

大阪大学工学部 正員 道與康治
大阪大学工学部 正員 室田 明
関西電力(株) 正員 大石富彦

1. まえがき; 躍層を有する密度成層場からの選択取水問題は、躍層を1つの密度境界面とみなし、水路底部に取水口を有する skimmer wall 等について従来から多くの研究がなされ、平行流を仮定した一次元解析によって限界条件、流出水の混合密度の予測等が検討されている。しかし、底部から任意の位置に比較的小さな取水口を有する場合には、流線が取水口のまわりに放射状に集中し、平行流として仮定することは不適当である。本研究では、そういった場合の流れを取水口を中心とした軸対称流と仮定し、取水限界条件・流出密度を推定し、実験結果との比較を試みた。

2. 実験装置および方法; 実験水槽としては、本学水工実験室に設置された貯水池模型用の透明アクリル製二次元水路(長さ9.0m, 高さ0.7m, 幅0.3m)を用いた。(図-1参照) 水位の急激な低下を避けるために、水路内に仕切り板を設け、幅0.1m, 長さ2.0mの流動部と貯水部に分割し、また、二次元line sinkからの取水を再現するために取水口の大きさを極小小さくし、長さ10cm, 取水口開口高さ0.5cmの取水口を水路下

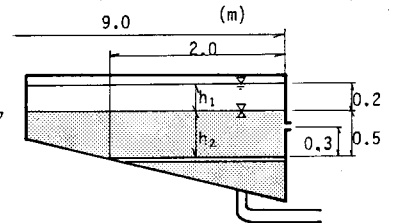


図-1 実験水路

流端に設置した。淡塩二成層を複製した後、一定の流量で下層取水を行ない、界面の低下にともなう流出密度の変化を取水口直下のパイプ内に挿入した電導度計により測定した。その間、流入部での擾乱を避けるため、淡・塩水の供給は行なわない。実験はこのように非定常であるが、取水量が貯水部体積に比し、十分小さいため、水位低下の速度は十分遅く、時々刻々の取水流動に着目すれば準定常とみなし得る。また、表-1に本実験の諸量を示す。

q	c	1.8×10^{-3}	3.8	5.7	10.1
16.7 (cm/s)	A*1	B*1	C*1	D*1	
50.0	A*3	B*3	C*3	D*3	
83.3	A*5	B*5	—	D*5	

表-1 実験条件

3. 実験結果および考察; 一定流量の取水に対し、密度界面はしだいに低下し、密度フルード数 $F = g/\sqrt{\epsilon g y_2}$ (g ; 単位幅流量, ϵg ; 有効重力, y_2 ; 上流での界面位置から取水口までの鉛直距離) は徐々に増加する。ある限界フルード数 F_c に至ると上層からの流入が始まり、二層流動状態へと移行する。図-2 は比混入率 $\lambda = g_1/g_t H/h_1$ (g_1 ; 上層流量, g_t ; 全流量, h_1 ; 上層水深, H ; 全水深) と F との関係を示したものである。実験では下層流動から二層流動への遷移は断続的ではなく、限界値付近では、上・下層の中間密度を有する stagnant wedge の

存在により図-2のように流出密度がいくぶんなめらかに変化する。そこで $\lambda \sim F$ 曲線の変曲点すなわち、同曲線を図に示した2つの直線1, 2で近似し、その交点Aに対する F をもって限界フルード数と定義した。このようにして求めた限界値と、図-3に示すような取水口近傍を軸対称流、上流の等流部を平行流とした二層流れにおける下層限界フルード数の計算値との比較を図-4に示す。図中、縦軸 F_{0c} は取水口での流速 $V_0 = q/D$ (D ; 取水口開口高さ) を代表流速にと

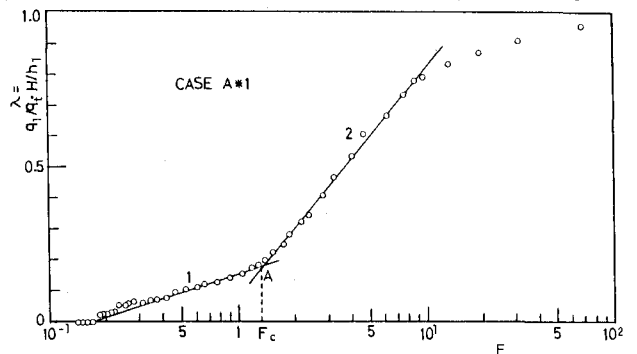


図-2 比混入率 $\lambda \sim$ フルード数 F

った限界フルード数, また横軸は y_2/D であり, 実線は, 等流部での流速を考慮した場合, 破線は無視した場合で, それぞれ速度水頭の補正係数 α をパラメータにしている。さらに上・下層水深無限大として求めた Craya の解析値を一点鎖線で示した。同図より, 本実験においては, 特に F_{0c} の大きい範囲で接近流速を考慮した場合に良く一致し, 考慮しない解あるいは Craya の値より大きいことがわかる。しかし, F_{0c} の小さな範囲ではこれらの間にさほど大きな差異はない。

