

水面上の油層の1次元的な拡がりについて

羽田野袈裟義¹・天野卓三²・松本治彦³・埜口英昭⁴・平野宗夫⁵

¹正会員 工博 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台2557)

²学生員 山口大学大学院 工学研究科 (同上)

³正会員 工博 宇部短期大学教授 (〒755-0056 宇部市 文京町)

⁴正会員 工博 通産省工業技術院中国工業技術試験所 (〒737-0133 呉市広末広2-2-2)

⁵正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科 (〒812-0053 福岡市東区箱崎6-10-1)

海面上に流出した油の拡がりを精度よく予測することは海域環境上極めて重要である。本研究では、1次元の問題に限定し、2層流モデルにより油層拡がりを予測する方法を提案している。解析では2層流の基礎方程式を特性曲線法により取扱ひ、初期値境界値問題として解析するが、その際必要となる先端条件、先端部の界面抵抗、初期条件および流出位置の境界条件に水理学的な検討を行っている。解析法の適合性をみるため、一定体積の油が流出するいわゆる瞬間流出の実験結果との比較を行っている。

Key Words : oil slick propagation, two layer model, front condition, interfacial resistance, initial and boundary conditions

1. まえがき

1997年初頭のナホトカ号の油流出事故による海域汚染と水産業や生態系への打撃は記憶に新しい。油の流出による海洋汚染はこれまでもしばしば発生しており、ここ30年間の大きな事故だけを見ても1967年英国ランズエンド沖でのトリー・キャニオン号、1971年新潟湾沖でのジュリアナ号、1974年三菱石油水島精油所、1978年フランス国ブルターニュ沖でのアコム・カジス号、1989年のアラスカ、1993年英国シェトランド諸島沖、湾岸戦争時のペルシャ湾での流出事故があげられる。船齢が20年を超えた1万重量トン以上の老朽タンカーは世界に約1200隻あり、そのほとんどが座礁の際の油流出防止用の二重船底構造を施していない¹⁾。したがって、今後も油流出事故は絶えないであろう。

海面上に流出した油が水面を拡がる現象は表面密度流の一種であり、その挙動を精度よく予測することは有効な回収措置を講ずる上できわめて重要である。この問題を2層流モデルにより解析する場合、先端部では流動厚さが有限値からゼロに変化するため、先端部の取扱ひには工夫が必要である。同様の問題は、陸地に達した津波の解析や氾濫解析でもおこり、ふつうは先端条件としてフルード数が1程度、または適当に小さな一定の流動厚さを採用し、このような先端条件を満たす位置より後方部について流速や流動厚さを計算する²⁾。しかしながら、油層拡がりの場合に上記のような先端条件に課すことには注意が必要である。ま

ず、フルード数についていえば、油層の場合には津波や氾濫流にくらべて運動が緩慢なため、粘性の影響が出やすいことが考えられる。また、油層の先端部は最初のうち膨らんだ形状をしているが、進行とともにその形状が少しずつ変化し、くさび形へと移行する。このような性質をもつ油層先端の条件として適当に小さな一定の流動厚さを設定するのは適切とは思われない。

2層流モデルによる解析で油層先端部の局所的な流動パラメータを用いて先端条件を設定し油層先端部を処理しているのは首藤ら³⁾の研究が最初であろう。彼らは流出開始後の適当な時刻の油層先端位置と先端速度を測定しこれらを初期条件として拡がりの計算を行っている。ただ流出口での境界条件に不明な点がある他、実験の流出開始時に流れの不安定があるとの理由で時間軸のずらしを行っている。羽田野ら⁴⁾は首藤らの取扱ひを発展させ、流出開始直後の流動状態に関する埜口⁵⁾の研究成果を用いて初期条件の表現を与えるとともに、出口の境界条件の表現を与えている。こうして出口の流量が時間的に変化するケースを取り扱うことを可能にしている。しかしながら、先端条件や傾斜した水・油境界面が進行する先端部の界面抵抗の評価については不十分であった。

本研究では、大野⁶⁾の油層先端の実験データを用いて先端条件を再検討し、その結果を非定常2層流モデルによる解析に適用することを試みる。この先端条件はMassauの方法⁷⁾を用いる解析法において下流端の境界条件を与えるこ

とになる。また、油層先端部における内部境界面の抵抗については、傾斜した境界面が進行することにより周囲水を加速・排除すると考えて慣性抵抗を別途評価し、これを漸変流の界面抵抗に追加する。

