

II-193

シルに作用する抗力

日本大学	理工	正	粟津	清蔵
日本大学	理工	正	大津	岩夫
日本大学大学院	理工	学	山中	康資
○日本大学大学院	理工	学	柳沢	博

シルに作用する抗力を知ることは、跳水式減勢工の設計上必要である。強制跳水(I型跳水¹⁾)のシルに作用する抗力の実測値を $C_d = P/(1/2) \rho v_1^2 S = f(F_1, S/h_1, x_s/h_1)$ の関係で整理すると、同一の F_1 、 S/h_1 、 x_s/h_1 に対し、シル高 S の大小によって、抗力係数 C_d に違いが生じる。このことは、Rajaratnamら²⁾によっても指摘されている。しかしながら、その理由については説明がなされていない。また、Tyagiら³⁾は $(P/F_2)(h_1/S)^{1.5}(\nu^{0.4}/(g^{0.2}S^{0.6})) = f(x_s/h_1)$ の関係で実験値を整理しているが、無次元量 $(P/F_2)(h_1/S)^{1.5}(\nu^{0.4}/(g^{0.2}S^{0.6}))$ の物理的意味が不明であり、実験値のばらつきも大きい。ここでは、同一の F_1 、 S/h_1 、 x_s/h_1 (あるいは x_s/L_j)に対して、あるシル高 S より小さい場合、 S の大小により、異なった C_d の値が得られる理由について検討を行なう。

1. 実験 長方形断面水平水路に4種類の長方形鉛直連続シル(高さ $S=2.0\text{cm}$ 、 3.0cm 、 3.8cm 、 4.5cm 、厚さ $l=2.0\text{cm}$)を設置し、シル前、後面の中央に圧力取り出し孔を設け、それにマンメーターを接続し圧力を測定した。

2. I型跳水に作用する抗力の算定式 $S \geq 3.0\text{cm}$ の場合、 P の実験値を式(1)の関係で整理すると、 F_1 、 S/h_1 に無関係に図-1のように示され、算定式(2)が得られた。

$$C_d = P/(1/2) \rho v_1^2 S = f(F_1, S/h_1, x_s/L_j) \quad (1)$$

$$C_d = 0.71 - 0.85(x_s/L_j) \quad (2) \quad 3.5 \leq F_1 \leq 9.5, x_s/L_j \leq 0.7 \sim 0.8, 0.8 \leq S/h_1 \leq 3.6$$

3. レイノルズ数 Re の効果 式(1)の関係で、Rajaratnamら²⁾の実験値を整理すると、図-2が得られる。図-2から、与えられた F_1 、 S/h_1 、 x_s/L_j に対し、 $S=2\text{inch}(5.08\text{cm})$ の場合、抗力係数 C_d の値は式(2)とほぼ一致するが、 $S=1\text{inch}(2.54\text{cm})$ の場合、 C_d の値は式(2)より小さな値となる。これは、 S が C_d に何らかの影響を及ぼすためと考えられる。ここで、レイノルズ数 $Re = v_1 h_1 / \nu$ (ν は動粘性係数)の影響を考慮すると、 C_d は式(3)の関係で示される。

$$C_d = f(F_1, S/h_1, x_s/L_j, Re) \quad (3)$$

実験値を式(3)の関係で整理すると、図-3、4が得られる。図-3、4から、 $S \geq 3.0\text{cm}$ の実験値は式(2)を満足し、 $S=2.0\text{cm}$ の実験値は、式(2)の値よりも小さな値を示す。

4. シル前面に作用する圧力 シル前面に作用する圧力 p_r を式(4)の関係で整理した一例を図-5、6に示す。

$$p_r/(1/2) \rho v_1^2 = f(y/S, F_1, S/h_1, x_s/L_j, Re) \quad (4)$$

図-5、6から、 $x_s/L_j < 0.6$ の場合、同一の F_1 、 S/h_1 、 x_s/L_j に対し、シル前面に作用する圧力の大きさ、分布形状は、 $S=2.0\text{cm}$ の場合と $S \geq 3.0\text{cm}$ の場合とでは、異なっていることが確認される。ただし、跳水の水面形状は一致する。

