

IV-4 下層流の流況 (水門による下層取水限界)

九州工業大学 正員 浦 勝
 同 学生員 山口 隆
 山口大学 工学部 学生員 難波 義郎

水路内に生じた密度流の場合から下層流体を水門により取水する場合の流況の状況、とくに下層流体の取水限界について述べる。図-1に示すような長さ5m幅10cmの水路の入口から $L=360$ cmの位置に高度 $b=4$ cmの水門を設置、これより上流側に密度流の場を形成する。総水深 $H=30$ cmで、初期鉛直密度分布は図-2に示す4 case について実験を行なった。下層流の流れは水路末端の集水槽から管路とし、途中に設けたポンプにより上流側野水槽へ循環させた。下層流の単位幅流量は管路系に設けたバルブにより調節した。実験は静止状態より流量を段階的に増加させ、ほぼ定常となる状態を次の測定を行なった。鉛直密度分布を $x=260, 300$ cmおよび水門より1cm上流の $x=359$ cmに設置した電導度計端子により記録測定した。鉛直流速分布を $x=280$ cmでwater-blue粒子を落下させ軌跡を描く線条を2枚の写真から読み求めた。さらに密度境界面の変動状態・形状などを観測した。

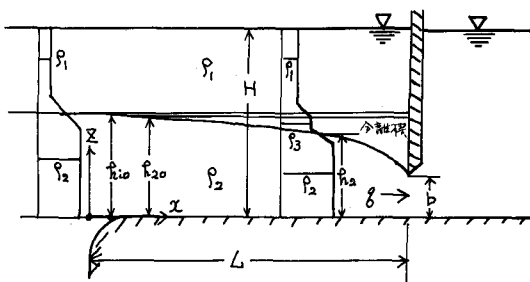


図-1

水路内密度流の状況を表すために、鉛直濃度分布および流速分布の各流況段階における値を case ③ を例として図-3に示した。同図には鉛直分布の $x=260, 300, 359$ cmにおける値をそれぞれ破線、細線および太線で示し、同時に $x=280$ cmにおける流速分布を示した。③-5の状態は、上流側では下層全体が順流であり、逆流部は観測されない。しかし水門直前において鉛直下方向の流れが生じて、水門下端から中間層の流体が流出していることがわかる。この状態を上層流出とよぶことにする。

次に③-6では水門直前において、水門下端高さ $z=4$ cmに下部境界面をもち、 $z=8.5$ cmまで鉛直方向に一定の濃度を持つ中間層が形成される。この中間層は水門より上流方向へ密度と層厚を減少してゆく。

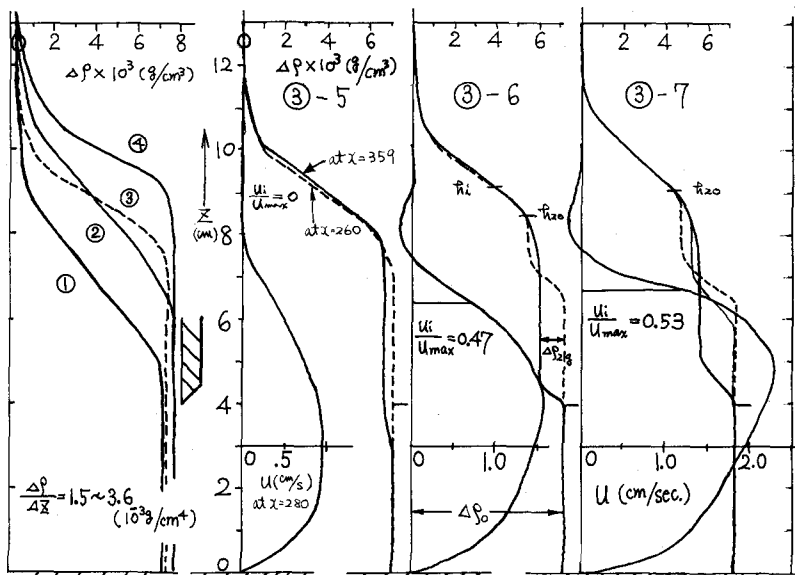


図-2

図-3

中間層の平面形状は図-1に示すように稜状となっており、これを合離稜ともよぶ。稜下部境界面における流速 u と最大流速 u_{max} とは図-3に示すように変化している。この下部境界面速度 u により合離稜内の流体が引きずられるが、水門から中間層が流出しない平衡状態では、この順流を補償するため逆流が発生する。この逆流部は中間層内で終り上層との上部境界面ではゼロとなる。中間層すなわち合離稜内の鉛直流速分布はほぼ二次曲線に近似的である。

