

日大 理工(正) 栗津清蔵

日大 理工(正) 大津岩夫

日大 理工(学) 武中 信之

傾斜水路の跳水特性を知ることは傾斜水路型減勢工の設計上、また貯水池などへ流入する流れの特性を知るために必要である。跳水が傾斜面と水平面とにまたがり形成されている場合(B型跳水とよぶことにする)の水理特性、特に跳水の形成条件、内部の流速特性、跳水領域の大きさについては、現在のところ不明である。ここでは、B型跳水の水理特性について実験的検討を加える。

(1) 跳水の形成条件

跳水の形成条件は最大流速の減衰状況から、図-1のようにまとめられる。

最大流速 U_m の減衰が壁面噴流と同様な場合は、流速の減衰に対する自由水面の効果はなく、跳水としてではなく壁面噴流に近い現象(Type D)として取り扱われる。

U_m の減衰が壁面噴流の場合よりも大きく、しかも流速が十分に減衰している場合、流速の減衰に対する表面荷の効果が大いものと考えられ、B型跳水が形成される。B型跳水のうち、流速の減衰が急速な場合をType B-1、流速の減衰に要する流下距離の長い場合をType B-2とする。また、 $x/d_1 \leq 40 \sim 60$ では、 U_m はかなり減衰するが、 $x/d_1 \geq 40 \sim 60$ での減衰は小さく、遷移部終端を定めることが困難な場合をType A'とする。

(2) 跳水領域の大きさ

跳水内部の最大流速は水路床に近い位置に生じ、主流は水路床におちていることが実験により確かめられた。 U_m が十分に減衰し、しかも流下方向に変化しなくなる最初の断面を跳水終端断面とし、跳水始端から終端断面までの水路床におちた長さを l_0 とする。 l_0 は跳水によるエネルギー損失に関係するものと考え、式(1)の関係に基づき実験値を整理すると、図-2のように良い相関が示され、実験式(2)が得られる。

$$f(l_0/H_L, H_L/H_1) = 0 \quad (1)$$

$$\log_{10}(l_0/H_L) = -1.71 H_L/H_1 + 1.53 \quad (2)$$

$$14^\circ \leq \theta \leq 55^\circ \quad F_1 \geq 4.0 \quad l/L \geq 0.6$$

なお図中の点線は水平水路の自由跳水および着り跳水を示す式(3)である。

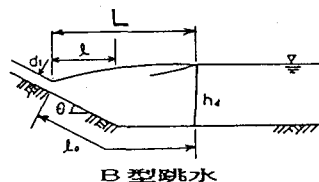
$$\log_{10}(L/H_L) = -1.71 H_L/H_1 + 1.58 \quad (3)$$

(3) 基本水理量間の関係

跳水部を検査面を選び、運動量方程式を適用すると次の関係が推論される。

$$f(Rd/d_1, l/d_1, F_1, \theta) = 0 \quad (4)$$

与えられた $v_1/\sqrt{g d_1}$ ($=F_1$)、 d_1 のもとでの水平水路の跳水終



B型跳水

傾斜角度 θ	遷移部が傾斜面上と 水平面上とにまたがる場合
$\theta \leq 22^\circ \sim 23^\circ$	Type B-1
$23^\circ \sim 24^\circ$ $\leq \theta \leq 28^\circ \sim 29^\circ$	Type B-1 $h_d/h_2 \leq 1.8$ Type B-2 $1.8 \leq h_d/h_2 \leq 3.0 \sim 3.2$ Type A' $h_d/h_2 \geq 3.0 \sim 3.2$
$\theta \geq 29^\circ \sim 30^\circ$	Type B-1 $h_d/h_2 \leq 1.5 \sim 1.7$ Type B-2 $1.5 \sim 1.7 \leq h_d/h_2 \leq 3.0 \sim 3.2$ Type D $h_d/h_2 \geq 3.0 \sim 3.2$

($F_1 \geq 4$)

図-1

端水深 h_z と比較するため、無次元量 l/h_z , $(h_d - h_z)/h_z$ を用いて表示すると、式(4)は次のように示される。

$$f\left(\frac{l}{h_z}, \frac{h_d - h_z}{h_z}, \frac{v_1}{\sqrt{g d_1}} (= F_{r1}), \theta\right) = 0 \tag{5}$$

式(5)の関係で実験値を整理すると、図-3に示されるように F_{r1} に無関係に式(6)の関係で表示され、実験式(7)が得られる。

$$f\left(\frac{l}{h_z}, \frac{h_d - h_z}{h_z}, \theta\right) = 0 \tag{6}$$

$$\frac{l}{h_z} = \frac{1.58}{(\tan \theta)^{0.93}} \left(\frac{h_d - h_z}{h_d}\right)^{0.69} \tag{7}$$