2. 2層流モデルによる解析

(1) 基礎方程式と計算式

図-1に示すように、密度 ρ_w の静止水域にこれより軽い密度 ρ の油が流出する場合を考える。このとき流出した油は表面密度噴流として流動する。進行はないから、基礎式の連続式と運動方程式は次のように与えられる。

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u\delta) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} \right) \delta = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} \Delta \rho g \delta^2 \right) - \tau_i \quad (2)$$

ここで、 δ は油層厚さ、 $\Delta \rho$ は水と油の密度差、 u は油層の断面平均流速、 τ_i は油・水境界面の界面抵抗である。これらの式による計算は、流出口または上流端から先端条件を満たす位置までの間について行われる。

式(1)と(2)を、Fannelopら⁸⁾や首藤ら³⁾と同様、Massauの方法により取り扱う。 $C = (\Delta \rho g \delta / \rho)^{1/2}$ を導入して δ を C に変換し、得られた結果の和と差をとると、

$$\frac{\partial}{\partial t}(u + 2C) + (u + C) \frac{\partial}{\partial x}(u + 2C) = - \frac{\tau_i}{\rho \delta} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(u - 2C) + (u - C) \frac{\partial}{\partial x}(u - 2C) = - \frac{\tau_i}{\rho \delta} \quad (4)$$

を得る。これらの式は特性曲線上で次のように書かれる。

$$\frac{d(u + 2C)}{dt} = - \frac{\tau_i}{\rho \delta} \quad \text{on} \quad \omega_+ : \frac{dx}{dt} = u + C \quad (5)$$

$$\frac{d(u - 2C)}{dt} = - \frac{\tau_i}{\rho \delta} \quad \text{on} \quad \omega_- : \frac{dx}{dt} = u - C \quad (6)$$

これらの式を適切な初期条件と境界条件のもとに解くことになる。以下では、そのために必要となる、界面抵抗、境界条件、初期条件の具体的な表現を試みる。

(2) 油・水境界での抵抗

油層先端部付近の流れは局所流的な性格が強いいため、先端近くの界面抵抗の見積もりは注意を要し、これを取り扱った研究はあまり見られない。著者らが知る限りこれに正面から取り組んだのはFannelopら⁸⁾だけである。彼らは、水・油境界面では油層先端から境界層が発達すると考え、平板に沿う境界層についてのブラジウスの研究成果を参照して油層先端部の界面抵抗の表現を与えた。しかしながら、水と油はともに流体であり油層先端の進行にともないその

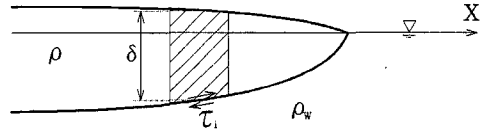


図-1 油層の模式図

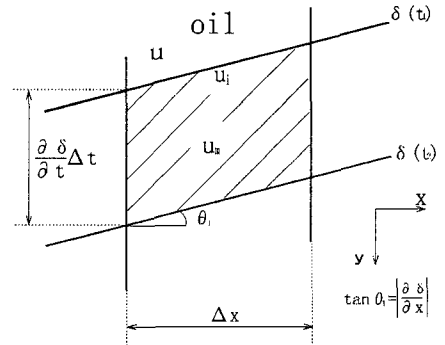


図-2 油層先端部の慣性抵抗の説明図

境界面は変形するため、固体平板に作用する摩擦抵抗の結果を用いるのは無理があるように思われる。また、油層フロント部の厚さがある程度大きい場合には、フロント部が周囲の水塊を押しつけながら進行するが、このような場合に対して平板に沿う流れの結果を用いることにも問題が残る。このほか、2層流モデルへの適用に際して仮想原点を設定する必要が生じるなどの煩わしさがある⁴⁾。

ここでは、油・水境界面が傾斜した状態で油層先端が進行することにより、周囲水が加速されて押しつけられる際の慣性抵抗として油層先端部の付加的な界面抵抗を評価する。図-2に示すように、先端部の境界面が時刻 t_1 から t_2 の間に $\delta(t_1)$ から $\delta(t_2)$ へと変化するものとする。このとき図の斜線部は時刻 t_1 には水で占められていて流速 u_m をもち、 t_2 には油に置き換えられて油層の平均流速 u をもつものとする。したがって、 $\Delta t = t_2 - t_1$ の間における斜線部の流体の運動量増加は単位幅あたり次のように見積もられる。

$$\rho_w \left(\frac{\partial \delta}{\partial t} \Delta t \times \Delta x \right) \times (u - u_m)$$

