

II-187 シルに作用する抗力について

日大・理工 正 大津 岩夫
日大大学院・理工 学 〇山 中 康 資

下流水深が、跳水必要水深よりも小さい場合、シル型減勢工が多く用いられている。従来、基本的形状である鉛直連続シルに作用する抗力については、二三の研究が報告されているが、^{1), 2)}シルに作用する圧力分布形状、抗力の大きさ等不明な点が多い。ここでは、シルに作用する抗力を実験によって求め、さらに、従来の各研究者によって発表されたすべての実験値を含めて、I型跳水(シル前方の流況が下流水深の影響を受ける場合)³⁾のシルに作用する抗力特性を検討した。

図-1で示されるような水平水路に、長方形鉛直連続シル(シル高 $S = 2.0\text{ cm}, 3.0\text{ cm}, 4.5\text{ cm}, 6.0\text{ cm}$)を設置し、シル前後面の圧力取出し孔にマンノメーターを接続し、圧力を測定した。なお、前後面の圧力差の分布形状の一例を図-2に示す。

水路床から高さ y の位置において、シルへ接近する流れの流速を u 、シル前面に作用する動圧を $\rho u^2/2$ とし、I型跳水の場合、シル前面に作用する静圧の合計とシル後面に作用する圧力の合計とは等しいものとして、実験係数 C を含めて抗力 P を次のように表示する。

$$P = C \int_0^S (\rho u^2/2) dy \quad (1)$$

シル前方の各断面における主流の流速分布を式(2)の関係で整理すると、 $0.1 \sim 0.2 \leq x/L_j \leq 0.6 \sim 0.7$ の範囲では、 F_1 、 x に無関係に相似な分布になることが確められている。³⁾ $u/u_m = f(\eta)$ 、 $\eta = y/\gamma$ (2)

式(1)を式(2)を用いて無次元化すると、 $P/(\rho u_m^2/2) \cdot Y = C \int_0^{Y_s} (u/u_m)^2 d\eta$ (3)

さらに、 $x = x_s$ における Y の値を Y_s として式(3)を変形すると式(4)が得られる。ただし、 $C = f(S/\gamma_s)$ と考えられる。³⁾ $P/(\rho u_m^2/2) \cdot Y_s = C \int_0^{Y_s} (u/u_m)^2 d\eta = f(S/\gamma_s)$ (4)

また、 u_m 、 Y_s については、シル前方において、 $0.1 \sim 0.2 \leq x_s/L_j \leq 0.6 \sim 0.7$ の範囲で式(5)、式(6)が近似的に成立する。³⁾ $u_m/\gamma_1 = (0.175 F_1 + 1.57)/\sqrt{x_s/h_1}$ $3 \leq F_1 \leq 9.5$ (5)

$$Y_s/h_1 = (0.370/\sqrt{F_1}) \cdot x_s/h_1 \quad 3 \leq F_1 \leq 9.5 \quad (6)$$

式(5)、式(6)を式(4)に代入すると、式(7)が得られる。

$$P/(wh_1^2/2) = [0.370 F_1^{3/2} (0.175 F_1 + 1.57)^2] \cdot f(S/\gamma_s) \quad (7)$$

また、従来用いられている抗力係数は、 $C_d = P/(\rho v^2/2) \cdot S = P/(wh_1^2 S/2)$ であるから、式(7)より次式が得られる。

$$P/(wh_1^2/2) = C_d F_1^2 (S/h_1) = [0.370 F_1^{3/2} (0.175 F_1 + 1.57)^2] \cdot f(S/\gamma_s) \quad (8)$$

さらに、式(8)を変形すると、 $f(S/\gamma_s) = [C_d F_1^2 (S/h_1)]/[0.370 F_1^{3/2} (0.175 F_1 + 1.57)^2] = P/(\rho u_m^2/2) \cdot Y_s$ (9)

あるいは、 $f\left(\frac{[C_d F_1^2 (S/h_1)]/[0.370 F_1^{3/2} (0.175 F_1 + 1.57)^2]}{S/\gamma_s}\right) = 0$ (10)

式(10)の関係で実験値を整理すると、図-3のように良い相関が得られ、実験式(式(11))が得られる。

$$[C_d F_1^{1/2} (S/h_1)]/[0.370 (0.175 F_1 + 1.57)^2] = 1.501 (S/\gamma_s)^{1.930} \quad (11)$$

$$(x_s/L_j)_{\min} \leq x_s/L_j \leq 0.6 \sim 0.7$$

なお、Rajaratnam¹⁾、Narayanan²⁾の実験値を式(10)の関係に基づき整理し、式(11)と比較すると図-4のように示される。これより、Rajaratnamの1 inchシル*を除いてすべての実験値は、式(11)をほぼ満足していることが確められる。

また、式(11)から式(12)が得られ、図-5、図-6の実線のように示される。

$$C_d = 1.501 (S/\gamma_s)^{1.930} [0.370 (0.175 F_1 + 1.57)^2 / (F_1^{1/2} (S/h_1))] = 3.784 [(S/h_1 \cdot F_1^{1/2})^{0.930} \cdot (0.175 F_1 + 1.57)^2] / (x_s/h_1)^{1.930} \quad (12)$$

$$(x_s/L_j)_{\min} \leq x_s/L_j \leq 0.6 \sim 0.7$$

*Rajaratnamの実験値の内、1 inchシルの実験値のみは、今回の実験値およびNarayananの実験値と大きく異なるため、決定上の問題が生じない。

なお、図-5、図-6の破線は、I型跳水とII型跳水の境界**を示し、一点鎖線は、I型跳水とSprayの境界***を示す。

最後に、本研究を行うにあつて、ご指導戴いている栗津清蔵教授に感謝申し上げます。

**ある F_1 、 X_s/L_j におけるI型跳水の最大シル高を与える式³⁾ $S/h_1 = -1.05(F_1 - 2)(1 - X_s/L_j) + 1.08F_1 - 1.56$ 、 $X_s/L_j \geq (X_s/L_j)_c$ を式(12)に代入すれば得られる。

