

日本国有鉄道 正 員 中村圭二郎
 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

1. まえがき ; 河口部に生起する内部跳水は河口の水温、水質構造に著しい変化をもたらすばかりでなく、塩水くさびの遡上等、河口二層流の流動にも大きな影響を及ぼすことが予想される。河口部は地理的にも水理学的にも複雑な条件を有する。ところが、従来行なわれてきた内部跳水の解析は理想的な二次元一様断面水路を対象としたものであり、一連の研究成果をそのまま河口部の流れに適用することは危険である。

そこで、本研究では現実の河口形状を勘案した漸拡水路場に内部跳水の解析を拡張する。解析モデルは、開水路の円環跳水の解析¹⁾に用いられた運動量解析手法を漸拡水路場の表層流に適用し、これに二層間の混合の効果を導入したものである。解析結果と基礎的な実験結果との比較により、提案モデルの妥当性を検証するとともに、漸拡水路場における内部跳水の基本特性を明らかにする。

2. 基礎方程式の設定 ; 図-1に示すような漸拡水路場の内部跳水を囲む支配断面に体積、質量の連続条件式と運動量保存方程式を適用することにより、式(1)で表わされる漸拡内部跳水の基礎方程式を得る。同式と二次元内部跳水の基礎方程式との相違は流れが側壁から受ける抗力 P_s を考慮したことであり、それは内部跳水の界面形状 $h(L)$ を2次放物線で近似することにより、 $P_s \approx \int_0^{L_2} \int_0^{h(L)} (\rho_s - \rho_f) g h \, dh \, dL$ で表現される。

$$15(1+\eta_s)\gamma\xi + \gamma(\gamma-1)\xi(3+4\xi+8\xi^2) + 30(1+\eta_s)\gamma\xi Fd_0^2 \\ = 15\gamma^2\xi^3 + 30(1+\eta_s)\gamma^3 Fd_0^2 \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 $\eta_s (=Q_s/Q_0)$ は混合率、 $\xi (=h_2/h_0)$ は共役水深比、 $Fd_0 (=U_0/\epsilon_0 g h_0)$ は放流密度フルード数を表わす。また、 γ は水路の仮想原点 O から跳水終端までの距離 L_2 と O から漸角開口端 O までの距離 L_0 との比で表わされる、漸拡内部跳水の解析に固有のパラメーターである。式(1)において γ の値を設定し、 η_s を適宜変化させることにより、 ξ と Fd_0 との関係は γ と η_s の等値線として定まる。

3. 実験方法 ; 実験は、図-2に示すような漸拡断面を有する水路において、下層塩水静止、上層淡水流動の条件で行なった。実験条件は漸拡開口端直下からの完全内部跳水とし、水路の漸拡開口角は $\theta = 5^\circ, 10^\circ$ の二種類に設定した。なお、本実験方法は二次元場のそれと基本的に同一であり、その詳細については前報²⁾を参照されたい。ところで、図-2に示す実験水路の形状は図-1に示した解析の流れ場とは若干異なる。しかし、実験水路の非漸拡側の壁面が近似的に解析上の流れの中心線に相当するものと仮定すれば、両者の水理条件は全く等しい。したがって、実験結果と解析結果との対応に際して、式(1)に含まれる諸変数の定義を変更する必要はない。

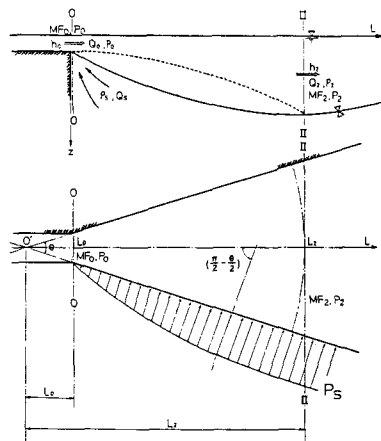


図-1 解析モデルの概要

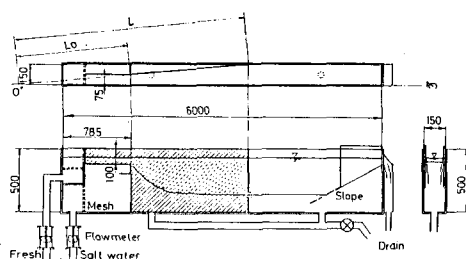


図-2 実験水路の概観

4. 漸拡内部跳水の基本特性

(1) パラメーター γ と放流密度フルード数との関係

図-3はパラメーター γ と放流密度フルード数 Fd_0 との関係を示す。図中の■印、▲印はそれぞれ水路の漸拡開口角が $\theta = 5^\circ$ 、 10° の場合に対応する。定義より、 $\gamma (=L_2/L_0)$ は分子中に跳水の長さを含み、これは漸拡内部跳水の長さを具体的に規定するパラメーターである。したがって、 γ の値の増大はそのまま跳水の長さの増大に対応する。同図をみれば、放流密度フルード数の増大とともに γ の値は単調に増大する傾向を有する。さらに、放流密度フルード数の大きい領域では、 $\theta = 5^\circ, 10^\circ$ の γ の値はそれぞれ $\gamma \rightarrow 1.5, 2.0$ に漸近してゆく。このことより、放流密度フルード数の増大とともに、漸拡内部跳水の長さは水路の漸拡開口角の値によって定まるある値に漸近してゆくことがわかる。

