

津波・油2層流モデルと既往水理実験との比較検証

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○岩渕 洋子
 東北大学大学院工学研究科 正 会 員 越村 俊一
 東北大学大学院工学研究科 正 会 員 今村 文彦

1. はじめに

筆者らは、臨海工業地帯での複合津波災害の対策に利用する津波・油2層流モデルの開発をおこなってきた(岩渕ら, 2006). 本稿では、数値モデルによる油の拡がり特性の妥当性について検討する. 水上での油の拡がりに関する水理実験としては、Lau & Moir (1979), Berry & Rajaratnam(1985), 埜口 (1979,1991) の先行研究があり、これらの実験データを利用する. 2液界面の抵抗係数については、波動場での油実験が過去に行なわれていないため、ここでは、埜口 (1979,1991) が行った静水面上での瞬間放出の実験結果を利用し、これを真値として整合状況を示すことによって数値モデルの妥当性を示す. その上で、波動場での油研究をさらに進めていく上で、今回の検討手法以上の成果を得るために必要な課題について整理する.

2. 水と油の界面抵抗に関する既往研究

既往の水理実験では、浮遊する油層に対して津波または波動を入射させた場合の油層の運搬について水理実験を行なった例がない. 一方、本研究で対象とするのは、陸上域に津波が入射・遡上するような流れの速い条件での検討が最終的には必要である. 現状で利用できるのは、静水面上に放出された油の実験または、一様流れによる油の拡がり実験である. 例えば、油の拡がりにおける Lau & Moir (1979), Berry & Rajaratnam(1985)の実験では、流速 $0.12\text{m/s} \sim 0.28\text{m/s}$ 程度の微弱な水流のある状況下で、油の移動や界面抵抗が検討され、実際の津波氾濫流と比較すると流速がかなり小さい条件である. 埜口 (1979,1991) では、静水面上で検討されている. 今回は埜口 (1979) の静水面上での実験データと結果の整理方法 (埜口, 1991) を利用する.

3. 埜口の水理実験とその結果の整理

埜口 (1979, 1991) は、油層の移動について水理実験と数値実験の両方を行っている. 図 1(a)に実験に用いた2次元実験水槽を示し、図 1(b)に油層付近を拡大して、各パラメータを定義する.

ここでは、最終的に静水面での実験で得られた埜口 (1991) の図表を用いて、本モデルによる油の拡がりとの比較を行なう. 埜口 (1991) は、一次元瞬間流出で、パラメータ t_0 , l_0 を導入して実験結果を整理した.

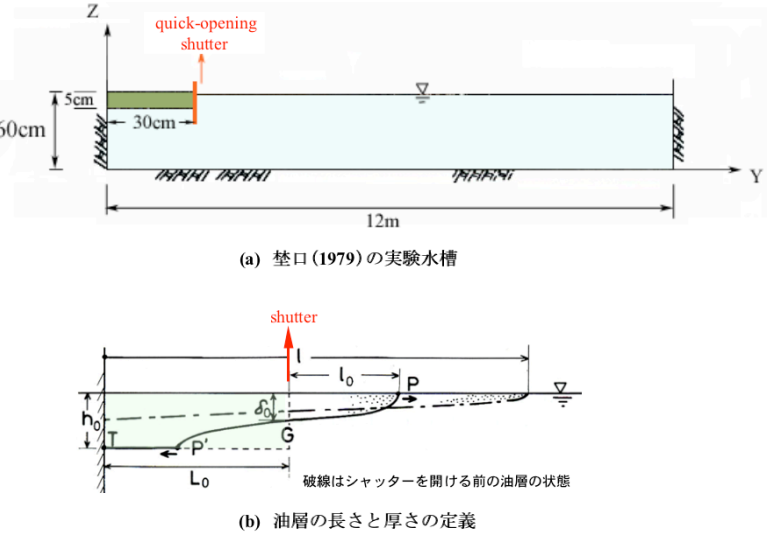


図1 実験水槽と油層のパラメータ (埜口, 1991)

図 1(b)に l_0 を定義し t_0 は式(1)で定義される.

$$t_0 = \sqrt{l_0/g'} \quad \dots \dots (1)$$

$$g' = \Delta g \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 $\Delta = 1 - \rho_0/\rho_w$ は油の相対密度差を示す.