5. シル前方の流速分布 図-7は、 $S \geq 3.0\text{cm}$ の場合のシル前方における流れの内部流況を示した一例である。シルに接近する主流の流れは、下向きに凸型になる傾向を示す。また、 $0 < x'/S \leq 1.0$ の範囲において、三角形ABCの領域で渦が形成されていることが確認される。すなわち、シル前方の流れの流況は、主流とシル直前に形成される渦とに分けられ、シル前面の点B($y/S=0.7 \sim 0.8$)でよどみ点が生じていることが認められる。このよどみ点Bでは、シル前面に作用する圧力が極大となっている(図-5、6)。すなわち、シル前面の圧力分布形状がS字型を示すのは(図-5、6)、このよどみ点Bとシル直前に形成される渦によるためと考えられる。図-5、6から、 $S \geq 3.0\text{cm}$ の場合、シル直前に形成される渦の形状が相似であり、よどみ点の生じる位置も常に $y/S=0.7 \sim 0.8$ である。一方、 $S=2.0\text{cm}$ のシル前方における流れの内部流況および渦の形状は、 $S \geq 3.0\text{cm}$ の場合と異なる。

一般には、同一の F_1 、 S/h_1 、 x_s/L_j に対して、シル高の大きさ S が異なると Re の値は異なる(例えば、図-5の場合、 $S=2.0\text{cm}$ のとき $Re=43800$ 、 $S=3.0\text{cm}$ のとき $Re=80300$ 、 $S=3.80\text{cm}$ のとき $Re=115900$)。与えられた F_1 、 S/h_1 、 x_s/L_j に対して、シル前面に作用する圧力の大きさ、分布形状、シル直前に形成された渦の形状は、 $S \geq 3.0\text{cm}$ の場合、 Re にかかわらず同一であるが、 $S \leq 2.54\text{cm}$ の場合、 Re に影響されることが示される。

したがって、 $S \geq 3.0\text{cm}$ の場合、フルードの相似則が成り立つものと考えられる。しかしながら、 $S \leq 2.54\text{cm}$ の場合、フルードの相似則が立たず、模型の縮尺効果があるものと考えられる。

シル後面に作用する圧力 p_r については、 p_r を式(5)の関係で整理すると、図-5、6のように示される。

$$p_r/(1/2) \rho v_1^2 = f(y/S, F_1, S/h_1, x_s/L_j, Re) \quad (5)$$

これより、同一の F_1 、 S/h_1 、 x_s/L_j に対し、シル後面に作用する圧力は、直線的な分布で、シル高 S にかかわらず、ほぼ一致する傾向が示され、 Re には影響されない。

6. Tyagiらの文献 Tyagiら³⁾は、Rajaratnamら²⁾の実験値に基づいて、式(6)の関係で実験値を整理し

たが、実験値は大きくばらつく。また、無次元量 $(P/F_2)(h_1/S)^{1.5}(\nu^{0.4}/(g^{0.2}S^{0.6}))$ の物理的意味が不明である。 $(P/F_2)(h_1/S)^{1.5}(\nu^{0.4}/(g^{0.2}S^{0.6})) = f(x_s/h_1)$ (6)

さらに、この無次元量は次のように変換され、 F_1 と Re の両方を含むため、式(6)の原型への適用は不可能である。 $(P/F_2)(h_1/S)^{1.5}[\nu^{0.4}/(g^{0.2}S^{0.6})] = (P/F_2)(h_1/S)^{2.1}(F_1/Re)^{0.4}$