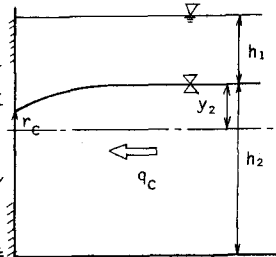


図-3 限界状態

次に流出水の混合密度の推定を行なう。限界値の場合と同様, 流線が取水口近傍で放射状に収束することを考慮に入れ, 図-4 のように二成層での軸対称な流れを仮定する。取水口径が相対的に小さければ, 取水口上流で subcritical 取水口近傍で supercritical な流れとなり, その間に二層流動の支配断面が存在する。開水路の場合と同様, 支配断面において上・下層の流量が決まると仮定し, 次式のような界面での圧力釣り合い式

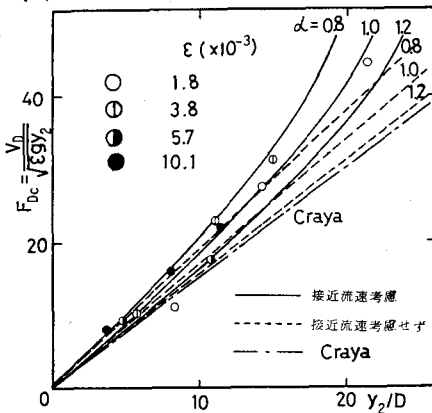


図-4 $F_{0c} \sim y_2/D$

$$\frac{1}{2} \rho_2 g_2^2 \left(\frac{\alpha_2}{r^2 (\theta_2 + \phi)^2} - \frac{1}{h_2^2} \right) - \frac{1}{2} \rho_1 g_1^2 \left(\frac{\alpha_1}{r^2 (\theta_1 - \phi)^2} - \frac{1}{h_1^2} \right) = \Delta p g (y_2 - r \sin \phi) \quad (\Delta p = p_2 - p_1) \quad (1)$$

ここで α_1, α_2 は上・下層の流速補正係数と(1)式を取水口からの距離 r で微分した式

$$\sin \phi - \frac{\alpha_2 \rho_2 g_2^2}{r^3 (\theta_2 + \phi)^3 \Delta p g} + \frac{\alpha_1 \rho_1 g_1^2}{r^3 (\theta_1 - \phi)^3 \Delta p g} + \frac{d\phi}{dr} \left(r \cos \phi - \frac{\alpha_2 \rho_2 g_2^2}{r^2 (\theta_2 + \phi)^2 \Delta p g} - \frac{\alpha_1 \rho_1 g_1^2}{r^2 (\theta_1 - \phi)^2 \Delta p g} \right) \quad (2)$$

とから g_1/g_2 を推定する。すなわち Wood⁴⁾ と同様に任意の支配断面において, $d\phi/dr \neq 0$ であることを考慮すれば, (2)式の両辺は各々0となり, 以上3式から中を媒介変数として未知数 g_1, g_2, r が求められる。図-6は $g_1/g_2 \cdot h_2/h_1$ と無次元流量 g_t/g_c (g_t : 全流量, g_c : 限界流量) との関係を実験値と比較したものである。図中, 実線は上記の方法による理論値, 点線は(1)式において等流部の流速を無視した場合の値であり, 流速補正係数 $\alpha_1 = \alpha_2$ が1.0, 1.5の場合について示している。 g_t/g_c の大きな範囲で実験値が多少ばらついているのは界面位置が取水口に近づいて躍層厚さと y_2 が同等の値となり, 二成層として y_2 に対する限界流量 g_c を正確に求めることが困難であるためであろう。加えて軸対称流との流況の差異が大きくなり, 補正係数 α_1, α_2 の値にばらつきがでてくる影響もあると思われるが, g_t/g_c の小さな範囲では両者は良く一致している。しかし, 全体として本解析値は実験値の傾向を良くあらわしており, 選取取水を目的とする限りにおいて混入率の小さな範囲が重要であることを考えれば, 本解析によって十分な精度が期待できるとと思われる。

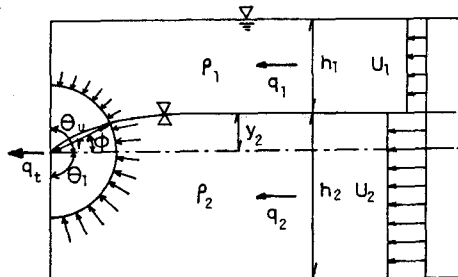


図-5 流出密度の推定モデル

選取取水を目的とする限りにおいて混入率の小さな範囲が重要であることを考えれば, 本解析によって十分な精度が期待できるとと思われる。

選取取水を目的とする限りにおいて混入率の小さな範囲が重要であることを考えれば, 本解析によって十分な精度が期待できるとと思われる。

1) Harleman et al.; ASCE, 1958, 2) 室田道典 大石, 関政郎 詳講, 1980, 3) Craya; La Houille Blanche, 1949, 4) Wood; ASCE, 1978