図 1(b)の点 P での油層の速度 U_{f0} は、実験結果から得られた $u_{LE} \doteq 0.7 C_0$ で与えられる. さらに U_{f0} と δ_0 を用いて表した内部フルード数が 1 に等しいという条件を考慮して、

$$U_{f0} = 0.7 C_0 = 0.7 \sqrt{g' h_0} = \sqrt{g' \delta_0} \quad \dots \dots (3)$$

となる. 従って、 δ_0 と h_0 の間には次のような関係が成り立つ.

$$\delta_0 = 0.49 h_0 \quad \dots \dots (4)$$

また、 l_0 と t_0 および U_{f0} の間には、 $l_0 = t_0 \cdot U_{f0}$ の関係が成り立つので、式(1)および(3)から、

$$l_0 = \delta_0 \quad \dots \dots (5)$$

の関係が得られる. このようにして得られた t_0 および l_0 を用いて実験結果を整理し、 $(l-L_0)/l_0$ と t/t_0 の関係を求めたのが埜口 (1991) の図表である (図2(a)参照). 埜口 (1979) が水理実験で用いた油は、密度比 $\alpha=0.91$ の

重油Bであり、油層の初期サイズ L_0/h_0 を11ケース変化させている。この整理方法では、傾きが $t/t_0=100$ 付近で変化する特徴である。

4. 2層流モデルによる計算結果の妥当性の検討

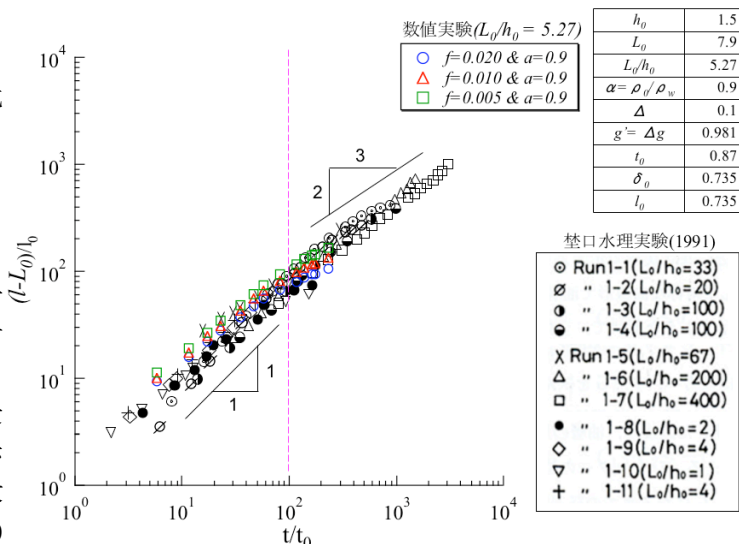
開発した数値モデルの妥当性を断面2次元水槽（図1）での解析で検証する。図2(a)に、本数値モデルによる計算結果（ $\alpha=0.9$ ）と埜口（1991）の図表との重ね合わせを示す。ここで計算条件は $dx=0.1m$, $dt=0.01sec$ とした。一方、計算では $L_0/h_0=5.27$ としているため、この条件に最も近い実験条件 $L_0/h_0=4$ との比較のみを抽出し図2(b)に示した。図2(b)において、実験と計算の拡がり特性が一致している。さらに、埜口（1991）の図表と同様に $t/t_0=100$ 付近で傾きが変化している。これらのことから、本数値モデルが妥当であることを結論づけた。ただし、界面抵抗係数 f を変化させても、ほとんど傾きが変わらなかった。また、 $t/t_0=100$ 付近で変化した傾きについて、傾きの開始位置はほぼ一致しているが、傾きの大きさは同じでない。

