

II-213

水表面上の油層拡がりの先端条件について

山口大学工学部 正〇羽田野袈裟義

通産省中国工試 正 埜口 英昭

1. はじめに

水面上の油の拡がりを解析する場合、先端では流動厚さが有限値からゼロに変化するため、解析上のネックになる。このため、フロントの解析では、先端部に条件を与えこれを満たす位置より後方部分を数値的に取り扱うことが多い。開水路の段波では先端の条件として、フルード数が1程度、または適当に小さな流動厚さが採用されているが、水表面上の油層の場合にこのような条件が妥当か否かについての検討が十分とはいえない。ここでは、油層先端に関する大野²⁾の実験データをもちいて先端の条件を検討する。

2. 実験データについて

大野は、軽油($\nu=0.043\sim0.067\text{cm}^2/\text{s}$)、機械油($\nu=0.864\sim3.81\text{cm}^2/\text{s}$)、モーター油20W40($\nu=4.42\sim7.31\text{cm}^2/\text{s}$)およびモーター油井30($\nu=13.7\sim16.7\text{cm}^2/\text{s}$)

を用いて、2次元水路の静水面上に油を連続放出する実験を行ない、先端の進行速度と先端厚さにの詳細な測定を行なっている。

そして油層先端の形状には大雑把に次のようなタイプがあることを示し、タイプに応じ図-1のように先端厚さを読みとっている。

(A1)head shaped frontが生じ、油・水界面に内部波が見られる。

(A2)head shaped frontが生じるが、内部波は殆ど見られない。

(B)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。

(C)先端部が突出している。そのほかの点はC型と同様。

なお、以上は大雑把な分類であり、A1とA2、あるいはBとC

の区別が明瞭でないものかなりあると述べている。

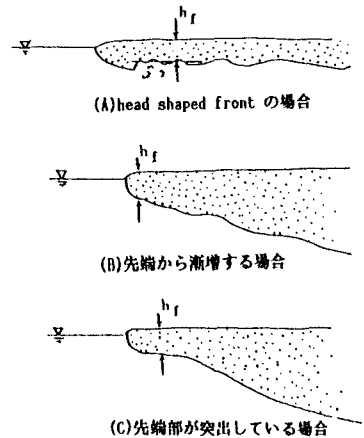


図-1 h_f の読み取り方法²⁾

3. 次元的検討

前述のように、従来から先端の条件として先端部のフルード数が盛んに検討されている。首藤らは先端部のフルード数(無次元波速) $F_r = V_f / \sqrt{\Delta \rho g h_f / \rho}$ が先端部のレイノルズ数 $Re_{ef} = V_f h_f / \nu_0$ と相対厚さ h_f / d (d は水深)に依存することを示している。そして、水深に比べて油層厚さが小さい場合($h_f / d < 0.1$)の先端の条件として次式を与えている。

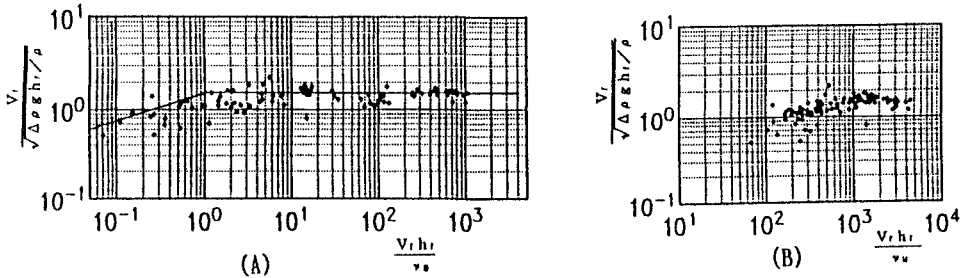
$$F_r = \begin{cases} 1.5 & \text{for } Re_{ef} \geq 10 \\ Re_{ef}^{0.176} & \text{for } Re_{ef} \leq 10 \end{cases} \quad (1)$$

先端の条件は、慣性力、重力、および粘性力が適当にバランスした状態において満たされると考えると、そのフルード数とレイノルズ数がある関数関係をもつことになり、上式はこれを表現したものとなっている。油層の拡がりの場合、関与する動粘性係数は水の値 ν_w か油の値 ν_0 かの判断が難しいので、ここでは動粘性係数として ν_w 、 ν_0 そして $\nu_{qu} = \sqrt{\nu_0 \cdot \nu_w}$ の3通りについて検討する。

