

付着による流出油の回収

上田浩一*・山之内 博*・植田靖夫*

Removal of Spilled Oil by Adherence

By

Koichi Ueda, Hiroshi Yamanouchi and Yasuo Ueta

Abstract

By the accidents, the oil is spilled frequently at sea. Some systems for the removal of the spilled oil are developed. There are two main methods to withdraw the spilled oil. One is the method by a suction pump. The collected oil by the method contains much water. The other is the method by making the oil adhere to a plate. The collected oil by this method contains little water and this is useful in the case of the thin oil layer.

In the case to withdraw the oil by rotating discs, or belts, authors tried to analyze about oil thickness on the plate and to get the optimum velocity for rotating discs to withdraw spilled oil. The thickness of the oil film on the plate is regard to depend on the velocity of plate, viscosity of the oil and gravity. Two cases were studied. The one is one kind liquid layer case. Another is that the liquid consists of two kinds, e.g. the oil slick case on the water surface.

The optimum rotating velocity and the quantity of the removed oil are gotten theoretically and they agree to the results of the experiment well.

1. まえがき

流出油の防除機器の一つとして油回収機があるが、これには、浮遊油を効率的に回収するためのメカニズムに関連して、多くの型式のものがこれまでに考案され、また製品化されてきた。これらのうちで水面の油層を直接吸引回収する方法が原理的にも単純であり、従って実用製品においてもこの方式のものが多い。し

かしこの方式は、実際には表層油と同時に水を吸引する量が多い難点を持っており、吸引口付近の油層をいかにして厚くするかという点に多くの工夫が払われねばならない。

一方、水面の油を板または布質のものに付着させて連続回収する方式がある。これは原理的には水の同時混入が少なくすみ、且つ比較的薄い油層にも有効に適用できるので実用性の高い方式と考えられる。そこでこの付着回収方式に注目して、この油回収の能力及び機構について実験及び解析により検討を行った。

付着回収方式として具体的に対象としたのは、回転

* 装備部

原稿受付：昭和61年11月7日

円板方式及び回転ベルト方式である。これらに対して油の粘度、油層の厚さ、或は附着体の回転速度等を変えた一連の基礎実験を行い、油回収能力について調べた。これと同時に油の附着回収の機構について簡単な解析と検討を加えて実験結果の理論的裏付けを試みた。その結果は附着体の最適速度、或は回収量等に対して計算値と実験値はかなり良い合致が得られた。また、本回収方式は表層油の流れなどを考慮すると動粘性係数が $1 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ 付近の油には適している。以上研究結果をとりまとめて報告する。

2. 実験及び結果

ベルトによる附着回収装置及び回転円板による附着回収装置を製作し、回収性能について調べた結果を述べる。

2.1. ベルトによる回収

ベルトによる回収実験装置をFig.1に示す。回流水槽の中に幅6cmのベルトを直径140mmのプーリーにかけて駆動してワイパーで附着油を回収し、単位時間当たりの回収量を求めた。附着油膜厚さはこれをベルトの単位時間当たりの移動面積で除して求めた。回収する液が一層の場合、Fig.1で水の部分も油となり、回収される液がすべて油の場合には油が十分に回収装置に供給されるので、油の使用量を節約するためにタンクを使用した。ベルトの速度は回転式周速計を用いて計測、回流水槽の水流速はプロペラ式流速計を用いて計測、油層流れの速さはストップウォッチで一定距離を通過する時間を計測して求め、Fig.1の油層の厚さは回流水槽を透明なアクリル製にし、触針式のゲージを用いて計測して求めた。

2.1.1. ベルトの材質と附着液膜厚さ

ベルトの材質と附着膜の厚さの関係を調べるために、タンクに油または水のみを入れた状態で回収実験を行い、単位時間当たり回収量とベルトの移動面積から附着厚さを求めた。ベルトの材質を変えた場合の附着液膜厚さをFig.2に示す。ベルトの最適速度があるように見えるがこれは液が単一の液であってもベルトの速度が速くなるにつれて、周辺から回収部への流れによる液の補給が不十分になってくるためと考えられる。B重油、A重油、水の動粘性係数は $2.5 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ 、 $1 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ 、 $1 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ で、ベルトの材質の影響は少なく、油の粘性の影響が大きいことがわかる。したがって非金属製のベルトの方が駆動プーリーとの間のスリップが少なく、ワイパーで回収油をかきとり易く、騒音もないので実用上は適している。

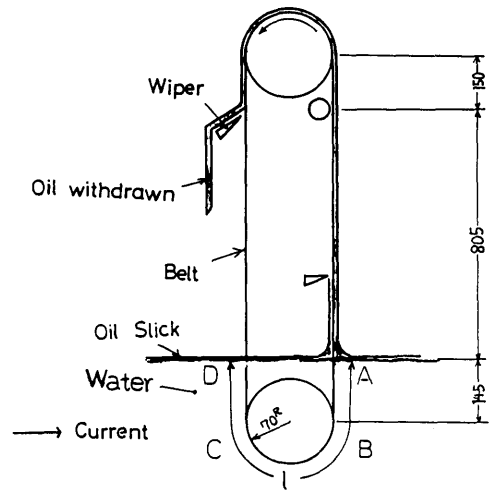


Fig.1 Withdrawal Apparatus.

