

日本大学理工学部 (正) 栗津清蔵

日本大学理工学部 (正) 大津岩夫

日本大学大学院 (学) 〇 井上直洋

水平水路に接続する傾斜水路において、跳水が形成されている場合 (type A) の流況は、下流水深 h_1 の大きさに無関係である。跳水が傾斜面と水平面とにまたがって形成される場合 (type B)、跳水の流況は h_1 によって変化する (図 1)。従来、このような type の形成される水理条件や流速の減衰状況については明らかにされていない。また、 $\theta > 14^\circ$ (type A) の実験はなされていない。この報告は、水平水路に接続する傾斜水路の跳水について、従来の実験資料に、 $\theta = 14^\circ, 24^\circ, 26^\circ$ の実験資料を加え、流速の減衰、跳水の長さ、跳水前後の水深間の関係、type の分類、エネルギー損失等に検討を加えたものである。

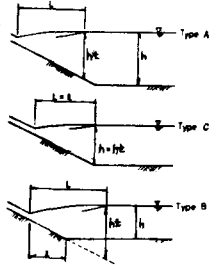


図 1

1. 跳水の長さ 跳水終端断面 $X = L$ については、主流の流速分布の測定値から最大流速 U_m が流下方向にほとんど変化しなくなる最初の断面とし、 L を跳水の長さとする (図 3 欄外矢印: $X = L$)。

U_m は $X < L$ で急速に減衰し、 $X \geq L$ で流下方向にほとんど変化しない。 U_m の減衰状況を $f(\frac{U_m - U_0}{U_0}, \frac{X}{L + h_1}) = 0$ の関係に基づき検討すると図 2 のようになり、 U_m は L 内で十分減衰していることが示される。また、 U_m の減衰状況を壁面噴流と比較すると、表面渦の効果のため U_m は壁面噴流より大きく減衰していることが示される (図 3)。

跳水の長さ L について、type A の場合 $f(L_{type A}/H_1, H_1/H_1, \theta) = 0$ の関係で資料を整理すると図 4 に示すように良い相関が得られ、式 (1) が得られる。type B の場合、跳水長 $L_{type B}$ は下流水深、従って跳水が傾斜面上に乗る割合 L/H_1 によって変化する。すなわち L/H_1 が大きい場合は type A に近づき、小さい場合は水平水路の自由跳水あるいは潜り跳水と類似な現象となる。なお実験式を求めると式 (2) (図 5) が得られる。 $L/H_1 = 1$ において式 (1) (type A)、 $L/H_1 = 0$ において水平水路の自由跳水及び潜り跳水の長さを示す大津の式 (式 (3)) に一致する。

図 2

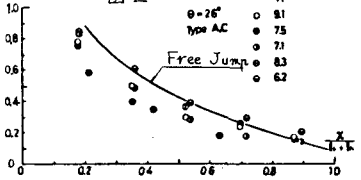
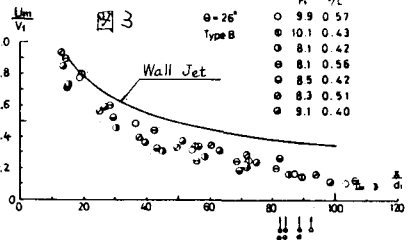


図 3



$$\log_{10}(L_{type A}/H_1) = -1.71(H_1/H_1) + 1.58 - 0.930 \tan \theta \quad (1)$$

$$\log_{10}(L_{type B}/H_1) = -1.71(H_1/H_1) + 1.58 - 0.930(L/H_1) \tan \theta \quad (2)$$

