

氷海域に流出した原油の回収方法に関する研究

学位論文内容の要旨

1. 研究の背景

現在サハリン島東沖のオホーツク海大陸棚において、原油開発が進行中である。1999年夏には原油の生産がはじまり、汲み上げた原油は生産基地からパイプラインを通じて貯蔵タンカーに送られ、さらに10万DWTクラスのタンカーに積み替えて韓国に搬出された。公表された計画では、タンカーによる積み出しは流氷の影響のない7月～11月の間を予定しており、プロジェクトの進行に伴って将来的にはパイプラインを用いた通年での生産が計画されている。このプロジェクトが行われているサハリン沖は、北海油田と同程度の高波浪に加え、地震危険度も高い。また、オホーツク海は北半球における流氷の南限となっており、原油開発はきわめて厳しい自然条件のもとで進められている。通年の原油生産が行われるようになると、夏期だけでなく冬期における流出事故に対しても危険性が高まってくる。事実、生産開始後直後の1999年10月には、波浪によって積み出しタンカーへの送油管が離脱し、小規模の原油流出事故が発生している。

我が国では初めての外海での本格的油流出事故となったナホトカ号事故では、冬期日本海の厳しい海象条件では、既存の油回収方法・資材・機材の多くが無効であるか、著しく効率が低下することが露呈した。流氷期のオホーツク海の海中で流出事故が発生した場合、低温と流氷の存在により、汚染の防除活動はナホトカ号事故のときよりもさらに困難かつ過酷なものとなる。

氷盤下の海中で流出した原油は、浮上して氷盤の下に広がる。オホーツク海では氷盤の厚さが不均一であるために、原油は氷盤下面のポケット状になったところに捕らえられ、氷盤の移動とともに漂流していくものと考えられる。この場合原油は大気に直接触れないため蒸発は進まず、毒性のある揮発成分を保ったままの状態を維持する。氷盤が広範囲に連続している場合、周期の短い波浪は減衰されるため、波による擾乱はわずかで、乳化も進まない。また原油層の下の海水の結氷も起こるため、原油層を含んだサンドイッチ状の氷盤が形成される可能性もある。

2. 研究の目的

流氷期における原油流出事故に備え、氷海域における流出原油の回収技術を開発することは、北海道のオホーツク沿岸地域における重要な課題として注目されている。本研究は、特に氷盤の下に流出した原油を対象として、冬期のオホーツク海を対象として、低温環境下に流出した原油の物性を明らかにし、原油と氷盤を分離する方法、および低温環境下で原油を海面から効率的に分離・回収する方法を開発することを目的としている。

3. 研究の概要

本研究は、1) オホーツク海における原油流出事故の危険性と想定被害の把握、2) 冬期低温条件下における原油の変質特性、3) 平坦な氷盤下に広がった原油と氷盤の分離方法、4) Pack Iceの下にトラップされた原油と氷盤の分離方法、5) 低温環境下での海面上の原油の回収方法、に関する研究より構成している。

現在、サハリン原油開発にともなう原油流出事故に対する不安が、沿岸自治体などに高まっている。しかし、想定される原油流出事故時の状況や漂流原油の動向については、具体的に把握されていなかった。そこで序論に続く第2章では、サハリン原油を積んだタンカーによる原油流出事故の危険性を指摘し、流出事故のシナリオを想定して流出油の拡散漂流解析を行った。その結果より、気象条件によって流出原油は北部日本海から宗谷海峡沿岸、オホーツク海沿岸の広い範囲に漂着する可能性のあることを指摘した。また、基本的な被害の概要と水産被害額・防除費用について検討した。

第3章では、低温環境下における原油の変質特性、および原油と氷盤との干渉特性について実験を通じて研究した。一般に、海面上に流出した原油は揮発成分の蒸発につれて急速に粘性を増大させるとともに、波浪などの擾乱をうけて海水と混ざりあって乳化し、ムース状となる。冬期の低温状態では、原油の密度および粘度が増大するとともに、原油の蒸発速度が遅くなると言われている。しかし、流氷期の低温状態における原油の物性および風化・変質過程について具体的には明らかにされていない。そこで、サハリン原油と性状が似ていると言われている原油を用いた実験を通じて、冬期オホーツク海を想定した低温状態における原油の密度・粘度を確認するとともに、原油と氷盤の界面の特性について明らかにした。さらに、同じ原油を用いた実験により、低温環境下における原油の蒸発特性、および蒸発にともなう密度・粘度の変化特性を明らかにした。また乳化によるムースの生成実験を行い、その生成条件および物性について検討した。以上より、氷盤下に流出した原油の物性、および回収作業において考慮すべき原油特性の範囲を得た。また原油と氷盤の相互干渉として、氷盤中への原油の滲透特性に関する実験を行い、氷盤の透水係数と滲透量の相関特性を明らかにした。

