

II-317

跳水中のシルに作用する抗力について

日大院・理工 学 羽柴 秀樹
日大・理工 正 安田 陽一
日大・理工 正 大津 岩夫

1 はじめに

跳水中の鉛直シルに作用する抗力の特性を明らかにすることは水工設計上必要である。最近、著者らは強制跳水中の鉛直シルに作用する抗力の値が、基本水理量[跳水始端の射流のフルード数 $F_1(=v_1\sqrt{gh_1})$, v_1 :射流の平均流速, h_1 :射流水深)、無次元シル高 S/h_1 (S :シル高)、および跳水始端からの無次元シル設置位置 X_s/h_1 (X_s :跳水始端からシル前面までの距離)]の他に、レイノルズ数 $Re(=v_1h_1/\nu)$, ν :動粘性係数)、inflow condition(跳水始端での射流の乱流境界層の発達状態²⁾)によって異なることを示した^{3), 4)}。さらに、developed inflow(跳水始端での射流の乱流境界層が十分発達した場合、図-1b)での、シルに作用する抗力および跳水上下流端の水深間の関係を明らかにした⁴⁾。ここでは、undeveloped inflow(跳水始端での射流の乱流境界層が発達していない場合、図-1a)におけるシルに作用する抗力、跳水上下流端の水深間の関係を検討し、developed inflowの場合との比較を行った。

2 流況

鉛直シルを越える流れの流況は、 $F_1, S/h_1, h_t/h_1$ (h_t :下流水深)によって変化し、図-2に示す3つのタイプに分類される。ここでは、Type I jump (図-2a)の場合について検討を行った。なお、 Re は $Re \geq 68,000$ の範囲で検討を行った。この範囲では、シルに作用する抗力に対する Re の影響はない⁴⁾ ためである。

3 シル前後面に作用する圧力

シル前後面に作用するmotion pressure(流体の運動による圧力)の大きさ、および分布形状について、 $(p_{rd}, p_{rd})/(\rho v_1^2/2) = f(y/S, F_1, S/h_1, X_s/h_1, \text{inflow condition})$

の関係で整理した一例を図-3に示す。ここに、 p_{rd} はシル前面に作用するmotion pressure($p_{rd}=p_r-p_s$)、 p_{rd} はシル後面に作用するmotion pressure($p_{rd}=p_r-p_s$)を示し、 p_s はstatics pressure [$p_s=w(S+h_0-y)$, h_0 :シル上水深]を示す。この図のように、与えられた基本水理量 $F_1, S/h_1, X_s/h_1$ に対して、シル前面に作用する motion pressure $p_{rd}/(\rho v_1^2/2)$ は undeveloped inflow の場合の方が developed inflow の場合よりも大きな値を示す。

4 シルに作用する抗力

undeveloped inflow の場合の水路横断方向に平均化した抗力 D の無次元量 $\bar{C}_d=[D/(\rho v_1^2 S/2)]$ を $\bar{C}_d=f(F_1, S/h_1, X_s/h_1)$ の関係で整理し図-4に示す。 $\bar{C}_d$ の直接測定値は F_1 に無関係に S/h_1 と X_s/h_1 によって変化し式(1)で示される。

$$\bar{C}_d = \text{EXP}[(-0.0615)(X_s/h_1)(S/h_1)^{-0.5} - 0.3] \quad (1)$$

undeveloped inflow の場合と developed inflow の場合との $\bar{C}_d$ の比較を図-5に示す。実線は式(1)を示し、破線は developed inflow の場合の $\bar{C}_d$ の実験式(2)⁴⁾ を示す。

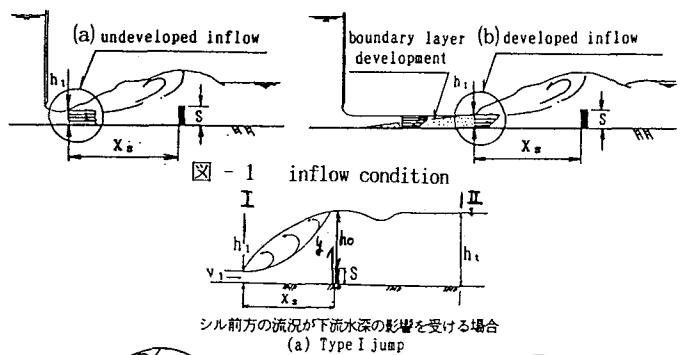


図-1 inflow condition
シル前方の流況が下流水深の影響を受ける場合
(a) Type I jump

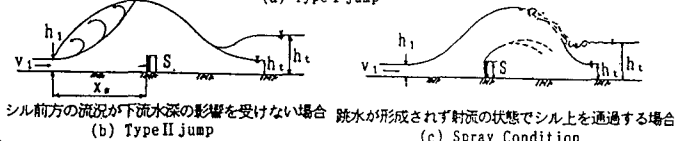


図-2 流況図
シル前方の流況が下流水深の影響を受けない場合
(b) Type II jump
跳수가形成されず射流の状態でシル上を通過する場合
(c) Spray Condition

● undeveloped inflow の場合
○ developed inflow の場合

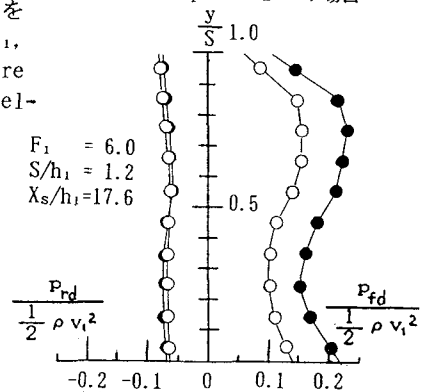


図-3 シル前後面に作用する motion pressure 分布

$$\bar{C}_d = \text{EXP} \left[\frac{-1}{(S/h_1)^2} - 3.4 \right] (X_s/L_j) \quad (2)$$