図-3から明らかなように実験式(7)は、 $8.5^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ の範囲でよく適合していることがわかる。
 傾斜水路における跳水の l および L については、水理公式集にその算定式が提案されている。しかしながら、
 $L_{\text{Type B}} = L_{\text{Type A}}$ (Type A: 跳水が傾斜面上に形成されている場合) としている。また、その適用範囲は $\tan \theta \leq 0.3$ ($= 16.7^\circ$) である。ここで提案した実験式(2),(7)を用いれば、 $14^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ の場合について l, L の算出が可能である。

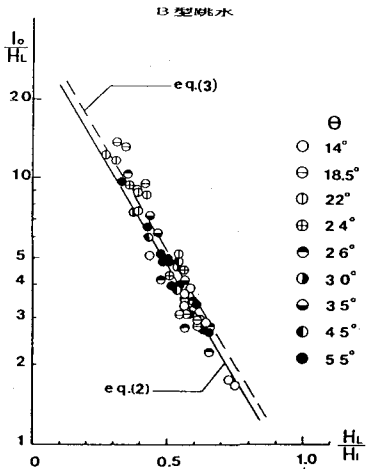


図-2

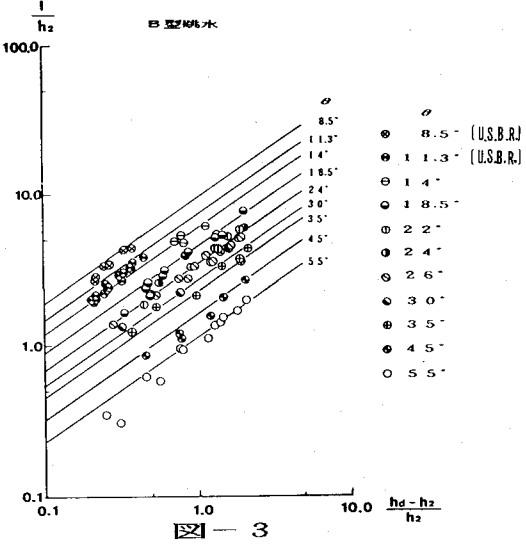


図-3

注) 跳水部(図-4)をコントロール・ボリュームに選び、壁面摩擦力およびコントロール・ボリューム表面での Reynolds 応力を無視し、 $\beta_1 = \beta_2 = 1$ として、水路傾斜方向に運動量方程式を適用すると式(1)が得られる。
 $P_1 - P_2 \cos \theta + W' \sin \theta + (W_H - F_H) \sin \theta = \rho q (v_2 \cos \theta - v_1)$ (1)
 ここに、 P_1 は断面 I に作用する圧力、 P_2 は断面 II に作用する圧力、 W' は I~J 断面間(図-4)の水の重さ、 W_H は J~II 断面間(水路水平部)の水の重さ、 F_H は水路水平部の表面力(圧力)の合計、 $v_2 = q/h_2$ である。
 跳水の水面形を直線と仮定し、実際の水面形との相違を係数 k' で補正すると、
 $W' = w A_J'$, $A_J' = k' (d_1 / \cos \theta + h_1) l / 2 + d_1^2 \tan \theta / 2$ (h_1 : J 断面の水深)と示される。また、 $P_1 = w d_1^2 \cos \theta / 2$, $P_2 = w h_2^2 / 2$ とし、J~II 断面間で圧力は静水圧分布するものと仮定すると、 $W_H = F_H$ となるから、式(1)は次のように無次元表示される。

$$\left(\frac{h_2}{d_1}\right)^3 - \left[k' \left(\frac{l}{d_1}\right) \left(\frac{1}{\cos \theta} + \frac{h_1}{d_1}\right) \tan \theta + 2 F_1' + 1 + \tan^2 \theta\right] \frac{h_2}{d_1} + 2 F_1' \cos \theta = 0 \tag{2}$$

B 型跳水の場合は、 $h_1/d_1 = f(h_2/d_1, F_1, \theta)$, $k' = f(h_2/d_1, F_1, \theta)$ と考えられ、式(2)から次の関係が得られる。
 $f(h_2/d_1, l/d_1, F_1, \theta) = 0$

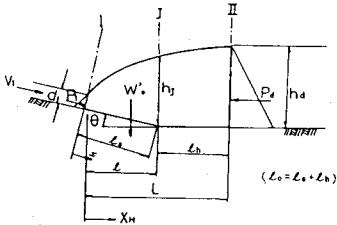


図-4

(記号)
 v_1, d_1 : 跳水始端の平均流速、水深、 $F_1 = v_1 / \sqrt{g d_1 \cos \theta}$
 $h_2 = d_1 (\sqrt{8 F_1'^2 + 1} - 1) / 2$, h_d : 跳水始端の水深
 H_1 : 跳水終端の水路床を基準面としたときの跳水始端断面の全水頭
 H_L : 跳水によるエネルギー損失、 $F_{r1} = v_1 / \sqrt{g d_1}$

(参考文献)
 1) 大津、三浦: 第38回土木学会年講 II-188, 1983
 2) 大津: 土木学会論文集, 1976. 2
 3) 水理公式集, 昭和60年度版, P. 310