2.1.2. 浮遊油の粘性と回収性能

Fig.3に各種油が水面上約1cmの厚さに浮遊している場合の、ベルトによる回収量と含水率を示す。Fig.4にその時の附着厚さを示す。高粘度油はベルトの速度が比較的低速でも回収し易いが、ベルトの速度が速くなるにつれて低粘度の油よりも含水し易い。附着膜の厚さが薄くなり始めるベルトの速度はB重油が40cm/s、A重油が60cm/sから薄くなり始め、単一液体の場合の約1/3の速度である。高粘性油の回収と低粘性油の回収において水流速を同じにしても、低粘性油はほぼ水流速と同じ速度で流れるが、後で述べるように高粘性油は回収機、側壁の影響を受けて流れ難いためである。B重油等高粘性油の回収にはベルトの速度が比較的遅い40cm/s位のところに適性な速度がある。軽質油等の低粘度の油の場合にはベルトの速度が50~60cm/s付近までは附着膜の厚さは厚くなるが、それよりもベルト速度が速くなっても、附着膜の厚さはほぼ一定で、含水率はベルトの速度が速くなっても低い。

2.1.3. ベルトの傾斜と回収性能

Fig.5及びFig.6にA重油のみを用いた単一液層の時の傾斜角と回収性能の関係を示す。Fig.5の回転方向の場合には傾斜角を大きくするにつれて回収性能が良くなる傾向にあるが、Fig.6の回転方向の場合には傾斜角の影響は少ない。Fig.7に油層が水面上にある場合について、ベルトの傾斜方向及び回転方向を変えて行った回収量及び含水率の実験の結果を示す。Fig.8にその時の附着膜厚さを示す。Fig.7の回収量及びFig.8の附着膜厚さは、ベルトの速度が遅い時にはほとんど差異は

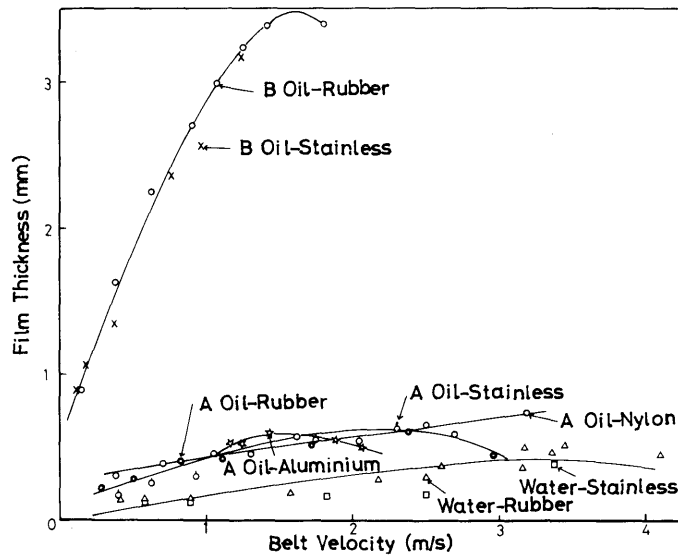


Fig. 2 Liquid Film Thickness by Withdrawal.

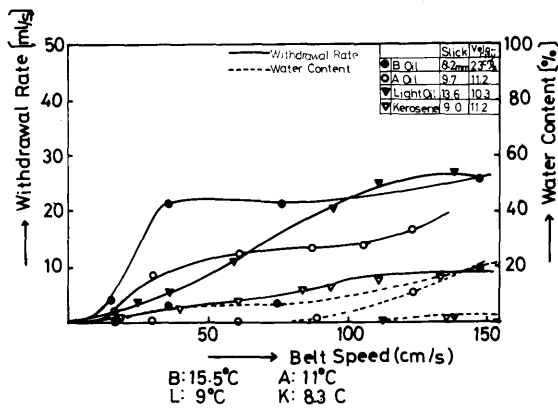


Fig. 3 The Relation between the withdraw Rate and Oil Sort.

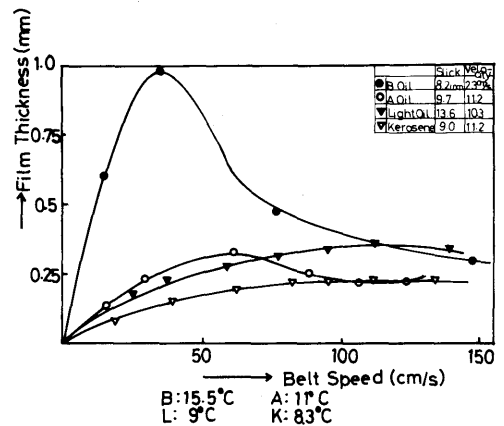


Fig. 4 Film Thickness on the Belt. (Film contains oil and water)

ないが、ベルトの速度が50cm/sから差異が出ている。○印や▽印のようにベルトが近づいてくる油層と同じ方向に回転している、回収油をベルトの上面に付着させて回収させる場合には、ベルトの速度が90cm/s程度まで回収量が多く回収性能がよい。回収装置に対して流速を10.2~11.2cm/sにして油層を供給したが、静水面上の油層の場合のように油層の流れがほとんどない場合にはベルトによって生じる微少の流れが油層の流れに与える影響が大きい。静水上の油層であれ、流れている油層であれ、浮遊油層の回収の場合には、Fig.9

に示すようにベルトを傾斜させ、油層の流れとベルトの移動方向を同じにすることにより、油層の流れの乱れを少なくし、ベルトの油層に接触する面を増加させることができ、またベルトに付着した油膜に作用する重力の影響も少なくすることができるので回収性能を良くすることができる。

2.1.4. 油層厚さと回収性能

Fig.10, Fig.11に油層厚さを変えた場合の回収量と含水率、その時の付着厚さ(油と水を含む)をFig.12, Fig.13に示す。A重油を使用してそれぞれ流速を

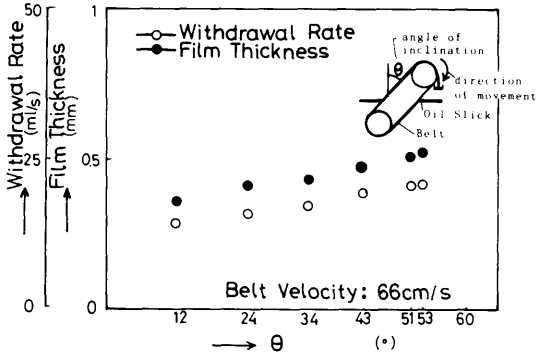


Fig.5 Withdrawal of A Oil by Belt.

