上速度の解析により浮上速度と流出速度の関係を図2に示す。処理剤0%や1%では、流出速度が速くなるとその浮上速度は遅くなる傾向を示した。一方、処理剤が5%では、その流出速度が0.35m/sを超えると浮上速度が極端に遅くなり、ほぼ一定となった。

濃度変位計測法による解析結果の例を図3に示す。これは、実験水槽の上段部分の解析結果で、油粒の形状を反映した濃淡を示した。この時、撮影時の条件(自然光、照明の有無)により解析できる範囲が異なるためその範囲を変え解析を行った。これらの範囲を8段階に区分し、油粒に相当する面積を拡散面積とし流出速度との関係を図4に示す。図2と同様に処理剤5%では、流出速度が0.35m/sを超えると流出速度に依らず拡散面積は一定の値を示した。

ノズル口から流出した直後の油は流出速

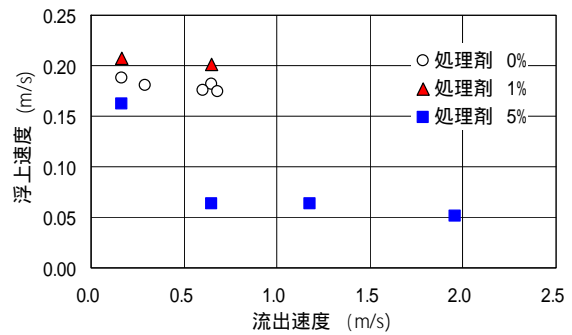


図2 流出速度による浮上速度の変化係

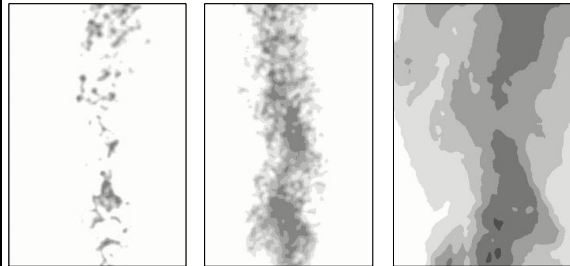


図3 濃度変位法による拡散面積の解析例

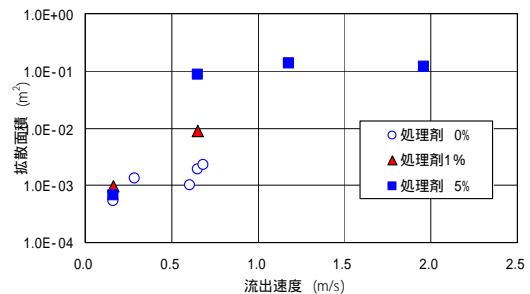


図4 流出速度による拡散面積の変化

度に依存するが、ノズル口から離れると油は界面張力により千切れ、油塊になり、やがて油粒になる。一方、処理剤と反応した油は界面張力の減少により微細化することによって浮上速度が減少し、拡散面積が増加したと考えられる。しかしながら、流出速度が35cm/sを超えても浮上速度が一定の値を示すのは粒径に変化が無いためと考えられる。そのため、浮上速度を遅くするためには攪乱エネルギーを与え油粒の微細化を促進するような方法が必要である。

### (4) 浮上速度と粒径の解析

(1)式で定義される実験定数を含む修正ウェーバー数を用いて、(2)式の浮上速度の推

定式を提案した。処理剤の濃度による浮上速度と粒径の計測結果を(3)式による計算結果と比較して、他の研究者の示した推定結果とともに図5に示した。油のみの場合と処理剤1%の場合の実験値は推定式と良く合致しているが、処理剤5%の場合には実験値のほうが推定値よりも極端に大きくなる。その理由は、油粒同士の干渉や流出速度に起因する周囲流の巻き込みの影響を受けていること考えられる。その影響を少なくするには、水槽の水深を深く、流出速度を遅くするなどの工夫が必要であると考えられる。

$$We' = \frac{W_e}{1 + BV_i \left(\frac{d_{50}}{D}\right)^{1/3}} \quad (1)$$

$$W_{rise} = \sqrt{\frac{4 Ag}{3 C_D} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_w}\right) \sqrt{We'^{-0.6}} \sqrt{D}} \quad (2)$$

$$W_{rise} = \sqrt{\frac{4 d_{50} g}{3 C_D} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_w}\right)} \quad (3)$$

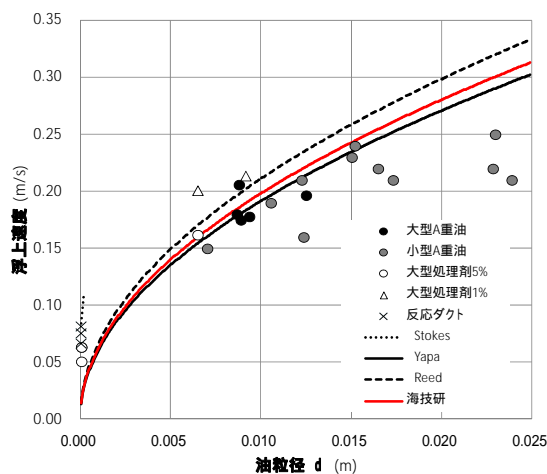


図5 油粒径と浮上速度

#### (5)分散剤の水中散布モデルと拡散解析

流出油の拡散シミュレーションは油に見立てた粒子を散逸させることで表現する。各粒子は、油の密度や体積、海水との接触面積などの情報を保持し、これらの情報から毒性成分の海中への溶解速度が計算され、分散剤散布が無い状況での毒性成分の拡散状況が把握できる。海中での分散剤散布がある場合

