

二成層密度流の二次元ジェット

東北大学工学部 正員 岩崎 敏夫
東北大学大学院 学生員 田中 博通
東北大学大学院 学生員 江原 昌彦

1. ましから 弱混合型河川の感潮域における塩水楔等、成層密度流の諸問題も考えるにあたって界面抵抗も正確に定量化することが重要であるが、これに関して従来なされた報告には相互にかなりのバラツキが見うけられる。今抵抗係数について、界面の状態と流速分布との関係について実験的研究も行なつたので、ここに報告する。実験は、静止した塩水層の上を淡水層が流動する二成層密度流とし、測定範囲は流量が $188 \sim 1203 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 、平均流速が $1.76 \sim 7.12 \text{ cm/sec}$ 、 ψ 値が $16 \sim 988$ である。

2. 実験方法 用いた水路は、小型水路(幅 15 cm 、高さ 30 cm 、長さ 380 cm) 及び、大型水路(幅 40 cm 、高さ 50 cm 、長さ 20 m) であるが前者は水平二次元ジェットとして、後者は可変水路床を調節して水中、次元ジェット及び塩水使用水路として用いた。また界面位置の同定は、ポイント・ゲージ及び濃度計を併用したが、後者は塩分の濃度による濃度変化も電気伝導度の変化として検出する方式であつて、プローブはモーター駆動によつて上下動するようにしてある。流速分布は水素気泡法を用い、界面流速測定にはキシレン($\rho = 0.865$)と四塩化炭素($\rho = 1.604$)、とを、合成比重が淡水よりも若干大きくなるように調整、着色し、直径 2 mm 程度の球状のトレーサーとして用いた。この小球は、ほぼ界面上に位置するので、この小球の移動速度より近似的に界面流速が得られる。

3. 結果 ここでは、界面状態を次の四種類に分類している。

- type A: 安定な層流状態で、界面は極めて平滑。
- type B: 規則波を伴う層流状態。
- type C: 一部の界面波峰から上層流へ塩水塊の巻上りがある状態。
- type D: 界面波は全般的に碎波している状態。

従つて、type B と C の中間が Keulegan⁽¹⁾ の示した安定限界に対応しているが、それは次のとおりである。ただし、 $Re = u_1 h_1 / \nu$ 、 $\theta = \psi^{-1/3} = (Re \cdot Fi')^{-1/3}$ 、 $Fi' = u_1 / \sqrt{(\Delta \rho / \rho) \cdot g h_1}$ である。

$$\theta_c = 0.127 (\psi_c = 488), Re < 1800 \quad \cdots (1)$$

$$\theta_c = 0.178 (\psi_c = 177), Re > 1800 \quad \cdots (2)$$

今回の実験では、fig. 1 からわかるように、type B と C とが混在している安定限界付近で、 $Re > 1800$ となり条件(2)が対応しているが、界面状態から見てこの限界値の妥当性がうかがえる。

また fig. 2 は、式(3)により計算した抵抗係数 f_i と ψ 値に対して、流況別にプロットしたものであるが、今回の実験値は、岩崎⁽²⁾ によりこの領域の ψ 値に対して得られていた関係式(4)とはほぼ満足する。なお、そのデータと今回のデータから得られる実験式は、式(5)のとおりである。

$$f_i = \frac{2}{1 + r} \left[1 - \frac{1}{Fi'} \right] \frac{gh_1}{2x} \quad (r = f_i h_1 / \rho_2 h_2) \quad \cdots (3)$$

$$f_i = 7.880 \psi^{-0.8356} \quad \cdots (4)$$

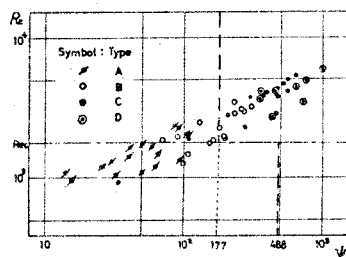


fig. 1 今回の実験における $Re \sim \psi$

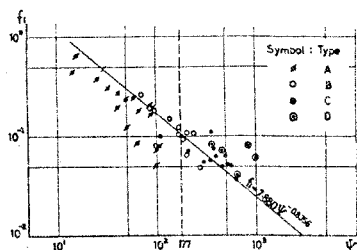


fig. 2. $f_i \sim \psi$

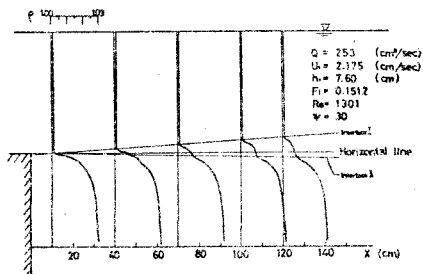


fig. 3. 濃度分布測定例

$$f_i = 2.043 \psi^{-0.5769} \quad \text{----- (5)}$$

また、界面の状態で分類した場合の実験式は次のとおりである。

$$\text{界面が平滑な場合: } f_i = 7.201 \psi^{-0.9210} \quad \text{----- (6)}$$

$$\text{碎波している場合: } f_i = 0.331 \psi^{-0.2734} \quad \text{----- (7)}$$

fig. 2 及び式(6), (7)より、界面の安定限界付近を境として、 $f_i \sim \psi$ 値の関係が若干、その傾向を変化させている様子やうかがえる。