ここで、油層フロントの進行にともなう周囲水の運動が静止流体中を進行する円柱周辺のポテンシャル流に近いと考えて u_m の簡単な見積もりをおこなう。油層先端付近では油層の速度は円柱の進行速度に対応し、油・水境界面は円柱表面に対応すると考えてよい。また、ここで問題とする慣性抵抗は後述の先端条件を与える位置より後方で考えること、および斜線部は油・水境界面に接した位置にあることを考え合わせると、図の斜線部の速度は境界面に沿う

成分が主体であると考えられる。そこで u_m を次のように近似する。

$$u_m \doteq u \cos \theta_1 = u \left[1 + \left(\frac{\partial \delta}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2}$$

したがって、上記の運動量変化を単位時間・境界面の単位面積で表現すると、

$$\tau_F = \rho_w \frac{\partial \delta}{\partial t} \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{\partial \delta}{\partial x} \right)^2 \right]^{-1/2} \right\} u \quad (7)$$

これが油層フロントの進行に伴う慣性抵抗の表現である。トータルの界面抵抗 τ_i は、これに漸変流の界面抵抗を加えたもので評価される。すなわち、

$$\tau_i = \tau_F + f_i \rho_w u^2 \quad (8)$$

ここで、 f_i は漸変流の界面抵抗係数で、Lauら⁹⁾の研究により油・水境界の場合には0.003程度の値とみなされる。

(3) 先端条件

前述のように、Massauの方法により油層の運動を解析する場合、適当な先端条件を設定し、これを満足する位置より後方部分を解析する。この先端条件が下流端の境界条件を与えることは前述の通りである。ここでは、大野⁶⁾の実験データを用いて油層先端条件を再検討する。

大野は、軽油（動粘性係数 $\nu_o = 0.043 \sim 0.067 \text{ cm}^2/\text{s}$ ）、機械油（ $\nu_o = 0.864 \sim 3.84 \text{ cm}^2/\text{s}$ ）、モーター油 20W40（ $\nu_o = 4.42 \sim 7.31 \text{ cm}^2/\text{s}$ ）およびモーター油 #30（ $\nu_o = 13.6 \sim 16.7 \text{ cm}^2/\text{s}$ ）を用いて一定幅水路の静水面上に油を連続放出する実験を行い、先端部の形状に注目しつつ先端速度と流動厚さを測定している。その結果、油層先端の形状は大雑把には次のようなA～Dのタイプがあることを示し、タイプに応じて図-3のように先端厚さを読みとっている。

(A) head shaped front が生じ、油・水界面に内部波がみられる；(B) head shaped front が生じるが、内部波は殆ど見られない；(C) head shaped front は発生せず、油層は先端から後方へとその厚さを増していく。内部波は殆ど見られない；そして、(D) 先端部が突出している。そのほかの点はC型と同様。

なお、流出直後にAのパターンであったものが時間の経過とともにC、Dのパターンへと移行すること、およびパターン分類が困難をともなうものがあることを述べている。CとDについては最先端近くの界面形状が比較的平らな部分をとっているとみられるが、Cでは判定が難しいように思われる。また、 δ_f の定義は図-3のパターンA、BとパターンC、Dでは明らかに異なるが、AとBのケースでも最先端近くに $\delta = \delta_f$ となるところがあること、および本計算モデルではパターンA、Bの先端部のくびれを表現できないことを考慮すると、計算との対応では先端条件を満

