

1. まちがき 微細粒子を多量含む泥水が貯水池内に流入する場合、この流入水は貯水池全断面に拡散しながら清下する場合と、貯水池水との密度差のため、密度流としての特性が卓越した清下形式になる場合が考えられる。前者の清れにおける微細粒子の挙動は、池内の清速分布、拡散係数、境界条件の設定や非定常性などの取り扱いに困難性も伴うが、一応拡散型の約で議論される。一方、単純な清れの場合および水理条件のちとど形成される下層密度流に因しては、Harleman¹⁾, Stefan²⁾ および著者³⁾の方法によつて、ある程度の議論は可能である。貯水池における微細粒子の輸送と堆積特性などの挙動は、清下形式の相違によつて非常に異なるため、どのような場合および水理条件にかいて、それぞれの清下形式に従うかを明確にしなければ、微細粒子の挙動を統一的に論ずることは不可能である。ここでは、その一歩として、水温分布による密度差の影響がない場合について、以下述べるような単純な条件下における泥水密度流の形成条件について考察する。

2. 下層密度流への移行条件について 底こう配の矩形断面水路に、適当な水深になるまで清水を供給し、その状態をとこつて泥降速度 ω_0 の泥質を注入した泥水と定常的に流入させることによつて形成される下層密度流の清下方向の清れは図-1のように示される。本図において、領域①は泥水が清水路清れとして清下する領域で、(M)および(U)は、それぞれ鉛直混合の激しい領域および定常等流状態が達成される領域である。領域(U)の清れ特性に因しては、著者^{3),4)}の先の研究によつて、流入泥水の単位幅流量 q_0 、流入泥水と清水との密度差 δ_0 、粒子泥降速度 ω_0 、水路こう配および粗度高さ k_s を既知量として、清れの特流量 q_1 を、水路底面から最大流速点間の層厚 d_1 および平均清速 u_1 、最大流速点から境界面(清速分布の変曲点)間の層厚 d_2 および平均清速 u_2 、底面におけるまじつ速度 u_{b0} 、境界面におけるまじつ速度 u_{bd} などが推定されるなど、ある程度明らかにされている。たとえば、清れの特流量の推定式のなかで、 d_1 、 d_2 および u_{bd} に関する方程式は、つぎのとおりである。

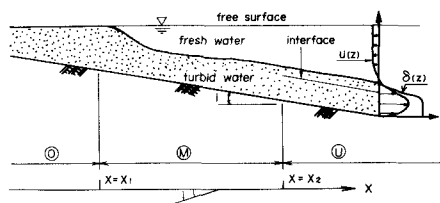


図-1. 清下方向清れの模式図

$$(Ar + \frac{1}{K_1} \ln \frac{d_1}{d_2}) \alpha d_1^{1/2} = u_{bd} \{ b_1 + F(\omega_0/u_{bd}) \} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\left\{ Ar + \frac{1}{K_1} \left(\ln \frac{d_1}{d_2} - 1 \right) \right\} \alpha d_1^{3/2} + \frac{(u_{bd}/\alpha)^2 \cdot F(\omega_0/u_{bd})}{\{ 1 - (b_4 - b_5) \beta / K_2 \cdot \omega_0/u_{bd} \}} u_{bd} = q \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$d_2 = (u_{bd}/\alpha)^2 / \{ 1 - (b_4 - b_5) \beta / K_2 \cdot \omega_0/u_{bd} \} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 Ar : 粗面乱流の対数型清速分布の定数、 K_1 : カルマン定数、 K_2 : 最大流速点から境界面内のプラントルの混合距離の分布を規定する係数、 β は境界面における混合距離 l_0 と d_2 との相関係数で、 $\beta = l_0/d_2$ と表わされる。 b_1 、 b_4 および b_5 は清速および密度分布の平均操作のため生ずる定数で、それぞれ、 $b_1 = [K_2 - \beta \ln \{ (\beta + K_2)/\beta \}] / K_2^2$ 、 $b_4 = \frac{1}{K_2} \ln \{ (\beta + K_2)/\beta \}$ 、 $b_5 = \frac{1}{(\beta + K_2)}$ と表わされる。また、 α および ω_0/u_{bd} の関数 F は、それぞれ次のように示される。

$$\alpha = (\delta_0 g l / \rho)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (4) \quad , \quad F(\omega_0/u_{bd}) = \frac{(C_2 + \sqrt{C_2^2 - 4C_1 C_2})}{2 \cdot C_1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $\rho = \rho_3 + \delta_0 \approx \rho_4$ ($\delta_0 \ll \rho_4$, ρ_4 : 清水密度)、 C_1 , C_2 および C_3 はそれぞれつぎのように示される。

$$C_1 = \frac{2\beta\omega_0/u_{bd}}{2\omega_0/u_{bd} - \beta\alpha} \left(1 - \frac{b_2}{K_2^2} \frac{(\omega_0/u_{bd})^2}{1 - b_5 \omega_0/u_{bd}} \right) \quad , \quad \text{ここに、} \quad b_2 = K_2(b_4 - b_5) \quad \text{である。}$$

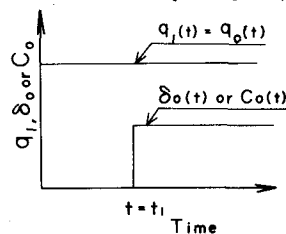


図-2. 泥水の流入条件

$$C_2 = \frac{2\beta\omega_0/u_{*d}}{2\omega_0/u_{*d} - \beta A} \cdot \left\{ 2(b_4 - b_1) + \frac{u_{*d}}{\omega_0} - \frac{b_2(b_4 - b_1)(\omega_0/u_{*d})^2 + (b_3 - b_1b_2)(\omega_0/u_{*d})^2}{K_2^2(1 - b_5\omega_0/u_{*d})} \right\}$$

$$C_3 = \{2(b_4 - b_1)\beta\omega_0/u_{*d}\} / (2\omega_0/u_{*d} - \beta A) + \beta^2 A (u_{*d}/\omega_0)^3$$