氷盤の下に拡散した原油を回収する技術として、北欧やカナダなどで、氷盤に窄孔して原油を吸い上げる方法、氷盤を破碎した後ロープモップ式やドラム式回収装置を用いる方法などが研究途上にある。これらは比較的平坦で移動の少ない連続氷を対象としているため、移動が活発で不均等なオホーツク海の流氷には適用困難であると考えられる。第4章では、平坦な氷盤下の原油と海水の間に相対速度を与えることにより、原油と氷盤を分離する方法を提案し、必要な条件を明らかにした。これは、アイスプームの両端を2隻の船で曳航して氷盤群を曳引することにより、氷盤下の油と海水の間に相対速度を与え、油を氷盤から分離する手法を想定したものである。研究では、水槽実験を通じて油と海水のせん断応力、油と氷盤の摩擦係数などを明らかにするとともに、氷盤と油を分離するために必要な相対速度と油の粘性などを明らかにした。また、空気泡を噴出させて氷盤と油層の間に空気層を設けることにより、より容易に分離できることを示した。

第5章では、オホーツク海の流氷のように厚さや形状が不均等で不規則な底面となっているPack Ice群の下に流出し、氷盤底面の凹部にトラップされた原油について、原油を氷盤から分離する方法について検討した。その結果、平坦氷盤の場合と異なり、相対速度だけでは氷盤と油を完全に分離することは困難であること、相対速度を与えながら、油層の下から噴出して形成した空気層の厚さを増大することによってトラップされた油のほとんどを氷盤凹部から分離できることを示した。

冬期日本海におけるナホトカ号事故の場合では、ガット船によるバケットを使った回収が効果的であった。しかし多量の海水も同時に採取されたため、その処理が大きな問題となった。第6章では、低温環境下において、氷盤から分離した原油を海水と分離して回収する方法として、孔をあけたバケットを提案した。バケットにあける孔の形状にはスリットと円孔を取り上げ、流出直後の低粘度の油から風化の進んだ高粘度の油まで、回収する油の粘度に応じて孔の寸法、間隔、板の厚さを変更することにより、水の排出時間、油の回収率を最適化する方法を示した。また、1度の作業で水面に広がっている油をより効率的にバケット内に取り込むための改良を提案し、その効果を実験的に確認した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 教 授 藤 田 睦 博
副 査 教 授 板 倉 忠 興
副 査 助 教 授 山 下 俊 彦

学位論文題名

氷海域に流出した原油の回収方法に関する研究

現在サハリン島東沖のオホーツク海大陸棚において、原油開発が進行中である。1999年夏には原油の生産がはじまり、汲み上げた原油は生産基地からパイプラインを通じて貯蔵タンカーに送られ、さらに 10 万 DWT クラスのタンカーに積み替えて韓国に搬出された。公表された計画では、タンカーによる積み出しは流氷の影響のない 7 月～11 月の間を予定しており、プロジェクトの進行に伴って将来的にはパイプラインを用いた通年での生産が計画されている。このプロジェクトが行われているサハリン沖は、北海油田と同程度の高波浪に加え、地震危険度も高い。また、オホーツク海は北半球における流氷の南限となっており、原油開発はきわめて厳しい自然条件のもとで進められている。

氷盤下の海中で流出した原油は、浮上して氷盤の下に広がる。オホーツク海では氷盤の厚さが不均一であるために、原油は氷盤下面のポケット状になったところに捕らえられ、氷盤の移動とともに漂流していくものと考えられる。この場合原油は大気に直接接触れないため蒸発は進まず、毒性のある揮発成分を保ったままの状態を維持する。氷盤が広範囲に連続している場合、周期の短い波浪は減衰されるため、波による擾乱はわずかで、乳化も進まない。また原油層の下の海水の結氷も起こるため、原油層を含んだサンドイッチ状の氷盤が形成される可能性もある。