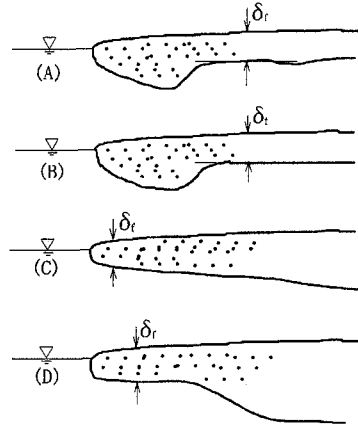
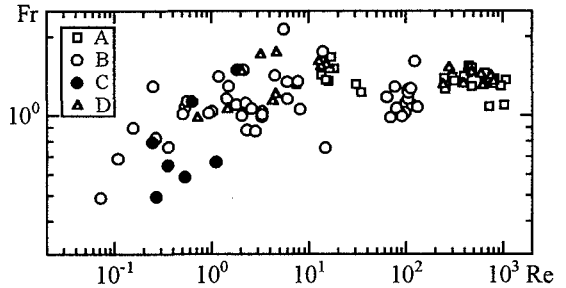
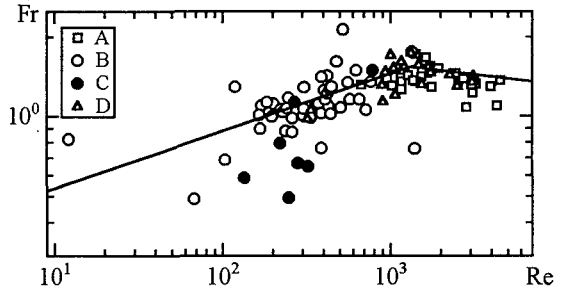


図-3 油層先端部の形状⁵⁾



(a) 油の動粘性係数を用いた場合³⁾



(b) 水の動粘性係数を用いた場合

図-4 油層先端条件

たす位置を最先端近くの $\delta = \delta_f$ となる位置と解釈すべきであろう。

以上をもとに先端条件を考えよう。首藤ら³⁾は先端部の密度フルード数が先端部のレイノルズ数と油層厚さ/水深により変化することを明らかにし、さらに水深に比べて油層厚さが小さく水深の影響が無視できる場合については先端部の密度フルード数とレイノルズ数の関係として先端条件を与えている(図-4(a))。このことは、水深の影響が無視できる場合、油層先端部では、慣性力、重力、粘性力が適当にバランスした状態にあると考えれば納得できる。しかしながら、前述のようにデータの散乱がかなり大きい。

首藤らは油の動粘性係数を用いてレイノルズ数を構成しているが、油層先端部が水面上を進行する現象では油層が水の抵抗を受けて進行すると考えれば水の動粘性係数を用いる方が適切と考えられる。

図-4は、図-3で定義された δ_f とフロント移動速度 u_f を用いて定義した先端部の密度フルード数 $Fr = u_f / (\Delta\rho g \delta_f / \rho)$ とレイノルズ数 $Re = u_f \delta_f / \nu$ の関係を示したものである。図-4(a)は油の動粘性係数を用いた場合、そして(b)は水の動粘性係数を用いた場合の結果である。両図を比較すると、密度フルード数～レイノルズ数の関係は、水の動粘性係数を用いた場合の方がデータのまとまりがよく、特に図-3のパターンの違いの影響が出にくい。このことは、先端条件としては、図-4(b)の方がより適切であることを示唆している。図中の折れ線は、レイノルズ数1500を境に2つの直線で次式

$$Fr = ARe^n \quad (9)$$

により最小自乗近似した結果であり、Aとnは、 $Re \leq 1500$ に対して $A=0.317$ 、 $n=0.209$ 、そして $Re \geq 1500$ に対して $A=2.87$ 、 $n=-0.096$ であった。なお、上の結果によると $Re \geq 1500$ の領域ではReが増大するにつれて密度フルード数が減少することになるが、既往の研究結果を総合するとReが大きい領域では密度フルード数が1程度の一定値に漸近すると考えるのが自然である。そこで、 $Re \geq 58,000$ で $A=1$ 、 $n=0$ とおく。以上をまとめると、

$$\begin{aligned} A=0.317, n=0.209 & \text{ for } Re \leq 1,500 \\ A=2.87, n=-0.096 & \text{ for } 1,500 \leq Re \leq 58,000 \\ A=1, n=0 & \text{ for } Re \geq 58,000 \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、油層先端部の密度フルード数 Fr とレイノルズ数 Re の関係を定性的に検討してみる。ほぼ一定の速度 u_f で進行する油層先端部では、重力項(密度差による静水圧項)と形状抵抗項がほぼバランスすると考えてよい。これは形状抵抗の係数を C_D として次のように与えられる。

$$\frac{1}{2} \Delta\rho g \delta_f^2 \cong \frac{1}{2} \rho_w C_D u_f^2 \delta_f$$

