

II-382 傾斜水路の跳水について

日本大学理工学部 正員 栗津清蔵
日本大学理工学部 正員 大津岩夫
電源開発 正員 藤巻寛

下流水位流量曲線が跳水曲線よりも高い場合、傾斜水路を用いると安定した跳水を得ることができる。この報告は傾斜水路の跳水を減勢工として有効に利用するために、その特性を検討したものである。

1. 傾斜水路における射流から常流への遷移 一様な傾斜水路において射流から常流へ遷移する流況は、フルード数 F_1 、水路傾斜角 θ 、水路水平部の下流水深 h_1 によって図1～3に示す type 2～7 に分類されるものと考えられる。type 2～6 は流速の減衰に対し表面渦の効果のある場合、type 7 は水路勾配 $i (= \tan \theta)$ が或る値より大きく更に十分大きな下流水深が与えられた場合に起こると思われる。このとき水面 $\nabla-1$ はレベルとなり、流速の減衰は流れが単に周囲の流体と乱流混合することによって起こり、壁面噴流 (Wall Jet) と類似な現象であると考えられ、流速の減衰は type 1～6 よりも小さい。

2. 水面形状 type 5 の場合、跳水の水面形状は F_1 、 θ 、 h_1/d_1 によって変化し、 $\theta = \text{Const.}$ のもとでは F_1 が小さい程、 h_1/d_1 が大きい程レベルに近づく。type 3, 4 の場合、跳水の水面形状すなわち跳水長さ L や跳水終端の水深 h_2 は h_1/d_1 の大きさに無関係となり、 F_1 、 θ によって変化する。

3. 跳水の上、下流端の水深間の関係 type 3 の場合、運動量方程式より式①の関係が推論され、この関係で実験値 (U.S.B.R. の資料を含む) を整理すれば、図4のように示され実験式②が得られる。

$$f(h_2/d_1, F_1, \theta) = 0 \quad \text{--- ①}$$

$$\frac{h_2}{d_1} = (F_1 - 1) \left\{ 10 (\tan \theta + 0.0993) \right\}^{1.57} + 1 \quad \text{--- ②} \quad F_1 = V_1 / \sqrt{g d_1 \cos \theta}$$

$$0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ, 1.53 \leq F_1 \leq 19.2$$

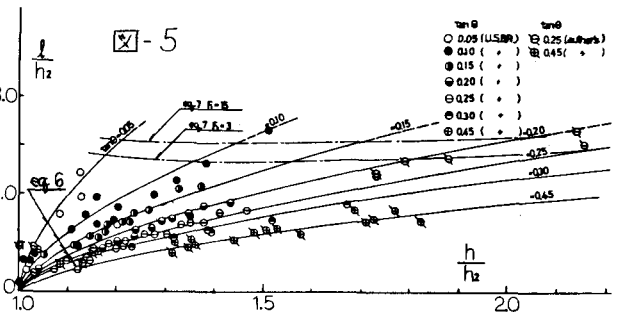
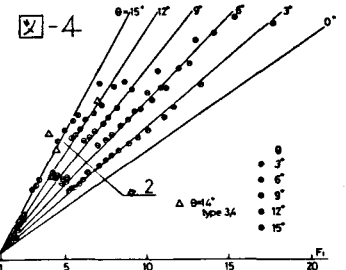
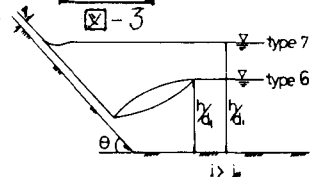
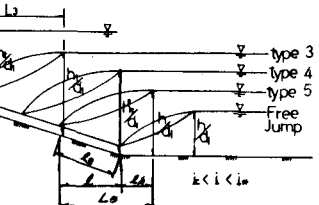
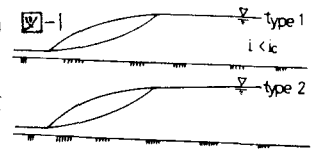
type 5 の場合、跳水始端から水路傾斜部終端までの距離を l とすれば、(図2) 運動量方程式より式③の関係が推論される。更に $\frac{h_2}{d_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{8 F_1^2 + 1} - 1)$ の関係を考慮すると式④が得られる。式④に基づいて実験値を整理すると、図5のように良い相関が得られ式⑤ (実験式⑥) で示される。

$$f(h_2/d_1, F_1, \theta, l/d_1) = 0 \quad \text{--- ③} \quad f(h_2/d_1, F_1, \theta, l/h_2) = 0 \quad \text{--- ④}$$

$$f(h_2/h_2, \theta, l/h_2) = 0 \quad \text{--- ⑤}$$

$$\frac{l}{h_2} = \frac{2.06}{(\tan \theta)^{0.672}} \left(\frac{h_2}{h_1} - 1 \right)^{0.621} \quad \text{--- ⑥} \quad 2.9^\circ \leq \theta \leq 24^\circ$$

