

氏 名	まつざき よしたか 松崎 義孝
本籍（国籍）	岩手県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工 第48号
学位授与年月日	平成26年 9月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当 論文博士
学位論文 題目	海上流出油の移流及び拡散に関する数値計算法の開発
学位審査委員	主査 准教授 小笠原 敏記 副査 教授 船崎 健一 副査 教授 海田 輝之 副査 学長 堺 茂樹

論 文 内 容 の 要 旨

タンカーの海難事故や油井の事故による油流出は従来と比較して減っているけれども、依然日本及び世界各地において発生しており、今後も日本近海において大規模な油流出が発生する危険性がある。国土交通省では大型油回収船と小型油回収船を所有しており、大量の油流出が発生した際には油回収作業を行う。効率よく油を回収するには、海上流出油がいつ、どこに、どの程度漂流するかという情報が必要となる。そこで、著者の所属する港湾空港技術研究所では油回収船による油回収作業の支援を目的とした、海上流出油の移流及び拡散に関する数値計算法の開発に取り組んできた。

海上に流出した油の移流及び拡散を予測するためには、1；油の重力（油と海水の密度差による浮力）と表面張力の影響によって拡がる油膜自身の特性による拡散、2；乱流拡散、3；風、潮汐流、海流といった海表面の流れによる移流、といった大きく3つの成分を再現する必要がある。しかしながら、従来の数値計算法には2つの問題があったと考えられる。

まず油膜自身の特性による油拡散について、既往の研究では有効な数値計算モデルが提案されていなかった。また、平面2次元方向の油の拡がりに関する実験があまり行われていなかったため、経過時間と油膜拡散速度の関係は理論的に推定されていた。そのため、どのように油拡散面積を計算すればよいか不明であった。

2つ目の問題として、油の乱流拡散は従来からランダムウォークモデルを用いて計算されているけれども、計算結果に大きく影響を与える水平乱流拡散係数の設定方法が不明であった。水中の水平乱流拡散係数を求める方法はいくつか提案されているけれども、漂流油のように海水面極近傍に限った拡散係数については、有効な導出方法が存在しない状況にあった。よって乱流拡散を精度よく計算する

ために、海水面極近傍の水平乱流拡散係数を適切に見積もる手法が求められていた。

また、従来の数値計算法は再現性の検証が不十分であったと考えられる。複数の油流出事故の再現計算を行っているモデルは著者の知る限りでは存在せず、1件の油流出事故の再現計算を行っているか、再現計算を行わずモデルの提案のみにとどまっていた。

そこで著者はこれらの問題を解決するために、海上流出油の移流及び拡散に関する数値計算法の開発に取り組んできた。

まず、油膜自身の特性による油拡散に関して、複数種類の油を用いた室内実験を実施し、実験結果と Fay (1969, 1971) のモデルによる油拡散速度を比較した。その結果、Fay のモデルにおける表面張力-粘性領域において油拡散速度が説明できることを示し、実験結果から拡がり係数を導出した。また、Fay のモデルに基づいた新しい数値計算モデルを開発した。数値計算モデルは、表面張力での拡がりを表すランダムウォークモデルと、重力での拡がりを表す斥力モデルを開発した。ランダムウォークモデルについては、静水条件及び定常流条件における油拡散実験結果と比較し、計算結果の評価を行った。

次に、水平乱流拡散係数の導出方法に関して、実海域実験を行い海水面極近傍の乱れを計測し、数値計算における係数の設定方法について検討した。実験は、神奈川県三浦市及び平塚市周辺海域において行った。約 20 個の小型 GPS ロガーを取り付けたゴムマット製の疑似油を漂流させて、疑似油の漂流位置から海水面極近傍の乱れを計算した。実験結果から、疑似油の拡散スケールと油の水平方向乱流拡散係数に相関があることを導いた。また、海水面極近傍のほうが海水中よりも水平方向乱流拡散係数が大きい傾向にあることが分かった。さらに、実験結果から海上流出油の数値計算に用いるための水平方向乱流拡散係数を計算する方法について考察した。

これらの成果を基に、既往研究を参考にしつつ油拡散粒子モデル（英語名：simulation model of OIL transport on water surface by PARI, 通称 OIL-PARI）を開発した。これは海上流出油を粒子の集まりで表現し、移流及び拡散の影響を粒子の移動速度として求めて合成し、その速度で油粒子を移動させて油の動きを表現する数値計算法である。

