

強制跳水の流況特性に対するシル背面の形状の影響

日本大学大学院 学 ○宮地創大
 日本大学工学部 正 安田陽一
 日本大学工学部 正 大津岩夫

1.はじめに

ダムやスルースゲートから流出する高速流のエネルギーを減勢させるために跳水式減勢工を用いることは一般的である。下流水深が跳水必要水深より小さい場合、シルを用いて強制的に跳水を形成させることが行われている。従来、鉛直シルを用いた強制跳水の流況、跳水上下流端の水深間の関係、シルに作用する抗力などについては研究が行われている^{1),2),3),4),5)}。しかしながら強制跳水の流況特性に対するシル背面の形状の影響については明らかにされていない。本研究では鉛直シルの場合と USBR 型のシル⁵⁾ (図-1) の場合とでシル前面に跳水が形成される条件および強制跳水中のシルに作用する抗力について実験的に比較検討を行った。

2.実験方法

本実験は表-1に示す条件のもとで、長方形断面水平水路上にシルを設置して行った。射流水深 h_1 および流入射流のフルード数 $F_1 (F_1 = V_1 / (gh_1)^{1/2})$ は水路上流に設置されたスルースゲートにより調整し、下流水深は水路下流に設置された可動堰により調整した。射流水深および下流水深はポイントゲージを用いて計測した。

3.シルを越える流れの流況

鉛直シルを越える流れの流況は流入射流のフルード数 F_1 、相対シル高 s/h_1 、相対下流水深 h_t/h_1 により変化し、大きく3つに分けられる。すなわち図-2に示されるように **Spray condition** (シル前方で跳水が形成されず射流の状態でするシルを越える流況)、**Type I jump** (シル前方に跳水が形成され、下流水深の変化によって跳水始端の位置が変化する流況)、**Type II jump** (下流水深が変化してもシル前方に形成された跳水始端の位置が変化しない流況)の3つに大別される^{1),2),3),4)}。USBR型のシルを用いた場合も同様に3つの流況が観察された。

なお本実験では、レイノルズ数 Re 、アスペクト比 B/h_1 、乱流境界層の発達状態 δ/h_1 が抗力係数および流況に対する影響の無視できる実験条件^{2),4)} (表-1)のもとで検討を行った。

4.シル前方で跳水が形成されるための相対シル高 s_c/h_1

従来 **Type II jump** が形成される条件については運動量方程式を用いて解析的に次式が示されている³⁾。

$$s_c / h_1 = \frac{(1 + 2F_1^2 - 3F_1^3)}{(F_1^2 C_{df})^{1/4}} \quad (1)$$

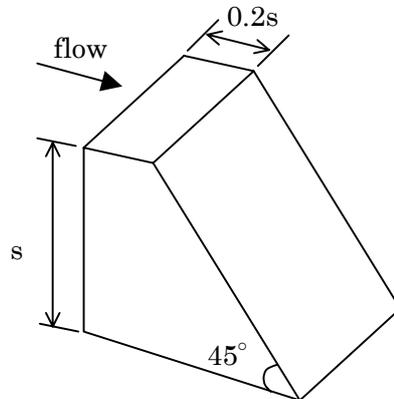


図-1 USBR型のシルの形状

表-1 実験条件

$4.41 \leq F_1 \leq 6.17$
$1.0 \leq s/h_1 \leq 2.08$
$0.3 \leq X_s/L_j \leq 0.7$
$Re > 68000$
$B/h_1 > 15$
developed inflow condition

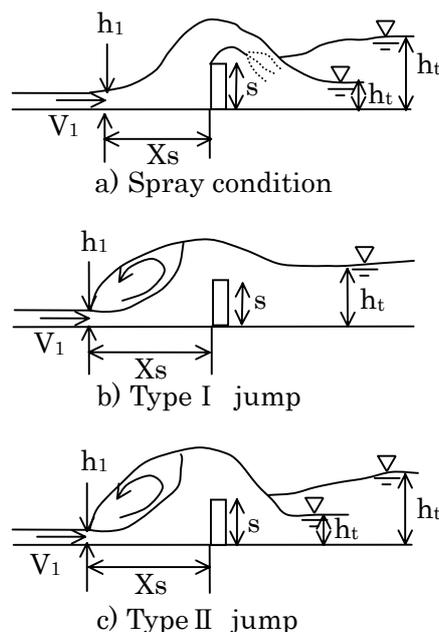


図-2 シルを越える流れの流況

キーワード：減勢工、跳水、強制跳水、シル、流体力

住所：東京都千代田区神田駿河台1-8 TEL：03-3259-0409 FAX：03-3259-0409

ここに C_{df} とはシル前面に作用する全圧力 P_f の無次元量である。また、 C_{df} については実験的に次式が提案されている³⁾。

$$C_{df} = 0.5 + \exp(1 - F_1) \quad (2)$$

図-3 に表されるように USBR 型のシルの場合の s_c/h_1 と鉛直シルの場合の s_c/h_1 は同様な傾向を示す。これは、Type II jump の形成にはシル前方の流線の曲率が影響していると考えられ、シルの形状が USBR 型のシルでも鉛直シルでもシル前面の形状が同じならばシル前方の流線の曲率が同様になり、 s_c/h_1 は同様な傾向を示すものと考えられる。