ただし、 $F_2 = (1/2)wh_2^2$

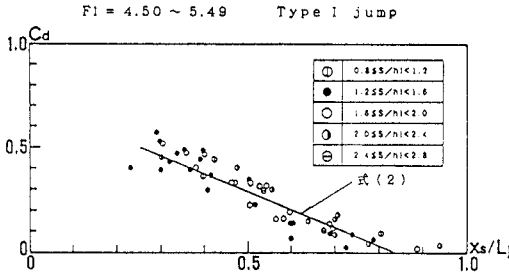


図-1

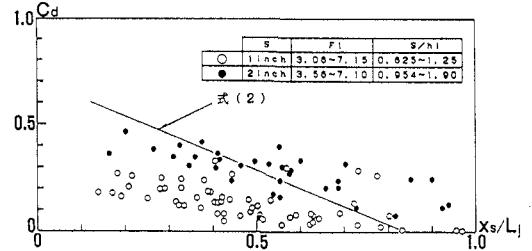


図-2

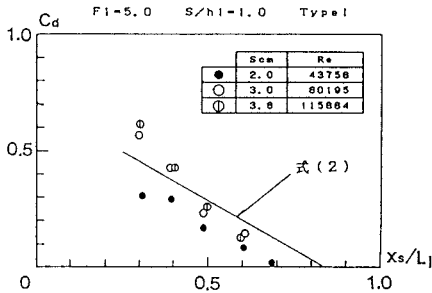


図-3

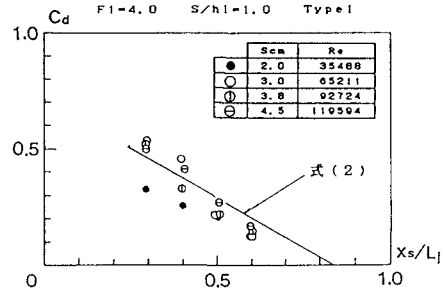


図-4

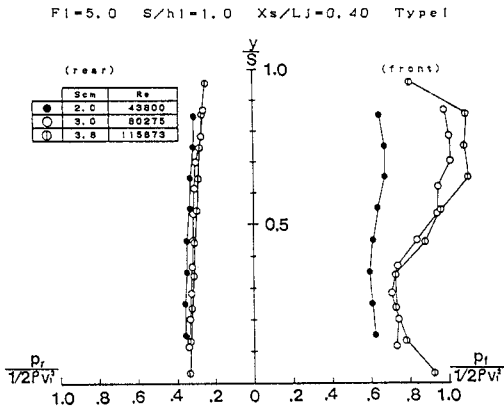


図-5

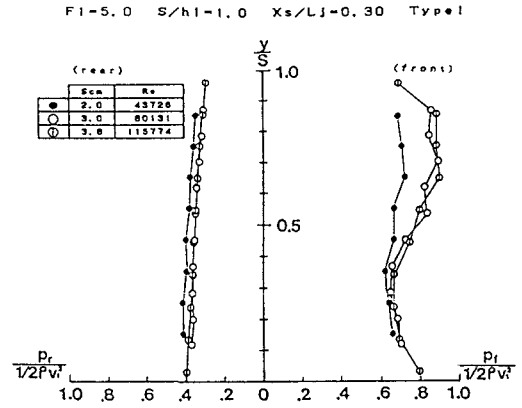


図-6

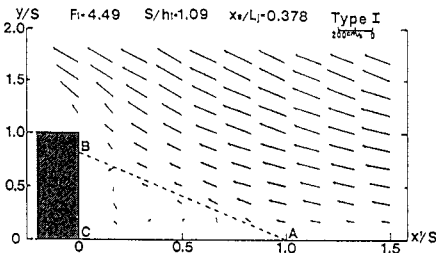


図-7

- 《参考文献》1)大津岩夫:『船道池による強制跳水』土木学会論文報告集第311号1981年7月
2)Rajaratnam and Murahari: "A contribution to forced hydraulic jump" Journal of Hy. Res. 1971, 9, No. 2
3)Tyagi, Panda and Mittal: "Drag on baffle walls in hydraulic jump" Journal of Hy. Division, april 1978

《記号》 P :池に作用する抗力 C_d :抗力係数 p_r :池全面に作用する圧力
 p_r :池後面に作用する圧力 h_1 :跳水始端の水深 h_2 :下流水深
 x_s :跳水始端から池全面までの長さ x' :池前面から上流側への距離
 S :池の高さ L_j :自由跳水の場合の跳水長さ F_1 :跳水始端の弗・ト数($=v_1/\sqrt{gh_1}$)
 Re : L_j/ν 数($=v_1 h_1/\nu$) y :床板からの高さ v_1 :跳水始端の流速($=q/h_1$)
 ρ :水の密度 g :重力加速度