

中国工業技術試験所 正会員 埜口英昭・山崎宗広

1. はじめに 水面上に浮ぶ油が風で凡下側へ押し流され、海岸近くで厚い層をなして集積しているのがときどき見受けられる。また河口から流出する河川水は、陸へ強い凡が吹く日には岸近くに集積し厚い淡水層を形成するであろう。このように、凡によって表層の密度の軽い流体が岸近くへ吹寄せられ集積するメカニズムを明らかにするため、重油と淡水および淡水と塩水を用いた凡洞水槽による実験を行なった。

2. 吹寄せられた表層流体形状の解析 油の吹寄せに関しては Hoult¹⁾、津田²⁾の研究例があるが、これらは凡によって誘起される水面下の流れを無視している。ここでは、その影響を表層流体先端部での形状抵抗として導入し解析した。なお、解析上は表層と下層の流体相互間の混合はないものとする。

図-1に解析のモデルを示す。凡によって吹寄せられた表層流体の先端から x の断面では、平均水面との圧力勾配により凡上へ抜がろうとする表層流体と、凡による表面摩擦 τ_{air} が支えていると考えると、(1)式が成り立つ。(D=1とする)

$$\rho_a g h \frac{dh}{dx} \delta x = \frac{1}{2} \rho_a C_{D10} U_0^2 \delta x \quad \text{--- (1)}$$
 ここで、 ρ_a , ρ_w , ρ_a はそれぞれ表層流体、下層流体および空気の密度、 $\Delta = 1 - \rho_w/\rho_a$, U_0 は水面上10mでの凡速、 C_{D10} は表面での抵抗係数である。

吹寄せられた表層流体の先端は、凡によって誘起された水面下の流れによりある厚さ h_0 をもつと考える。すなわち、水面下の流れによって生じるすべての抵抗を先端での形状抵抗 F_D に含めて考える。したがって(1)式より、

$$\Delta \rho_a g h^2 = \rho_a C_{D10} U_0^2 x + F_D \quad \text{--- (2)}, \quad F_D = \frac{1}{2} C_{Dw} \rho_w v^2 (h_0 - \varepsilon) \quad \text{--- (3)}$$
 , ここで v は水面での吹送流速、 C_{Dw} は吹送流による形状抵抗係数、 ε は $x=0$ での水面上の厚さである。ここで $\varepsilon = v^2 / \{2g(1-\Delta)\}$, $h_0 = \varepsilon / \Delta = v^2 / \{2g\Delta(1-\Delta)\}$ の関係を用いると、(2)式より集積厚さ h は(4)式のように表わせる。

$$h = \left\{ C_{D10} (\rho_a / \Delta \rho_a g) U_0^2 x + C_{Dw} v^4 / \{4g^2 \Delta^2 (1-\Delta)\} \right\}^{1/2} \quad \text{--- (4)}$$
 , また表層流体のvolumeを V_0 として集積幅 L_0 は、
$$L_0 = \frac{1}{A} \cdot \left\{ \left(\frac{3}{2} A V_0 + B^{3/2} \right)^{2/3} - B \right\} \quad \text{--- (5)}$$
 , $x=L_0$ での集積厚さ H_0 は(4),(5)式より

$$H_0 = \left(\frac{3}{2} A V_0 + B^{3/2} \right)^{1/3} \quad \text{--- (6)}$$
 となる。ただし、 $A = C_{D10} (\rho_a / \Delta \rho_a g) U_0^2$, $B = C_{Dw} v^4 / \{4g^2 \Delta^2 (1-\Delta)\}$ 。