こゝに、 $A = (1 - b_5\omega_0/u_{*d}) / \{1 - (b_4 - b_5)\beta K_2 \cdot \omega_0/u_{*d}\}$ 、 $b_3 = K_2 b_4^2/2 + b_4 b_5 \beta K_2 - b_5 K_2$ である。

図-2には、泥質を含まない清水が貯水池内には定期的に流入し、 $t=t_1$ 以後、多量の微細粒子を含むものとす
る、濃度 C_0 (密度差 δ_0)となつて流入し、単位幅流入量 δ_1 と同流量 δ_0 の放流が行なわれている状態が示
されている。 $t=t_1$ に流入した泥水は、水深が小さい領域では全断面に拡散して流下するが、あるところから清
水下にもぐり、領域(M)を経て、領域(U)を形成する。領域(U)の形成に必要な最小全水深 H_{min} ($X=X_2$ に
おける水深)は、流速 U 近傍の速度こう配の条件から、次式のように示される³⁾。

$$H_{min} = d_1 + [1 + N + \{(3\omega_0/u_{*d} - 2\beta A)/2(\omega_0/u_{*d} - \beta)\}^{1/2} \cdot N] d_2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

こゝに、 $N = (u_2/u_{*d} + b_1 - b_4) / (1/\beta - 1/2 \cdot A u_{*d}/\omega_0)$ 、 $u_2/u_{*d} = F(\omega_0/u_{*d})$ である。

さて、泥水が清水下に潜入する位置($X=X_1$)を推定するかわりに、 $X=X_1$ における水深 H_p とつぎの方法
によつて推定しよう。いま、 $X_1 \leq X$ の領域において、自由表面での流速はそれほど大きくないから、水面こ
う配を無視すると、 H_p と H_{min} との関係は次式のように示される。

$$H_p = (1 - \bar{L}/H_{min}) H_{min} \quad \dots\dots\dots (7) \quad (0 < 1 - \bar{L}/H_{min} < 1, \quad L = X_2 - X_1)$$

それほど大きな流下距離を経なくとも、定常層流状態の下層密度流が形成されるとすれば、 $1 - \bar{L}/H_{min}$ は1
に近い値をとることが推定される。したがつて、上式は次式のように書ける。

$$H_p = r H_{min} \quad \dots\dots\dots (8) \quad (r: 1に近い値)$$

3. 実験結果および考察 図-2のような流入および放流条件下で、
水路下端の水位を一定に保ち、 $89.4 \leq \delta \leq 200$ (cm^2/sec)、
 0.02 および 0.0249 の二種類のこう配、 $0.0128 \leq \delta_0 \leq 0.0281$ (g/cm^3)、
 $0.0813 \leq \omega_0 \leq 0.0862$ (cm/sec) および程度高き $d = 0.059$ (cm)
を適宜に組合せ、 55×50 (cm) の矩形断面をもつ全長 16 mの水
路⁴⁾を用いて、計10ケースの実験が行なわれた。 $t=t_1$ 以後、定常
的に流入する泥水は、ある時間の経過後、図-1のような流れを形成す
る。 $X=X_1$ における水深 H_p は直接測定および連続写真撮影によつて

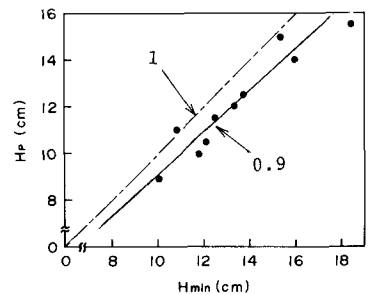


図-3. H_p と H_{min} の相関

得られた。このようにして得られた H_p と、(6)式から算定される H_{min} との関係は図-3のとおりである。前
節で考察したように、両者はほぼ(8)式を示すような関係にあり、 r は0.9程度で、前述した仮定の妥当性が示
されたものと考えられる。(8)式および図-3の結果は非常に重要な意味を提供している。すなわち、水深が H_p
より浅い上流側においては、開水路流れとしての取り扱いを、それより下流側では、密度流としての取り扱いを
する必要がある。このような方法によつて H_p を推定することができれば、1節で述べたように、貯水池におけ
る微細粒子の挙動と、より統一的に論ずることができるとは、実際の現象は図-2のような単純な条件で記述でき
る場合は希で、流量および濃度は非定常性が卓越した場合が多い。このような条件下での密度流の発生機構は、
より複雑で、ここで考えている水理変数以外に、混合分散による流下方向の濃度こう配や非定常特性などに支配
されるものと考えられる。今後、単純な条件下での発生機構はもちろむのこと、複雑な条件下における発生機構の
究明に努めるつもりである。最後に、実験および資料整理に御協力いただいた吉田義則技官、堀江
正美君に感謝の意を表します。なお、 H_{min} の算定には、 $Ar=8.5$ 、 $K_1=0.4$ 、 $K_2=0.18$ 、 $\beta=0.068$ ³⁾を用いている。

参考文献

- 1) D.R.F. Harleman: Stratified Flow, Hand Book of Fluid Dynamics, McGraw-Hill, Section 26
- 2) H. Stefan: High Concentration Turbidity Currents In Reservoirs, Proc. 15th Con. of IAHR, Vol. 1, 1973
- 3) 吉田・江頭: 濁水密度流に関する基礎的研究(中3稿), 関西大学学報, 昭49
- 4) 吉田・高橋・江頭: 泥水密度流に関する基礎的研究(才1稿), 関西大学学報, 昭48