

中央大学理工学部 学生員 大野 操
同 上 正 員 首藤 伸夫

1. はじめに

海面上に放出した石油はさまざまな因子の影響の下で拡がり移動する。ここでは周囲水と石油との間に作用する諸因子による拡がりを考える。

τ_{xy} によると静水上に放出された一定量の油の拡がりには、重力、表面張力 (油を拡げようとする力)、慣性力、粘性力 (拡がりを妨げようとする力) によって決定され、時間的に三つの領域に分けられる。初め重力と慣性力のつり合っていた拡がり (重力・慣性域) がやがて時間がたつと慣性力に代って水の粘性による抵抗をうけるようになる (重力・粘性域)。さらに油膜が薄くなると表面張力と粘性によつてその運動が決まる (表面張力・粘性域)。

今回はこの拡がりの初期の段階である重力・慣性域での油の拡がり速度およびその挙動に関する実験結果を報告する。この領域での油の拡がりには重力流として取り扱われ、その先端の速度を一般化した波速 k [$k = v / \sqrt{g h}$] がいかに表現されるかということが問題となっている。従来から研究されている淡水中に進入する塩水による重力流、あるいは大気重力流の観測などから k はさまざまな値が報告されており常軌とはなっていない。その理由として Benjamin によると k は重力流の層厚とその周囲流体の高さの比で表わされるとしている。さらに Wilkinson & Wood によると重力流のモデルは *lock exchange flow* と *starting flow* の二種に大別でき、それらは重力流の上下層間に相対速度の違いがあることなどから異なった値をとるとされている。さらに石油と水とではその粘性が著しく異なることを考えると k の値はその影響をも考慮に入れる必要があると考え、軽油を使って室内実験から、その波速 k を求めることとする。

2. 実験方法

図-1 に示すように、定水頭水槽に常に水を送り続け、水頭を一定にした状態でコックを開き、一定流量の軽油を密閉した油貯留タンクから一定水深の静止水を満たした水路 (長さ 4 m, 幅 20 cm) に連続的に放出する。その間に定水頭水槽から油貯留タンクに送り続けている水の流量を測定すると同時に、T.V. カメラで油膜の先端を追跡し、ビデオ装置に組み入れた時計でその位置と時間を測定する。後にこれから先端速度 v を求める。また油膜厚 h は水路の放出堰から 1.2 m 下流のところを水路側面から写真撮影によって測定する。

各実験ごとに、油の放出量を定水頭水槽からの水の流量をバルブで調節することによつて変え、水路の静止水の水深 d も水路両端の堰を入れ替えて調節する。

なお、油膜先端の速度は、例えば水路上のある点 (あるいは放出後のある時間だけ経過した時) の前後 50 cm の 1 m 区間での平均速度とそこの点 (その経過時間) での速度とし、放出堰から下流方向に 10 cm 間隔でこの方法により速度を求めた。このようにして得られた速度の変化と写真から得られた油膜厚の変化を比較しつゝ定常状態に達する区間を見出した。

その測定結果の例が図-2 である。この図では放出開始 (0 秒) からの経過時間に対する速度および油膜厚と、それらから得られる波速 k とを載せてある。 v , h , k の各々の値は図-2 で一定に達したと思われる下秒間の平均値とその値とした。

図-1 実験装置

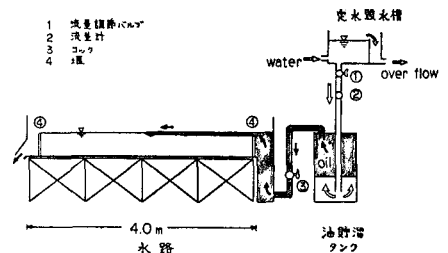
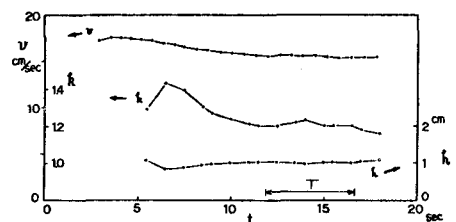


図-2 実測結果の一例



3. 実験結果

図-3に示すように1~1.45の範囲にわたる k の値が得られた。パラメタとした Re 数は $Re = v \cdot h / \nu$ で ν は軽油の動粘性係数で $0.055 \sim 0.061 (cm^2/sec)$ であった。この Re 数によって k は図のように整理され Re 数が大きくなる程、 k も大きい値をとるようになる。Benjamin および Wilkinson & Woodの解析結果は図に破線を示してある。重力流の流速が Re 数に依存するらしいということは、淡水での実験(Wilkinson, Wood)からも報告されているが、図-4でそれらとの比較を行なっている。この図での Re 数は $Re = g h / \nu$ である。ここに g は単位幅当りの流量である。

パラメタを h/d にとると図のようになり水深の影響をも受けることが窺われる。このことは図-5に示した油の挙動にも見られる。この図-4で淡水での結果に比べ、軽油での k の値は水路断面での摩擦の影響がないためかあるいは表面張力の影響によるものか全体的に大きくなっている。なお図-3と図-4での Re 数の定義が異なっているが、軽油での実験結果では、ほぼ等しい値であった。

図-5は流れていく軽油の先端部数10cmについて、次の四つの流れの型に分類したものである。A型：油膜前面は平坦で顕著な内部波は見られない B型：前面が波しくなり内部波が見られる C型：内部波が碎波し内部跳水となる D型：先端部分が厚くなっている 顕著な内部波は見られない。その結果は図-5に示したようになり図-3と対応させてみると、水深の大きいとき(h/d が小さい)には Re 数が約200でA型の流れからB型の流れに移り Re 数が約500でC型になる。しかし水深が浅くなるとC型はみられずD型のようになる。

4. 結論

$k \sim h/d$ の関係が Re 数をパラメタとすることにより図-3のように整理できた。 k はまた、水深の影響をも受けるようであり、流れの型が k 、 Re 、 h/d について四つの領域に分けられた。

今後、水路を拡張し観測時間を長くすると同時に、粘性、表面張力の異なる別種の油との比較を行ないたいと考えている。

なお、当時、卒論生であった松平章、菊田健三両君に実験の協力をしていただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 首藤、大野：海面上の石油の拡散（オ一報） 土木学会関東支部
 首藤：海面上の石油の拡がり 土木学会環境問題シンポジウム
 首藤、大野：海面上の石油の拡がり（オニ報） 土木学会年講

図-3 $k \sim h/d$

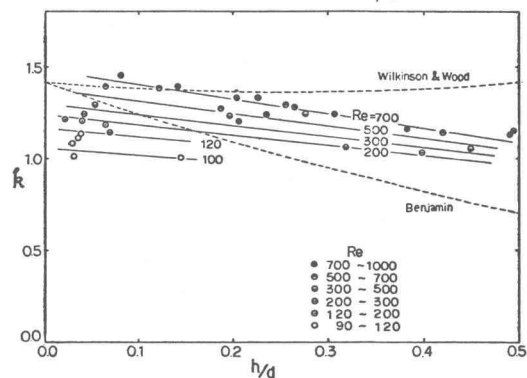


図-4 $k \sim Re$

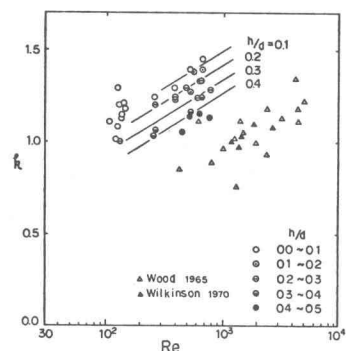


図-5 流れの四つの型