凡によるせん断抵抗係数 C_{D10} については代表的な実用公式として Van Dorn の式³⁾、Deacon & Webb の式⁴⁾、最近では光島・本多の詳細な実験報告がある。光島・本多の提案した実用式(M-H式)は過去の多くの研究例をふまえて詳細な実験データに基づいており、凡洞水槽実験においては信頼性が高いと考えられるので、ここでも C_{D10} はM-H式により求めた。図-2に代表的な実用式を示す。図中の○印は、著者らの実験で凡速分布の実測値から求めた値であるが、かなりばらつきが多い。これは実験が $U_0 = 4 \text{ m/s} \sim 8 \text{ m/s}$ 程度の範囲で行なわれたため、光島らの指摘した遷移領域特有のちらりはが生じたのであろう。

次に、Wu J. の報告によれば total surface drift current (v) と wind friction velocity (U_{xa}) との関係には、
$$v/U_{xa} = 0.55 \quad \text{--- (7)}$$
 の関係が認められる。(7)式およびM-H式と $C_{D10} = (U_{xa}/U_0)^2$ の関係から、吹送流速 v が与えられる。また、吹送流による形状抵抗係数 C_{Dw} については、表層流体の形状 h と L_0 の計算値が実

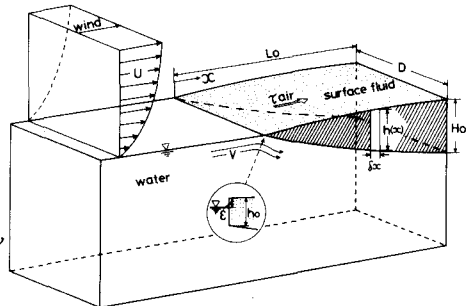
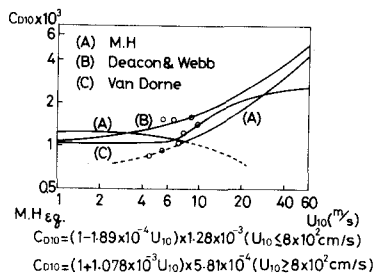


図-1 解析のモデル

図-2 抵抗係数 C_{D10}

験値に一致するように決定したが、福岡らは密度流先端部の流動機構に関する研究の中で、密度流先端部における形状抵抗係数が2.0程度としており、一つの目安となるであろう。

3. 実験および考察 以上の解析結果の検証のため、図-3に示す中60cmの凡洞水槽を用いて重油と淡水、および淡水と塩水による吹寄せの実験を行なった。凡洞内のフェッチ25mの位置に直立壁を設置し、そこから表層流体を流出させている。油屑の吹寄せに関する実験ではA重油($\rho_0=0.844$)、B重油($\rho_0=0.923$)を使用した。凡によって吹寄せられた油屑は、波動をたえず上下に振動するため、16mmツネカメラで厚さ分布を撮影しスリムモーションアナライザにより平均的な厚さ分布を求めた。淡塩水による実験では淡水をウラニンで着色して可視化するとともに、電導度計により塩分濃度分布を測定して淡水の集積・拡散状況を観察した。

図-4はA重油100ℓを投入した場合の厚さ分布を示す。横軸は直立壁からの距離である。計算結果からは抵抗係数 C_{DW} は3.5程度の値が最適なようである。図-5はB重油30ℓを投入した結果で、この場合 C_{DW} は図-4の場合よりも小さく0.5程度となる。以上の実験および計算結果から、風速が小さな場合には吹送流の影響は比較的小さいが、風速が大きくなると(2)式で F_0 の作用が大きくなる。また、淡塩水の実験結果もあわせて考えると、表層流体と下層流体の密度差が大きくなるほど(今回の実験では表層流体が軽くなるほど)(3)式の抵抗係数 C_{DW} は大きな値となった。

図-6は、水槽に貯留した2.4%濃度の塩水上へ着色した淡水30ℓを5分間かけて注入した場合である。右側の時間とは注入終了後の経過時刻を示す。吹寄せられた淡水は主にその先端部で塩水と混合し、それが吹送流で淡水下層へと運ばれて中間密度の混合層を形成していく。図の上段(最も初期)で見ると、実線で示した2.1%の濃度線は濃度勾配の急変点で、これより表層では塩分濃度が急減する淡水層である。図中の一点鎖線は淡塩水相互の混合は無視して $C_{DW}=0$ とした計算値であり、2.1%の分布線に比較的近い値を示す。しかし、時間の経過とともに表層淡水内の塩分濃度は上昇し、濃度勾配もゆるやかになっていく。

