

九州大学 工学部 正員 平野宗夫
九州大学 工学部 正員 羽田野架義
九州大学 工学部 〇学生員 古賀省三

1. まえがき

我国の貯水池では、夏季に顕著な二次躍層が生ずる場合が多い。同時にこの時期は、洪水期にもあたり、洪水による密度躍層の低下または破壊の起った例がしばしば報告されている。密度躍層の破壊については、吉川、安芸らによって研究されている。密度躍層の低下についての理論的解析は、あまり研究されておらず、ここでは、表層取水の場合の密度躍層の低下過程および中間層内の密度の時間的変化ならびにダム壁近傍から中間層への巻き込み量についての評価が簡単なモデルを用いてなされた。

2. 密度躍層の低下および中間層内の密度変化過程

図-1に貯水池モデルが示されている。この解析においては、密度の流れ方向の変化は考慮せず時間的変化だけを考え、また水位は時間的に一定とする。

断面ⅠとⅡ間の領域を control volume とすると体積保存則より

$$\frac{d}{dt}(V_f + V_s + V_b) = 0 \quad (1)$$

質量保存則より

$$\rho_b \frac{dV_b}{dt} + \rho_s \frac{dV_s}{dt} + V_s \frac{d\rho_s}{dt} + \rho_f \frac{dV_f}{dt} = \rho_i g_i - \rho_o g_o \quad (2)$$

式(1)と(2)より dV_b/dt を消去すると

$$V_s \frac{d\rho_s}{dt} = (\rho_b - \rho_s) \frac{dV_s}{dt} + (\rho_b - \rho_f) \frac{dV_f}{dt} + \rho_i g_i - \rho_o g_o \quad (3)$$

躍層の低下は底水層体積の減少によって生ずると考えられ、 g_o を中間層上流端付近における底水層からの巻き上げ量とする。ここで、 g_o がどの層に流入するの、またどんな量によって規定されているのかを検討する。図-2に $\frac{dV_s}{dt}/L\bar{u}_f$ と $\bar{F}^2$ との関係が示されている。但し、 $F_o^2 = g_o^2/\epsilon_o g h_i^3$ 、 $F_s^2 = g_s^2/\epsilon_s g h_i^3$ 、 $\epsilon_o = (\rho_s - \rho_i)/\rho_i$ 、 $\epsilon_s = (\rho_b - \rho_i)/\rho_i$ 図より ϵ_o に対するものは、フルード数の増加に伴って $\frac{dV_s}{dt}/L\bar{u}_f$ は減少するが、 ϵ_s に対してはフルード数の増加に伴って $\frac{dV_s}{dt}/L\bar{u}_f$ も増加している。よって g_o は底水層より直接表水層へ流入していると考えられる。

g_o を算定するために図-3に $\frac{dV_b}{dt}/L\bar{u}_f$ と $\bar{F}^2$ との関係が示されている。多少のバラツキはあるが、内部フルード数と密接な関係にあると考えられる。よって $\frac{dV_b}{dt} = -g_b$ であるので g_o は内部フルード数の関数形で与えることができる。

上記を考慮して断面ⅠとⅡ間の表水層領域を control volume とすると体積保存則より

$$\frac{dV_f}{dt} = v_e L - g_m + g_b \quad (4)$$

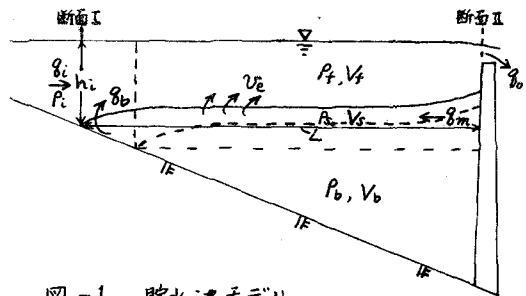


図-1 貯水池モデル

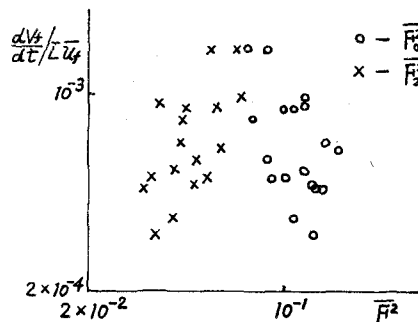


図-2 $\frac{dV_s}{dt}/L\bar{u}_f$ と $\bar{F}^2$ との関係

但し, g_m は表水層から中間層への巻き込み量である。

質量保存則より

$$\rho_f \frac{dV_f}{dt} = (\rho_i g_i - \rho_o g_o) + \rho_s v_e L - \rho_f g_m + \rho_b g_b - \dots - (5)$$