③-7は③-6の状態から流量を増加させ、上層流出を行なう後刻連した新しい平衡状態である。この状態は③-6に比べて合離稜下部境界面の密度差が増大し、境界面速度 u および速度勾配 du/dz もともに大きくなる。このように流量の増加にもない稜下部境界面の局所的R数($Ri = -\frac{g\beta}{\rho\alpha} \frac{u}{\alpha}$)が減少し境界面が不安定となってゆき、図3の密度分布図でわかるように変動が大きくなる。そして内部波が碎け混合流出となる。③-6, 7はいずれも流量のこわすから増加によって混合流出または上層流出となるので下層取水の限界状態といえる。

つぎに、これらの実験結果から、下層流体の流出状況を示したものが図-4である。境界面高さ h_0 、密度差 $\Delta\rho$ などの定義は図1, 3に示した。流量 Q は $Q = \int_0^{h_0} u dz$ より求めた。 h_0/b が1.8以上では内部フルド数 F_{b0} の増加にもない、始め上層流体の混入し下層流体のみが流出する下層流の状態から、図-3の③-5で説明した上層流出が現われ、次に合離稜が形成され限界状態、そして混合流出の領域となる。図-4には水門による下層取水限界を決めた Harleman¹⁾ の実験値および干秋²⁾の設計計算式より換算して曲線を示した。これら2つの場合は取水限界がほぼ1本の線で規定できるが、我々の測定値はばらつきが大きい。これら3つの場合の条件の違いは水路長 L が異なることである。図-4の両軸の基準量は図-2で示すような密度分布形を矩形分布形に置換し $\Delta\rho$ 一定で u_{max} が流れ方向に変化するとして出て来たものであり、水路長 L が長く合離稜が存在するようになる場合は図-4の基準量では不適当となる。したがって、我々の実験値と、水門直前における下部境界面における密度差 $\Delta\rho_0$ と境界面高さ h_0 を用いて無次元化して整理したものが図-5である。

これにより限界状態が1本の曲線となり、取水限界が合離稜が存在する場合についても規定できる。今後 L の結果、解析的数値化を前述した性格を用いて行ないたいと考えている。

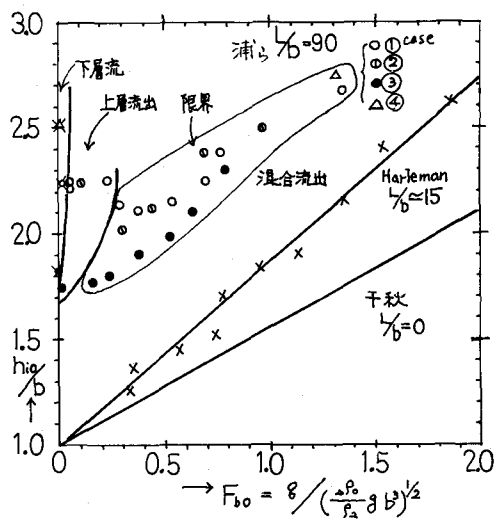


図-4

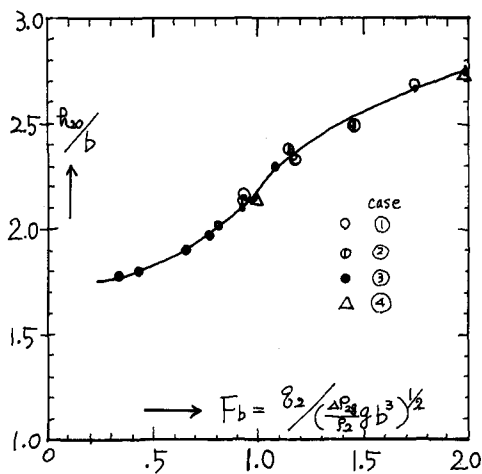


図-5

参考文献

- 1) Harleman, Elder; Withdrawal from two-layer stratified flows; Proc. A.S.C.E. HY.4 July 1965
- 2) 干秋信一; 冷却水取排水に関する技術的向題; 1970年度水工学夏期研修会講義集 A 70-09, 土木学会