本研究は、1) オホーツク海における原油流出事故の危険性と想定被害の把握、2) 冬期低温条件下における原油の変質特性、3) 平坦な氷盤下に広がった原油と氷盤の分離方法、4) Pack Ice の下にトラップされた原油と氷盤の分離方法、5) 低温環境下での海面上の原油の回収方法、に関する研究より構成されている。

現在、サハリン原油開発にともなう原油流出事故に対する不安が、沿岸自治体などに高まっている。しかし、想定される原油流出事故時の状況や漂流原油の動向については、具体的に把握されていなかった。そこで序論に続く第 2 章では、サハリン原油を積んだタンカーによる原油流出事故の危険性を指摘し、流出事故のシナリオを想定して流出油の拡散漂流解析を行った。その結果より、気象条件によって流出原油は北部日本海から宗谷海峡沿岸、オホーツク海沿岸の広い範囲に漂着する可能性のあることを指摘した。また、基本的な被害の概要と水産被害額・防除費用について検討した。

第 3 章では、低温環境下における原油の変質特性、および原油と氷盤との干渉特性について実験を通じて研究した。一般に、海面上に流出した原油は揮発成分の蒸発につれて急速に粘性を増大させるとともに、波浪などの擾乱をうけて海水と混ざりあって乳化

し、ムース状となる。冬期の低温状態では、原油の密度および粘度が増大するとともに、原油の蒸発速度が遅くなると言われている。そこで、サハリン原油と性状が似ていると言われている原油を用いた実験を通じて、冬期オホーツク海を想定した低温状態における原油の密度・粘度を確認するとともに、原油と氷盤の界面の特性について明らかにした。さらに、同じ原油を用いた実験により、低温環境下における原油の蒸発特性、および蒸発にともなう密度・粘度の変化特性を明らかにした。また乳化によるムースの生成実験を行い、その生成条件および物性について検討した。以上より、氷盤下に流出した原油の物性、および回収作業において考慮すべき原油特性の範囲を得た。また原油と氷盤の相互干渉として、氷盤中への原油の滲透特性に関する実験を行い、氷盤の透水係数と滲透量の相関特性を明らかにした。

氷盤の下に拡散した原油を回収する技術として、北欧やカナダなどで、氷盤に窄孔して原油を吸い上げる方法、氷盤を破碎した後ロープモップ式やドラム式回収装置を用いる方法などが研究途上にある。これらは比較的平坦で移動の少ない連続氷を対象としているため、移動が活発で不均等なオホーツク海の流氷には適用困難であると考えられる。第4章では、平坦な氷盤下の原油と海水の間に相対速度を与えることにより、原油と氷盤を分離する方法を提案し、必要な条件を明らかにした。これは、アイスブームの両端を2隻の船で曳航して氷盤群を曳引することにより、氷盤下の油と海水の間に相対速度を与え、油を氷盤から分離する手法を想定したものである。研究では、水槽実験を通じて油と海水のせん断応力、油と氷盤の摩擦係数などを明らかにするとともに、氷盤と油を分離するために必要な相対速度と油の粘性などを明らかにした。また、空気泡を噴出させて氷盤と油層の間に空気層を設けることにより、より容易に分離できることを示した。

第5章では、オホーツク海の流氷のように厚さや形状が不均等で不規則な底面となっている Pack Ice 群の下に流出し、氷盤底面の凹部にトラップされた原油について、原油を氷盤から分離する方法について検討した。その結果、平坦氷盤の場合と異なり、相対速度だけでは氷盤と油を完全に分離することは困難であること、相対速度を与えながら、油層の下から噴出して形成した空気層の厚さを増大することによってトラップされた油のほとんどを氷盤凹部から分離できることを示した。

冬期日本海におけるナホトカ号事故の場合では、ガット船によるバケットを使った回収が効果的であった。しかし多量の海水も同時に採取されたため、その処理が大きな問題となった。第6章では、低温環境下において、氷盤から分離した原油を海水と分離して回収する方法として、孔をあけたバケットを提案した。バケットにあける孔の形状にはスリットと円孔を取り上げ、流出直後の低粘度の油から風化の進んだ高粘度の油まで、回収する油の粘度に応じて孔の寸法、間隔、板の厚さを変更することにより、水の排出時間、油の回収率を最適化する方法を示した。また、1度の作業で水面に広がっている油をより効率的にバケット内に取り込むための改良を提案し、その効果を実験的に確認した。

これを要するに、著者は氷海域に流出した原油の風化過程及び海水への浸入機構と氷盤下に流出した原油の回収方法について多くの知見を得たもので、氷工学、海洋工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。