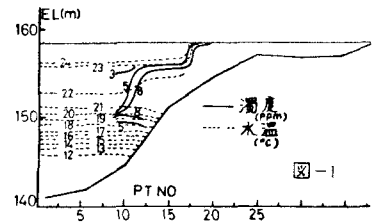
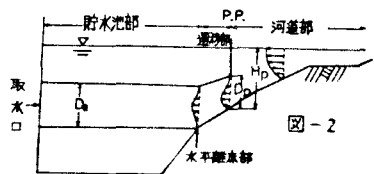


1 まえがき 濁水長期化現象を契機として、貯水池濁水問題に関する研究が活発に行なわれるようになってきた。著者等は、北上川本川に築造された四十四田ダム貯水池を対象にして現地観測を行ない、その結果とともに解析手法についての考察を進めてきた。ここでは、その概要と適用結果について述べる。

2 解析 図-1は昭和52年8月5日に測定された水温・濁度分布である。明瞭な一次・二次躍層、さらにPTNO 17.5には *Plunging Point* (のちP.P.と略記)が形成されている。なおPTNOは、ダム堤体を0とし200m間隔でつけられている。これより流入水は、P.P.で表層水を連行しながら水面下にもぐりこみ、河床に沿って流下し、自身と等密度の層に達したところで水平に貯水池内に進入している様子がかがえる。このような流動形態に対して以下のようなモデル化を行なう。



まず、図-2のように貯水池を3分する。ここでP.P.の位置は、実測結果より求めた(1)式から決定し、P.P.直後の層厚 D_p は内部フルード数1を仮定して(2)式より算定する。また水平離床部は、(3)式より求められた貯水池内層厚 D_R が河床に接する位置とし、P.P.より水平離床部までの層厚は D_p から D_R まで直線的に変化するものとする。



$$H_p = 9 \times q^{2/3} \quad (1)$$

H_p : P.P.における水深 q : P.P.における単位幅流量

$$D_p = \sqrt[3]{Q^2 \rho / (9 B^2 \Delta \rho)} \quad (2)$$

ρ : 流入水密度 $\Delta \rho$: 表層水と流入水の密度差 B : 流動層幅

$$D_R = \sqrt{Q' / (B F / 9 E)} \quad (3)$$

Q' : 連行後の流量 B : 貯水池平均幅 E : 密度勾配 F : 内部フルード数

また、*Plunging* にともなう表層水の連行については実測の連行係数0.25を用いて算定し、P.P.下流における連行については芦田らの研究結果による。

濁度計算の基礎方程式には次式を用いる。座標系は流下方向にX軸、鉛直下向きにZ軸である。

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} (E \frac{\partial C}{\partial z}) - w_0 \frac{\partial C}{\partial z} \quad (4)$$

C : 濁度 E_z : 鉛直方向の拡散係数

u : 主流方向の流速 w_0 : 粒子沈降速度

ここで流速分布は、河道部においては対数型流速分布とし、(5),(6),(7)式より得られる摩擦速度 u_* 、相当粗度 k_s を用いて(8)式より決定する。貯水池部においてはガウス分布として(9)式から、また遷移部においては、河床に接することによるガウス分布からの歪を(10)式のように表わす。記号は図-6に示す通りである。

$$f' = 2g n^2 / R^3 \quad (5)$$

$$u_* = \sqrt{f' g} = \sqrt{f' / 2} u_m \quad (6)$$

$$u_m / u_* = 6.0 + 2.5 \ln (H / R_s) \quad (7)$$

$$\frac{U(z)}{u_*} = 8.5 + 2.5 \ln \frac{H-z}{k_s} \quad (8)$$

f' : 抵抗係数 n : マニングの粗度係数 H : 水深

τ : 流水剪断力 u_m : 平均流速 R : 径深

z_m : 流動層中心線の水深 u_{max} : z_m における流速
 σ : 標準偏差 ($= D_R / 3.92$)

$$U(z) = u_{max} \exp \left\{ -\frac{(z - z_m)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right\} \quad (9)$$

$$U(z) = \frac{x' + z'(x_0 - x')}{x_0} u_{max} \exp \left\{ -\frac{(z - z_m)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right\} \quad (10)$$

(8),(10)式による計算値と実測値とともに図-3に示す。かなり良く表わされているように思われる。

拡散係数は、河道部においては(11)式により計算する。遷移部においては、図-4に示すように最大流速点を境

に上下層に分けて、それぞれの拡散係数を(12)式により計算したのち、層全体に対してその平均値として与える。また貯水池部においては(13)式を用いる。式中、抵抗係数は、遷移部上層及び貯水池部に対して岩崎の式を用い、遷移部下層に対して(5)式を用いる。

$$E_z = B K U_{*z} (H - z) \quad (11) \quad B: \text{定数} \quad K: \text{カルマン定数}$$

$$\bar{E}_{z,u,l} = \frac{1}{15} \sqrt{\frac{z}{D_{u,l}}} U_{*u,l} D_{u,l} \quad (12) \quad \bar{E}_z = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{z}{D_R}} U_m D_R \quad (13)$$

