水面上を拡がる油の膜厚の測定法†

岡田 三 郎*・住 本 哲 宏*

The Measurement of Thickness of Oil Slicks Spreading on the Surface of Water

Saburo OKADA* and Tetsuhiro SUMIMOTO*

1. ま え が き

海面上に流出した油は、潮流、風、波の影響を受け複雑に拡がり多方面に被害を及ぼすことから、油の拡がりを予測する技術の必要性が高まり、油の拡がり機構に関する研究がさかに行われている。Houltら^{1)~3)}は静水面上の油の拡がり法則を導き、理論解析を行った。ところが、首藤らの報告⁴⁾によれば、理論解析で考慮されていない油の粘性が拡がりに影響し、油内部の膜厚分布と拡がりとの関連性を明らかにする必要性を指摘している。しかし、実験検討を行うためには、油の種類、比重、色などにまったく無関係に、安定かつ精度よく油膜厚さを測定できる装置が必要である。著者は、従来の装置の欠点を改善し、高精度かつ連続的に油膜厚さを測定するため、水と油の境界をサーボ式水位計、空気と油の境界を超音波によって検出する油膜厚さ測定器を開発し、油の拡散実験に適用した結果、油の種類、性質にまったく無関係に、水面上を拡がる油の膜厚を ± 0.1 mmの精度で測定できることがわかった。

2. 実験装置

油膜厚さ計の水と油の境界を検出するサーボ式水位計は、先端の尖った追従針を水面にわずかに接触させ、水との接触抵抗が一定となるようサーボモータで追従針を上下させ水位を測定する。したがって、水面上に油のような絶縁流体が浮いている場合は、導電体である水面に追従する。一方、空気と油の境界を検出する超音波送受信器は、直径7 mm長さ14 mmの小形軽量の超音波振動子1組をサーボ式水位計追従針軸に水面に対向させて取り付け、水面または油面までの距離変化を測定する。さらに別に2組の超音波送受信器により、油膜厚さ測定器の動作チェックと気温変化に伴う音速補償を行う。Fig. 1に油膜厚さ測定器のブロック図を示す。3組の超音波送受信器のうち、Xは温度補償用で、振動子を一定距離(約5 cm)離して対向させ、風の影響を受けないようカバーを付ける。Yは動作チェック用で、Zは油の膜厚測定用である。三つの送信用振動子には、100 kHzの正弦波電圧を印加し、連続的に超音波を空中に発射させる。対向する超音波振動子は、空中を伝搬してきた超音波を検出し増幅、波形整形後、三つの受信波間の位相差を検出し、温度補償された油膜厚さに比例する出力を得る。位相差方式は、原理的に1波長以内の位相差の判別しかできないので、1.7 mm以内の膜厚しか測定できない。測定範囲を拡大するため、分周回路によって、受信波

† 第18回計測自動制御学会学術講演会で発表(昭54・8)

* 中国工業技術試験所 呉市広町 15000
(Received April 21, 1980)
(Revised August 13, 1980)

Fig. 1 The block diagram of oil-thickness detector

Fig. 2 Operating principle of oil-thickness detector

を1/1から1/16まで5段階の分周を行うことにより最大2.7cmまでの膜厚測定を可能にした。Fig. 2に油膜厚さ測定器の油流出前後の動作を示す。油流出前の超音波送受信器Yと水面との距離を d_1 、追従針軸に取り付けた超音波送受信器Zと水面との距離を d_2 とする。油が水面上を流れてくると、油の下側の水は油の流出していない周囲の水より油と水の密度差だけ水位が低くなる。よって追従針は d_5 下がる。一方、Yと油面の距離は d_3 、Zと油面の距離は d_4 となる。油の膜厚 d_7 は、 $d_7 = d_2 - d_4$ から求まる。ここで油流出前後における液面の絶対変位に着目する。超音波送受信器Yから、油流出前後の液面変化量 $ds = d_1 - d_3$ であることがわかる。 ds は、油の比重が約0.8から0.9であることから、油と水の密度差に比例して油面が周囲の水面より高くなるためである。 ds を油と水の密度差 Δ で割ることによって油膜厚さを推定でき、 $d_7' = ds/\Delta$ となる。したがって、静水面上での油の拡がり実験においては、 d_7 と d_7' を比較し、その差が大きく異なる場合は動作異常として警告ランプを点灯し装置のチェックを行った。動作異常の原因の大半は追従針先端に油が付着し、水面を検出できなくなったことによるものであった。

油膜厚さ測定器の検定は水位計試験装置⁵⁾を用い、サーボ式水位計と油膜厚さ測定器（超音波送受信器）それぞれについて行った。サーボ式水位計は、50mmの測定範囲で ± 0.1 mm以内の精度で水位の測定が可能であった。油膜厚さ測定器は、2.7cmの測定範囲で ± 0.1 mm以内の精度を満足した。

気温変化に伴う音速変化は、油膜厚さ測定器の精度に大きく影響を及ぼすので音速の補償が必要である。Fig. 1において、振動子間距離を固定したYと追従針軸に取り付けたZの受信波間の位相差を検出することにより、音速変化による波長変化をキャンセルした。Fig. 3に補償前後の出力の違いを示す。補償し

Fig. 3 The result of temperature compensation

Fig. 4 Change of oil-thickness at 1m point

ない場合（Zからの受信波と100kHzの送信波との位相差を検出する）、 2°C の温度変化によって、0.1mmの誤差を生ずるが、補償後は広い温度範囲で ± 0.1 mmの精度を満足することがわかった。

3. 油流出実験

油の流出実験は、幅50cm、水深30cm、長さ20mの水槽の一端に20cmの間隔で2枚の仕切り板を入れ、その間に4種類の油を3l貯留し、片側の板を瞬間的に引き上げて油を流出させ、板から0.5m、1m、2mの3点に配置した油膜厚さ測定器で油の膜厚測定を行った。Fig. 4は4種類の油を同一条件で流出した時の1mの位置における油の膜厚の時間的な変化を示す。油の種類により膜厚形状に差が現われ拡がり速度も異なることがわかる。今後、これらのデータから油の拡がり機構の解析を行うつもりである。

参考文献

- 1) J.A. Fay: The Spread of Oil Slicks on a Calm Sea, Oil on the Sea Plenum Press (1969)
- 2) D.P. Hoult: Oil Spreading on the Sea, Annual Review of Fluid Mechanics, 4, 341/368 (1972)
- 3) J. Buckmaster: Viscous-Gravity Spreading of an Oil Slick, Jour. Fluid. Mech. 59, 481/491 (1973)
- 4) 首藤伸夫, 大野操: 石油の拡がり実験, 第24回海岸工学講演会論文集, 509/513 (1977)
- 5) 岡田三郎, 住本哲宏: サーボ式水位計の精度の向上, 計測自動制御学会論文集, 16-4 (1980)