これより次式が得られる。

$$u_f^2 / (\Delta\rho g \delta_f / \rho) \cong 1 / C_D \quad (11)$$

厳密な議論は出来ないが、2次元物体ではレイノルズ数 Re が小さい領域では Re の増加とともに形状抵抗の係数 C_D は減少して一定値に漸近する。ここで定義している先端部の密度フルード数は、 C_D の平方根の逆数にほぼ対応するから、 Re の増加とともに漸増して一定値に漸近することになる。このような性質は図-4(b)に表現されている。

(4) 出口の境界条件

出口(上流端)の境界条件は連続流出と瞬間流出の2つのケースで異なり、瞬間流出の場合には上流端で流速がゼロ

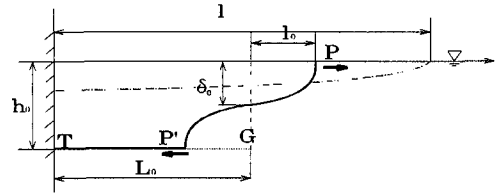


図-5 瞬間流出直後の油・水界面の形状

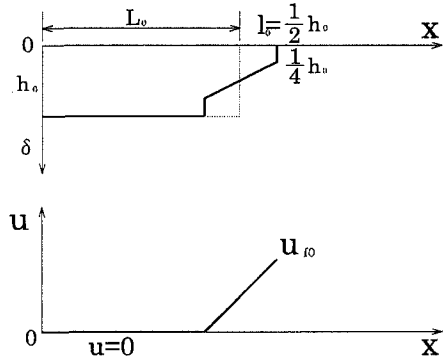


図-6 計算の初期条件(瞬間流出)

である。一方、連続流出では出口の流量が制御される。以上をまとめると次のようである。

$$u = 0 \quad \text{at } x = 0 \quad (\text{瞬間流出})$$

$$q(t) = u\delta \quad \text{at } x = 0 \quad (\text{連続流出}) \quad (12)$$

連続流出の場合、上式と特性曲線 ω 上で成立する式(6)を組み合わせると解くことになる。

(5) 初期条件

計算の初期条件は埜口⁵⁾の結果から得られる。埜口は一定幅の水槽で一定体積の油を仕切を外して流出させる、いわゆる瞬間流出の実験を行い、流出直後の油層界面の形状を調べた。その状況が図-5に模式的に示されている。水平長さ L_0 の貯油槽にためられた厚さ h_0 の油層の仕切はずすと、仕切位置の油層厚さが $h_0/2$ ($=\delta_0$)となり、油層はこれより前方に延び、水の層が逆に下半分に侵入するようになる。これはlock exchange flow(開放交換流れ)と同様である。埜口はこの状態について、流出直後の t_0 時間のうちに油層が l_0 だけ進行するものとして、次元考察をおこなった。さらに、初期の油層進行のフルード数がほぼ1であることを確かめ、次の関係式を与えた。

$$t_0 = \left(\frac{l_0}{\Delta\rho g / \rho} \right)^{1/2} \quad (13)$$

$$l_0 = \delta_0 = h_0 / 2 \quad (14)$$

従来の研究により、油の流出直後には慣性力と重力の項がバランスすることが明らかにされている¹⁰⁾。このバラ

表-1 実験条件

RUN	h_0	L_0	B	$\Delta\rho/\rho$	T
1	3	100	50	0.09	13.6
2	5	100	50	0.09	15.6
5	3	200	30	0.09	9.6
8	10	20	30	0.09	28.0
9	10	40	30	0.09	28.1
10	10	10	30	0.09	28.2
11	5	20	30	0.09	28.2

(unit ; h_0 (cm), L_0 (cm), B (cm), T (°C))

ンスはフルード数の条件であり、式(13)においてこの間の平均的な速度 u_0 を用いて $t_0 = L_0 / u_0$ とおき、式(14)の条件を考慮すれば式(13) がそのことを表現していることがわかる。