また沈降速度については、旧松尾鉱山からの凝集性の高い濁度物質と出水時の浮遊砂とを分離して扱う必要がある。前者に対しては、実測結果にもとづき凝集性によるフロックの成長を(14)式のように表わし、(15)式により計算する。

$$\left. \begin{aligned} \bar{d} &= 0.006 \text{ cm} \quad (U_m \geq 80 \text{ cm/sec}) \\ \bar{d} &= 0.5 / U_m \text{ cm} \quad (80 > U_m \geq 20 \text{ cm/sec}) \end{aligned} \right\} \quad (14) \quad \bar{d}: \text{平均粒径}$$

$$\omega_0 = 0.014 \cdot d^{0.78} / \mu \quad (15) \quad \omega_0: \text{沈降領域} (\text{cm/sec})$$

尚、 $U_m < 20 \text{ cm/sec}$ の場合にはフロックの成長はないとして図-5に示される粒度分布を仮定し、個々の粒径粒子ごと計算する。後者に対しては、比重2.65、粒径 25μ としてストークスの式により求める。

境界条件は図-6に示す通りである。ここで τ_c は、濁度物質の浮上限界流水剪断力であり、現地観測及び実験結果から 3 dyne/cm^2 とする。また、流入量 Q と濁度物質量 Q_0 との間に図-7のような相関性がみられることから、背水上流端における濁度は(16)式のように与える。また、P.P.における濁度の接合

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= 400 / Q \\ C &= (6.57 \cdot Q^{1.56} - 400) / Q \end{aligned} \right\} \quad (16) \quad \begin{aligned} C_0: &\text{凝集性濁度物質濃度} \\ C: &\text{浮遊砂濃度} \end{aligned}$$

は、図-8に示すように流速の積分によりフラックスを合わせている。

以上の方法による計算結果を実測値とともに図-9に示す。全体的に良く全測値の傾向を表わしているように思われる。PTNO18において計算値の方が高い値を示しているが、これは $U_m < 20 \text{ cm/sec}$ のところではフロックの成長を無視したためと思われる。図-10には、流量と $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ としたときの計算結果を示す。濁度はダム堤体までは達しないようである。しかしながら、浮遊砂の沈降速度と粒径 25μ として計算しているが、実際にはそれより微細な粒子も多量に含まれており、その設定によって結果多少変化するとと思われる。また、大流量時には、一旦沈殿した濁度物質の再浮上も考えられる。その点について、現在検討中であり若干の知見も得られている。今後、以上のような事を考慮した解析手法について検討し、次の機会に発表したいと考えている。

最後に、本論文をまとめるにあたり 東北大学講師三王英寿氏に多くの有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

1. 岩崎, 三王, 阿部, 大杉; 貯水池における凝集性懸濁物質の挙動について, 第21回水害論文集 1978
2. 安芸, 白砂; 貯水池流動形態のシミュレーション解析, 発電水力, NO 134, 1975
3. 芦田, 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), 京大防災研年報第18号B, 1975
4. 芦田, 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(2), 京大防災研年報第18号B, 1976
5. 土木学会編; 水理公式集, P584, 1971

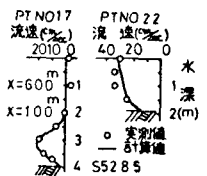


図-3

図-4

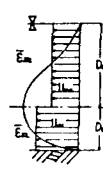


図-5

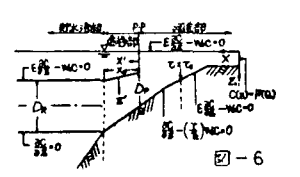
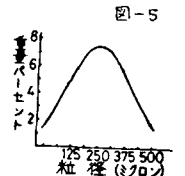


図-6

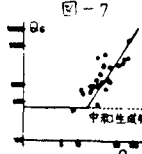


図-8

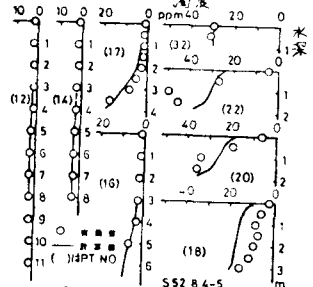
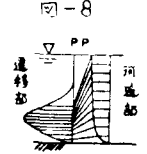


図-9

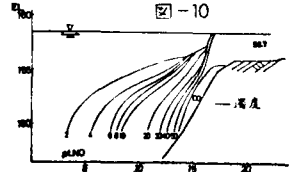


図-10