***I型跳水とSprayの境界を示す式⁴⁾ $h_s/h_1 = h_2/h_1 - (S/h_1)^{1.89}$ とI型跳水の物理量間の関係式³⁾ $h_s/h_1 = h_2/h_1 - 1.90F_1[(S/h_1)/(h_2/h_1)(L_j/h_2)(X_s/L_j)^2]$ において、 $h_s/h_1 = h_2/h_1$ とすると次式が得られる。 $S/h_1 = [1.90F_1/(h_2/h_1)(5.5)^2(X_s/L_j)^2]^{-1/6.11}$ 、 $X_s/L_j \leq (X_s/L_j)_c$ 2式を式(12)に代入すれば得られる。

(記号) F_1 : 跳床始端のフルード数 h_2 : 下流水深 X_s : 跳床始端からシルまでの長さ P : シル(単位幅)に作用する抗力 U_m : 2方向の最大流速 $Y: U = U_m/2 (du/dy < 0)$ の値
 h_1 : 跳床始端水深 v_1 : 跳床始端の流速 ρ : 水の密度 g : 重力加速度、 $h_2/h_1 = (\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1)/2$ 、 $L_j = 5.5h_2 (F_1 \geq 3.5)$ 、 $w = \rho g$

(参考文献) 1) Rajaratnam & Murahari "A CONTRIBUTION TO FORCED HYDRAULIC JUMPS", Journal of Hy. Res. 1971.9 No.2 2) Narayanan & Schizas "FORCE ON SILL OF FORCED JUMP", A.S.C.E. Hy. July. 1980 3) 大津 忠夫 "全通シルによる強制跳水の土力学論文発表集第31号、1981.7 4) 大津・山中 "シル型減勢工の物理計算例", 土木学会関東支部研究発表会Ⅱ、1983.1

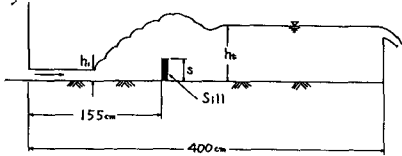


図-1

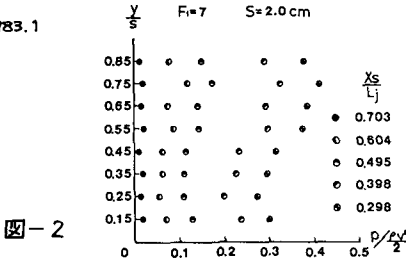


図-2

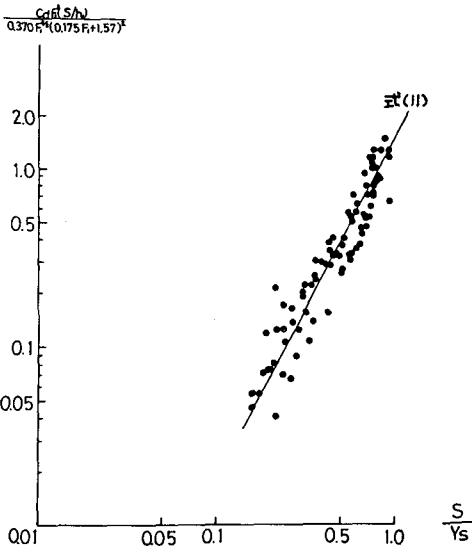


図-3

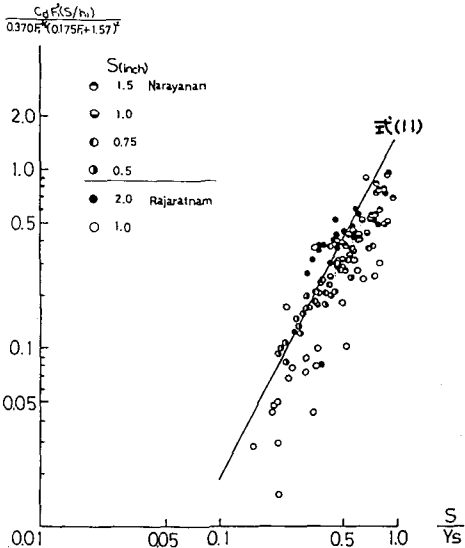


図-4

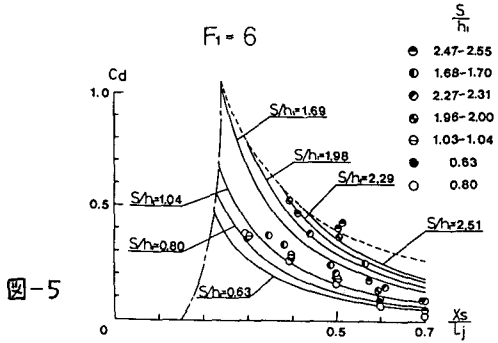


図-5

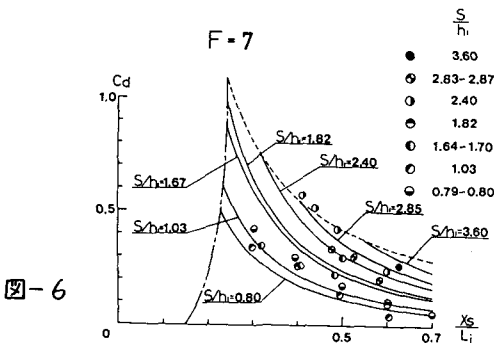


図-6