

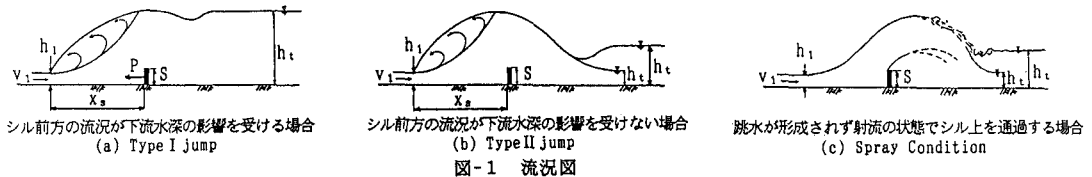
II-157

強制跳水中の鉛直シルに作用する抗力

日大 理工 正員 大津 岩夫
 日大 理工 正員 安田 陽一
 日大 理工 学生員 羽柴 秀樹
 日大 理工 学生員 ○石川 元康

堰やゲートからの高速放流水のエネルギーを減勢させるために跳水が利用されている。跳水を減勢池内に形成させるためにシルやブロックが多く用いられている。

強制跳水中の鉛直シルに作用する抗力については、Rajaratnam and Murahari (1971)、Narayanan and Schizas(1980)、Ohtsu et al.(1991) によって検討されている。しかしながら与えられた射流のフルード数 F_1 、相対シル高 S/h_1 、シル前面から跳水始端までの相対距離の無次元量 x_s/L_j に対して各研究者により測定された抗力の値は各々異なった結果を示している。すなわち、シルに作用する抗力に関する一般的表示は得られていない。また、運動量方程式を適用して求めた抗力の間接測定値は、抗力の直接測定値と一致しないことが Rajaratnam and Murahari (1971)、Narayanan and Schizas (1980)らによって報告されているが、その理由については不明である。ここでは、シル前・後面に作用する圧力の分布とその大きさについて系統的に検討し、抗力を支配する水理量を明確にした。また、抗力の間接測定値と水路横断方向に平均化して得られた抗力の直接測定値とが一致することを示した。これらの結果にもとづき、強制跳水中のシル・下流端の水深間の関係を示した。



1 流況

シルを越える流れの流況は図1のように大きく分類されている[大津(1981)]。なお、Type I jumpとType II jumpとの間には遷移領域が存在する。ここでは、Type I jumpにおける抗力および水深間の関係について検討した。

2 シルに作用する抗力

2-1 抗力係数の一般表示

Type I jumpにおけるシルに作用する圧力の分布とその大きさについて広範囲な実験条件のもとで系統的に検討した結果、抗力係数は従来示されている基本無次元水理量 $[x_s/h_1$ or $x_s/L_j, F_1, S/h_1]$ [Ohtsu et al.(1991)]以外に Fr と B/h_1 、inflow condition(射流の境界層の発達状態; 図2参照)、レイノルズ数 $Re(=v_1 h_1/\nu)$ によっても支配される場合があることが確かめられた。したがって抗力係数 C_D は一般に次式で示される。

$$C_D = f(x_s/h_1 \text{ or } x_s/L_j, F_1, S/h_1, B/h_1, \text{inflow condition}, Re) \quad (1)$$

1) アスペクト比 B/h_1 の影響

$B/h_1 \leq 10$ の場合、シルに接近する流れは3次元的でありシル前面に作用する圧力は水路横断方向に変化することが認められる[図3(a)]。なお、シル後面に作用する圧力の水路横断方向の変化は認められない。 $B/h_1 \geq 15$ の場合、シルに接近する流れは2次元的でシル前・後面に作用する圧力の水路横断方向の変化は認められない[図3(b)]。

圧力の水路横断方向の変化を考慮して、シル中央部における単位幅当たりの抗力係数を C_a 、水路横断方向に平均化して求められた単位幅当たりの抗力係数を $\bar{C}_a$ とする。

