

大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学工学部 正員 中辻 啓二
 高知県土木部 正員 栗本 博樹

1. まえがき ; 成層した貯水池に流入する濁水塊は、流入端での初期混合、下層密度流の形成・発達、成層界面の擾乱・破壊等の種々のスケールの密度流的挙動を呈する。本研究ではこれらの現象をもたらす貯水池内での水質混合機構の解明を目的に基礎的な実験を行ない、とくに大規模な混合が生じると考えられる成層界面上流端における内部跳水、およびその結果発生する下層密度流の分岐現象について考察するとともに、流動形態の分類を試みたのでここに報告する。

2. 実験の概要 ; 実験は図-1に示す長さ10m、幅0.3m、底面勾配1/10の両面アクリル製水路に清水(ρ_0)を貯留し、所定密度 ρ_e の塩水を下層から静かに注入させて成層界面を形成した後、上流端より着色した塩水塊 ρ_0 を流入させその挙動を計測した。実験条件は流量 $Q_0=10, 3.33 \text{ cc/sec}$ 、 $\rho_e=1.0002 \sim 1.0020$ 、 $\rho_0=1.0001 \sim 1.0030$ 、流入時間 $T_0=2'30'' \sim 15'00''$ の範囲であり、流入水深を1.5cmに保つように下流端水位を調整した。

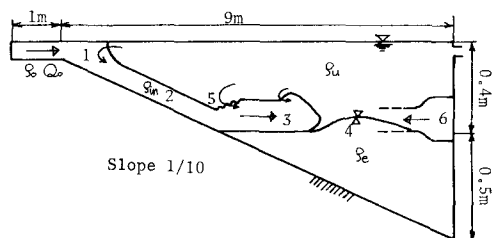


図-1 流入濁水の挙動の模式図

流入水の挙動は図-1に模式的に示すように、貯水池上流端で清水を連行する初期混合(1)を経て、渦状密度流塊(2)と等流状態の後続部(3)からなる下層密度流を形成して池内底部に沿って流下していく。体積を増加させながら等速度で伝播する渦状先端部が成層界面に突入すると界面に内部長波(4)を誘起させ、また下層密度流部は多くの場合内部跳水(5)を発生させ激しい混合が観測される。その後、界面上を流動してダム壁に衝突すると内部段波(6)を発生させ、その反射波は逆に底面勾配を遡上して内部静振(7)を引き起こし、最終的な密度分布は約120分で定常になる。以上の現象を観測より視覚的に得られた混合程度と継続時間スケールとで整理したのが図-2である。

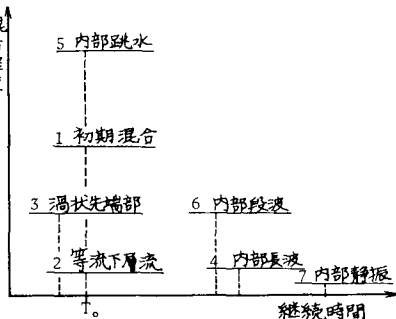


図-2 現象の継続時間と強度

流動が不連続に変化する初期混合および内部跳水が混合過程に支配的な現象であると考えられる。

初期混合現象に関する実験において、密度の希釈率で表わした連行係数は0.1~0.2のオーダーであったが、流入条件によりかなりのバラツキがある。また、潜り突が十数秒の周期で移動するために下層密度流の特性を流入条件から推定することは困難であった。それゆえ、水素気泡列・塩分濃度計を用いて計測した下層密度流の水理量を入力条件として以下の現象を考察する。下層密度流の流速分布は最大流速より鉛直下方は放物線形状であり、剪断力が最大となる変曲点で定義した界面での流速と最大流速との比は約0.59であることより、Blasiusの層流境界層理論の適用が可能なことを確認している。

3. 内部跳水と分岐現象 ; 成層界面に与える下層密度流の影響は先端部流塊の鉛直フラックスと持続的な下層主流部と考えられるが、前者は昨年の関西学講に報告したように混合に対してはほとんど影響はなく後者のみを考えればよい。いま、下層密度流がsuper-criticalな流れ(密度差フルード数 $F_2 = \sqrt{(\rho_{in} - \rho_0) / \rho_{in} \cdot g h} > 1.0$)で成層界面に突入するとき、その流塊は浮力効果を受け慣性力が減少するとともに、水平方向への移流を

余儀なくされる段階でその流れは内部跳水を起こしてSub-Criticalな流れに移行するのが観測された。この内部跳水は上層停止・下層流動の場合であり、理論的には開水路における跳水の解析に有効重力を考慮することにより求まる。

図-3は式(1)で求まる共役水深および斜面上での跳水の実験曲線(破線)と実験結果を比較したものである。●印はつきに述べる分岐現象を生じた実験値を示しているが、いずれもよく一致しており内部跳水の発生を裏づけるものである。

$$h_2/h_1 = 0.5 [\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1] \quad (1)$$

