

下流水深が跳水必要水深より小さいときシルを設置すると、跳水が形成される場合(図-1, 2)と射流状態でシル上を飛散する飛散流況(図-3)が生じる場合とがある。跳水が形成されている場合、シル前方の流況が下流水深の影響を受ける場合(I型跳水 図-1)と下流水深の影響を受けない場合(II型跳水 図-2)とがある。

文献(1)でこのような流況が形成される水理条件を明らかにし、与えられた単位巾流量 q 、水叩始端水深 h_1 、下流水深 h_2 に対して、跳水が水叩始端から形成されるためのシル高およびシル設置位置を求めるための実験式を提案した。ここに、 S_c は最小必要シル高である。

$$\text{I型跳水: } h_1/h_2 = \left[1 - 1.90 F_1 f(S/h_1) / (h_1/h_2)(L/h_2)(S/L)^{1/2} \right]^2 \quad (1)$$

$$\text{II型跳水: } S/h_1 = -1.05 (F_1 - 2) / (1 - S/L) + 1.08 F_1 - 1.56 \quad (S/h_1 = 0.227 F_1 + 0.349) \quad (2)$$

この報告では、提案した実験式(1)(2)に基づき、I, II型跳水内のシルに作用する抗力を算定し、従来の表示との比較検討を行なった。また文献(1)では、I型跳水の遷移領域の長さ L_t 、剥離領域の長さ L_r について、実験式(3)を提案した。この式は自由跳水および落り跳水と同一の表示である。ここではさらにこの実験式がII型跳水についても成立することを明らかにした。

$$\log_{10}(L/H_L) = -1.71 (H_1/H_2) + 1.72, \quad \log_{10}(L/H_L) = -1.71 (H_1/H_2) + 1.40 \quad (3)$$

1. シルに作用する抗力 I型跳水の場合は、与えられた F_1 , h_1 , S , S_c に対して一つの h_2 が対応し一つの抗力 P が定まる。II型跳水の場合は、与えられた F_1 , h_1 , S に対して S_c は h_2 によって変化せず一定であるが、シル後面に作用する圧力、従って P は h_2 によって種々変化するものと推定される。従来、抗力 P は $P = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 S$ (4) によって表示され、抗力係数 C_D について $C_D = f(S/L)$ の関係を示す実験曲線が得られているが、実験値のばらつきが大きく検討の余地がある。ここで、 C_D の実験値は、運動量方程式、連続の式および式(4)から導かれた式(5)を用いて、 F_1 , S/h_1 , h_1/h_2 の測定値から間接的に C_D を求めた間接測定値である。

$$C_D = (h_1/h_2 - 1) [2 F_1^2 - (h_1/h_2 + 1)(h_1/h_2)] / [F_1^2 (S/h_1)(h_1/h_2)] \quad (5)$$

ここでは、式(4)の C_D について、従来の表示と比較するため検討を行なっている。

(1) I型跳水 I型跳水の場合、跳水上下流端の水深間の関係式(1)を式(5)に代入すると、 C_D について次の関係が明確にされる。 $C_D = f(S/L, S/h_1, F_1)$ (6) これを測定値と共に図示すると(図-4, 5)、 C_D の F_1 , S/h_1 , S/L ($S/L \leq 0.7$) による変化の状況が明らかにされ、従来の表示($C_D = f(S/L)$)で測定値がばらつく理由は F_1 , S/h_1 の効果によるためと説明される(図-4は、 F_1 , S/h_1 , h_1/h_2 の測定値を用い、式(5)によって C_D を求めた間接測定値であり、図-5は、マノメーターによって直接 C_D を求めたRajaratnamらによる直接測定値で、跳水始端の射流の境界層が発達した状態であると考えられる場合の実験値($S = 1$ mの場合)を再整理したものである)。

文献(1)では、抗力 P を $P = C \int_0^S (\rho u^2/2) dy$ と表示し、ここで定義される C が式(7)で示されることを明らかにした。 $C = 0.60 (S/Y_s)^2 + 0.32 Y_s$ (7) ここで、 S/Y_s は主流がシルによって遮られる割合を示す。 C と C_D との関係は次式で示されるから、 C_D と C とは互に変換可能である。

$$P / (1/2 \rho q^2) = C_D F_1^2 (S/h_1) = C F_1^2 (u_m^2 / Y_s^2) (Y_{s1}) \cdot f(S/Y_s) \quad (8)$$

ただし、 $f(S/Y_s) = \int_0^{Y_{s1}} (u_m^2 / Y_s^2) dy$, $u_m = f(Y)$, $Y = Y_s$, $u_{Y1} = [f(Y)] / \sqrt{Y_{s1}}$, $Y_{s1} = [f(Y)] (S/h_1)$ である。すなわち、この関係を用いて式(6)の関係を式(7)と $S/Y_s = (S/h_1) / (Y_s/h_1)$ から求めて表示すると図-4, 5と同一の曲線が得られることが確かめられた。