式(3), (4)および(5)より

$$V_s \frac{d\rho_s}{dt} = (\rho_b - \rho_s) \frac{dV_s}{dt} + (\rho_b - \rho_s) v_e L + (\rho_f - \rho_b) g_m - \dots - (6)$$

断面IとII間の中間層領域を control volume とすると体積保存則より

$$\frac{dV_s}{dt} = g_m - v_e L - \dots - (7)$$

式(6)と(7)より

$$V_s \frac{d\rho_s}{dt} = (\rho_f - \rho_s) g_m - \dots - (8)$$

密度躍層の低下については

$$\frac{d(h_i L)}{dt} = g_b \quad \text{より} \quad \frac{dh_i}{dt} = \frac{g_b}{L} - \dots - (9)$$

結局, 式(7), (8)および(9)を計算することによって h_i , ρ_s の時間的変化を求めることができる。その時, g_m の算定が必要である。

3. g_m の算定

選取取水の分野において, 躍層付近に中間層が形成されることはよく知られた事実であり, その理由としては, 表水層から躍層面を介して流入する巻き込みが存在し, これが上流域へ運ばれるためと考えられる。

g_m を算定するため, 図-4 のように取水域付近をモデル化する。

領域 ABCD および CDEF に対して運動量の定理を適用し現象を準定常と見なすと

$$\frac{(g_o + g_m)^2}{h_f} = \frac{\alpha g_o^2}{h_f - h_e - h_m} - \frac{g}{2} h_e (2h_f - h_e) + \frac{\varepsilon_m}{2} g h_m^2 - (10)$$

$$\frac{g_m^2}{g h_s^2} = \varepsilon_m h_m - h_e - \dots - (11)$$

AB 上でベルヌーイの定理を適用すると

$$h_e = \frac{1}{2g} \left\{ \beta \left(\frac{g_o}{h_f - h_e - h_m} \right)^2 - \left(\frac{g_o + g_m}{h_f} \right)^2 \right\} - \dots - (12)$$

式(10), (11)および(12)を計算することによって g_m が算定される。以上の解析より h_i , ρ_s の時間的変化を算定することができる。計算結果については, 当日, 発表する予定である。また, 今後の研究課題として, ρ_s の場所的変化も考慮した解析などが上げられる。

参考文献 1) 吉川, 山本: 土木学会論文報告集第186号, 2月, 1971。

2) 安芸, 白砂: 電力中央研究所報告 74505, 1973。3) Garrel, P.: La Houille Blanche, Jan-Fev, 1949。

4) 平野, 金子, 式: 第21回水理講演会論文集, 1976。

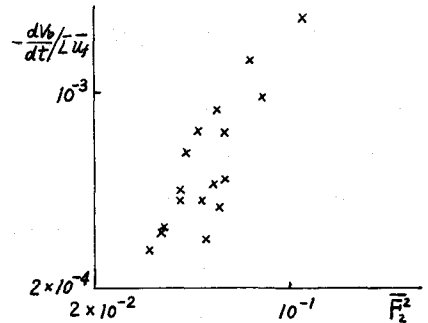


図-3 $-\frac{dv}{dt}/L u_f$ と F_s^2 との関係

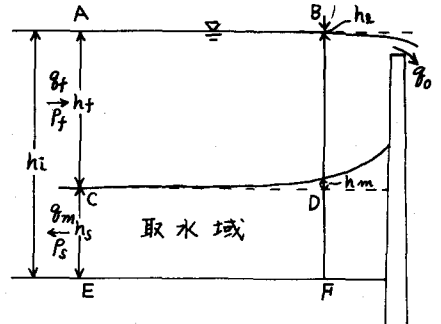


図-4 取水域付近のモデル

但し, $g_f - g_m = g_o$, $\varepsilon_m = (\rho_s - \rho_f)/\rho_f$ α は係数である。

但し, β は係数である。