この内部跳水により下層密度流部の流塊は上層清水と激しく希釈混合して成層界面上を流動するが、とくに下層密度流の密度 ρ_m が成層界面下の密度 ρ_e より

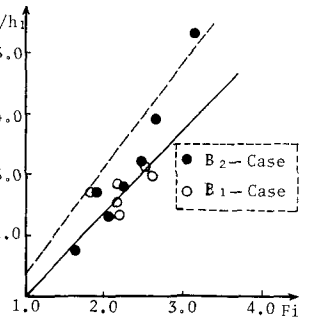


図-3 共役水深の比較

も大きな場合には混合後の密度分布は大きな密度勾配を有することになり、その一部は成層界面上を流動し、残りの部分は界面を突き破ってsub-criticalな密度流を形成して流下する分岐現象を呈することになる。(図-4)分岐現象が起った場合の両下層密度流の伝播特性を比較したのが図-5である。界面上を流動する流塊は内部跳水以前と比較して伝播速度は減少するがほぼ等速度で伝播するのに対し、界面下底部を流下する密度流は界面に生起している内部長波による圧力変動の影響を受けて加速・減速を繰り返しながら流下しているのがわかる。

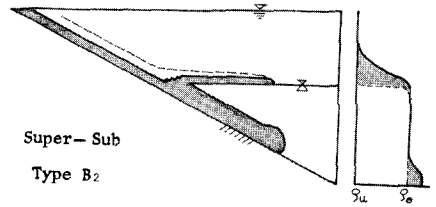


図-4 分岐現象と最終密度分布

4. 形態分類と最終密度分布について ;
上記の内部跳水および分岐現象が下層密度流の形態分類ならびに最終密度分布をもとめるうえで重要な因子となるが、流れの状態および成層界面の安定度を表わす指標として Fr

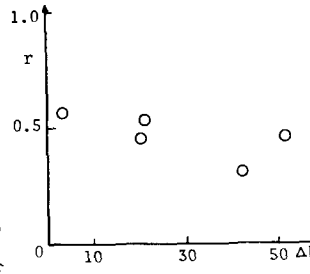


図-7 混合希釈率

数, $E = (\rho_m - \rho_e) / \rho_m$ をそれぞれ選び流動形態との関連を示したのが図-6である。各流動形態の詳細は本年度関西年講に示してあるが、下層密度流の界面形状は有効重力を考慮した開水路流れの解析により各象限で明確に識別できることを示している。つぎに、これらの形態別に最終状態の密度分布を比較してみると、 A_1, A_2, B_3 の内部跳水を生じない場合の密度分布は不連続な階段状を示しているのに対し、 B_1, B_2 の内部跳水のある場合の密度分布は図-4に示すように勾配がゆるやかな正規分布を示し、大規模な混合が生じているものと予想される。図-3の共役水深を用いて計算したエネルギー逸散 ΔE と密度の希釈率 γ との関係を B_1 形態を例に示したのが図-7である。 ΔE

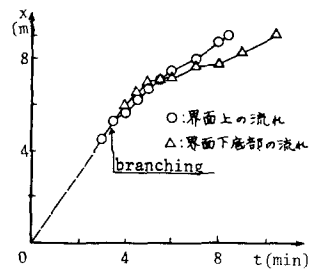


図-5 先端部の伝播特性

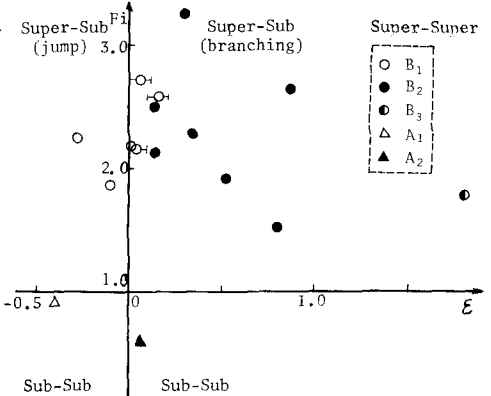


図-6 形態分類と Fr, E

の増大にともない γ は減少するという傾向を示しているが、流入時間 T_0 の差異が最終密度分布にかなりの影響を与えることもあり、両者の相関性は明確ではない。ただ、 γ 値は0.3~0.6程度のオーダーであると予想される。

最後に、実験およびデータ整理は院生大石富彦君の協力を得た。記して謝意を表する。

<参考文献> 1) 村田・中辻他：鉛直フラックスの衝突による2層界面の安定性について、52年度関西支部年講

2) 室田・中辻・栗本：成層型貯水池における濁水下層流の流動形態について、53年度関西支部年講