

<水海技術部>

氷板下に流出した油の拡散挙動に対する界面張力の影響

Effects of Interfacial Tension on the  
Spreading of Oil under an Ice Cover

泉山 耕、宇都正太郎、成田秀明、田崎 亮

平成10年7月

14th International Symposium on Ice

現在、サハリン島北東海域において石油の本格的開発が開始されようとしている。本資源開発は、我が国のエネルギー需給の多角化につながるものとして期待されているが、その一方、石油の開発現場あるいは輸送途上における原油の流出事故による環境の汚染も懸念されている。この海域には、サハリン島東側に沿って強い南向きの海流があるため、一度原油の流出事故が起これば、その被害が北海道を中心とする我が国に及ぶ可能性は大である。油の流出事故が発生した場合、油の時間的・空間的拡散挙動に関する情報は、油の回収及び汚染防除対策にとって最も重要な情報である。しかしながら、この海域は冬季には流水に覆われるが、氷の存在する海域において油流出事故が発生した場合の油の拡散挙動については、通常海域におけるものに比べて研究例が少なく、我が国においてはこの種の知見は皆無と行って良い。特に、氷の下に油が流出した場合は、油の存在領域の特定が困難であり、何らかの方法でこれを推定する必要がある。

本研究では、氷板に覆われた静穏な海域に油が流出し、氷板下面に沿って軸対称に拡散する状態を想定して、油の拡散挙動を考察した。研究の手法は、水槽における実験と理論解析である。水槽実験では、氷海水槽に製氷した氷板の下面の一点から機械用潤滑油を流出させ、水槽底部の観測窓からのその拡散挙動を撮影した。実験結果を Yapa による理論解並びに実験結果と比較したところ、油膜の半径が経過時間の平方根に比例して増加するという、定正的な意味では一致するものの、定量的には差があることが認められた。この差が、Yapa の理論では無視されている。油に働く界面張力の影響にあると考え、これの影響を考慮した新たな理論解を導いた。新理論解によれば、油の流量、密度、粘性係数及び界面張力により与えられる無次元パラメーターにより、氷板下の油の拡散挙動が支配される。Yapa の実験結果と当所における実験結果の違いは、この無次元パラメーターの違いにより説明される。また、油の粘性が油種によって大きく異なることから、新理論解を用いて実際の流出事故を想定した試算を行い、油の粘性の違いが拡散挙動にどのような影響を与えるかを示した。

POSSIBLE RISKS OF OIL SPILLS IN  
THE SEA OF OKHOTSK

オホーツク海での油流出事故の可能性について

成田秀明、山口真裕、田村兼吉

平成10年11月

第22回 UJNR/MFP 会議 論文集

Proceedings of The 22nd

Marine Facilities Panel/UJNR Meeting

1997年1月2日に日本海で発生したロシアタンカー「ナホトカ」号の重油流出事故は、大規模海洋汚染に対する我国の対応能力のさまざまな欠陥を指摘するものとなった。法的制度、緊急事故対応組織、指揮情報システム、外洋むけ油回収船と回収機器の全てに互り、対応能力の不足が点検され、改善の方策が国、地方自治体、汚染防除組織の総力を挙げて検討された。国際海事機構 IMO の1990年の OPRC 条約に基づき、日本海周辺諸国の外洋油流出事故対応に関する相互協力協定が結ばれ、「北西太平洋行動計画」という協力体制が構築されつつある。米国、日本及びロシアによる汚染防除の演習が1998年5月にオホーツク海南部で実施された。

現在進行中の二つのサハリンプロジェクトは、21世紀初頭に本格的な石油・ガスの生産に入り、オホーツク海を10余万トン級の大型原油タンカー、LNG タンカーが通年頻りに運航することがほぼ確実である。冬季に結氷するオホーツク海は、季節風やそれに因って駆動される動きの早い流水のため、船舶の運航が大きく阻害される。それゆえ、海上交通の安全確保および油汚染防除のための備えを緊急に進める必要がある。そのためには、バルト海諸国が持つような航行支援体制の整備、船舶構造設備の規則の強化、氷況に応じた運航技術の開発などの予防的的制度とともに、流水域で使用できる油拡散・風化の予測技術や回収技術の開発が必要である。

