

II-177

跳水中のシルの前面に作用する全圧力

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
 ○ パシフィックコンサルタンツ 正 山中 康資

鉛直連続シルによる強制跳水の流況は、I型跳水(シル前方の流況が下流水深 h_1 の影響を受ける場合(Fig.1))、II型跳水(シル前方の流況が下流水深 h_1 の影響を受けない場合(Fig.2))、飛散流況(跳水が形成されずに射流状態でシル上を通過し飛散する場合(Fig.3))に分類され、各流況を支配する水理量間の関係が明らかにされている¹⁾。この研究は、各流況が形成される場合の鉛直連続シル前面に作用する圧力の大きさを実験的に検討し、さらに、各流況特性を考慮にいれ、次元解析的な考察から、シル前面に作用する全圧力の算定式を提案したものである。

1. 実験 長方形断面水平水路(幅20cm)に5種類の高さ($S=3\text{cm}$, 3.8cm , 4cm , 4.5cm , 6cm)の鉛直連続シル(厚さ2cm)を設置し、シル前、後面に圧力取り出し孔を設け、それにマノメーターを接続し圧力を測定した。

2. 間接測定により抗力を求める方法の問題点 1~2断面間の流体(Fig.1)をcontrol volumeに選び、運動量方程式を適用して導いた式(1)に跳水始端の水深 h_1 、下流水深 h_2 、流量 Q の実測値を代入して間接的にシルに作用する抗力 P を求める方法がある²⁾。

$$(1/2)wh_1^2 - P - (1/2)wh_2^2 = \rho q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) \quad (1)$$

ここで、断面1、2において静水圧分布するものとしている。実験によると、式(1)において $\beta_1 = \beta_2 = 1.0$ として間接的に求めた抗力の値と直接測定の結果得られた抗力の値とを比較すると、直接測定値の方がかなり大きな値を示すことが確かめられた。この理由は、 β_1 の値が1.0と僅かに違うこと、および h_1 の測定上の僅かな誤差が、式(1)から求められる抗力の値に大きな影響を及ぼすこと^{3), 4)}によるためと考えられる。したがって、式(1)を用いた間接測定法には問題があり、シルに作用する抗力の測定は直接測定による必要がある。

3. シル前面に作用する圧力

① I型跳水 次元解析的考察から、シル前面に作用する圧力 p_f は式(2)の関係で示される。

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

シル前面に作用する圧力の実測値を式(2)の関係に基づき整理した一例をFig.4、5に示す。 $x_s/L_j \leq 0.7$ の場合、 y/S 点での $p_f/(1/2)\rho v_1^2$ は、与えられた F_1 に対して、 x_s/L_j が大きいほど小さくなり(Fig.4)、本実験範囲($S/h_1 \geq 0.8$)では S/h_1 に無関係である(Fig.5)。したがって、シル前面に作用する圧力 p_f は、式(3)の関係で示される。

$$p_f/(1/2)\rho v_1^2 = f(y/S, F_1, x_s/L_j) \quad (3)$$

また、圧力分布は $y/S=0.7 \sim 0.8$ で極大値、 $y/S=0.2 \sim 0.3$ で極小値をとり、S字型の分布形状を示す(Fig.4、5)。これは、シル直前に形成される三角形の渦によるためである⁵⁾。なお、 $x_s/L_j > 0.7$ の場合、シル前面に作用する圧力は、直線的な分布で、静水圧にほぼ一致することが確かめられる(Fig.4)。

② II型跳水 次元解析的考察から、シル前面に作用する圧力 p_f は式(4)の関係で示される。

$$p_f/(1/2)\rho v_1^2 = f(y/S, F_1, x_s/L_j, h_2/h_1) \quad (4)$$

II型跳水の場合、与えられた F_1 、 x_s/L_j に対して、 y/S 点での $p_f/(1/2)\rho v_1^2$ は、下流水深 h_2/h_1 に影響されないことが実験的に確認される(一例をFig.6に示す)。したがって、式(4)は式(3)の関係で示される。 $x_s/L_j \leq 0.7$ の場合、シル前面に作用する圧力の実測値を式(3)の関係に基づき整理した一例をFig.7に示す。Fig.7から、 y/S 点での $p_f/(1/2)\rho v_1^2$ は、与えられた F_1 に対して、 x_s/L_j が大きいほど小さくなる傾向を示す。さらに、与えられた F_1 と x_s/L_j のもとのシル前面に作用する圧力の大きさ、分布形状 $p_f/(1/2)\rho v_1^2 = f(y/S)$ は、I型跳水と同様である(一例をFig.5に示す)。なお、 $x_s/L_j > 0.7$ の場合、シル前面に作用する圧力は、直線的な分布で、静水圧にほぼ一致することが確かめられる(Fig.7)。

③ 飛散流況 次元解析的考察から、シル前面に作用する圧力 p_f は式(5)の関係で示される。

$$p_f/(1/2)\rho v_1^2 = f(y/S, F_1, S/h_1, h_2/h_1) \quad (5)$$

飛散流況の場合、与えられた F_1 のもとで、 y/S 点での $p_f/(1/2)\rho v_1^2$ は、II型跳水の場合と同様に下流水深 h_2/h_1 に影響されない(Fig.8)。さらに、 $0.6 \leq S/h_1 < S_c/h_1$ の範囲では S/h_1 にかかわらず、II型跳水における $x_s/L_j = (x_s/L_j)_{min}$ (すなわち、 $S/h_1 = S_c/h_1$)の場合にほぼ一致する(Fig.9)。なお、 $(x_s/L_j)_{min}$ は式(6)、 S_c/h_1 は式(7)で示される¹⁾。よって、シル前面に作用する圧力 p_f は、式(8)の関係で示される。

$$(x_s/L_j)_{min} = (0.1875F_1 - 0.182)/(F_1 - 2) \quad (6) \quad S_c/h_1 = 0.227F_1 + 0.349 \quad (7)$$

$$p_f/(1/2)\rho v_1^2 = f(y/S, F_1) \quad (8)$$

4. シル前面に作用する全圧力の算定式

① I型跳水、II型跳水 I型跳水、II型跳水のシル前面に作用する圧力は、式(3)の関係で示される。すなわち、与えられた F_1 、 x_s/L_j に対して、式(9)の関係で示される。なお、I型跳水とII型跳水のシル前面に作用する圧力の大きさ、分布形状は、式(9)の関係で表示すると、一致することが確認されている(Fig.5)。

$$p_f/(1/2)\rho v_1^2 = f(y/S) = f(\eta) \quad (9)$$

ここで、与えられた F_1 、 x_s/L_j に対して、シル前面に作用する単位幅あたりの全圧力の無次元量 $P_f/(1/2)\rho v_1^2 S (=C_{df})$ は、次の関係で示される。

$$C_{df} = P_f/(1/2)\rho v_1^2 S = \int_0^1 f(\eta) d\eta = \text{Constant} \quad (10)$$

したがって、 $C_{df} = f(F_1, x_s/L_j)$

式(11)の関係に基づき、I型跳水とII型跳水のシル前面に作用する全圧力 $P_f/(1/2)\rho v_1^2 S (=C_{df})$ の実測値を整理