5. 強制跳水中の抗力係数

鉛直シルの場合、抗力係数は実験的に次式の関係で示されている²⁾。

$$C_d = f(X_s/L_j, F_1, s/h_1) \quad (3)$$

また、鉛直シルの場合の抗力係数に関して実験式(4)式が提案されている²⁾。

$$C_d = EXP \left[\left\{ -1 / \left(\frac{s}{h_1} \right)^2 - 3.4 \right\} (X_s / L_j) \right] \quad (4)$$

なお直接測定した抗力係数と運動量方程式から間接的に得られる抗力係数は一致することが示されている²⁾。

運動量方程式から間接的に得られる抗力係数は強制跳水部(図-4 a-b-c-d)を control volume に選び流下方向に適用した運動量方程式(5)、(6)式から算出した。

$$P = \frac{1}{2} w B h_1^2 - \frac{1}{2} w B h_i^2 - \frac{w}{g} Q (v_i - v_1) \quad (5)$$

$$C_d = \frac{(1 - (h_i / h_1)^2 + 2 F_1^2 \left\{ 1 - \frac{1}{(h_i / h_1)} \right\})}{\frac{s}{h_1} F_1^2} \quad (6)$$

図-5、6 に表されるように USBR 型のシルの場合も s/h_1 の値によらず鉛直シルの場合の抗力係数と同様な傾向を示す。これはシル背面では静水圧分布と平行となるため、シル背面の形状によらず同じ全水圧の水平成分がシル背面に作用するため、抗力係数は同様な傾向を示すものと考えられる。

6. まとめ

シルの形状を USBR 型にして鉛直シルの場合と比較検討を行った結果、シル前方に跳水が形成されるための条件およびシルに作用する抗力に対してシル背面の形状の影響が無視できることを明らかにした。

参考文献

- 1) 大津岩夫(1981)“鉛直シルによる強制跳水,”土木学会論文報告集,第311号,7月,pp.56-69.
- 2) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Hashiba, H. (1993), “Drag on vertical sill of forced jump.” Proceeding of XXV Congress of IAHR, Tokyo, Japan, Vol. A, A-10-1, pp.329-336.
- 3) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Hashiba, H. (1996) “Incipient jump condition for flows over a vertical sill,” Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.122, No.8, pp.465-459.
- 4) 安田陽一(2000)“強制跳水中の鉛直シルに作用する抗力,”流体力の評価とその応用に関するシンポジウム,土木学会水理委員会基礎水理部会,pp.7-14.
- 5) A.J.Peterka. (1978) Hydraulic Design of Stilling Basin and Energy Dissipators, Engineering Monograph, No.25, pp.33-42.

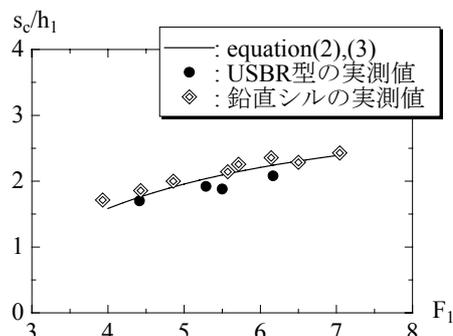


図-3 シル前面に跳水が形成される条件

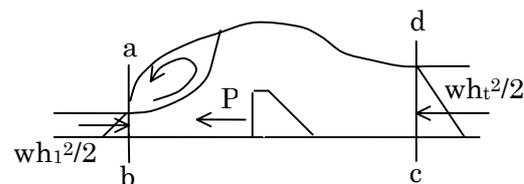


図-4 運動量方程式の control volume

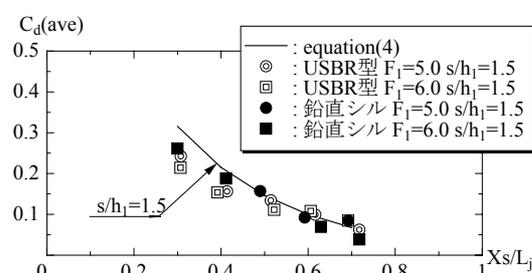


図-5 抗力係数の比較(s/h1=1.5)

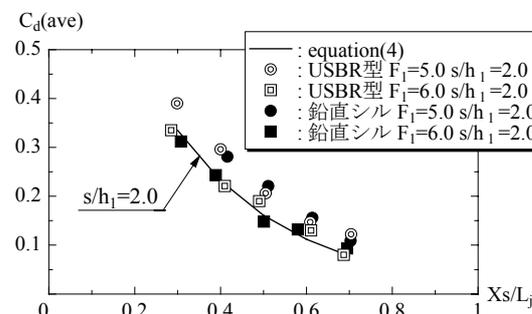


図-6 抗力係数の比較(s/h1=2.0)

謝辞

本実験を行うにあたって平成14年度卒業研究生の内室伸之氏、根本貴祥氏、野口尚徳氏の協力を得た。ここに記して謝辞を申し上げる。