開発した油拡散粒子モデルを用いて、2007 年に韓国泰安沖で発生したタンカー事故及び 1997 年に東京湾で発生したタンカー事故に伴う油流出事故に関する再現計算を行った。計算結果について、流況、油膜重心及び油膜拡散面積の再現性に関する評価を行った。また、2014 年に東京湾で発生した貨物船事故に伴う油流出事故に関する予測計算を行い、即時に予測が行えることを示した。

最後に、移流外力である風、潮汐流、海流のデータベースを構築し、開発した数値計算法を用いて、即時に漂流予測が行える体制を整えた。また、これらの漂流予測技術を応用して、油回収船が海上で油回収作業を行う際に、海上の油を検

出し、今後の漂流位置を予測して操船を支援する漂流油捕捉システムを開発した。

論文審査結果の要旨

石油タンカーの海難事故や油井の破損事故による油流出は、従来に比べて減少傾向にあるが、日本および世界各地において事故の規模にも依るが毎年発生しており、油回収対策は依然重要な問題と言える。海上で油流出事故が発生した場合、初動体制の構築および防除計画の策定を行う必要性が生じる。その際、数値計算を利用した流出油の漂流シミュレーションの計算結果を用いることは、利便性・経済性から有用な手段と考えられる。また、油回収訓練や実際の回収作業に流出油の拡散や移流の計算結果を活用することができるだけでなく、海流や風の季節的变化と流出油漂着リスクとの関係の算定にも使用することが可能になるものと期待される。

しかしながら、既存の流出油の漂流シミュレーションでは、界面張力や粘性のような油膜特性と油拡散速度との関係を考慮したモデルがなく、流出油の拡散に時・空間スケールで影響を及ぼす水平乱流拡散係数の設定方法も不明確である。さらに、1件の油流出事故の再現計算に適用させるか、モデルのみの提案に留まっておき、複数の油流出事故の再現計算に適用できるようなモデルの構築がなされていないと言った問題がある。

これらの問題点を踏まえて本論文では、複数種の油を用いた室内実験により、油の物性と油拡散速度の関係を検証し、油膜による油拡散のモデル化を行い、拡散速度が油の界面張力と粘性に概ね支配され、油量が拡散速度に及ぼす影響が小さいことを明らかにしている。次に、神奈川県三浦市および平塚市周辺海域にて、複数個の擬似油を漂流させ、擬似油の位置および海水の乱れを計測する大規模な現地実験を実施し、油拡散の時・空間スケールと油の水平乱流拡散係数との関係を導き、水平乱流拡散係数が海水中よりも海水面極近傍で大きくなる傾向を明確にしている。そして、海水流出油を粒子の集合体と見なして、油粒子の動きを表現する油拡散粒子モデルに、実験で得られた油膜自身の特性による油拡散効果および水平乱流拡散係数を組み込んだ流出油の漂流シミュレーションの開発に成功している。さらに、3件の油流出事故との比較計算を実施し、その内の2件の油流出事故では、移流拡散の再現計算を行い、それぞれの事象において油拡散状況を精度良く再現し、複数の油拡散現象の再現計算を可能にしている。さらに、1件の油流出事故では、即時の漂流予測を行い、現地調査で得られた油漂着範囲と同様の計算結果を得ることを示し、即時予報体制に十分適用できるモデルであることを実証している。

以上の結果より、開発された流出油の漂流シミュレーションは、既存のモデルと比較すると油膜自身の特性による油拡散および乱流拡散の計算方法を新規に提案し、実際の複数の油流出事故の再現性が高い点が評価されるものと言える。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名（3編）

海水面における流出油の拡散・移流に関する数値計算法の開発と油流出事故の再現計算，松崎義孝・藤田勇，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.70，No.1，pp.15-30，2014.

海水面極近傍における水平乱流拡散に関する研究，松崎義孝・藤田勇，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.69，No.2，pp.476-480，2013.

油拡散粒子モデルを用いた韓国泰安沖油流出事故の再現計算，松崎義孝・藤田勇，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.67，No.2，pp.431-435，2011.