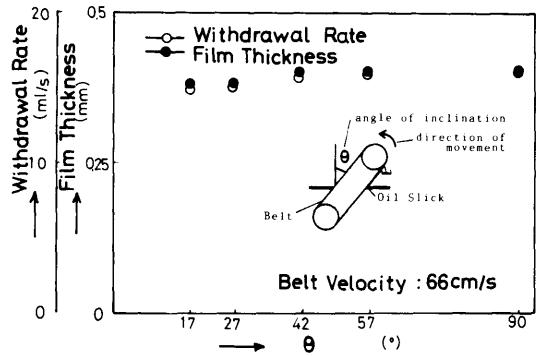


Fig.6 Withdrawal of A Oil by Belt.

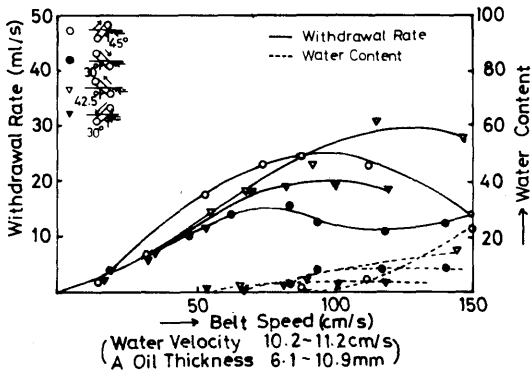


Fig.7 The Relation between the Withdrawal Rate and Inclination of the Belt.

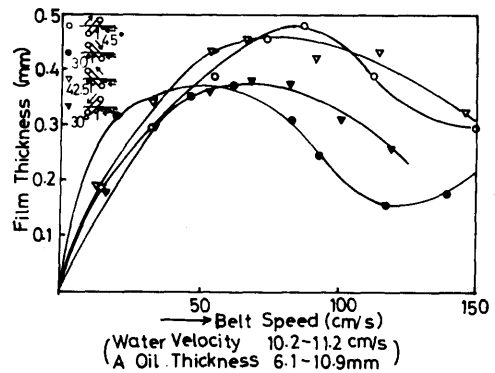


Fig.8 Film (oil and water) Thickness on the Belt.

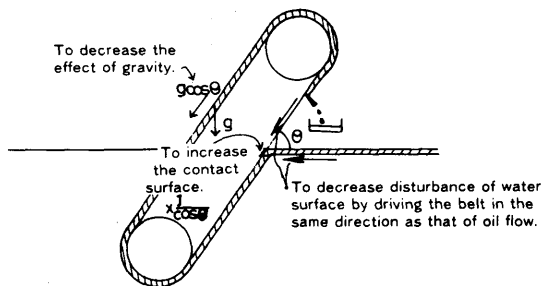


Fig.9 Directions of rotation and inclination of belt to improve the collecting performance

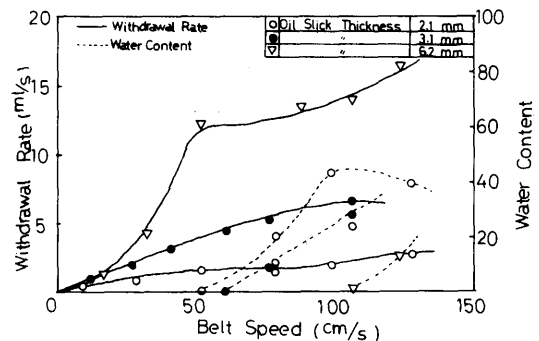


Fig.10 The Relation between Withdrawal Rate and Oil Slick Thickness. (Water Velocity : 10.8-11.2 cm/s, A Bunker Oil : 9.2 cm²/s)

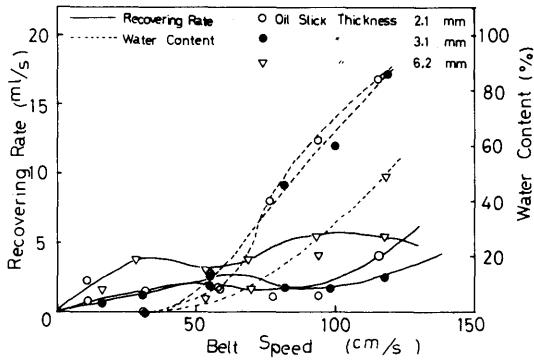


Fig. 11 Relation between Withdrawal Rate and Oil Slick Thickness. (Water Velocity : 20.5 20.9 cm/s, A Bunker Oil : 9.2cm²/s (Viscosity))

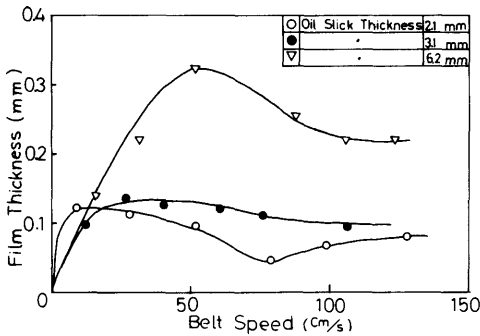


Fig. 12 The Relation between Oil Slick Thickness and Film Thickness. (Water Velocity : 10.8 11.2 cm/s, A Bunker Oil : 9.2 cm²/s)

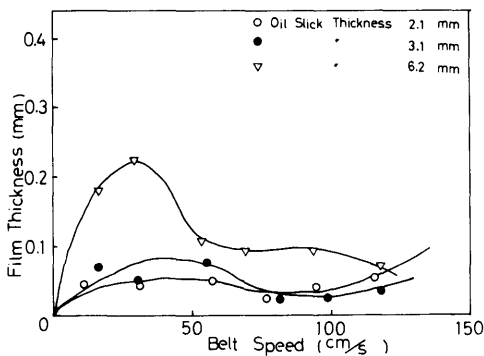


Fig. 13 Film (oil and water) Thickness on the Belt. (Water Velocity : 20.5 20.9 cm/s, A Bunker Oil : 9.2 cm²/s (Viscosity))

