

京都大学防災研究所 正員 茅田和男
 〃 〃 高橋 保
 〃 〃 江頭進治

1. 緒言 著者は先に、泥水による定常的な下層密度流の流れ特性について考察したが、本報において2月とくは entrainment と zone of negligible entrainment (Z.N.E.) の形成、および層厚比 (d_2/d_1) に対する粗度の影響について考察を加える。なお実験水路は図-1 に示すものであるが、実験方法については文献¹⁾を参考にして下さい。

2. Z.N.E. の形成についての若干の考察 主流域 ($0 \leq z \leq d$) (図-2.4.5 参照) の流れは乱流状態であるにもかかわらず Z.N.E. (等流域) と見なせる領域が形成されることを実験観察より見だし、さらに式(1)によって定性的な説明を加えた。¹⁾これを模式的に示したのが図-2 である。式(1)において、 $\rho_m = \rho + \frac{1}{2}\rho(x)$ 、 $\rho Rix \frac{\partial x}{\partial x} = -3g\Delta\rho(x)h(x) / \rho_m u(x)^2 \cdot \frac{\partial u(x)}{\partial x}$ (1)

$\Delta\rho(x)$, $u(x)$ および ρ はそれぞれ泥水層と清水との密度差、泥水層の平均流速および清水密度で、 $h(x)$ は泥水層の高さである。

流速分布と濃度(密度)分布は Z.N.E. と見なせるところで測定したが、これらの値を用いて計算した plunging point と測定地点間の平均連行係数 ($E = u_e/\bar{u}$) の値を図-3 に示す。図中の u_e は境界面すなわち流速分布および濃度分布の変曲点の位置 ($z=d$, 図4.15 参照) と通じての鉛直上向き流速である。式(1)から考察されるように、entrainment は上流域で激しく、下流域へ向、減少していくことが考えられるため、測定地点の $Rix = (\bar{p}-\rho)gd / \rho \bar{u}^2$ ($\bar{p} = \int_0^d \rho dz$, $\bar{u} = \int_0^d u dz$) を用いて E と Rix の関係と論ずるのは適当でないが、他者の実験値^{2),3)}より E はかなり小さい。このことについて明確な議論はできないが、実験の相違点を挙げれば表-1 のようである。以上要するに、対象としている領域での entrainment の平均値が小さいことや式(1)から考察されることは、かなり短い距離の流下後、その下流域において Z.N.E. と見なせる領域が形成されるということであろう。

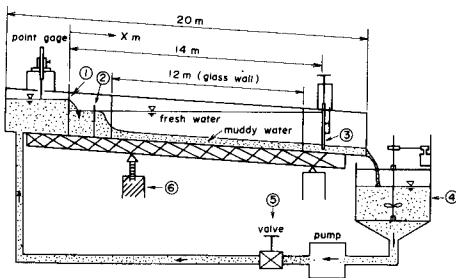


図-1 実験装置: ① 回角せき, ② 減勢工, ③ スルースゲート, ④ 混合水槽, ⑤ ヴァルブ, ⑥ ヅッキ

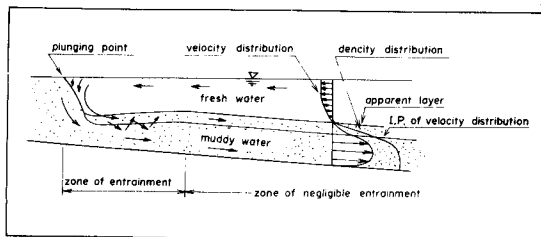


図-2 流下方向流れの模式図: I.P. of velocity distribution は境界面の位置

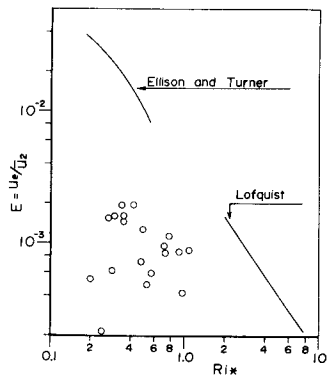


図-3 連行係数と overall Richardson 数の関係

	流れの形式	水路こう配	流体	粒子沈降速度	備考
Ellison and Turner	Surface jet	$\times$	塩水・清水	$\times$	Lofquist と著者の Rix の定義は同じ。
Lofquist	下層流・jet	0	塩水・清水	$\times$	
著者	下層密度流	0.01~0.02	泥水・清水	微小 ($u_{0.5} = 0.02$ m/s)	

表-1 実験条件の相違点

3. Z.N.E. の流れの特性について 流速分布および密度(濃度)分布に関する理論と前報で報告したが、若干の説明を加えるとつぎのようである。

$z=d$ においてせん断力が極値をもつことが想定されることや、平均流速 $\bar{u}$ (cm/s) と、 $0 \leq z \leq d$ での流速 $\bar{u}_1 d_1 + \bar{u}_2 d_2$ との間に式(2)の関係が成立することから $z=d$ を境界面と決定した。さらに $0 \leq z \leq d_1$ (図4参照)の $\bar{u} \div \bar{u}_1 d_1 + \bar{u}_2 d_2 \dots (2)$ (こゝに、 $\bar{u}_1 = \frac{1}{d_1} \int_0^{d_1} u dz$, $\bar{u}_2 = \frac{1}{d_2} \int_{d_1}^d u dz$)