次に、新たな整理方法を提案する。これは、先端の条件は上と同様に考え、力のバランスの状態にある部分の慣性項/粘性項の比を $Re = V_f h_f / \nu$ 、慣性項/重力項の比を $Fr = U_f / \sqrt{\Delta \rho g h_f / \rho}$ で評価し、これらをもちいて重力項/粘性項の比を $Re / Fr = h_f \sqrt{\Delta \rho g h_f / \rho} / \nu$ で評価し、 Re / Fr と Re がある関数関係にあると考え、両者の関係を検討する。動粘性係数は上と同様に3通りについて調べる。

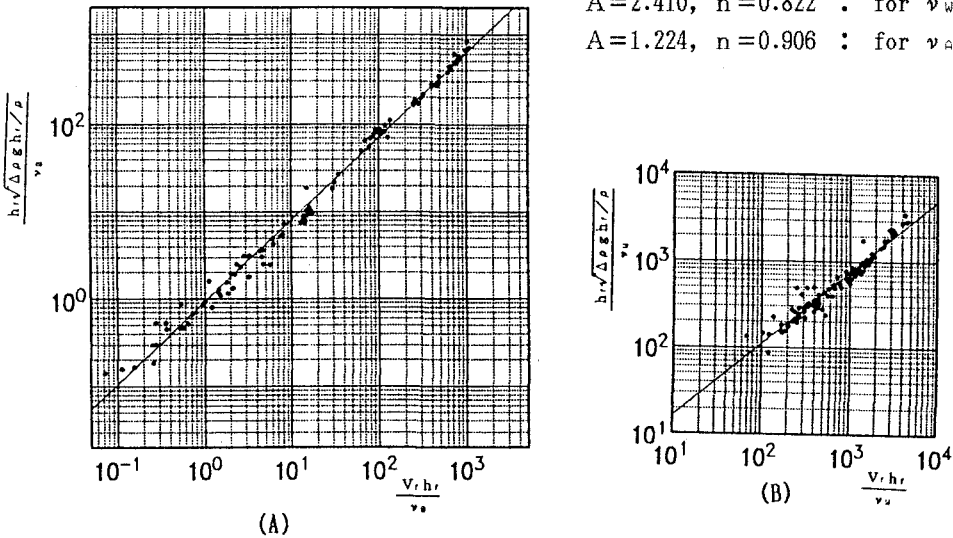
4. 実験値の適用

上の3通りの ν で先端の条件を検討したが、 ν_{AU} を用いた場合 ν_w と ν_θ の場合の中間となるので、以下の図では ν_w と ν_θ の結果を示す。 $Fr \sim Re$ の結果が図-2に示されている。どの粘性係数を用いた場合もプロットの分布は類似なものとなるが、 ν_θ を用いた場合にデータの散乱がある程度回避される。なお、図-2(A)中の実線は首藤らの式(1)である。 $Fr \sim Re/ Fr$ の関係は $Fr \sim Re$ の図とほぼ同様である。

図-2 先端の $Fr \sim Re$ の関係

次に、 $Re/ Fr \sim Re$ の結果が図-3に示されている。 ν_θ と ν_w 、そして ν_{AU} のいずれを用いた場合も、プロットは両対数紙上でほぼ一本の直線上にある。図-2、3の比較から、先端の条件はここで提案した方法がより有効であることが示唆される。図-3の直線は次式で表わされる。

$$h_f \sqrt{\Delta \rho g h_f / \rho} / \nu = A (V_f h_f / \nu)^n ; \quad \begin{aligned} A &= 0.924, n = 0.944 : \text{for } \nu_\theta \\ A &= 2.410, n = 0.822 : \text{for } \nu_w \\ A &= 1.224, n = 0.906 : \text{for } \nu_{AU} \end{aligned} \quad (2)$$

図-3 先端の $Re/ Fr \sim Re$ の関係

5. 結語

以上、水面上の油層の拡がりの実験データをもとに、表面密度フロントの先端の条件を検討し、新たな条件として式(2)を提案した。この条件は油層拡がりの解析モデルに容易に適用できる。

謝辞：本研究にあたり貴重な資料を提供頂いた、東北大学首藤伸夫教授に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 首藤・大野：石油の拡がりの実験、第24回海岸工学講演会論文集、1977。
- 2) 大野：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。