$$\log_{10}(L/H_1) = -1.71(H_1/H_1) + 1.58 \quad (3)$$

また、アメリカにおける各ダム (原形) の測定値を検討すると図 6 (破線は式 (3) を示す) が得られる。

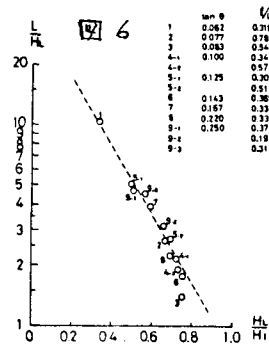
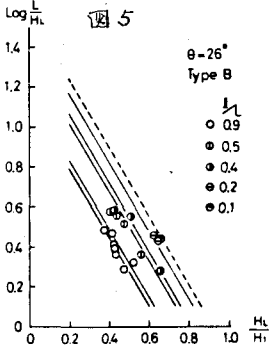
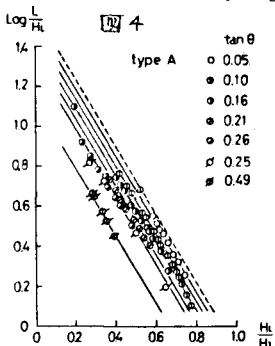


図 4: 破線は式 (3) を示す
実線は式 (1) であり、破線に近い噴に、 $\tan \theta = 0.05, 0.10, 0.16, 0.21, 0.26, 0.49$ である。

図 5: 破線は式 (3) を示す
実線は式 (2) であり、破線に近い噴に、 $L/H_1 = 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.9, 1.0$ である。

2. 跳水前後の水理間の関係 type A の場合、式(4) (図7) が得られる。

$$h_1/d_1 = (F_1 - 1)^{1/3} 10^{(\tan \theta + 0.114)^{1.43}} + 1 \quad F_1 = V_1 / \sqrt{g d_1 \cos \theta}, \quad 0^\circ \leq \theta \leq 26^\circ \quad (4)$$

type B の場合、式(5) (図8) が得られる。また、アメリカの各ダム (原形) について検討すると図9が得られる。

$$h_1/h_2 = \frac{2.10}{(\tan \theta)^{0.70}} (h_1/h_2 - 1)^{0.67} \quad 2.9^\circ \leq \theta \leq 26^\circ \quad (5)$$

$$\text{ただし、} h_1/d_1 = 1/2 (\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1), \quad F_1 = V_1 / \sqrt{g d_1 \cos \theta}$$

与えられた F_1 , d_1 に対して type C (図1) では、 $h_1/d_1 = h_1'/d_1$, $l_{\max} = L_{\text{type C}}$ となる。また、 $L_{\text{type C}} = L_{\text{type A}}$ であることが確かめられる。

$$\frac{l_{\max}}{h_2} = \frac{L}{h_2} = \frac{2.10}{(\tan \theta)^{0.70}} \left[\frac{2(F_1 - 1)^{1/3} 10^{(\tan \theta + 0.114)^{1.43}} + 2}{\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1} - 1 \right]^{0.67} \quad (6)$$

さらに、式(6) (図10) を簡略化すると式(6')が得られる。

$$L/h_2 = 6.15 \tan \theta + 5.5 \quad (6')$$

また、type A, C の場合、図11の I ~ II 断面間に運動量方程式を適用し、無次元化すると式(7)が得られる。ただし、 $W = w \left\{ \rho \left(\frac{d_1}{\cos \theta} + h_1 \right) \left(\frac{u}{2} + \frac{1}{2} d_1 \tan \theta \right) \right\}$ (W: 図11参照)

$$\left(\frac{h_1}{d_1} \right)^3 + \rho \left(\frac{4d_1}{\cos \theta} + \frac{h_1}{d_1} \right) \tan \theta + \tan^2 \theta + 1 + 2F_1^2 \left\{ \left(\frac{h_1}{d_1} \right) + 2F_1^2 \cos \theta \right\} = 0 \quad (7)$$

式(7)において、 $\rho = 1.0$ とおき式(6) または (6') を用いて $f(h_1/d_1, F_1, \theta) = 0$ の関係を求め図示すると図7の破線となる。

3. 跳水の type の分類 与えられた F_1 , d_1 , θ において式(4) (図7) より h_1/d_1 を求め、 $h_1/d_1 \geq h_1'/d_1$ の場合 type A, C, $h_1/d_1 < h_1'/d_1$ の場合 type B となる。