10.8~11.2cm/s, 20.5~20.9cm/sにした時の実験結果である。流速の遅い方 (10.8~11.2cm/s) の回収性能がよい。油層が十分に回収装置に供給されれば、流速の遅い方が油層の厚さにかかわらず乱れ難く回収性能が良いものと思われる。Fig.10, 12の結果を見ると、付着油膜の厚さを最大にするベルトの速度は比較的遅い。油層の厚さが薄い場合にはベルトの速度が50cm/sを越えたあたりから含水し始めている。回収量を考えた場合ベルトの速度が50cm/s位から油層の厚さにかかわらず、回収量が増加しなくなる傾向にあるので、A重油の場合には最適なベルトの速度は50cm/s位だと考えられる。Fig.12のベルト速度が30cm/s, 50cm/sの場合について、横軸に油層厚さ、縦軸に付着膜厚さをとるとFig.14のようになる。Fig.9のように傾斜させている場合に油層の厚さは、ベルトの傾きを θ とすると $1/\cos\theta$ だけ油層が厚くなった場合と同じようになり、油量が多く回収部へ供給されるため回収性能が良くなる。(Fig.14の▼, ▽印)

2. 2. 回転円板による回収

回転円板に対する付着状況については、排出油の油回収装置の研究開発事業報告書¹⁾に報告している。ここでは回転円板を単一油層中で回転させた場合の、油の粘性と平均付着油膜厚さの関係について述べ、8枚の円板を用いた浮遊油層の回収性能実験結果及び油回収機模型実験結果について検討を加える。

2. 2. 1. 回転円板による付着膜厚さと油の粘性

Fig.15に油の粘性と回転円板の角速度と回転円板上の平均付着厚さの関係を示す。後から解析結果と比較

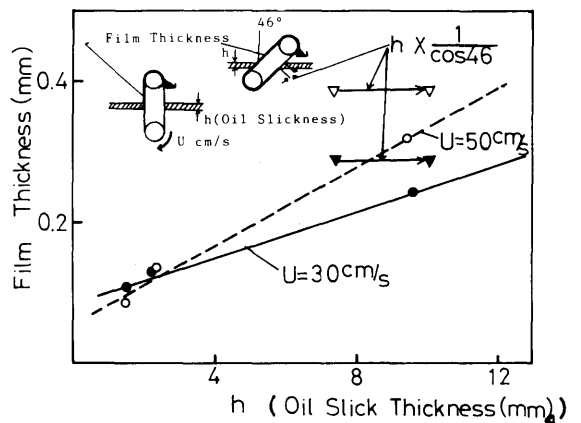


Fig. 14 The Relation between the Oil Thickness and the Film Thickness.

検討するために横軸に角速度 ω (radian/s), 縦軸に平均付着膜厚さ δ (mm), パラメータに動粘性係数 ν (cm²/s) をとり整理している。

実験に用いられた円板は半径20cm, 浸没深さ5cmである。

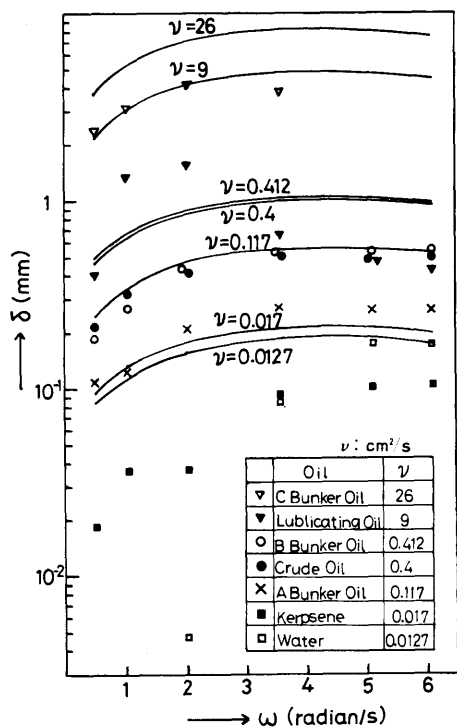


Fig.15 The Relation between ω and δ .

2.2.2. 回転円板による浮遊油の回収

Fig.16の回転円板式回収装置による, 回収実験結果の一例をFig.17に示す。油層の厚さが1cmの場合について, 油層を十分に供給するために油層の流速を30cm/sにした時の結果である。図中のBは回転円板の一面の有効な幅を示す。使用されている油はA重油である。流速を変えた場合, 油層厚さを変えた場合, 及び浸没深さを変えた実験結果は報告²⁾しているので省略する。

2.2.3. 静水面上での回転円板式回収機の実験結果

回転円板式回収機をFig.18に示す。Fig.18に示すように2つの浮体の間に25枚の回転板をBの位置に取付け, Dのローラーで駆動している。付着した油はC部に回収される。水車Gで水流を発生させ浮遊油をBの回収部へ流れさせる。底面に平板Fを設置し, 水車Gにより水流が起こり易いようにしている。

この試作機をPhoto.1に示す。この試作機による実験結果をFig.19, Fig.20に示す。Fig.19, 20のWithdrawal Percentageは散布した油100ℓのうち何%が回収されたかを示す。A重油の回収油のサンプルをPhoto.2に示す。回収油にはほとんど水分が含まれていないがB重油の場合にはPhoto.3に示すように水分が含まれている。A重油(低粘度)の場合, 回収油の中に平均5.7%の水分を含むにすぎなかったが, B重油(高粘度)の場合は水の混入が多く, 且つ一定しなかったが, 平均で41.2%の水分を含んでいた。10分間の平均回収量はA重油の場合が4.3ℓ/min, B重油が4.0ℓ/minであった。