(2) 漸拡内部跳水の共役関係

図-4は漸拡内部跳水の共役関係を示す。同図には■印、▲印で示す $\theta = 5^\circ, 10^\circ$ の場合の実験値のほかに、○印で $\theta = 0^\circ$ 、すなわち二次元内部跳水の実験値も併記した。この場合、 $L_2 \rightarrow L_0$ とみなせることから、二次元内部跳水の γ の値は放流密度フルード数の値にかかわらず $\gamma = 1.0$ である。また、同図中に示された実線群は、漸拡内部跳水にともなう連行を無視した場合、すなわち式(1)に $\eta_s = 0.0$ を代入した場合に得られる ξ と Fd_0 との関係を γ の等値線として描いたものである。式(1)で連行有り($\eta_s > 0.0$)とした場合の ξ の解は図示された非連行仮定時の γ の等値線はやや上方の値をとる。したがって、共役水深比の実験値は図中の対応する γ の等値線の上方に位置する必要がある。図-3をみれば $\theta = 5^\circ, 10^\circ$ に対応する γ の値はそれぞれ $1.0 < \gamma \leq 1.5$ 、 $1.5 \leq \gamma \leq 2.0$ 程度である。このことから、図-4に示された共役水深比の実験値は、多少のばらつきは有するものの大略上述した傾向を満足していることがわかる。また、両図より、一般に水路の漸拡開口角が大きいほど、任意の放流条件下で得られる共役水深比の値は小さくなるものと考えられる。

(3) 漸拡内部跳水の混合率

図-5は漸拡内部跳水の混合率を示す。これまでに再々示してきたとおり、 $\theta = 0^\circ$ 、すなわち二次元内部跳水の混合率は表層密度噴流のそれと比較して著しく小さく、かつそれは放流密度フルード数との関係で極値を有する凸型の分布形状を示す³⁾。今回得られた漸拡内部跳水の混合率は水路の漸拡開口角 θ の増大とともに増大する傾向を有するものの、その値は二次元内部跳水のそれと大差なく、その上、いずれの θ の場合にも混合率は放流密度フルード数との関係で極値を有する傾向を示しており、興味深い。このことから、上述の傾向は水路の漸拡形状、換言すれば、流れの三次元性によらない内部跳水に固有の混合特性であると考えられる。

参考文献

1) Koloseus, H.J. and Ahmad, D.: Circular Hydraulic Jump, J. of hydraulic Div., Proc. ASCE, Vol. 95, No. HY 1, 1969. 2) 室田・中辻・中村: 第28回水講演文集, 1984. 3) 室田・中辻・中村: 第29回水講演文集, 1985.

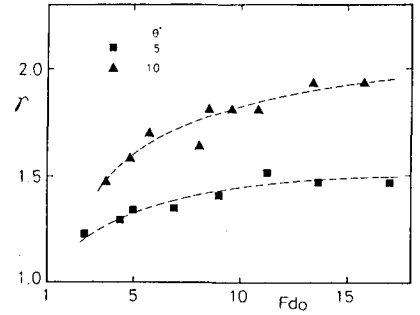


図-3 γ と Fd_0 との関係

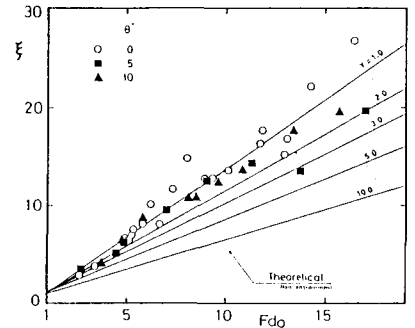


図-4 漸拡内部跳水の共役関係

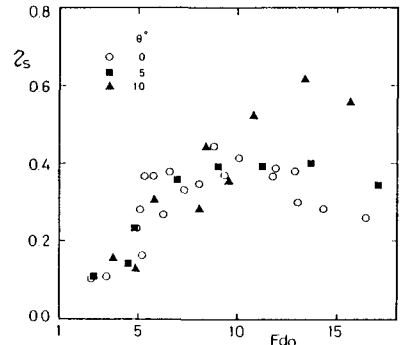


図-5 漸拡内部跳水の混合率