表面張力の影響を無視した場合、油の拡がりには重力・慣性力および粘性力の3つの釣り合いで決まる。図2(a), (b)では、 $t/t_0=100$ 付近で計算結果の傾きが変わった。 $t/t_0=100$ より小さい範囲では、重力が支配的であり、埜口（1991）に従っているため、妥当な結果が得られたと考えられる。しかし、 $t/t_0=100$ より大きい領域では、表面張力の効果など重力以外の要素が徐々に大きくなっていくため、計算で誤差が出てきたと考えられる。津波遡上などの時間空間スケールでの再現性としては、本モデルの妥当性が確認できた。今回の計算では拡散や表面張力を考慮していないが、実際にはそれらの効果よりも移流の効果の方が圧倒的に大きいことが予測でき、波動場での検討が次の課題である。

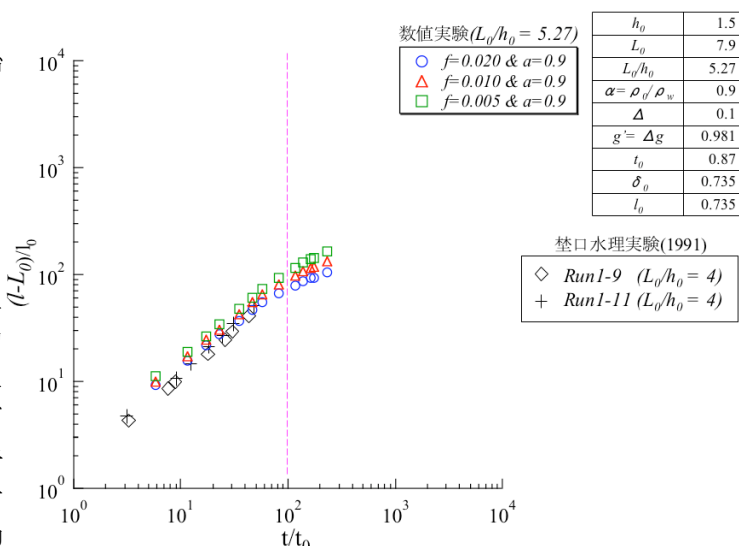
5. まとめ

[1] 埜口（1991）の図表を用いて、2層流モデルが妥当な結果を示していることを確認した。計算値を油層先端の移動の時間変化の関係で埜口（1991）と同様にグラフにプロットしたところ、実験値の結果と重なった。また、 $t/t_0=100$ 以下の領域である重力粘性力領域においては、十分に再現できていることがわかった。なお、埜口（1991）の図表において、油の拡がり時間が長時間に及ぶと、 $t/t_0=100$ でグラフの傾きが変わるが、本数値モデルによる計算結果においてもこのような傾向が確認できた。ただし、密度比 α や界面抵抗係数 f を変化させても結果が変わらなかった。

[2] 津波氾濫流のような波動場や防油堤に突入する場合など、臨海工業地帯での課題に対応するように数値モデルを修正するためには課題を残している。防油堤内への突入過程へ適用するためには、混合過程の実験とデー



(a) 埜口（1991）の実験結果11ケースと2層流モデルによる計算結果の重ね合わせ



(b) 埜口（1991）の実験結果（ $L_0/h_0=4$ のみ）と2層流モデルによる計算結果の重ね合わせ

図2 2層流モデルによる計算結果の整理（ $\alpha=0.9$ ）

タ取得が必要であり、波動場での水理実験（段波の入射実験）をおこなう必要がある。

参考文献

- 1) 岩渕洋子・越村俊一・今村文彦（2006）：津波の陸上遡上域における油。水輸送問題の数値実験，海岸工学論文集，53巻，pp.1361-1365.
- 2) 埜口英昭・早川典昭・橋本英資・山崎宗広(1979)：海上に流出した油の拡がりについて-瞬間放出による実験的研究-，第26回海岸工学講演会論文集，pp.628-632.
- 3) 埜口英昭(1991)：水面上に流出した油の拡がりに関する研究，通商産業省中国工業技術試験所研究報告，第9号，109p.
- 4) Berry, B.A and Rajaratnam, N (1985): Oil slick in ice covered rivers, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.111, No.3. pp 369-379.
- 5) Lau, Y. L. and Moir, J. (1979): Booms used for oil slick control, Journal of the environmental engineering division, A.S.C.E., Vol.111, No. 3, pp.369-382.