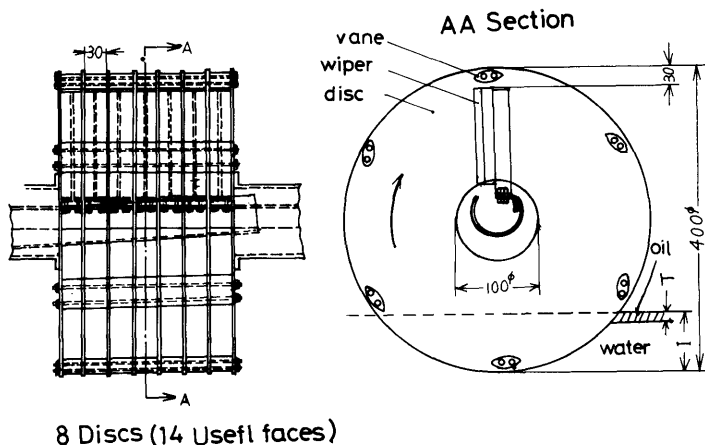


Fig.16 Oil Withdrawal Apparatus.

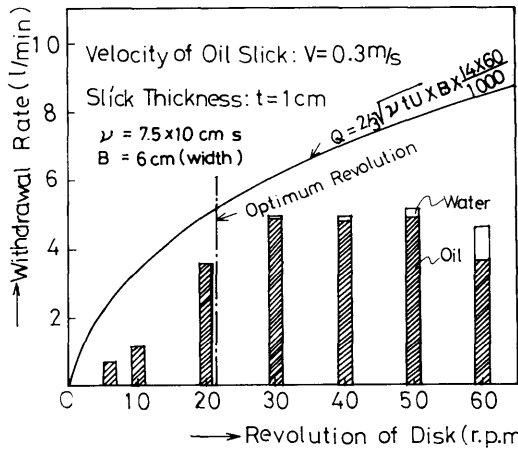


Fig.17 The Relation of the Revolution and the Withdrawal Rate.



Photo.1 Oil Withdrawal Apparatus made on an experimental basis.

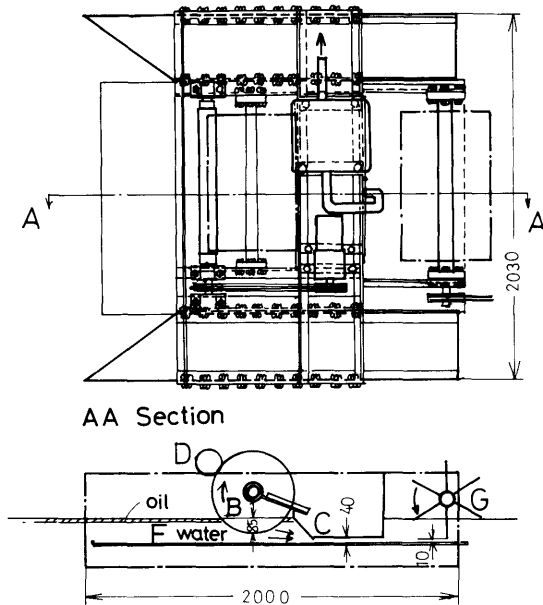


Fig.18 An oil Withdrawal Apparatus made on experimental basis. (25 Discs, 48 Usefl faces)

3. 考察

3.1.1. ベルトの場合の付着膜厚さについて

液層が一層の場合には平板を油層から空气中に引き上げる場合、平板に付着して引き上げられる付着油層



Photo.2 Withdrawal A Oil.



Photo.3 Withdrawal B Bunker Oil.

はFig.21のようになるものとする。ABは付着面、CDは液面、IJKは液中、EHGFは付着膜の流速分布を示す。Fig. 21で液膜の厚さが一定になったと考えられる部分の力のつり合いを考える。壁ABからの距離を y とし、液膜中の速度分布を求める。

Navier-Stokesの式は、

$$\mu \frac{d^2 u}{dy^2} = \rho g$$

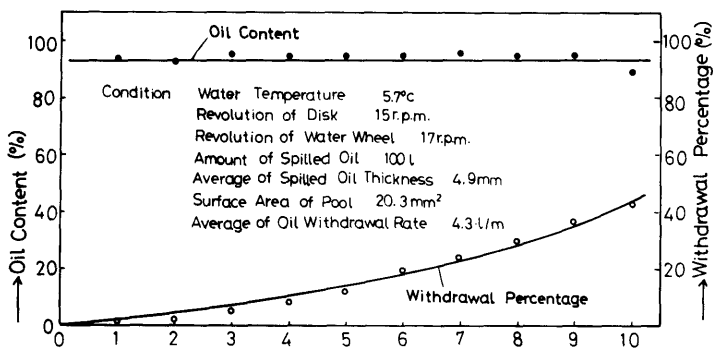


Fig.19 Result of Oil Withdrawal Test. (A Bunker Oil)

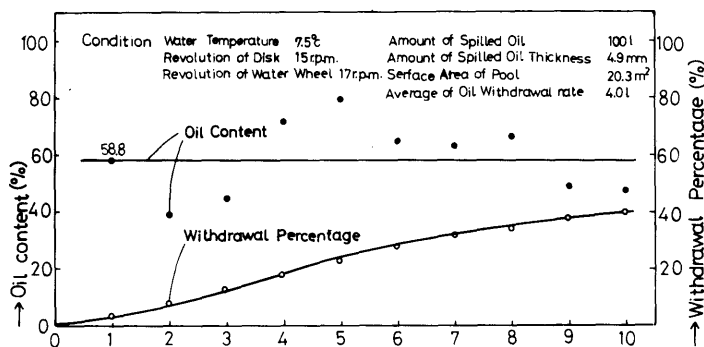


Fig.20 Result of Oil Withdrawal Test. (B Bunker Oil)