流水域油汚染の可能性と対策について  
 Preparedness for Oil Spills in Pack Ice  
 成田秀明、山口真裕、田村兼吉、在田正義  
 平成11年2月  
 第14回 オホーツク海と流水に関する  
 国際シンポジウム講演要旨集

97年1月に日本海で突発したナホトカ号による大規模油流出事故は、我国の緊急時対応能力の欠陥を暴露した。この結果、法制、組織、装備、教育訓練等の面での改善措置が執られたが、それは、通常海域に対するものであり、これから発展が予想されるオホーツク海の油汚染の可能性への配慮を欠くものである。サハリンプロジェットの進捗は当面順調であり、99年秋以降生産プラットフォームからの原油輸出が開始される。本格的生産は2003年以後とされ、サハリン南部の輸出基地から、大型の油タンカーとLNGタンカーを使って原油とLNGがアジア諸国向けに輸出される予定である。

この大規模な経済開発の進展にともない、海洋油流出のリスクも増大する。経済的見地より、冬季も生産・輸送活動が行なわれると考えられ、その結果流水季でも、油井や船舶および積み込み基地での油流出のリスクが高まる。特に、流水季に大型船舶をこの海域で運航するのは未曾有のことであり、極めて大きなリスクに挑戦することになる。

この論文では、主として流水季のオホーツク海での船舶運航上の問題に焦点を当て、油流出のリスクを論じ、主たる流出源として石油生産現場と船舶の事故を考え、それぞれの場合の油流出の成りゆきを想像し、対応のあり方を考える。現在は、流水がある場合の対応は殆どなにも為すすべがないが、今後時間を掛けてどのような備えを固めて行くべきかについていくつかの提案を示す。

氷海に於ける塗膜の摩擦・摩耗特性  
 Friction-Wear Characteristics of Paint  
 Coating Films at Frozen Sea  
 北村 茂、前田利雄、高島逸男、田村兼吉  
 千田哲也、在田正義、永井昌憲、田辺弘往  
 平成11年2月  
 第14回オホーツク海と流水に関する  
 国際シンポジウム講演集

氷海域は、厳しい腐食環境である。氷海域を航行する船舶や氷海域で稼働する海洋構造物に使用される氷海用塗膜は、海水や流水との摩擦、摩耗に十分耐える必要がある。塗膜と海水との摩擦、摩耗に関する研究は多く報告されている。本研究は塗膜と海水との摩擦、摩耗に注目し、塗膜の表面粗さ、温度及び鉛直応力と摩擦係数の関係を求めると共に、塗膜の水摩擦による摩耗量を調べた。

供試塗膜には超厚膜エポキシ、タールエポキシ、ウレタンエラストマー、ガラスフレーク系塗料の4種類を用いた。また、摩擦係数の測定は水平に固定した供試板上の水試片を移動させた時の抵抗力を高感度低容量荷重計で計測することにより求めた。

摩擦係数は塗膜の種類だけでなく、その表面粗さと氷の温度、圧力等の影響を受けることがわかった。塗膜上に氷柱を一定時間置いたときに、圧力溶融によって生じた水の層で潤滑されるという考えがしばしば行われてきた。各塗膜の表粗さ Ra はウレタンエラストマー、タールエポキシ、ガラスフレーク、超厚膜エポキシの順に大きくなっていったが、溶融水量はガラスフレーク、超厚膜エポキシ、ウレタンエラストマー、タールエポキシの順となった。氷柱の鉛直応力が0.63~0.66kPa、-7℃の場合、摩擦係数は超厚膜エポキシ、ウレタンエラストマー、ガラスフレーク、タールエポキシの順に大きくなり、氷柱の移動速度の影響はあまり認められなかった。その結果、摩擦係数と表面粗さ、溶融水量とは必ずしも対応しなかった。

摩耗試験は塗膜の単離膜を平板回転式摩耗試験機の回転板に取り付け、回転板上の2ヶ所で氷の角柱を押しつけて供試材表面を摩耗させて行うもので、試験板を5 r. p. m. で回転させた。試験中にある時間毎に試験を中止し、摩耗量の測定を行った。氷柱は氷厚70mmの海水の氷板から切り出し、側面を摩耗面として試験に供した。

