

九州工業大学 正員 浦 勝
同 学生員 〇 高田能典

1. はじめに 水門による下層取水において取水限界の決定, および混入量の評価は重要な関心事である。今回は, 水路実験から得られたデータを基に取水限界について若干の考察を加え, 混入についても簡単なモデルを仮定して検討を試みた。

2. 実験装置及び方法 Fig-1に示すような水路に密度差 $\Delta\rho$ が $0.0050 \sim 0.0100 \text{ g/cm}^3$ の2層の成層場をつくり, 下層をポンプで循環させることによって実験を行なった。目測および水門下端のG端子による密度変動の検出から上層流体が混入するまで流量を増加する。増速すると同時に, 上流側貯水槽の内部境界面高の時間的変化を読み取り顕微鏡で連続的に観測する。一方G端子により混入する流体の密度変動を観測し, 変動が小さくなった時, および上流側貯水槽の内部境界面高の上昇が安定した時に, 水路内の一連の電導度端子により鉛直方向の密度分布の測定を行なった。混入を評価する意味から上層流体とパイプ中の濃度の時間的変化の測定は, それぞれFig-1の③端子, ⑤端子によって頻繁に行なった。実験条件の一部をTable 1に示す。

3. 実験結果 1) 取水限界について

水門による取水の限界流量に関してはHerleman¹⁾が不連続密度分布, 摩擦無視の仮定のもとに上流貯水槽と水路内でベルヌーイの定理を適用し

$\rho_1 g(H-r_r) + \rho_2 g r_r = \rho_1 g(H-y) + \rho_2 g y + \rho_2 U^2/2 \dots (1)$ より $q^2 = 2\epsilon_0 g y^2 (r_r - y) \dots (2)$ (ただし $\epsilon_0 = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}$) が得られる。式(2)において一定の比エネルギーで流しうる最大流量は $dq/dy = 0$ より $y_c = 2r_r/3$ を求め, したがって次式を得ている。 $q_{\max} = \sqrt{\epsilon_0 g (2r_r/3)^3}$ (ただし $r_r > 1.5b$) $\dots (3)$ また $b < r_r < 1.5b$ においては式(2)で $y = b$ となる時であるから $q_c = \sqrt{2\epsilon_0 g b^2 (r_r - b)} \dots (4)$ を得ている。そして, 水路実験より1%混入に対して式(3)は次のように補正されることを示している。 $q_{\max} = 0.8 \epsilon_0 g (2r_r/3)^3 \dots (5)$ 式(3), (4)の表示は $q = U_b \cdot b$ を用いれば次のように表わされる。 $r_r/b = \frac{3}{2} F_b^{2/3} \quad (r_r/b \geq 1.5) \dots (6)$

$r_r/b = 1 + \frac{1}{2} F_b'^2 \quad (r_r/b < 1.5) \dots (7)$ ただし $F_b' = U_b/\sqrt{\epsilon_0 g b} = q^2/\sqrt{\epsilon_0 g b^3} \dots (8)$ である。式(5)は次のようになる。 $r_r/b = 1.74 F_b^{2/3} \dots (9)$ 式(9)および実測値をFig-2に□印で示した。また千秋・和田²⁾はHarlemanと彼らの実測値より実測値を満足する式として $(r_r - b)/b = \frac{1}{0.9} F_b' \dots (10)$ を提案している。その実測値をFig-2に△印で示した。今回, 行なった測定結果をFig-2に流出時は●印, 平衡時を○印で示したがHarlemanの測定値に比べて, より小さい F_b' の値で限界値に達していることがわかる。これはHarlemanが水路長 $L/b \approx 1.5 \sim 5.4$ に対して, 残々の実験が $L/b = 9.3$ と長いので摩擦損失による境界面低下が原因と考えられる。今回の実測値の流出限界は $r_r/b > 2$ に対して $r_r/b = (2.2 \sim 2.8) F_b'^{2/3} = (2.2 \sim 2.8) \left(\frac{q^2}{\epsilon_0 g b^3} \right)^{1/3} \dots (11)$

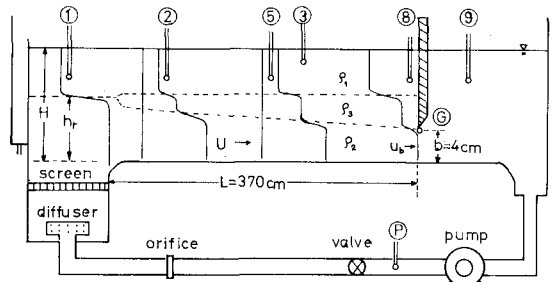


Fig.1 実験装置

	step1	2		3		4		5		6	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
$\Delta\rho$	0.0098	0.0099	98	96	95	91	90	83	81	79	
h_r/b	1.425	1.45	1.488	1.663	1.813	2.063	2.225	2.70	3.00	3.29	3.475
$Q(\text{cm}^3/\text{s})$	—	4.83	4.75	10.05	10.29	17.42		30.29		35.64	
F_b	—	0.195	0.191	0.407	0.421	0.716	0.732	1.279	1.331	1.586	1.605
$Re(\text{mm})$	—	503	498	1061	1105	1887	1904	3318	3347	3964	3973

Table.1 実験条件

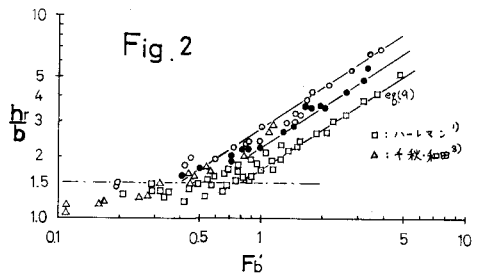


Fig. 2

で与えられる。したがって、これは次のように変形される。

$$F_i = \frac{q}{\sqrt{\varepsilon_0 g R^3}} = \frac{1}{(2.2 \sim 2.8)^{1/2}} = 0.213 \sim 0.306 \quad \dots (12) \quad \text{これは連続}$$

