

# PS-25 沈船タンクからの高粘度重油の効率的回収法

海洋開発系 \*小野正夫 環境・動力系 原正一、宮田修  
東京海洋大学 木船弘康 日本サルヴェージ株式会社 下西助和

## 1. はじめに

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は、放置すると重大な環境被害をもたらす怖れがあるため回収することが望まれている。しかし、水温の低い海底ではこれらの油の粘度は高くなり、回収に困難を極めることが少なくないのが現状である。このため、これらの油の粘度を下げることで、回収作業やサルヴェージ作業の効率化が期待できる。そこで、本研究では高粘度の重質油を搭載した沈船からの効率的な残存油回収手法を開発するために、新たに着目した電磁誘導加熱法を利用して、模擬タンクのタンク外壁面及び重油排出管の加熱実験を実施し、効果的な加熱手法及び、回収効率を検討した。さらに、数値シミュレーションによる計算を行い、実験結果と比較し、流動化についての検証を行った。

## 2. 実験方法

### 2. 1 重油と水の置換法による実験

重油の回収効率を求めるための基礎的実験として、沈船を模擬した重油タンクにC重油を満ちし、一定量の水を貯めたグラビティタンクから水圧によってタンク内の重油を水と置換させ、その時の重油回収量の時間変化を計測して油の回収効率（単位時間当たりの回収量）を求める実験を行った。自然置換によってタンクから排出した重油の回収量は、回収タンクの重量を計測して求めた。計測時間は、重油タンクの水の配管入口に取り付けた弁を開放した時刻を回収開始とし、回収した重油に水が混合し始めた時刻を回収終了とした。

実験に使用した模擬タンクの寸法は、 $0.6 \times 0.6 \times 0.6$  m、板厚が6mm、天板板厚は12mmである。タンクに内部には、重油の流動状態を調べるために温度センサーを設置した。タンクを沈める水槽は、当所の回流水槽（計測部寸法:幅0.9m×深さ1.2m×長さ4m、水深1.1m）を用いた。図-1に実験装置の概念図を示す。

### 2. 2 電磁誘導加熱法による実験

新たな回収方法として、模擬タンクの外側の鋼板に電磁誘導加熱用コイルを当てて加熱することでタンク内の重油を加熱し回収する実験を行った。電磁誘導加熱法による加熱は、ゴムマットに取り付けたワークコイルをタンク天板に磁石で固定し、高周波インバーターを用いてコイルに渦電流を発生させて行った。ワークコイルは、 $0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ の四角形の中に渦状に配置したものを用意した。ワークコイルによる加熱量の制御

は、負荷電力量を一定（400W～4000W）にして行い、重油回収前のタンク予熱時間を2時間と4時間にして油の伝熱効果を計測した。

タンクの重油回収配管の加熱は、鋼製配管に100mmの長さでコイルを2重巻きに直接巻き付けたものを用いた。両端のフランジは非磁性体であるSUS製にして電磁誘導加熱の影響がないようにした。図-2にマット及び配管に設置したワークコイルの写真を示す。加熱量の制御方法は、マットの場合と同様である。重油の流動化の効果は、タンク内の温度分布を計測し、加熱の有無による回収効率の結果を比較して重油の流動化の効果进行调查した。

### 2. 3 実験パラメータ

実験パラメータとして、重油回収用の水平配管長さL（ $4\text{m} \cdot 2\text{m}$ ）、水圧用の垂直配管長さh（ヘッド差： $2\text{m} \cdot 4\text{m}$ ）及び重油回収用の配管径d（ $\phi 25\text{mm} \cdot \phi 32\text{mm}$ ）をそれぞれ2種類ずつ変化させた。また、加熱時のタンク内及び回収配管の重油の温度分布を調べるために、重油タンク内に29箇所の温度センサー（シース型熱電対）を配置した。使用したC重油の温度に対する密度及び粘度については、比重計及び粘度計測装置により求めた温度変化に対する計測値から計算した。