跳水が水路水平部始端から形成され、 $l/d_1 = 0$ の状態 (このときの h_2 を h_2^0/d_1 とする) から h_2/d_1 ($h_2^0/d_1 < h_2/d_1 < h_2^1/d_1$) が増加すると l/d_1 は増加し跳水終端も上流方向へ移動する。跳水の終端が傾斜面と水平面の接点に一致するとき、 l/d_1 は最大で $l_{\max} = L_{\text{type 4}}$ となり type 4 の状態 (このときの h_2 を h_2^1/d_1 とする) となる。



$h/d_1 > h/d_1$ の場合、跳水は type 3 となり、跳水の流況すなわち跳水長 $L_{type 3}$ および跳水終端の水深 h_2 は下流水深 h_1 にかかわらず一定となり、 $h_2/d_1 = h_1/d_1$ ($L_{type 4} = L_{type 3}$) であることが認められる(実験範囲 $\theta \leq 14^\circ$)。なお l_{max} は式②、④より式⑦で表される。図5の破線は式⑦に基づき $l_{max}/h_2 = (L/h_1)_{type 3}$ を示したものである。また実験値は式⑦の関係をほぼ満足していることが認められる。

$$\frac{l_{max}}{h_2} = \frac{L_{type 4}}{h_2} = \frac{L_{type 3}}{h_2} = \frac{2.06}{(\tan \theta)^{0.872}} \left\{ \frac{2(F_1 - 1) \left\{ 10^{(\tan \theta + 0.0993)} \right\}^{1.57}}{(\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1)} + 1 \right\} \quad \text{--- ⑦}$$

4. 跳水長 跳水の長さ L について、type 3 の場合 $f(L_{type 3}/H_1, H_1/H_1, \theta) = 0$ の関係で資料を整理すると、図6に示されるように良い相関が得られ、実験式⑧が得られる。type 5 の場合、跳水長 $L_{type 5}$ は下流水深、従って跳水が斜面上に乗って113割合 L/L によって変化する。すなわち L/L が大きい場合は type 3 の場合に近づき、 L/L が小さい場合は水平水路の場合に近づくことが予想される。実験によると、 $\theta = 14^\circ$ の場合 $L/L \geq 0.7$ のとき $L_{type 5}$ は式②で示され、 $0 < L/L < 0.3 \sim 0.4$ の場合 $L_{type 5}$ は式④で示される(但し $\theta = 24^\circ$ の場合は、この実験範囲 ($0 < L/L_{type 5} < 0.385$) では type 5 は式④で示される。式④は水平水路の自由跳水および潜り跳水の長さを示す大津の式である。これより、 L/L が小さいときは水平水路の自由跳水あるいは潜り跳水と類似な現象であることが推定される。また θ が小さい程 $L_{type 3}$ と $L_{type 5}$ の値は近づく。

$$\log_{10} (L_{type 3}/H_1) = -1.71 (H_1/H_1) + 1.58 - 0.800 \tan \theta \quad \text{--- ③}$$

$$0 \leq \tan \theta \leq 0.270$$

$$\log_{10} (L_{type 5}/H_1) = -1.71 (H_1/H_1) + 1.58 \quad \text{--- ④}$$

5. 流速の減衰 跳水内で最大流速 U_m がどのように減衰しているかを、 $f(\frac{U_m - U_{1c}}{U_{1c}}, \frac{x}{L_{type 3}}) = 0$ の関係で調べると図8、9のように $\theta = 14^\circ, 24^\circ$ とも跳水終端断面において十分減衰していることがわかる。図中の実線は水平水路における自由跳水および潜り跳水の減衰状況を示している。type 5 の場合、下流水深 h_1/d_1 が h_2/d_1 に近い程 (L/L が0に近い程) U_m の減衰状況は水平水路の場合に近づいている。図10、11は U_m の減衰を壁面噴流の場合と比較したものであり、 $\theta = 14^\circ, 24^\circ$ とも表面渦の効果のため U_m の減衰は壁面噴流より大きいことがわかる。また図中の実線は水平水路の自由跳水および潜り跳水の減衰状態を $U_m/U_{1c} = f(x/d_1, F_1)$ の関係に変換したものであり、 $0 \leq \theta \leq 14^\circ$ で U_m の減衰状況は水平水路の場合と同様の傾向を示している。また、 U_m の水路床からの位置 y/d_1 は図12のように示され、 θ の増加とともに U_m は水路床から離れにくくなること示される。

記号: H_1 : 壁面噴流の水深(水深)、 H_2 : 跳水に接した水深(水深)、 $U_1 = U_1/d_1$ (8: 単位中流量)、その他、図-13参照

文献:

1) U.S.B.R.: Hydraulic Design of Settling Basins and Energy Dissipators, 1963

2) 大津, 柳: "傾斜水路-跳水水" 日本工学部会研究報告, 昭和52年

3) 大津: "台形および長方形断面水路の自由跳水と潜り跳水" 土木学会論文集, 246号, 1976.2

4) 大津: 31回, 年報集, II-148, 1976