領域において、粒子沈降速度の影響が無視できる場合は密度分布は一定であり、また流速分布については射教則が成立することも実験的に見いだした。つぎに、 $d_1 \leq z \leq d$ ($0 \leq z \leq d_2$) において、境界面における大きな抵抗を説明するため、混合距離 l_0 を仮定して流速分布形を導き、さらにこれらの結果と gradient form Richardson 数 (Ri) を用いて密度分布形を誘導した。これらの理論値による流速分布および密度(濃度)分布の計算結果と実験値との比較を図5に示す。つぎに、層厚比 (d_2/d_1) に対する底面粗度の影響も議論するに必要となる式を記すと、

$$\frac{\bar{u}}{u_{*b}} = \frac{u_{d1}}{u_{*b}} + \frac{1}{K_2} \left\{ \frac{2.3}{K_2} \frac{l_0}{d_1} \log_{10} \frac{l_0/d_1 + K_2}{l_0/d_2} - 1 \right\}, \quad (0 \leq z \leq d_2) \quad (3)$$

$$\frac{U(z)}{u_{*b}} = Ar + \frac{2.3}{K_1} \log_{10} \frac{z}{d_1}, \quad (0 \leq z \leq d_1) \quad (4)$$

$$u_{*b} = \sqrt{(\rho_0 - \rho_2) g d_1 / \rho_0} \quad (5), \quad u_{*d} = \sqrt{(\rho_2 - \rho_0) g d_1 / \rho_2} \quad (6)$$

である。こゝに、 ρ_0 は清泥水密度、 $\rho_2 = \frac{1}{d_2} \int_{d_1}^d \rho dz$, l_0 は粗度高である。

これらの式から、 $B = \frac{\rho_2 - \rho_0}{K_2} \left\{ \frac{2.3}{K_2} \frac{l_0}{d_1} \log_{10} \frac{l_0/d_1 + K_2}{l_0/d_2} - 1 \right\}$ と置くと、

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\rho_2 - \rho_0}{(\rho_2 - B)^2} \cdot \left\{ Ar + \frac{2.3}{K_1} \log_{10} \frac{d_1}{l_0} \right\}^2 \quad (7)$$

の関係式が導かれる。式(7)の右辺第一因数および因数内の各諸量と、 d_2/d_1 との間に決定誤差を和味すると系統的な相関は見られないうで、この因数をかりに定数 A とすれば、図6に示すような d_2/d_1 と d_1/l_0 の相関は明確である。計算および考察に使用した各諸量は、 $Ar = 0.5$, $K_1 = K_2 = 0.4$, $l_0/d_1 = 0.073$ である。

4. 結言 前報¹⁾において $z.N.E.$ (等流域) の形成過程について定性的に論じたが、entrainment に着目し、それをさらに進めた。しかしながら、このような考えに基づき解析を長時間にわたる非常に長い領域にまで適用できるかという点に対して明確に述べることはできない。つぎに層厚比に対する底面粗度の影響が無視できず、これが一義的に決定できるという考え方もあるが、これに対して明確な反論を行なった。本報告において述べたが、水理条件として ρ, ρ_0 , 水路こう配および粗度長が与えられたとすると、どのような規模の渦が発生するかという問題は重要なことであるが、この議論がある程度できるように、不完全な形のまま前報に記しているが、これに肉しては今後の問題点ととも議論時に述べる。

なお本報も才二報と呼ぶことにし、文献にも才一報とする。最後に、実験やデータ整理などお世話になった吉田義則技官に感謝の意を表します。

- 参考文献 1) 芦田・高橋・江頭; 泥濁密度流に関する基礎的研究, 関西支部年次学術講演会, 昭和44年6月
2) Ellison and Turner; Turbulent entrainment in stratified flows, J. Fluid Mech., Vol.6, 1959 3) K. Lotgust; Flow and Stress Near an Interface between Stratified Liquids, The Physics of Fluids, Vol.3, Numb.2, 1960 4) 江頭・道治; 泥水密度流に関する基礎的研究, 京都大学修士論文, 昭和44年3月 5) Task Committee; Sediment Transportation Mechanics: Density Currents, Jour. of Hy. Division, Proc. of the ASCE, Sep. 1963

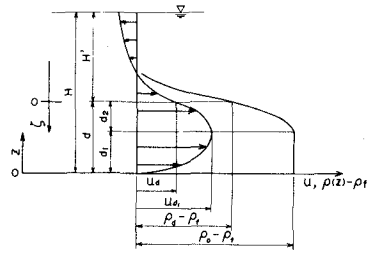


図4 記号説明図: u_{d1} は最大流速

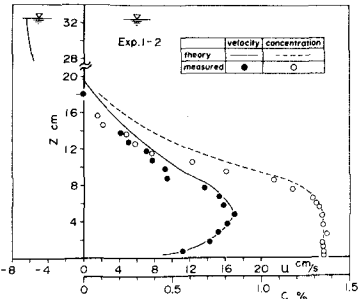


図-5 理論曲線と実験値との比較

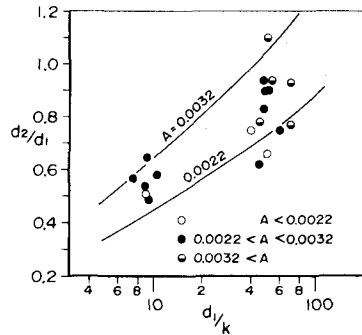


図-6 層厚比と粗度関係