瞬間放出の場合の初期条件は、以上を考慮してかつなるべく単純な式で図-5の形状を表現するものとして図-6のように与える。すなわち、

$$\delta = h_0 ; u = 0 \quad \text{for} \quad 0 \leq x \leq L_0 - h_0 / 2$$

および

$$\delta = \frac{L_0 + h_0 - x}{2} ; u = \left(\frac{1}{2} + \frac{x - L_0}{h_0} \right) u_{f0}$$

$$\text{for} \quad L_0 - h_0 / 2 \leq x \leq L_0 + h_0 / 2 \quad (15)$$

ここで、 $u_{f0} = (\Delta\rho g \delta_0 / \rho)^{1/2}$ である。

一方、油が連続的に放出される場合にも式(13)と(14)の関係は成立すると考えてよい。また、連続流出の場合には流量がコントロールされ、このことは流出初期でもいえる。したがって、これらの条件を同時に満足する δ 、 u として次式が得られる。

$$\delta_c = \left[q_0^2 / (\Delta\rho g / \rho) \right]^{1/3}$$

$$u_c = (q_0 \Delta\rho g / \rho)^{1/3}$$

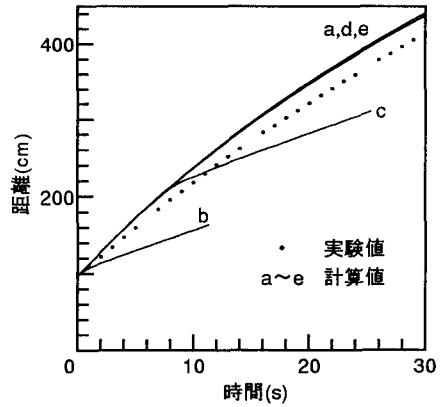
ここで、 $x=0$ は出口の位置、 q_0 は出口での単位幅流量の初期値である。瞬間流出の場合と同様の理由により $x = \delta_c$ で $\delta = \delta_c / 2$ 、 $x = \delta_c / 2$ で $\delta = \delta_c$ となるような δ の分布を考えると、初期条件としてたとえば次式を考えることができる。

$$\delta = \delta_c ; u = u_c \quad \text{for} \quad 0 \leq x \leq \delta_c / 2$$

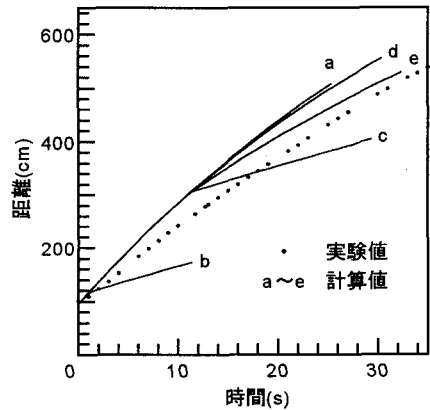
および

$$\delta = -x + \frac{3}{2} \delta_c ; u = u_c \quad \text{for} \quad \delta_c / 2 \leq x \leq \delta_c \quad (16)$$

式(16)が連続流出の場合の初期条件である。なお、式(15)



(a) RUN1



(b) RUN2

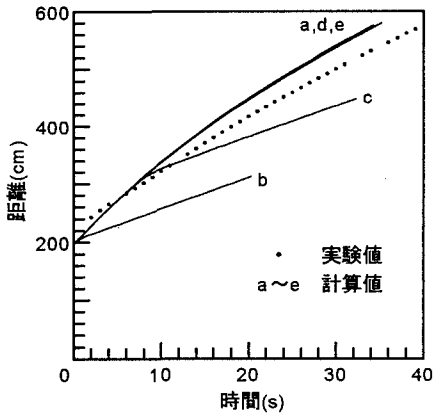
図-7-1 油層先端位置と時間の関係

(a) は $\tau_F = 0$ 、 $f_1 = 0.003$ としたもの； b) は $\tau_F = 0$ 、 $f_1 = 0.2 / Re_0$ としたもの； c) は式(8)を用いたもの； d) は式(8)を用い $Re \leq 500$ で $\tau_F = 0$ としたもの； e) は式(8)を用い $Re \leq 300$ で $\tau_F = 0$ としたもの

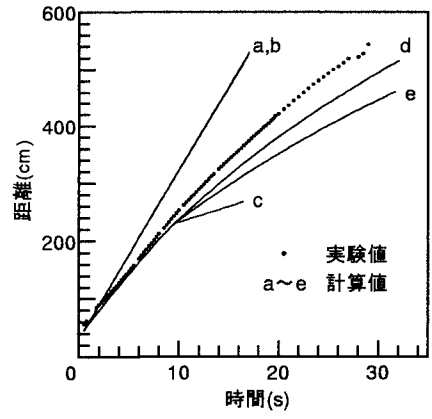
および(16)は厳密でなく多少任意性を含むが、この不正確さはたかだか h_0 または δ_c の区間でのみ初期時刻に存在するだけであるので、この影響は計算のごく初期の時点以外では無視しうると考えられる¹¹⁾。