境界条件は、

$$y = 0 \text{ (壁面) で, } u = U$$

$$y = \delta \text{ (液膜面) で, } \frac{du}{dy} = 0$$

ここで u は流体の上昇速度, U は平板の速度, δ は液膜の厚さ, ρ は流体の密度, g は重力加速度, μ は粘性係数である。Navier-Stokesの式と境界条件から(1)式のようなになる。

$$u = \left(\frac{\rho g}{2\mu}\right) \cdot y^2 - \left(\frac{\rho g \delta}{\mu}\right) y + U \dots\dots(1)$$

平板に付着して引き上げられる流体の量の単位幅当たり Q とすると、

$$Q = \int_0^\delta u dy = U\delta \left[1 - \left(\frac{\delta^2 \rho g}{3\mu U}\right)\right] \dots\dots(2)$$

となる。しかしながら Q は δ の関数となり、 δ が定まらないと、得られない。

そこで

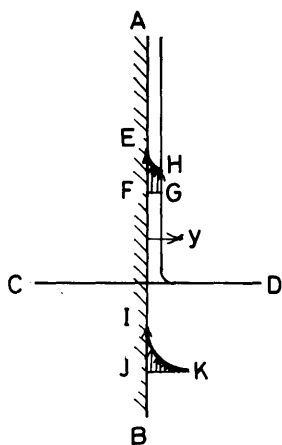


Fig.21 Withdrawal model.

$$\delta = f(\mu, U, \rho, g) \text{ および 次元解析を行うと}$$

$$\delta = K\mu^\alpha U^{-3\alpha+2} \rho^{-\alpha} g^{\alpha-1} \dots\dots\dots (3)$$

となる。ただし、 K は無次元係数、 α は乗数である。

(3)式における K の値及び α の値を

$K=1, \alpha=1/2$ として B重油, A重油, について計算したものをFig.22に示す。Fig.2の実験値を比較するとかかなりよく合致している。したがって

$$\delta = \sqrt{\mu U / \rho g} \dots\dots\dots (4)$$

とする。このときの流速分布はFig.21に示すように $y=\delta$ で、 $u=U/2$ となっている。

次に、液中の境界層内の流れについて検討してみる。Fig.23で平板がAからBの間を移動する間に流体の得た単位幅当たりの運動量を M 、境界層の厚さを δ_1 とすると、

$$M = \int_0^{\delta_1} \rho u^2 dy \dots\dots\dots (5)$$

となる。

速度 U_0 の様な流れの中に置かれた平板の層流境界層の厚さ δ_0 は動粘性係数 $\nu = \mu / \rho$ 、 x を平板前縁からの距離とすると、

$$\delta_0 = 5.48 \sqrt{\frac{\nu x}{U_0}} \dots\dots\dots (6)$$

で⁽³⁾表わされるが、今回の場合はFig.23のように $y=0$

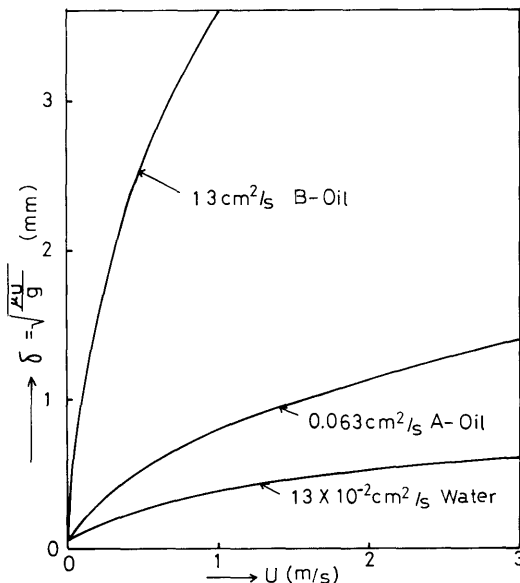


Fig.22 Theoretical Film Thickness on Belt.

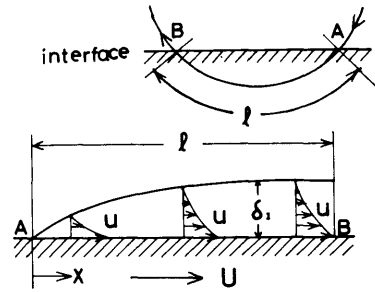


Fig.23 Velocity in Boundary layer.

で $u=U$ (U は平板の速度)、 $y=\delta_1$ で $u=0$ として計算すると

$$\delta_1 = 2\sqrt{\frac{\nu x}{U}} \dots\dots\dots (7)$$

となる。

実際にベルトを使用している時は、Fig.1でWaterの部分もOilとなり、単一液体の場合のベルトと油の接触長さをFig.1のABCDの長さ l とすると、(7)式の x の代わりに l を使用して、

$$\delta_1 = 2\sqrt{\frac{\nu l}{U}} = 2l \sqrt{\frac{1}{U l}} = \frac{2l}{\sqrt{Re}}$$

となる。ただし、 $Re = \frac{\ell U}{\nu}$ である。

境界層中の速度分布は、

$$u = U(y/\delta_1)^2 - 2U(y/\delta_1) + U$$

となり、境界層中の単位当たりの流量を Q_1 とすると、

$$Q_1 = \int_0^{\delta_1} u dy = [uy^3/3\delta_1^2 - Uy/\delta_1 + Uy]_0^{\delta_1} = U\delta_1/3$$

これに、 $\delta_1 = 2l / \sqrt{Re} = 2\sqrt{\ell \nu / U}$ を代入して、

$$Q_1 = 2/3 \cdot U \sqrt{\nu \ell / U} \dots\dots\dots (8)$$

となる。

次に、ベルトの上昇速度 U 、重力加速度 g のとき、空气中に垂直にベルトが引き上げられる時の流体の量を Q_2 とする。(Fig.21参照)

