

京都大学防災研究所 正 江頭進治
京都大学防災研究所 正 平田和男
京都大学 大学院 学 石谷 健

1. 緒言 本研究は貯水池濁水現象を解析するに極めて重要な課題の一つである成層密度場の流速分布則に因するものである。ここでは、成層密度乱流場を対象として、密度界面と混合距離 l_0 を考え、界面を境にして広がる主領域と混合距離の線形分布を仮定して、表層および中層密度流の流速分布則が導かれている。

2. 表層流れの流速分布 水路内に一様な水深の水を満たし、上流端からこれよりも高濃度の水を定常的に給水し、下流端から自由に溢れさせると、水路中央部の広い圧向で図-1に示すような流れが形成される。さて、このようにして形成された表層密度流に對して、混合距離の分布を、 $l = l_0 + \kappa y$ とすれば、

$$\frac{d\bar{u}}{dy} = \frac{u_*}{l_0 + \kappa y}, \quad (u_* : \text{界面のまじり速度}) \dots (1)$$

上式は界面近傍の *constant flux layer* で成立するものであるが、不合理が生じない限り自由表面まで適用できるとすると、流速分布は、つぎのようになる。

$$\bar{u}(y) = \bar{u}_i + \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{\beta + \kappa y}{\beta} \dots (2)$$

ここに、 $y = y/d$, $\bar{u}_i$: 界面流速で、連続式からつぎのようにならされる。

$$\bar{u}_i = \beta/d - \frac{u_*}{\kappa} \left(\frac{\beta + \kappa}{\kappa} \ln \frac{\beta + \kappa}{\beta} - 1 \right) \dots (3)$$

β は界面における無次元混合距離、 $\beta = l_0/d$ である。若くは、¹⁾ 先に、泥水密度流の流速分布を議論した際、 $\beta = \text{const.}$ としたが、これに因りてはつぎのような重要な修正が必要である。*self regulated state* の流れでは、速度こう配は、次式のように、密度フラックスと運動量フラックスによって規定される。²⁾

$$\partial \bar{u} / \partial y = u_* / l_0 = k_1 \bar{\rho}' \bar{u}' / \bar{\rho} / u_* \dots (4)$$

密度フラックスは、渦動拡散係数を図いて、つぎのように表示される。

$$\bar{\rho}' \bar{u}' = E \partial \bar{\rho} / \partial y, \quad (\partial \bar{\rho} / \partial y : \text{界面の密度こう配}) \dots (5)$$

界面における渦動拡散係数は、先の研究³⁾により、

$$E = 4P/2 \cdot KU / (\partial \bar{\rho} / \partial y) / Ri_* \dots (6)$$

ここに、 $4P$: 上・下層の密度差、 U : 断面平均流速、 Ri_* : オーハオルリチャードソン数、 $K = 0.0015$ 。(4), (5), (6) 式により、界面における無次元混合距離は、次式のように表示される。

$$\beta = 2 / (k_1 K) \cdot (U / u_*)^{-3} \dots (7)$$

図-2は、上式と実験値との関係を調べたものである。実験値を用いた β の算定に際して、Lofquist のデータについては粘性力も含めてあり、表層流れに因するものは、抵抗係数に分子の式を用いてせん断力が算定され、速度こう配は実験値が用いられている。同図を参考にして、(7) 式の係数

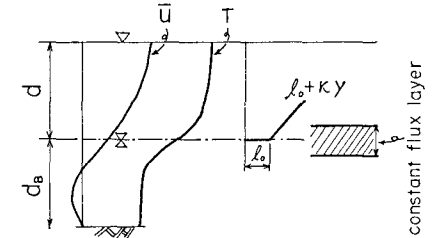


図-1. 表層流れの模式図

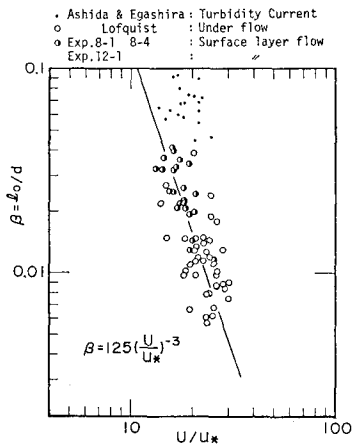


図-2. 境界面における無次元混合距離

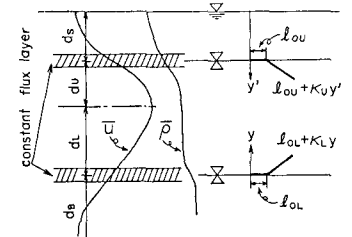


図-3. 中層流れの模式図

k_1 を定めると、 $k_1 = 0.094$ が得られる。この係数は、浮力による乱れエネルギー-遠散と生成エネルギーとの比率を示すもので、 $k_1 = 0.094$ は、84%程度が浮力によりエネルギーが消費されていることを意味する。以上のように β がわかると、カルマン定数が定まれば流速分布が求められる。