密度分布の Point sink に対する $Y_i h$ の理論値 $F_i = 1/\pi$ 、
およそ Deblet²⁾ の $F_i = 0.28$ に近い値を示している。したがって
水路長が長くなれば式(12)が限界パラメータとして適当と考えら
れる。Fig-3 は水門直前に生ずる中間層の密度を ρ_3 として

$$\varepsilon_2 = (\rho_2 - \rho_3)/\rho_2 \text{ を用いたフルード数 } F_{b2} = q/\sqrt{\varepsilon_2 g b^3} \text{ と}$$

h_f/b との関係を示し ●印が混入後、○印は定常時である。
これより中間層が形成され流出がほぼ終了する限界
も $F_2 = q/\sqrt{\varepsilon_2 g R^3} = 0.354$ となり、中間層の密度が規
定されることかわかる。

ii) 混入量の評価 Hatleman¹⁾ は上層流体の混入量と上流
側貯水槽の内部境界面上昇を対応づけて混入率 η を

$$\eta = Q_i/Q_p = A_f(dh_f/dt)/Q_p \quad \dots (13) \quad \text{で表わしている。ただし}$$

Q_i : 混入量, Q_p : 全流量, A_f : 水門より上流の水路水平断面積であ
る。Fig-4 は貯水槽の内部境界面高の増加量と時間との関係を示
したものである。 $h_f - h_{f0} = \alpha z^p$ (ただし h_{f0} : 増速前の h_f) の関数形
を仮定し実験定数 α, p を決めて式(13)に代入すると混入率が Fig-5
で与えられる。一方、Fig-6 のように混入現象をモデル化する。
ただしタンク内では、速やかに混合が行なわれるものとする。

タンク T_1, T_2, T_p における流量と質量の連続の式が
ら次式が得られる。 $dS_2/dt = Q_p(S_p - S_2)/V_2 \quad \dots (14)$

$$dS_p/dt = \{Q_2(S_2 - S_1) - Q_p(S_p - S_1)\}/V_p \quad \dots (15)$$

(ただし S_1, Q_p, V_p : const.) 混入率は式(15)

$$\text{より } \eta = \frac{S_2 - S_1}{S_2 - S_1 - \frac{V_p}{(S_2 - S_1)Q_p} \frac{dS_p}{dt}} \quad \dots (16) \quad \text{が得ら}$$

れる。さらに $V_p = 0$ と仮定すると式(16)より

$$\eta = \frac{S_2 - S_1}{S_2 - S_1 - \frac{V_p}{(S_2 - S_1)Q_p} \frac{dS_p}{dt}} \quad \dots (17)$$

となる。実験結果から S_p, S_2 の時間
的变化は Fig-7 に示すとおりである。 S_2 はデータが少なく、適当ではないが

混入率の変化の概略を得る目的で $(S_p - S_*)/(S_{*2} - S_*) = 1/(a_p t + 1)$,

$$(S_2 - S_*)/(S_{*2} - S_*) = 1/(a_2 t + 1) \quad \dots (18) \quad (a_p, a_2: \text{実験定数})$$

の関数形を仮定して式(17)に代入すると混入率が Fig-8 のように
表わされる。流量を増加すると混入がはじまり、ある時刻でピーク
に達し、時間が経過すると混入率が減少し安定してゆく様子がわか
る。これは下層を循環させているため上層流体の流出に見合うだけ
内部境界面高が上昇し平衡状態に到るからである。式(13)による混
入率によれば Fig-2 における ○印は流出がほぼ終了した場合であ
り、●印は 1% 程度の流出となる。混入率の評価は実験値のばらつき、およそデータ不足などにより適合性をう
まく言えなかったが実験装置や機器の改良、データの蓄積によって今後、改善するつもりである。

<参考文献> 1) Hatleman Withdrawal from two-layers stratified flows Proc. ASCE Hy4 (July 1965)

2) 土木学会 水理公式集 (S46) 3) 千秋・和田 火力発電所冷却水の深層取水に関する研究 電研技研報告土木005(1964)

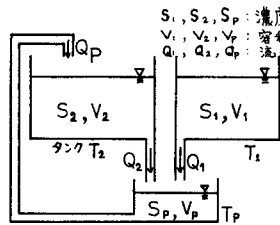
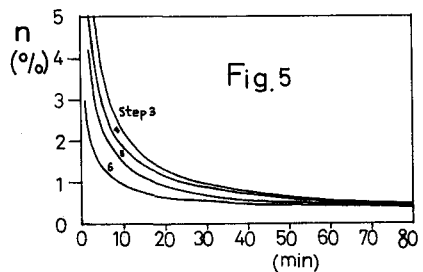
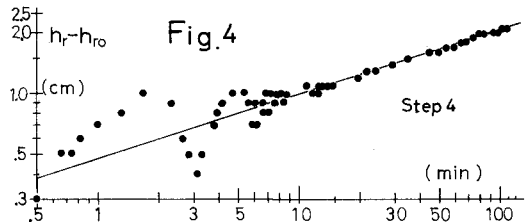
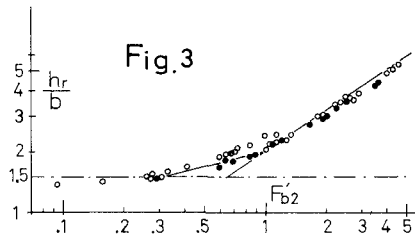


Fig. 6 混入モデル