3. 計算結果

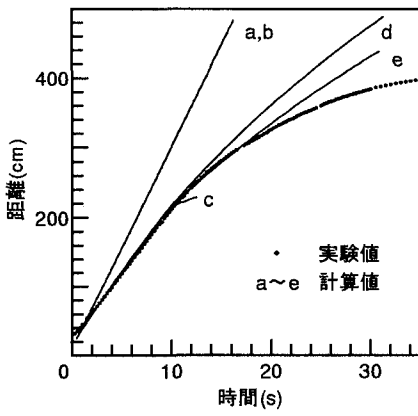
以上の解析法の検証のため、瞬間流出についての壁⁵⁾の実験結果について計算を行い、先端位置の結果の比較を行った。実験条件を表-1に、そして計算結果を図-7-1、図-7-2に示す。



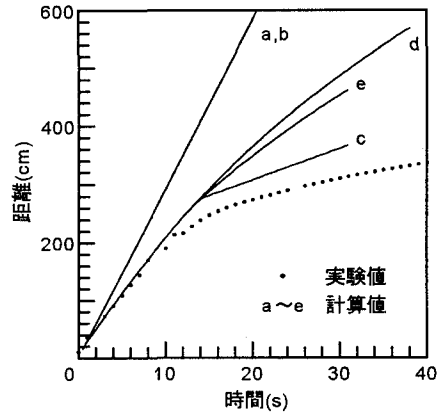
(c) RUN5



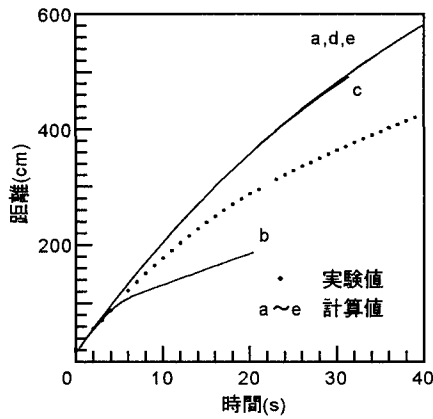
(e) RUN9



(d) RUN8



(f) RUN10



(g) RUN11

図-7-2 油層先端位置と時間の関係

(a)は $\tau_F=0$, $f_i=0.003$ としたもの; bは $\tau_F=0$, $f_i=0.2/Re_0$ としたもの; cは式(8)を用いたもの; dは式(8)を用い $Re \leq 500$ で $\tau_F=0$ としたもの; eは式(8)を用い $Re \leq 300$ で $\tau_F=0$ としたもの

表-2 先端条件が変更された時刻

RUN	a	b	c	d	e
1	19.25	0.25	7.25	19.25	18.25
2		0.32	10.32		11.32
5	19.25	0.25	7.25	19.25	18.25
8			9.66	30.46	22.06
9			9.26	30.06	9.26
10			13.66	19.26	26.06
11		4.32	20.32	33.32	20.32