以上は、跳水始端の境界層が発達した状態についての検討であるが、前述の検討から、シルに接近する流れの

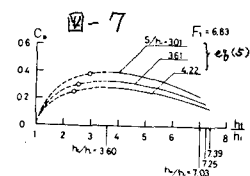
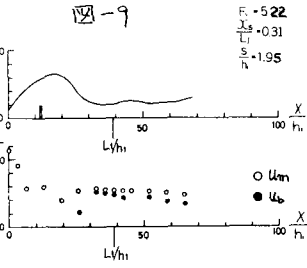
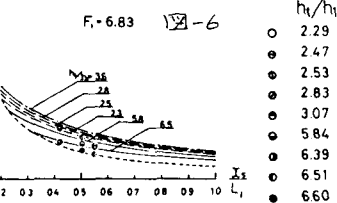
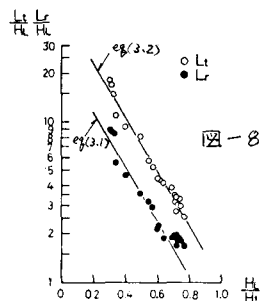
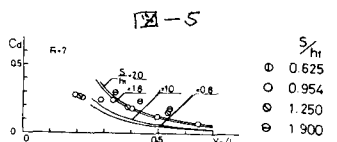
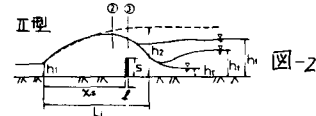
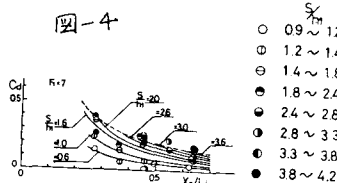
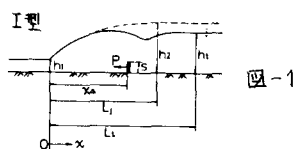
流速分布状態、従つて跳水始端の境界層の発達状態がミルに作用する抗力に影響を及ぼすものと考えられる。この点については、すでに大津によつて指摘されているが、最近 Narayanan らによつても論じられている。

ミルに作用する変動圧力 P' については、 $C_D = (\sqrt{P^2}/(1/2) \rho V^2 S)$ の最大値 $(C_D)_{max}$ の値は、 $F_r = 1$ のとき $(C_D)_{max} = 0.05$ 、 $F_r = 2$ のとき $(C_D)_{max} = 0.04$ 、 $F_r = 3$ のとき $(C_D)_{max} = 0.03$ となる ($4 \leq F_r \leq 9$)。これより、図-4、5 で F_r が小さいとき C_D のばらつきが大きくなる理由が推察される。

(2) II型跳水 II型跳水の場合、式(2)を式(5)に代入すると C_D についての次の関係が得られる(図-6)。
 $C_D = f(x/L_1, h_1/h_2, F_r)$ — (9) 図において、点線は、 $h_1/h_2 < h_c/h_c$ の場合、破線は $h_1/h_2 = h_c/h_c$ の場合、実線は $h_1/h_2 > h_c/h_c$ の場合を示す。

$h_1/h_2 < h_c/h_c$ の場合、与えられた F_r 、 L_1 に対して一つの h_1/h_2 の値が定まり、式(5)より一つの C_D が定まる。
 $h_1/h_2 > h_c/h_c$ の場合、 h_1/h_2 の値は与えられた F_r 、 L_1 に無関係に下流側の条件から定まり、この値に応じて C_D は種々変化する(図-7)。この場合、一定な L_1 、 F_r に対して C_D が最大となると $h_1/h_2 = F_r^{2/3} = h_c/h_c$ の場合であることが式(5)より証明される。

2. II型跳水の長さ II型跳水の場合の L_t 、 L_r について、I型跳水と同様 $L_t/H_L = f(H_1/H_2)$ 、 $L_r/H_L = f(H_1/H_2)$ の関係に基づき資料を整理すると図-8のように示される。これより、II型跳水の場合も式(3)が成立することが明らかにされた。なお、図-9、10には、II型跳水の流況と U_m 、 U_b の減衰状況が示してある。



(文献)

- (1) 大津: "鉛直ミルによる強制跳水" 土木学会論文報告集 第312号, 1981
- (2) 水理公式集 (S46), P302~303
- (3) 大津: "谷形および長方形断面水路の自由跳水と強制跳水", 土木学会論文報告集, 第246号, 1976
- (4) Rajaratnam: "A contribution to forced Hydraulic Jumps", Jour. of Hydraulic Research, No. 2, 1971
- (5) 大津: "跳水後の流況", 土木年鑑, 148, 1976
- (6) R. Narayanan: "Force fluctuation on sill of Hydraulic Jump" Proc. ASCE. HY. April, 1980

(記号)
 $x = L_1$: ミル下流の流況が下流方向にほとんど変化しなくなる断面
 $x = L_r$: 常に逆流が観測される終端断面
 $h_1/h_2 = (\sqrt{8F_r^2 + 1} - 1)/2$
 $L_1 = 5.5 L_2 (F_r \geq 3.5)$
 $F_r = V/\sqrt{g h_1}$, $V_1 = g/h_1$ (8: 単位質量)
 h^* : I型とII型跳水の境界状態での h
 $H_1 = V_1^2/g + h_1$
 H_L : 跳水による損失水頭, U_m : 図-11参照
 Y_0 : $x \rightarrow x_0$ のときの Y の値, U_b : 底流速
 その他 図-1, 2, 11 参照