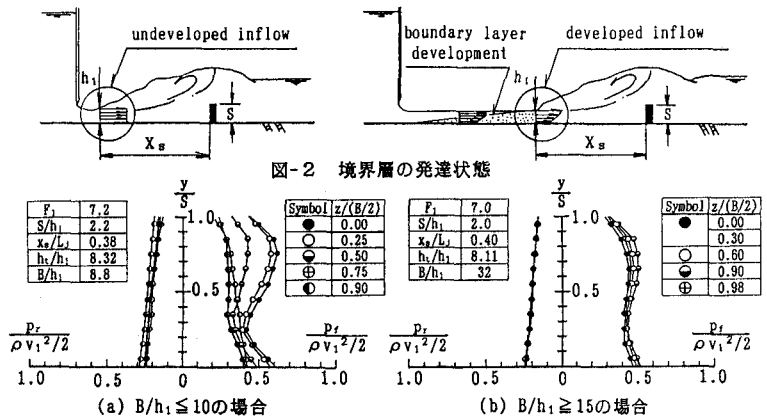
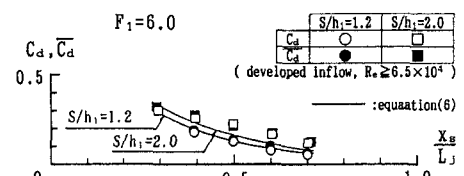
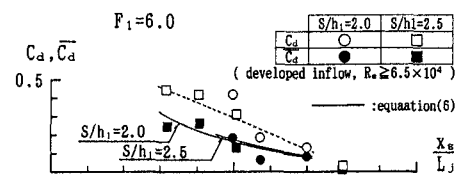


図-3 シル前・後面に作用する圧力分布



C_a と $\bar{C}_a$ の比較を図4および図5に示す。 $B/h_1 \leq 10$ では与えられた $F_1, x_s/L_j, S/h_1$ に対して C_a の値は $\bar{C}_a$ より大きくなるが認められる(図4)。 $B/h_1 \geq 15$ では C_a と $\bar{C}_a$ は等しいことが認められる(図5)。さらに図6に示されるように水路横断方向に平均化された抗力係数 $\bar{C}_a$ については7%程度 B/h_1 の影響は認められない。

2) inflow conditionの影響

undeveloped inflow conditionと developed inflow condition における C_a の比較を図7に示す。与えられた $F_1, x_s/L_j, S/h_1$ に対して undeveloped inflow condition における C_a の値はdeveloped inflow conditionの場合より大きくなるが認められる(図7)。

3) レイノルズ数 R_e の影響

与えられた $F_1, x_s/L_j, S/h_1$ のもとで、 R_e による C_a の変化を図8に示す。 $R_e \geq 6.5 \times 10^4$ においては C_a に対する R_e の影響は認められないことが実験的に確かめられた。 $R_e < 6.5 \times 10^4$ においては与えられた $F_1, x_s/L_j, S/h_1$ のもとで、 R_e が小さくなるにつれて C_a の値は小さくなることが認められる。すなわち、 $R_e < 6.5 \times 10^4$ でレイノルズ数 R_e の影響が認められる。

以上の結果から $B/h_1 \geq 15$ 、developed inflow condition、 $R_e \geq 6.5 \times 10^4$ の場合、図9に示されるように抗力係数 C_a は式(2)の関係で表示される。

$$C_a (= \bar{C}_a) = f(x_s/L_j, S/h_1) \quad (2)$$

2-2 間接的方法による抗力係数

運動量方程式(3)または(4)の妥当性を確かめるために実験値 $F_1, S/h_1, h_t/h_1$ を式(4)に代入して間接的に得られた抗力係数 C_{am} と水路横断方向に平均化された抗力係数 $\bar{C}_a$ との比較を行った。

$$P = wBh_1^2/2 - wBh_t^2/2 - wQ(v_t - v_1)/g \quad (3)$$

$$C_{am} = [1 - (h_t/h_1)^2 + 2F_1^2 \{1 - 1/(h_t/h_1)\}] / \{(S/h_1)F_1^2\} \quad (4)$$

抗力係数の間接測定値 C_{am} と直接測定値 $\bar{C}_a$ との比較を図10に示す。この図より C_{am} と $\bar{C}_a$ はほぼ一致することが確かめられた。

$$C_{am} = \bar{C}_a \quad (5)$$

さらに水路横断方向に平均化された抗力係数 $\bar{C}_a$ は、developed inflow condition、 $R_e \geq 6.5 \times 10^4$ の場合、式(6)で表すことができる(図6, 9)。

$$\bar{C}_a = \text{EXP} \{ -1/(S/h_1)^2 - 3.4 \} (x_s/L_j) \quad (6)$$

3 水深間の関係

水深間の関係(7)は式(6)を式(4)に代入することによって得られる(図11の実線)。なお、図11の実線は大津(1981)によって提案された式(8)(図11の破線)とほぼ一致している。

$$h_t/h_1 = f(F_1, S/h_1, h_t/h_1) \quad (7)$$

$$h_t/h_1 = (h_2/h_1) [1 - 1.9F_1 \{(S/h_1)/[5.5(h_2/h_1)(x_s/L_j)]\}^2] \quad (8)$$