また fig. 3 に示す濃度分布測定例からもわかるように、上下面層の間に濃度的な中間層が存在し、それと上下層との境界面である第一界面及び第二界面は、肉眼によってもかなり明瞭に識別できる。

しかし、式(3)を誘導した基礎方程式では第二界面に作用する剪断力の評価はなされてない。吉田³⁾は、この中間層も取水効果による堆積層として説明している。

データの散乱度と合わせて、これらについては今後の検討課題となろう。

成層流の流速分布に関しては、R.C. Lock⁴⁾, Keulegan⁵⁾, 岩崎²⁾などの研究があり、いずれも境界層の方法に準じた取扱いをしているが、Lock と Keulegan は層流モード、岩崎は乱流モードの前提に立って解析を進めている。

fig. 5 は流速分布測定例と、測定位置での界面位置及び、Lock, 岩崎の理論解をプロットしたものである。ただし、岩崎の理論解にパラメータとして含まれる抵抗係数

$k_f = f_i/2$, 及び混合距離仮説での定数 $C = l/x$ については、前者は $\psi = 418$ に対して式(4)より計算されること、後者は Tollmien に従って $C = 0.0174$ としている。

また、 $\eta^* = \delta_1 + \delta_2/\delta_1$, δ_1, δ_2 は各々上層及び下層の境界層厚である。この時の流速は fig. 1 からも推察されるが、界面波の steepness がかなり大きくなって、下流接近くでは部分的に碎波も生じている状態である。fig. 5 を見ると、上層領域では岩崎の解が、下層部では Lock の解が比較的一致を見せており、この様な type D に移る前の状態では、上層は乱流モードであっても、下層ではまだ層流解が適用できることを示している。また、fig. 6 は、界面流速と ψ 値との関係であるが、 ψ 値が安定限界以上では、 $U_i/U_1 \approx 0.51$ でほぼ一定となることがわかる。

最後に実験を行なうにあたって協力して頂いた東北大学 文部技官、佐藤栄司氏ならびに、東北大学工学部土木工学科学生、宇賀神義寛君、佐藤勝弘君に感謝の意を表します。

《参考文献》 1) G.H. Keulegan ; J. of Res. National Bur. of Stand., 43 (1949)

2) Toshio Iwasaki ; Proc. 9th Int. Conf. on Coastal Engineering, Lisbon (1964)

3) 吉田 静男 ; 土木学会北海道支部論文報告集 (1974)

4) R.C. Lock ; Quart. J. Mech. and Applied Math., No. 4 (1951)

5) G.H. Keulegan ; J. of Res. National Bur. of Stand., 32 (1944)

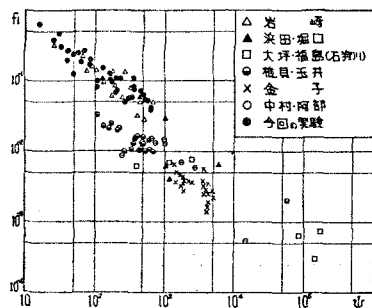
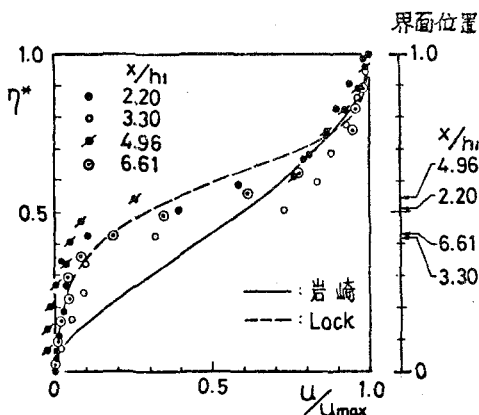


fig. 4. 既往の報告



$U_1 = 5.183 \text{ (cm/sec)}$ $F_i = 0.334$
 $h_1 = 9.08 \text{ (cm)}$ $\psi = 418$

fig. 5. 流速分布

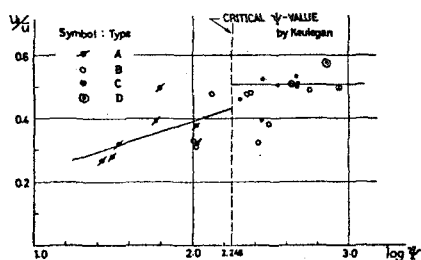


fig. 6. $U_i/U_1 \sim \log \psi$