は、前述の実験結果から、粒子の浮上速度を0とし、垂直方向の速度成分には、海流の渦拡散係数による影響のみを与えてその影響を表現することとした。また、分散剤の影響を受けた油粒子は、保持する全毒性成分量にユーザーが与える効率を乗じた量が海中に溶解されるとした。図6は東京湾内の海底に沈んだ油タンクに破口が開き、流出し続ける油に対して海中で分散剤を散布した状況を模擬しており、3次元で可視化してある。図には、破口からの流出直後に受ける分散剤の影響を受け、海底付近で漂う毒性成分粒子、海面に向かって浮上する油粒子、海面に到達後、水平方向に拡散する油粒子が描かれている。

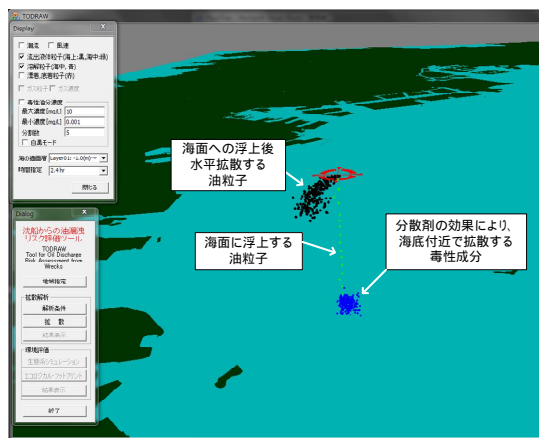


図6 海中流出油の拡散シミュレーション

流出油に対する処理剤の効果を浮上速度の低下と拡散面積の増加と定義し、A重油と処理剤の混合した試料を用いて水中散布に関する実験を行った。その結果、以下のような結果が得られ、処理剤の水中散布の有効性を確認した。

- ・ピーカー試験により処理剤の投入量は5%が適量であり、その粒径分布は30μm付近にピークが存在することを確認した。
- ・GC分析により混合試料へ処理剤の投入量と振とう試験によるイオン交換水中の油分濃度が線形関係にあることを確認した。

- ・水中散布実験により浮上速度の低下および拡散面積の増加を確認し、処理剤の効果を確認した。

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

宮田修、原正一、影本浩、沈船からの流出油に対する油処理剤の水中散布による分散性能に関する研究、日本マリンエンジニアリング学会誌、Vol.49, No.6, 査読あり、2014

[学会発表](計8件)

宮田修、原正一、影本浩、油処理剤の水中散布による流出油粒の浮上速度と拡散に対する効果、平成26年(第84回)日本マリンエンジニアリング学会講演集、査読なし、2014.11.21、海峡メッセ下関(山口県下関市)

油処理剤の水中散布による油粒の浮上速度と拡散面積、宮田修、原正一、影本浩、26年(第14回)海上技術安全研究所発表会講演集、査読無し、2014年6月、東京都三鷹市

Shoichi Hara, Osamu Miyata, Takahiro Majima, Masao Ono, Hideyuki Shirota, Hiroshi Kagemoto, Dispersion Characteristics by Underwater Injection of Dispersant to Heavy Fuel Oil, 37th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar/AMOP, Poster session, 査読無し、2014.6.5、Radisson Hotel (Canada/Canmore)

Shoichi Hara, Osamu Miyata, Takahiro Majima, Masao Ono, Hideyuki Shirota, Hiroshi Kagemoto, Dispersive Performance of Underwater Application of Dispersant to Heavy Fuel Oil, International Oil Spill Conference 2014, Poster session, 査読無し、2014.5.6, Savannah Convention Center (USA/Savannah)

宮田修・原正一・影本浩、沈船からの流出

油に対する油処理剤の水中散布実験、平成25年(第83回)マリンエンジニアリング学会講演集 p.61-62、(グランシップ静岡(静岡県静岡市))

宮田修・原正一・影本浩、沈船からの流出油に対する油処理剤の水中散布実験、平成25年(第13回)海上技術安全研究所発表会講演集 p.67-68、東京都三鷹市

宮田修、原正一、間島隆博、城田英之、小野正夫、影本浩沈船からの流出油対策技術に関する研究、第23回海洋工学シンポジウム、OES-040、査読無し、2012.8、日本大学駿河台キャンパス(東京都千代田区)

Shoichi Hara, Osamu Miyata, Hiroyasu Kifune, Sukekazu Shimonishi, Counter-Measures Against Discharged Oil from Sunken Wrecks, 35th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar/AMOP, Poster session, 査読無し、2012.6.4 Lord Nelson Hotel (Canada/Halifax)

6. 研究組織

(1)研究代表者

原 正一 (HARA Shoichi)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所  
その他部局等・専門研究員  
研究者番号：60399524

(2)研究分担者

宮田 修 (MIYATA Osamu)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所  
その他部局等・主任研究員  
研究者番号：10450678

間島 隆博 (MAJIMA Takahiro)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所  
その他部局等・副系長  
研究者番号：30393690

小野 正夫 (ONO Masao)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所  
その他部局等・主任研究員  
研究者番号：80399526

城田 英之 (SHIROTA Hideyuki)

国立研究開発法人 海上技術安全研究所  
その他部局等・研究グループ長  
研究者番号：40344238

影本 浩 (KAGEMOTO Hiroshi)

東京大学  
新領域創成科学研究科・教授  
研究者番号：40214275