4. エネルギー損失 type A の場合、I ~ II 断面間 (図11) の相対エネルギー損失 H_L/H_1 を求めると式(8)となる。type B の場合、I ~ II 断面間 (図11) の H_L/H_1 を求めると式(9)となる。

$$\frac{H_L}{H_1} = 1 - \frac{F_1^2 \left(\frac{d_1}{h_1} \right)^2 + 2 \left(\frac{h_1}{d_1} \right) \sec \theta}{F_1^2 + 2 + 2 \left(\frac{L}{d_1} \right) \frac{\tan \theta}{\cos \theta} + 2 \tan^2 \theta} \quad (8)$$

$$\frac{H_L}{H_1} = 1 - \frac{F_1^2 \left(\frac{d_1}{h_1} \right)^2 + 2 \left(\frac{h_1}{d_1} \right) \sec \theta}{F_1^2 + 2 + 2 \left(\frac{L}{d_1} \right) \frac{\tan \theta}{\cos \theta} + 2 \tan^2 \theta} \quad (9)$$

type A の場合、式(4), (6), (8) より $H_L/H_1 = f(F_1, \theta)$ の関係を求め、図示すると図12となる。図12におい

て、破線は、自由跳水の場合である。type B の場合、式(5), (9) より $H_L/H_1 = f(h_1/h_2, \theta, F_1)$ の関係を求め一例を図13に示す。type B の状態では、 h_1/h_2 が大きくなるに従って、すなわち type A の状態に近づくほど、相対エネルギー損失は小さくなる。図13において破線は、type A の H_L/H_1 を示す。

(文献)

- 1) B.A. Bakhteff and A.E. Matjke; "The Hydraulic Jump in Sloped Channels" Trans. A.S.M.E. 1938
- 2) C.E. Kindsvater; "The Hydraulic Jump in Sloping Channels" Trans. A.S.C.E. 1944
- 3) U.S.B.R.; "Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators" 1963
- 4) 大津; "台形および長方形断面水路の自由跳水と着り跳水" 土木学会論文集 246号 1976.2
- 5) 東津・大津・藤巻; "傾斜水路の跳水について" 年報 Ⅱ-382, 1979

(記号) H_1 : 跳水領域の水踏最底部を水平基準面としたときの跳水始端の全水深

H_L : 跳水による損失水頭

V_1 : g/d_1

V_2 : g/h_1 (g: 単位巾流量)

その他 図14参照

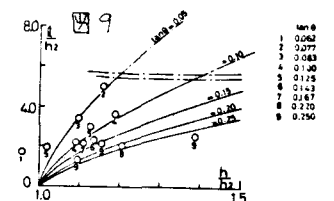
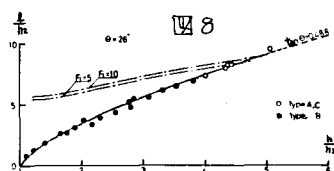
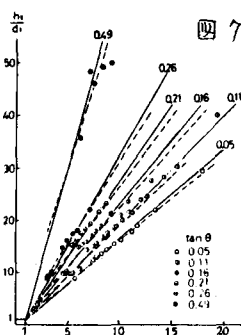


図8, 9において実線は式(5)、一点鎖線は式(6)を示す。

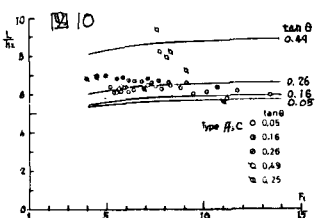


図10において実線は式(6)を $L/h_2 = f(F_1, \theta)$ で示した。

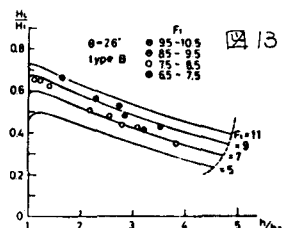
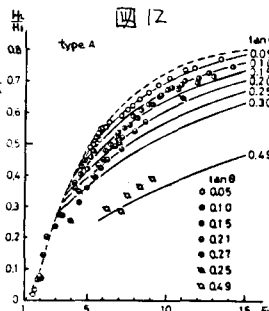


図14