速度分布は、

$$u = \rho g y^2 / 2\mu - \rho g y / \mu + U$$

で表わせるから、

$$Q_2 = \int_0^{\delta} u dy = [\rho g y^3 / 6\mu - \rho g \delta y^2 / 2\mu + Uy]_0^{\delta}$$

$$= U\delta - \rho g \delta^3 / 3\mu$$

$$\delta = \sqrt{\mu U / \rho g} \text{ をもちいれば}$$

$$Q_2 = 2/3 U \sqrt{\nu U/g} \dots\dots\dots (9)$$

となる。

同様に移動壁の単位幅当たりの液中の境界層内の運動量フラックスを M_1 、空気中の液膜内の運動量フラックスを M_2 とすると、

$$M_1 = 2/5 \cdot \rho U^2 (\nu \ell / U)^{1/2} \dots\dots\dots (10)$$

$$M_2 = 7/15 \cdot \rho U^2 (\nu U/g)^{1/2} \dots\dots\dots (11)$$

となる。

ここで液中境界層流れと空気中液膜の流れの関係をしらべてみる。そのために両者の流量および運動量フラックスの関係に着目する。境界層内において十分な流量と運動量フラックスが存在すること。すなわち $Q_1 \geq Q_2$, $M_1 \geq M_2$ でなければならない。

境界層の厚さを δ_1 、液膜の厚さを δ とする。
 $\delta_1/\delta = \beta$ とすると、 $Q_1 = Q_2$ のときは $\beta = 2 (= \beta_1)$, $M_1 = M_2$ のときは $\beta = 7/3 (= \beta_2)$ となる。ベルトによる回収実験の場合、たとえば $\ell = 50\text{cm}$, $U = 1.5\text{m/s}$ とすると $\beta = 3 (= \beta_3)$ となる。

横軸に、 y/δ 、縦軸に u/U をとり、境界層内および液膜内の速度分布を Fig.24 に示す。

実際の油回収機においては β は約 3 であり単層の場合には $Q_2 < Q_1$, $M_2 < M_1$ であり、境界層においては十分に流量も運動量も供給される。

したがって、単層の液を回収する場合には、回収量は付着膜厚さ δ によって制限を受けるが、液が 2 層となり浮遊層が薄くなると液中の境界層が薄くなり、この場合の回収量は境界層厚さ δ_1 によって制限される。

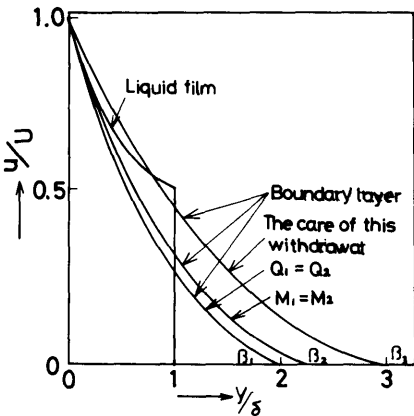


Fig.24 Velocity distribution in Boundary layer and in liquid film.

液が単層の場合には(9)式により、 $Q_2 = \frac{2}{3}BU \sqrt{\nu U/g}$ と与えられる。 B はベルトの幅である。

3.1.2. 水面上の油の回収

次に、水面上に油層が浮んでいる場合を考える。この場合、(8)式の ℓ は油層厚さ t となり、その油層内で生じた境界層内での油の流量と空気中の液膜内流量が等しい時に、回収液に水分を含まないので最適な速度であるとする。すなわち、 $Q_1 = Q_2$ とすると、(8), (9)式より、

$$U = \sqrt{gt}$$

となる。この時の運動量フラックスの比 $M_1/M_2 = 6/7$ となっている。横軸に油層厚さ t (m)、縦軸に最適速度をとると Fig.25 となる。実験結果の最適速度は、実験結果から回収油に水分を含み始める速度とした。

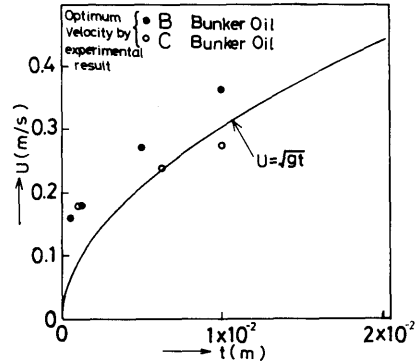


Fig.25 Spilled Oil thickness-Optimum Velocity.

3.2.1 回転円板の場合の付着油膜厚さについて

ベルトの場合の(4)式を回転円板式回収機に適用し、遠心力を考慮し δ を最大にする U が、最適な回転円板の周速度と仮定し U を求める。Fig.26 に示すように液面を AB とし、回転円板の中心を O とする。回転円板上の流体素片には重力の他に遠心力がはたらく。また、これに抗して流体を引き上げる粘性力を生ずる速度方向も垂直だけでなく水平成分がある。そこで、ベルトの場合の(4)式において重力加速度のかわりに遠心力との合成加速度を、ベルト上昇速度のかわりにこの合成加速度の反対方向分速度を代入したものが回転円板の場合にも成立すると仮定する。 AE 上はこの合成加速度が大きく、分速度が小さくなるので流体の引き上げに最もきびしい条件となる。したがって解析は AE 上のみでおこなえばよい。Fig.26の C 点にある流体に

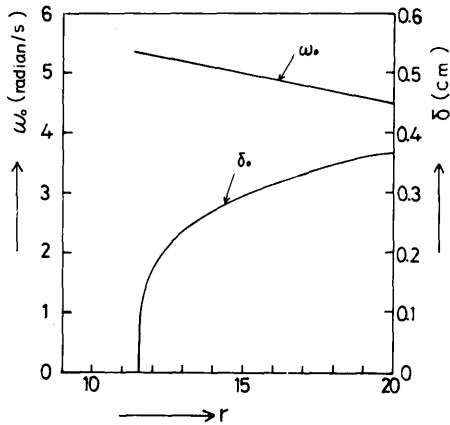


Fig.28 Maximum film thickness and Optimum angular Velocity.

