

内部跳水にみられる反転流域の特性について

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
 大阪大学大学院 学生員 中村 至二郎

1. はじめに ; 本研究は、表層放流密度流のなかでもその界面性状が急激に変化する内部跳水の形態について、とくに反転流域に着目して実験的に検討したものである。

2. 実験方法 ; 実験は、長さ6m、幅15cm、高さ50cmの透明アクリル製水平矩形水路を用いた。放流形式は上層淡水流動、下層塩水静止である。流速の測定にはボットフルムと水素気泡を併用し、塩分濃度の測定には電導度式濃度計を用いて各々の断面内分布の流経方向変化を求めた。また、ビデオ装置を用いた可視化観測も随時併用しておこなった。

3. 開水路跳水との対応 ; 図-1は開水路跳水と上層淡水静止、下層塩水流動の内部跳水の形態を模式的に示したものである。両者の形態の相違は、気-液二層流である開水路跳水がその界面付近に顕著な反転渦すなわちローラーを有するのに対し、密度差の異なる液-液二層流の内部跳水は主流界面上方に主流とは逆回りの流れすなわち反転流を有する点である。反転流の存在は界面での法性を抑圧するとともに、進行と跳水の始端に局在化する可能性がある。また、内部跳水は密度フルード数 $F_{do} (= \sqrt{\rho_1 / \rho_2} g H_0)$; ここに ρ は二流体間の相対密度差) に無関係に同図のような形態を示し、フルード数により形態を識別できる開水路跳水とは若干異なる。このように反転流域の存在が内部跳水の特徴であるにもかかわらず、それを積極的に考慮した研究がほとんどないのが現状である。

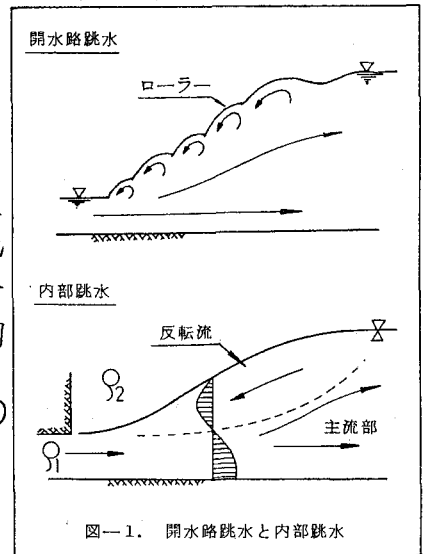


図-1. 開水路跳水と内部跳水

4. 実験結果 ; $F_{do} = 2.65 \sim 14.30$ の範囲で実験をおこなった。図-2は反転流域を定量化するために、流速 u および密度 ρ の流経方向変化を求めた一例である。得られた知見をまとめると以下のようなものである。

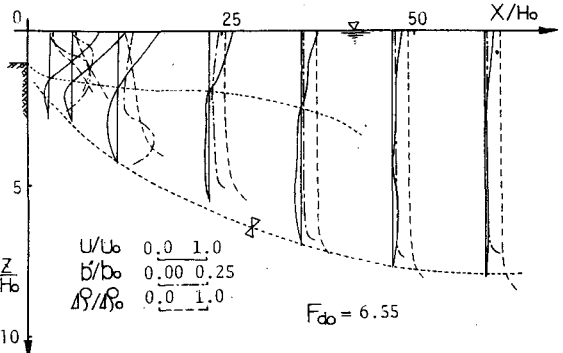


図-2. 流速・密度の流経方向変化

- i) 反転流の規模と強度は主流部のそれと比較して無視できないほど大きい。
- ii) 反転流量は跳水終端付近から上流方向に次第に増大して、跳水始端付近で急激に減少する。
- iii) 跳水始端での集中的な混合により増加した上層の密度は、流下にとまって急激に Z/H_0 拡散され、跳水中央付近までにはほぼ全断面一