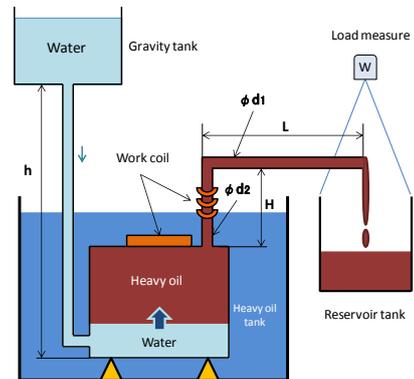


図-1 試験装置概略図



(a) マットタイプ



(b) パイプタイプ

図-2 電磁誘導加熱用コイル

### 3. 試験結果

#### 3.1 タンク排出管重油の温度の推移

水と油の置換のみの実験と電磁誘導加熱法で加熱した場合の実験を行った結果、水と油の置換のみの場合は、油の温度によって回収時間に差が現れた。配管径  $\phi 25\text{mm}$ 、配管長  $4\text{m}$ 、水圧ヘッド  $4\text{m}$  の場合、夏場の平均油温  $27.4^\circ\text{C}$  と冬場の平均油温  $11.8^\circ\text{C}$  では回収効率に約  $6.5$  倍の差が生じることが確認できた。マットタイプでタンク上部天板の加熱を行った場合は、加熱しない場合より回収効率は向上したが、タンク内の油は加熱付近傍のみ油温を上昇させるにとどまった。タンク側面の加熱実験では油の流動が生じるが、天板の加熱だけでは自然対流伝熱による油の流動が生じなかったため、タンク内の油全体を加熱できなかったと考えられる。タンクの油排出配管を加熱した場合は、油が配管を通過する際に、加熱された配管の熱損失が少ないため効果的に加熱され回収効率が高くなった。水槽内で加熱された配管の水との接触部分は、負荷電力  $1000\text{w}$  の場合には水が沸騰した。また、配管は金属であるため熱が伝わり、熱損失の少ない空気中にある配管の温度は  $40^\circ\text{C}$  近くに上昇した。このことが今回の実験での回収時間の短縮に効果を示した要因と考えられる。

#### 3.2 油の回収効率の推定

図-3 は、横軸に負荷電力をとり、縦軸に同一実験条件での加熱なしの場合との回収効率の比をとったものである。このため、加熱電力が零の場合に縦軸は  $1.0$  としている。パイプ加熱の場合をみると、電力量に比例して回収効率が上昇しているが、マット加熱の場合は電力上昇の効果は非常に小さいことが分かった。パイプ加熱とマット加熱を併用すると回収効率が加熱なしの場合と比較して  $2.6$  倍程度まで向上した。

#### 3.3 数値解析

タンク内の油の流動状態の可視化を図るために、アンシス・ジャパン社の熱伝導数値解析ツール (FLUENT) を使用して油タンク内の重油の熱流動解析を行った。油回収時の回収施設をモデル化して、タンク内の流れ、油回収量などの解析を行った。計算モデルは、装置が対象であるためハーフモデルとし、重油タンクの出入り口付近は、計算精度を確保するためにメッシュを細かくした。メッシュ総数は、 $43048$  である。モデルの構成は、水圧ヘッドタンク、重油タンク、タンク間を繋ぐ配管系、重油タンクから排出するための配管系からなる。図-4 に、配管長： $4\text{m}$ 、配管径： $\phi 25\text{mm}$ 、水圧ヘッド： $4\text{m}$ 、水温  $25.1^\circ\text{C}$ 、回収前加熱： $400\text{W} \cdot 2$  時間の場合の条件で計算したタンク内重油の温度分布を示す。重油回収開始後、 $1000$  秒後の様子を表示した。タンク内の温度は、天板の加熱部分の裏側の極薄い層のみが上昇し、その他の領域の温度はほとんど変化がない。加熱時の重油回収効率の数値計算結果は、実験

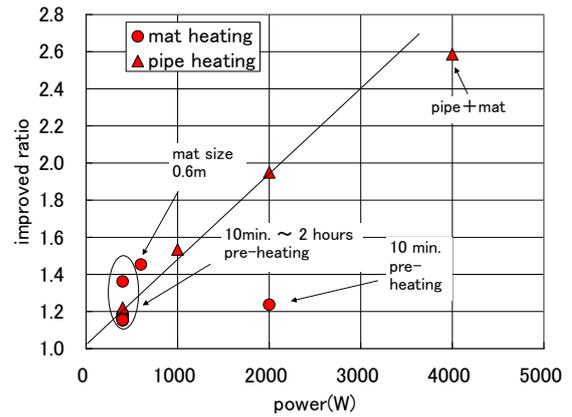


図-3 加熱量と回収効率

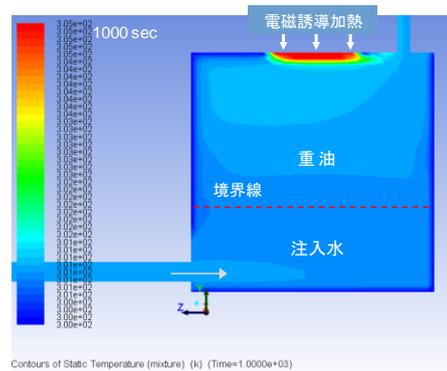


図-4 数値解析によるタンク内温度分布計算例

値よりも  $30\%$  程度小さかった。重油回収開始直後に加熱部裏面の重油温度は著しく低下するが、数値計算ではそれほど低下が認められない。この重油の挙動の差異が実験結果と数値計算との差が大きくなった一因と考えられる。この結果を基にさらに精度を上げるための検討を行うとともに、現在、排出配管加熱の場合も含めて解析を進めている。

### 4. 結言

沈船から高粘度の重質油を効率よく回収する方法を開発するために、沈船を模擬した重油タンクを用いて、新たに電磁誘導加熱方法を利用した油の回収実験を行い、以下のことが分かった。

1. 加熱位置はタンク上部より、排出側配管を加熱した場合の方が重油の回収効率は良くなった。
2. 油の回収効率は、温度の影響を受け、油温が高く流動性のある方が、管摩擦抵抗が減少し回収効率は良くなる。
3. 水中での加熱は熱損失が大きいため、損失を少なくする方法を開発することが今後の課題である。
4. タンク内の流れについて CFD による数値解析を行い、実験結果と比較してその傾向を把握できた。しかしながら、回収効率ではその差が大きく今後の改良が必要である。