で計算したもので、解析結果の δ_{am} は、

$$\delta_{am} = \frac{Qa}{Aa}$$

$$Qa = \int_{r_1}^{r_0} \int_0^{2\pi} \delta dr \cdot r d\alpha$$

r_1 は内半径、 r_0 は外半径、 δ は(14)で示したものである。

$$Aa = \pi(r_0^2 - r_1^2)$$

Qa の計算はシンプソンの公式を使用して計算した。Fig.15に計算結果を線で示す。計算結果と実験結果の違いとして、動粘性係数が大きいところでの実験値と解析値のずれは、実験において円板への供給が悪くなることが考えられる。また動粘性係数が小さいところでは表面張力の影響が考えられる。

3.2.2 回転円板による水面上の油の回収

回転円板により浮遊油を回収する場合にも、ベルトの場合と同じように考え、(8)式においては油層の厚さ t とし、その油層内で生じた境界層内の油の流量と空気中の液膜内の流量が等しい時が、回収液に水分を

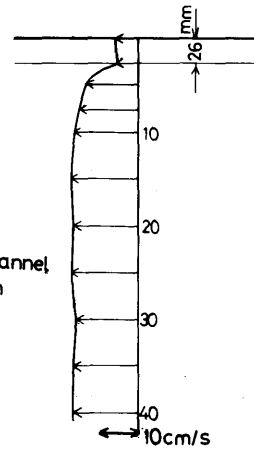


Fig.29 Current of Oil Layer. (B Bunker Oil at 17.5 °C)

含まないので、最適な速度であるとする。ベルトの時と同様に $U = \sqrt{gt}$ とし、 U を円板の外周速度と考えて、計算による最適速度をFig.17に示してある。外周速度を \sqrt{gt} としてもほぼよいものと考えられる。

3.3 表面油層の流れについて

軽質油の場合には水流の速度とほぼ同じ速さで浮遊油層が流れるが、B重油等のように動粘性係数が大きい場合には、回流水槽の側面等の影響を受けて流れ難い。Fig.29に30cm幅回流水槽でのその例を示す。回収部の油層を厚くすることが性能向上により。その例をFig.30に示す。複雑な流れをするので特に動粘性係数の大きい場合は回収装置までの供給が難しい。ベルト及び回転円板においてもその回転方向は浮遊油の流れに沿って可動させ、流れを乱さないようにする必要があり、逆回転させるとわずかの表層流の乱れで油層が逃げる。ベルトで最適運転を継続させるためには、 $V = g^{\frac{1}{4}} \nu^{\frac{1}{2}} t^{-\frac{1}{4}}$ の供給油層の速さが必要である。

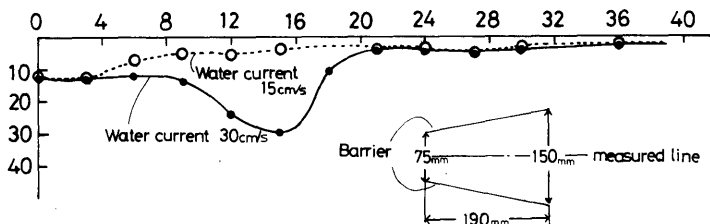


Fig.30 Oil layer thickness by Barriers.

3.4. レイノルズ数について

回転円板上でのレイノルズ数 Re について考えてみる。 r_0 を円板の外半径、 ω を円板の回転角速度とし、 $R = \omega r_0^2 / \nu$ とする。横軸に動粘性係数 ν 、縦軸に Re をとり、パラメータに ω をとりFig.31に示す。 R の小さい B 重油のような油は層流境界層が生じて、回転円板式の油回収に適していると思われるが、実際の回収においては R の小さい油の表層油は流れ難く、 $R < 10^5$ で比較的動粘性係数の小さい $\nu = 10^{-1} \text{cm}^2/\text{s}$ 程度の油が付着による流出油の回収に適している。

4. 結論

付着による流出油を回収する場合、液層が単層の場合には液中で境界層が十分に発達し、油が供給されるので、回収量は付着し引き上げる量によって定まり、その回収量は $Q = \frac{2}{3} A \sqrt{\nu U / g}$ で与えられる。ただし、 A は単位時間当りの移動面積である。ベルトによる場合にベルト速度 U は、液が供給され水面上の油層を乱さない限りベルトの速度は速い方が良いが、円板の場合には遠心力が働くので最適な角速度 ω は、

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{3r} (\sqrt{\cos^2 \theta + 3} - \cos \theta)}$$

となる。 r は外半径、 θ は外半径と液面が接している点と回転円板中心を結んだ線と鉛直線とのなす角度である。液層が水面に油が浮かんでいる場合のように2層の場合には、境界層の発達が油層の厚さによって制限されるため、その油層が十分に回収部に供給され、油層の厚さが一定に保たれる時には、油の回収量は単位幅当たり $Q = \frac{2}{3} \sqrt{U \nu t}$ (t は油層の厚さ)となる。この時の最適速度は $U = \sqrt{g t}$ となる。

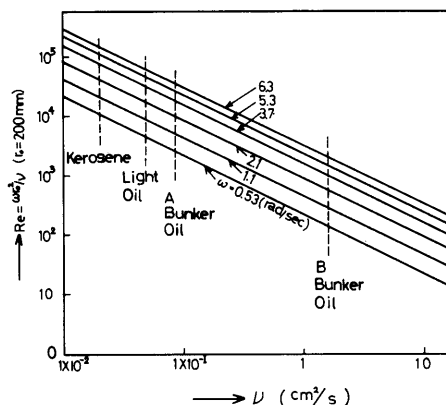


Fig.31 ω and δ .

円板、ベルトの材質の付着膜厚さへの影響は少ない。回収性能をよくするためには回収部はスムーズに油層を供給する技術が必要である。

謝 辞

当初の解析において(15)式を導く過程に間違いがあり、御指摘下さった宮本完司氏らIHIの方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 排出油の油回収装置の研究開発事業報告書 (1973), 日本船用機器開発協会
- 2) 同上 (1974), PP.45~47, 51~52
- 3) 岡本哲史: 応用流体力学, 誠文堂新光社, 第9版, P.156