※空欄は変更されなかったことを示す

なお、先端部のレイノルズ数がある程度小さくなると油層先端部前半部周辺の流れが粘性の影響をうけてポテンシャル流的でなくなり¹²⁾、式(7)が適用されなくなると考えられる。そこで、先端レイノルズ数 $Re = \delta_f u_f / \nu_w$ が300以下で慣性抵抗をゼロとした場合、同じく500以下で慣性抵抗をゼロとした場合、および最後まで慣性抵抗を考慮した場合について計算を行った。また、油層厚さが0.3cm以下となると計算不能のケースがあったため、以後は先端条件を厚さ0.3cmに固定した。表-2は、油層厚さが0.3cmに固定される直前の時刻を各実験と計算条件について示す。図によると、貯油槽の長さが短いRUN8、RUN10およびRUN11の実験では実験値と計算値の傾向が異なるが、これは貯油槽が短いと流出開始後しばらくして油層厚が全域で薄くなり流れの駆動力が小さくなるため、作用力に占める表面張力項の比率が大きくなりこの項が影響しているとみられる。また、本研究の基礎式が鉛直スケールが水平スケールに比べて小さい運動を対象としているのに対して上記の実験では初期においてこの条件が満たされておらず、この影響が出ていることも考えられる。以下ではこれら以外の実験について界面抵抗を主眼に適合度を検討する。比較のため慣性抵抗をゼロとして、界面抵抗にLauらの結果を参照して $f_i = 0.003$ とした場合、および後藤¹³⁾にならぬ $Re_0 = u \delta / \nu$ を用いて $f_i = 0.2 / Re_0$ とした計算をも行った。それによると、 $f_i = 0.003$ とした計算は、油層厚さが最初から小さいケースでは実験値と程よい一致を示すが初期油層厚さが大きい場合には界面抵抗を過小評価している。また、 $f_i = 0.2 / Re_0$ とした計算は、初期油層厚さが小さい場合には界面抵抗を過大評価し、初期油層厚さが10cmと比較的大きい場合には $f_i = 0.003$ とおいた計算結果と同様界面抵抗を過小評価していることがわかる。これらに対して、式(8)を選択的に用いた計算では初期油層厚さが3cmから10cmまでの範囲でほぼ妥当な結果を与えている。これは、油層厚さがある程度大きいと先端部の慣性抵抗が無視し得ないことを示唆している。以上を総合すると、本研究で求めた油層先端部の付加的な抵抗を考慮した表現式はほぼ妥当であると考えられる。

4. 結言

以上、水面上に流出した油の1次元的な拡がりを2層流モデルにより取り扱う方法について検討し、界面抵抗、先端条件などの表現を与えた。先端条件は連続流出の実験から求められているが、解析モデルの検証計算によりこれが瞬間流出の場合にも適用可能なことが示唆された。また、先端部の付加的な慣性抵抗の見積もりもほぼ妥当であるといえる。今後2次元的な拡がりへの拡張や水面波のある場合を検討するとともに、有効な回収方法についても検討する予定である。

謝辞: 本研究にあたり東北大学工学部首藤伸夫教授より貴重な文献をご提供頂いた。また、山口大学卒研究生の住田裕志君(現五洋建設)には本研究の立ち上げ期にプログラム開発で献身的な協力を頂いた。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 朝日新聞: 1997. 1. 17.
- 後藤智明, 首藤伸夫: 各種津波上計算法と波先端条件の比較 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 80-84, 1980.
- 首藤伸夫, 大野操: 石油の拡がりの実験, 第24回海岸工学講演会論文集, pp. 509-513, 1977.
- 羽田野袈裟義, 天野卓三, 埜口英昭, 式正治, 平野宗夫: 油層の先端条件とその1次元解析への適用, 水工学論文集, 第41巻, pp. 543-548, 1997.
- 埜口英昭: 水面上に流出した油の拡がりに関する研究, 中国工業技術試験所報告, 第9号, 1991.
- 大野操: 海面上における石油の拡がりに関する実験的研究, 中央大学修士論文, 1978.
- 椿東一郎: 水理学II, 森北出版, p. 30, 1974.
- Fannelop, T.K. & Waldman, G.D.: The dynamics of oil slicks, AIAA J. Vol. 10, No. 4, pp. 506-510, 1971.
- Lau, Y.L. & Moi, J.: Booms used for oil slick control, J. of the Environmental Eng., ASCE, Vol. 105, No. EE2, 1979.
- たとえばFay, J.A.: The spread of oil slicks on a calm sea, Oil on the Sea, Prentice Hall, pp. 53-63, 1969.
- 文献7), p. 33
- 文献7), pp. 52-53.
- 後藤智明: 津波による油の拡がりに関する数値計算, 土木学会論文集, 第357号/II-3, pp. 217-223, 1985.

(1997. 9. 8受付)

ONE-DIMENSIONAL SPREAD OF OIL LAYER ON THE WATER SURFACE

Kesayoshi HADANO, Takuzo AMANO, Haruhiko MATSUMOTO
Hideaki NOGUCHI and Muneo HIRANO

To predict the oil slick propagation on the water surface is of a great importance for sea environmental problem. This study proposes a method of analysis of one dimensional oil propagation employing the two layer model. In the analysis basic equations of oil layer have been treated as a problem of the initial and boundary conditions. The oil front condition interfacial resistance near the front, and the initial and upstream boundary conditions have been determined from the view point of hydraulics. In order to examine the applicability of the model, computed results of front position for the cases in which constant volume of oil is discharged have been compared with the experimental ones.