摩耗量は塗膜の材質に強く依存し、表面粗さが試験初期に摩耗量にやや影響を及ぼすが、それ以後はほとんど影響しないことがわかった。氷に対する耐摩耗性はガラスフレーク系塗料が最も優れた結果を示し、超厚膜エポキシ、ウレタンエラストマー、タールエポキシの順であった。

<大阪支所>

Nondestructive Evaluation of Fatigue Damages in  
FRP Using Ultrasonic Waves

超音波による FRP の疲労損傷の非破壊評価

津島 聰、小野正夫

平成10年4月

U. S-Pacific Rim Workshop on Composite  
Materials for Ship and Offshore Structures

FRP 船体の信頼性や安全性を維持するためには疲労損傷の状態を監視し、き裂の進展を未然に防ぐ必要がある。FRP の疲労損傷は樹脂層のマイクロクラックの発生、樹脂・繊維界面の剝離、繊維の破断と進展する。このような疲労損傷を超音波のエコー高さの変化から評価した。

試験体はチョップドストランドマット (M) とロービングクロス (R) を交互に積層した MR 構成の GFRP を用いた。樹脂は不飽和ポリエステルとビニルエステルの二種類とした。形状・寸法は長さ250mm, 幅16mm, 板厚4.4~5.8mm のダンベル型である。疲労の程度が疲労寿命 ( $N_F$ ) の約30、60及び90%の試験体をそれぞれ一本作製した。これらの試験体を用いて次の実験を行った。

- 1) エコー高さの比較：疲労試験前後の試験体を用い、第一R層 (R1) からのエコー高さの比較を行った。
- 2) ヤング率の測定：疲労試験前後のヤング率を音響法で測った。
- 3) 引張破断強度：疲労試験を受けない材料と試験後の材料の破断強度を測定した。
- 4) き裂密度の測定：疲労試験後の試験体の樹脂層のマイクロクラックの密度  $\rho$  (本/cm) をエッジワイズ方向から光学顕微鏡 (100倍) で測定した。

実験の結果、次のことがわかった。1) 疲労による  $\rho$  の増加とともに R1 エコー高さ ( $\Delta$ hdB) は線形に減少した。2) ヤング率と  $\rho$  との関係は N. Laws らの式で近似できた。3)  $\rho$  の増加による破断強度 (非破壊試験後実施) の減少は小さかった。しかし、荷重繰返し数  $N \times 10^6$  の材料では強度は大きく減少した。4)  $N-\Delta h$  の関係はばらつきが大きかった。

カムテック訪問記

Visit Report of Recovered Oil Burning at KAMTEK

在田正義

平成10年12月

海洋工学研究所

単行本「重油汚染—明日のために」

単行本「重油汚染—明日のために」の一部として、回収された油の最終処理について述べる。本書の主旨は、「世界の石油の約9%が日本で消費され、石油なしには生活出来ない現状にも関わらず、石油生産とその利用の実態は知られていない。ナホトカ号重油流出事故は、普段隠されている石油利用の一面が露見すると同時に、日本の緊急事態対応に問題点があることを明らかにした。日本近海には事故多発で悪名高い便置籍船を含め多くの外国船が運航されており、大規模油流出事故が再び起こることを想定して対策を講じておく必要がある。このため、ナホトカ号事故の全容をまとめ、事故を未然に防止する国際的枠組み作りや、生態系の視点に立ったの事故処理、石油文明に対する考察についても触れる」というものである。

「カムテック訪問記」では、回収した油の最終的な焼却がどのように行われているかを、焼却工場の現場レポートとして報告した。訪問したのは、株式会社カムテックの福山工場である。ここでは、回収された油の約半分に相当する22,000トンが処理された。ドラム缶に詰めて送られたり、ガット船でばら積みされたり、大型回収船清龍丸で直接持ち込まれ、全て焼却処分されることになった。油は流出して海水にもまかれると吸水し、一見油のかたまりのようであっても、油分はせいぜい20%程度となる。カムテックに持ち込まれた“油”には、各種の油回収用機材や容器、衣服等と共に大量の海水が含まれており純粋の油分は精々7%程度であったから、燃焼には相当のエネルギーを補給することになった。この工場は産業廃棄物の焼却処理をしているので、“油”に産業廃棄物を混ぜ、新たな燃料を出来る限り使わないよう工夫していた。持込み油の全量処理に1年以上を予定している。現在、回収兼処理船が必要であるが、日本には一隻もないことが明らかになった。