記号説明

h_1 :射流水深、 S :シル高、 v_1 :跳水始端の平均流速、 F_1 :跳水始端のフルド数($=v_1/\sqrt{gh_1}$)、 x_s :跳水始端からシル前面までの距離、 $h_2=h_1(\sqrt{8F_1^2+1}-1)/2$ 、 L_j :自由跳水長($L_j=5.5h_2$)、 $R_e=v_1h_1/\nu$ 、 z :水路中央部から水路横断方向の距離、 y :水路床から垂直な方向の距離、 C_a : $C_a=P/(\rho v_1^2 S/2)$ 、 P :水路中央部における単位幅あたりのシルに作用する抗力、 C_d : $C_d=P/(\rho v_1^2 SB/2)$ 、 P :シルに作用する全抗力、 B :水路幅

参考文献

- Hager, W.H. and Li, D. (1992), Journal of Hydraulic Research, IAHR, vol. 30, No. 2, pp. 165~181.
 Narayanan, A. and Schizas, L.S. (1981), Journal of Hydraulics Division, ASCE, vol. 106, No. HY7, July, pp. 1159~1172.
 大津岩夫, (1981), 土木学会論文報告集, 第311号, pp. 59~69.
 Ohtsu, I. et al. (1991), Journal of Hydraulic Research, IAHR, vol. 29, No. 1, pp. 29~47.
 Ohtsu, I. et al. (1992), Journal of Hydraulic Research, IAHR, vol. 30, No. 2, pp. 277~288.
 Rajaratnam, N. (1964), Water Power, January, pp. 14~19.
 Rajaratnam, N. and Murahari, V. (1971), Journal of Hydraulic Research, IAHR, vol. 9, No. 2, pp. 217~240.
 Rand, W. (1965), Journal of Hydraulics Division, ASCE, vol. 91, No. HY4, July, pp. 97~121.

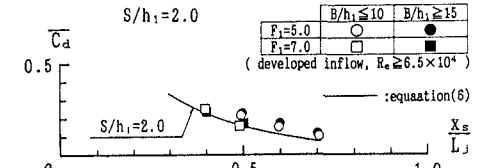


図-6 $B/h_1 \leq 10$ の場合と $B/h_1 \geq 15$ の場合での $\bar{C}_a$ の比較

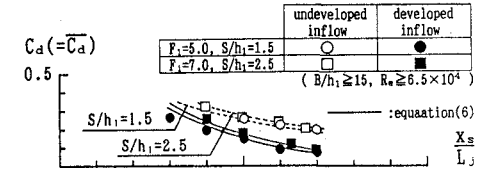


図-7 developed inflow と undeveloped inflow での $C_a (= \bar{C}_a)$ の比較

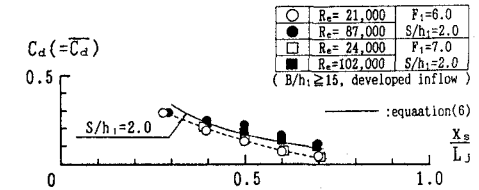


図-8 レイノルズ数の影響

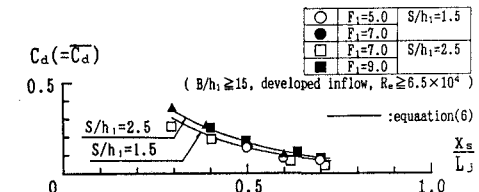


図-9 $C_a (= \bar{C}_a) = f(x_s/L_j, S/h_1)$ の関係

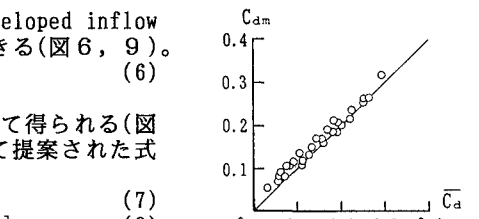


図-10 C_{dm} と $\bar{C}_a$ との比較

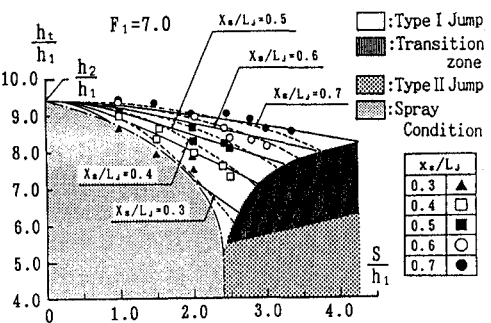


図-11 Type I jumpの水深間の関係