3. 中層流の流速分布 図-3は中層流の模式図と混合距離の分布を示したもので、この場合も表層流の場合と同様な方法で流速分布が求められる。ここではその結果のみを示すと、つぎのようである。

$$\bar{u}(y') = \bar{u}_m + \frac{u_{av}}{K_u} \ln \frac{\beta_u + K_u y'}{\beta_u + K_u} \quad \dots\dots (8)$$

$$(0 \leq y' \leq 1, y' = y/d_u)$$

$$\bar{u}(y) = \bar{u}_m + \frac{u_{av}}{K_u} \ln \frac{\beta_u + K_u y}{\beta_u + K_u} \quad , (0 \leq y \leq 1, y = y/d_u) \quad \dots\dots (9)$$

ここに、 $\bar{u}_m$ ：最大流速、 β_u, β_L ：一次および二次躍層面における無次元混合距離。最大流速の現われる位置はつぎのように求められる。一次および二次躍層面における抵抗係数を、 f_u, f_L とすると、 $d_u/d_L = f_u/f_L \cdot (U_u/U_L)^2$ 。抵抗係数に $f = a\phi^{-b}$ の形式で全きの式 $a=0.2$ 、 $b=1/2$ と利用し、 $(U_u/U_L) \approx 1$ とすると、次式が成立する。

$$\frac{d_u}{d} = \frac{1}{\{1 + (4\rho_1/4\rho_2)^{1/2}\}} \quad , \quad \frac{d_L}{d} = \frac{1}{\{1 + (4\rho_1/4\rho_2)^{1/2}\}} \quad \dots\dots (10)$$

ここに、 $4\rho_1, 4\rho_2$ ：主流と上・下層の密度差。最大流速は、連絡係数と(8)、(9)、(10)式からつぎのように求められる。

$$\bar{u}_m = \frac{g}{d} + \frac{u_{av}}{K_u} \left(K_u - \beta_u \ln \frac{\beta_u + K_u}{\beta_u} \right) \frac{d_u}{d_L} + \frac{u_{av}}{K_L} \left(K_L - \beta_L \ln \frac{\beta_L + K_L}{\beta_L} \right) \frac{d_L}{d} \quad \dots\dots (11)$$

4. 流速分布則と実験値との比較

図-4、図-5は、それぞれ表層流および中層流に図して、上述の流速分布則と実験結果を比較したものである。流速分布則の適用に際して、カルマン定数は実験値から推定されたものが使われており、主流以外の流速分布は、放物線形の分布則で示されている。これらの図から明らかなように、細かい点を除くと、流速分布則は実験値の傾向をよく表わしていることがわかる。

5. 結論 密度界面に混合距離 l_0 を考え、主流は Constant flux layer とあるとして流速分布を導き、 l_0 の決定に際しては Self regulated state の概念を用いた。このようにして導かれた流速分布則は、満足できる程度に実験値と説明した。なお、上述の流速分布則にはカルマン定数が未知量として残されている。この推定法や種々の適用例については講演時に述べる。

参考文献

- 1) 菅田・江頭：泥水密度流に関する基礎的研究，土木学会論文集，オ237号，1975。
- 2) Turner, J. S.: *Buoyancy Effects in Fluid*, Cambridge Univ. Press, 1973。
- 3) 菅田・江頭：密度躍層のある場における濁水の挙動に関する研究(1)，京大防災研年報，18号B，1975。
- 4) 菅田・江頭：成層密度流の流速分布則に関する研究，京大防災研年報，21号B-2，1978。

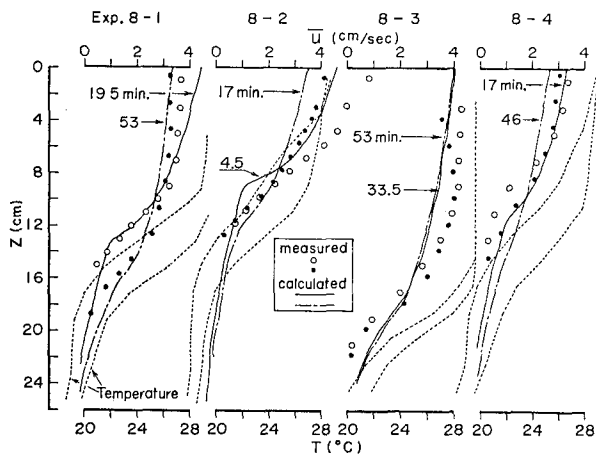


図-4. 流速分布則と実験値との比較(表層流)

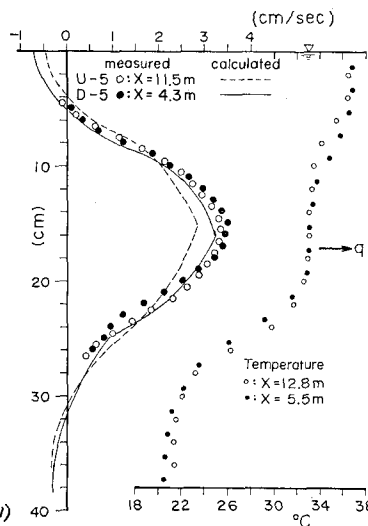


図-5. 流速分布則と実験値の比較(中層流)