<付記> 実験では梶村昌宏君(呉市役所勤務)に協力いただいた。謝意を表します。

<参考文献>

- 1) Hout, D.P.: Oil on the Sea, PP.65 (1969) Plen. Press, New York
- 2) 津田寛編: 瀬戸内海の油污, P.109, (1976) 日本図書
- 3) Deacon, E.L. and Webb: The Sea, Vol. 1, PP.83/962
- 4) Van Dorn, W.G.: J. Mar. Res., 12, PP.249, 1953
- 5) 光島恒, 本方正: 第27回海岸工学講演会論文集, PP.90, 1980.
- 6) Wu, J.: J. Fluid Mech., Vol. 68, PP.49, (1975)
- 7) 福岡捷二(他): 土木学会論文集, 第276号, PP.41, (1978)

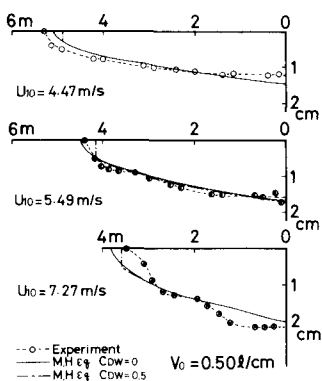


図-5 吹寄せによる油の集積 (B重油)

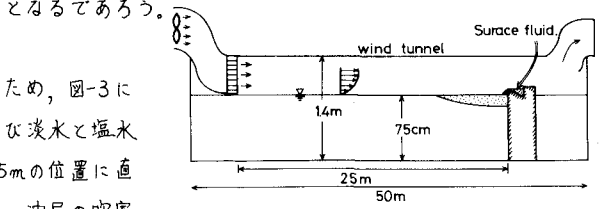


図-3 凡洞水槽実験装置

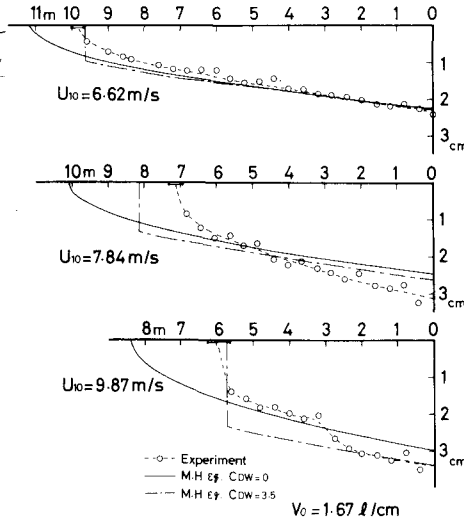


図-4 吹寄せによる油の集積 (A重油)

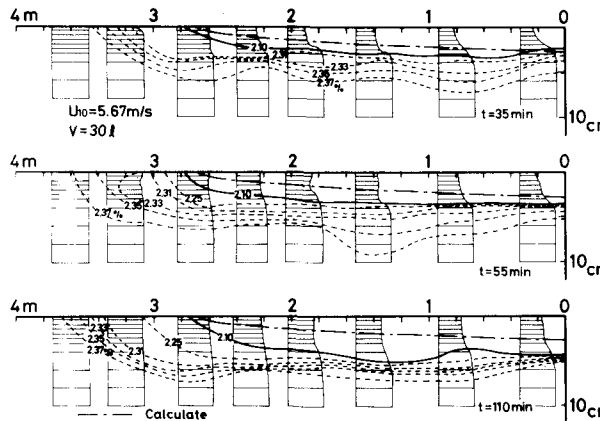


図-6 吹寄せによる淡水の集積 ($U_0=5.6\text{ m/s}$)