船用玉形弁における配管より受ける外力の影響

The Effect of External Force through  
Pipes on Marine Globe Valves

伊飼通明、綾 威雄、畑中哲夫、太田正博

平成10年11月

日本船用機関学会 第61回学術講演会

講演前刷集

船用弁規格の国際整合性が問われることとなり、安全率8以上を基準にISO規格に適合した弁の最適設計を行ってきた。内圧のみ作用する場合を基準に設計を行ってきたが、さらに軽量化を図るとなると、船用弁の設置時や航行時の揺れ等により、配管を通して船用弁に外力が作用する場合が考えられ、内圧のみで最適設計することに問題が生じる場合もある。このため、船用弁について配管より受ける外力の影響を実験・数値解析により調べた。

実験では、呼び径をすべて80とした管、弁を用い、固定部分、短管（長さ15cm）、船用玉形弁（材質FCD400）そして3mの配管と順次接続し、配管の端に外力を作用させて行った。船舶内の船用弁は通常、Uボルト等で固定され、自由度はある。しかし、船体付弁、燃料タンク付弁等では弁の一方が船体に固定されているので、自由度はない。そこで、最も条件の厳しい船体付・燃料タンク付弁等を模擬した実験装置とした。実験は、弁に対して外力を水平方向及び垂直方向に作用して行った。外力は変位と荷重の2種類で与えた。また、弁箱胴内壁側に生じる応力を知るためにFEM解析も行った。

実験・数値解析により以下のことが分かった。

- (1) 弁箱胴に水平にたなが存在するため、水平方向に比較して垂直方向に外力が作用した場合の方が、玉形弁はたわみ易く、強度的に弱い。
- (2) 玉形弁に外力が作用した場合の大きな応力の発生場所であるが、垂直方向上向きの外力の場合は円筒部付け根部分の下側であり、水平方向の外力の場合は円筒部付け根部分の側面側である。
- (3) 船用弁に内圧のみ作用した場合を基準に弁を設計してきたが、同時に外力が作用するとさらに大きな応力が発生し、弁の安全率の低下が考えられる。従って、外力も考慮して、弁を設計する必要がある。

<東海支所>

Intelligent information data base of flow boiling  
characteristics in once-through steam generator  
for integrated type marine water reactor.

一体型船用炉用貫流蒸気発生器の流動沸騰特性に  
関する知的情報データベースの開発

稲坂富士夫、成合英樹

平成10年10月

First Korea-Japan Symposium on Nuclear  
Thermal Hydraulics and Safety.

Proc. of the above mentioned symposium.

船舶技術研究所で過去に実施した一体型船用炉用貫流蒸気発生器の熱流動に関する我が国唯一の貴重な実験的知見を、知的情報データベースプログラムとして構築した。プログラムは、Visual Basicを用い、windows用アプリケーションとして創られた。プログラムには、次のような機能が盛り込まれている。(1)任意の設計条件に対するヘリカルコイル式貫流型蒸気発生器の熱流動静特性解析と不安定流動判別、(2)実験データの解析と比較、(3)静特性データベースの検索とグラフ表示、(4)不安定流動特性データベース検索と不安定流動発生境界条件のグラフ表示、(5)実験装置の系統図、主要目などの表示、(6)ヘルプ、プリンター設定、印刷などのメニューバー。

本報告では、主として蒸気発生器の静特性解析について述べる。伝熱管内における流体の予熱部、サブクール沸騰部、飽和沸騰部、過熱部の各長さ、温度・圧力分布、熱流束分布などの解析結果は、質量速度が非常に大きい場合の二相流部圧力損失を除き、実験結果と非常に良く一致した。本プログラムは、windows用アプリケーションとして利用可能であり、次世代一体型船用炉のみでなく、ヘリカルコイル式蒸気発生器を持つ小型原子炉の設計にも有用であることが期待される。