ここに、 L_j は自由跳水長[$L_j = 5.5h_2, h_2/h_1 = \{ \sqrt{(8F_1^2 + 1)} - 1 \} / 2$]である。与えられた $F_1, S/h_1, X_s/h_1$ に対して、undeveloped inflow の場合の $\bar{C}_d$ の値はdeveloped inflow の場合に比べ大きな値を示す。なお、undeveloped inflow の場合の $\bar{C}_d$ は F_1 に無関係に $S/h_1, X_s/h_1$ によって変化し、developed inflow の場合の $\bar{C}_d$ は $F_1, S/h_1, X_s/h_1$ によって変化する。

5 水深間の関係

Type I jumpのⅠ～Ⅱ断面間の流体をコントロール ボリュームに選び運動量方程式を適用すると式(3)が得られる。

$$(h_1/h_1)^3 + (\bar{C}_d F_1^2 S/h_1 - 1 - 2F_1^2) (h_1/h_1) + 2F_1^2 = 0 \quad (3)$$

式(1)、(3)からundeveloped inflowの場合のType I jump上下流の水深間の関係 $h_1/h_1 = f(F_1, S/h_1, X_s/L_j)$ が求められ、実測値との比較を図-6に示す。図に示されるように、実測値と計算値は一致している。

また、developed inflowとundeveloped inflow の場合の水深間の関係を図-7に示す。図のように、与えられた $F_1, S/h_1, X_s/L_j$ に対して、undeveloped inflowの h_1/h_1 (図-7中実線)はdeveloped inflowの場合[図-7中破線、式(2)、(3)より]⁴⁾ よりも小さい値を示すことが認められる。

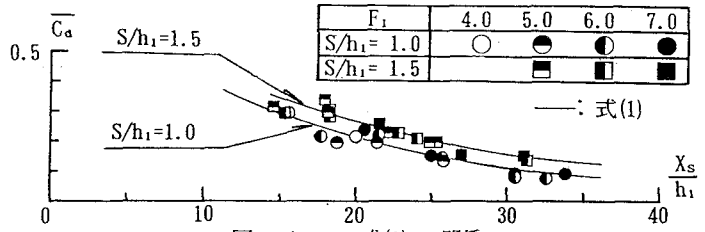


図-4, a 式(1) の関係

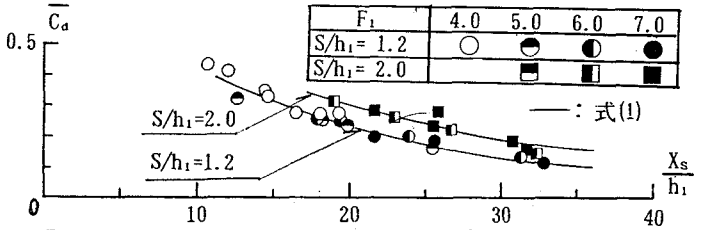


図-4, b 式(1) の関係

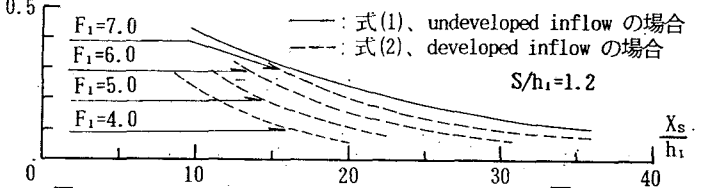


図-5 undeveloped inflowとdeveloped inflowでの $\bar{C}_d$ の比較

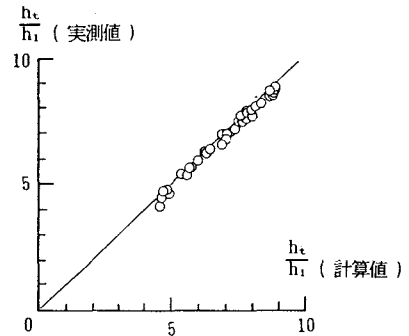


図-6 h_1/h_1 の実測値と計算値との比較

参考文献

- 1) 大津岩夫, (1981). "鉛直シルによる強制跳水." ——: undeveloped inflow の場合, { 式(1), (3) より }
土木学会論文報告集, 第311号, 56-69.
- 2) Ohtsu, I. and Yasuda, Y. (1994). "Characteristics of Supercritical Flow Below Sluice Gate." J. Hydr. Engrg., ASCE, 120(3), 332-346.
- 3) Ohtsu, I. et al. (1992). Reply to discussion of "Drag on vertical sill of forced jump." J. Hydr. Res., IAHR, 30(2), 277-288.
- 4) Ohtsu, I. et al. (1993). "Drag on Vertical Sill of Forced Hydraulic jump." 25th. IAHR Congress, Tokyo, (I), 329-336.

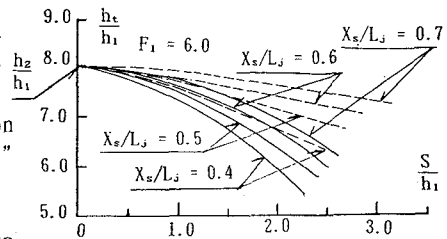


図-7 undeveloped inflowとdeveloped inflowでの Type I jumpの水深間の関係の比較