様に希釈される。またその後、密度分布が変化することもない。(m) 主流部の流速分布はガウス分布を示さず、また流路方向にその分布形が保存されることもない。

(1) 内部跳水の共役水深と長さ ; 図-3は内部跳水にみられる水深の共役関係を示す。図中の直線は建行は i と仮定したときに得られる開水路跳水と類似の関係式である。内部跳水は実際には建行をともしうため、実測値は理論式をやや上まわる傾向にある。また F_{d0} 数が大きいほどその傾向は顕著である。図-4は跳後の水深 H_c で無次元化表示した跳水の長さ L_c と F_{d0} 数の関係を示したものである。岩崎・上原(1971)の実験結果ならびに開水路跳水の結果(図中破線)とともに示す。 L_c/H_c は F_{d0} 数の増加とともに単調に増大し、 $F_{d0}=6\sim7$ 付近で最大値を示す。その後、高 F_{d0} 領域では減少する傾向がみられるが、これは開水路跳水の傾向とは異なる点である。

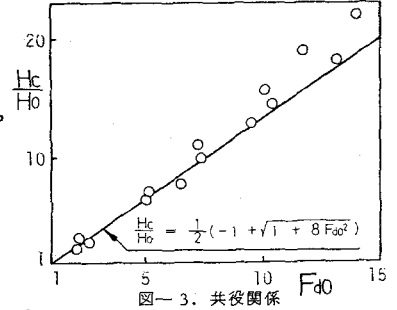


図-3. 共役関係

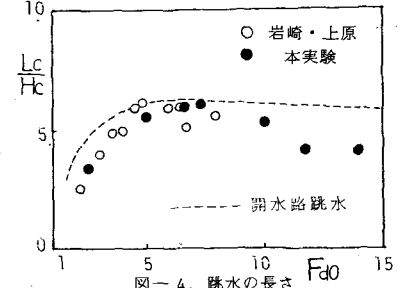


図-4. 跳水の長さ

(2) 反転流の規模 ; 図-5は反転流域の拡りの流路方向変化を示す。およそ F_{d0} 数に比例してその規模が増大しており、 $F_{d0}=14.30$ のケースでは最大で放流口水深の約8倍にも達し、この地点での主流部の拡りの2倍半に相当することから考えると、非常に大きな値であることがわかる。また $F_{d0}=10.08, 14.30$ の両ケースには跳後終了後も反転流域が存在する。図-6は反転流量の流路方向変化を表わす。反転流量も F_{d0} 数に比例して増大する傾向があり、跳後始端付近では放流口流量 Q_0 の30~47%にも達する。また、跳水中央部に反転流量の小さくなる領域が各ケースに共通してみられる。

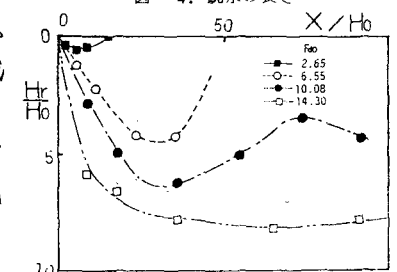


図-5. 反転流域の拡がり

(3) 反転流の成因 ; 内部跳水における反転流は、跳水減勢工にみられるフランド・ローラーのごとき循環ではない。それは跳水にともなう急激な水深増大作用によって主流部より放出された流体塊がその密度差のために二層間に滞留し、重力安定に支配されて主流部の界面沿いに跳水始端へ逆流する結果として生じる現象と考えられる。そしてこのように反転流としてきた流体塊は、その跳水始端付近で再び集中的に主流部へと再建行される。以上のことから、反転流域の存在は主流部の擾乱に対して一種の緩衝帯の働きをするばかりでなく、跳水にともなう下層塩水の実質的な建行を跳水始端付近のごく限られた領域に局在化させるように働きかけることが予想される。したがって、内部跳水におけるこのような反転流はその規模の点からも決して無視できない現象であり、とくにその建行量解析には必ず勘案されねばならない流動特性である。今後は、反転流の特性を考慮して内部跳水のモデル化をおこなう予定である。

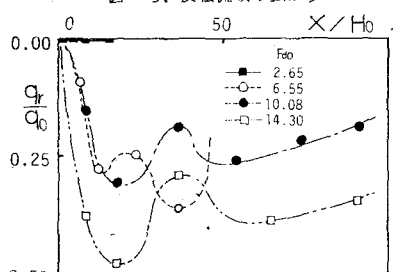


図-6. 反転流域流量