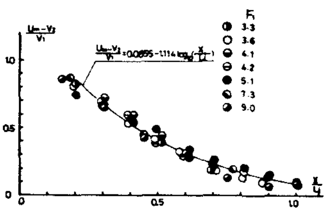
II－15　跳水内の流速について

日大理工　正　栗津清蔵
日大理工　正　大津岩夫
日大大学院　学　○藤巻　寛

この報告は，跳水式減勢工の設計指針を検討するため自由跳水および強制跳水内部の流速特性について実験的に論じたものである。

図－1

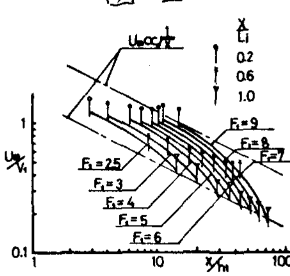


__1. 自由跳水__　__最大流速の減衰__　最大流速U_mの減衰状況を図－1に示す。跳水始端がゲート直下にある場合(Case U.I.)，射流境界層が発達した場合[1] (Case D.I.)共にU_mの減衰は式(1)で示される[2]。(ただし$0\leq x/L_j\leq 0.2$のとき$U_m/v_1 \fallingdotseq 1$)

$$\frac{U_m-v_2}{v_1}=0.0855-1.114\log_{10}\frac{x}{L_j}\quad ,3\leq F_1\leq 9\ ,\ 0.2\leq x/L_j\leq 1.0\quad —(1)$$

式(1)を，$(x/h_1)=(h_2/h_1)(L_j/h_2)(x/L_j)$，$v_2/v_1=h_2/h_1$を用い，$U_m/v_1=f(x/h_1, F_1)$の関係に変換したものが図－2である。$F_1\leq 3\sim3.5$の場合，$U_m$の減衰状況は$0.2\leq x/L_j\leq 1.0$の範囲で$U_m\propto 1/\sqrt{x}$に近く壁面噴流と類似である。$F_1\geq 3.5\sim4$の場合は，$0.2\leq x/L_j\leq 0.6\sim0.7(=L_{rj}/L_j)$の範囲で$U_m\propto 1/\sqrt{x}$に近い減衰状況を示し$0.6\sim0.7(=L_{rj}/L_j)\leq x/L_j\leq 1.0$において$U_m$は急激に減衰する。(なお，$L_j/h_2$および$L_{rj}/h_2$と$F_1$の関係は図－3参照，$L_j$は跳水の長さ，$L_{rj}$はローラーの長さ[3])

図－2



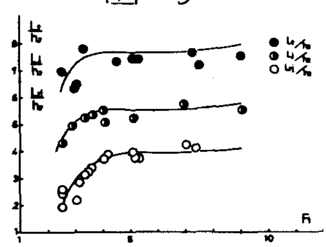
__主流の流速分布__　跳水内の流速分布の測定値を式(2)，$f(u/U_m\ ,\ y/Y)=0$ —(2)の関係で整理すると，$Y\propto x$および$U_m\propto 1/\sqrt{x}$を満足する範囲$(0.2\leq x/L_j\leq 0.6\sim0.7)$において$F_1$，$x$に無関係に相似な分布を示す(図－4)。このように近似的に相似となる条件を検討すると，式(3)～(5)が成立する必要がある[4][5]。

$$U_m\propto x^a\ —(3)\ ,\ Y\propto x\quad —(4)\ ,\ (dh/dx)/(U_m/\sqrt{gY})^2=0\ \text{or Const.}\ —(5)$$

$0.2\leq x/L_j\leq 0.6\sim0.7(=L_{rj}/L_j)$の範囲においては，式(3)をほぼ満足し，$a\fallingdotseq -\frac{1}{2}$である。またこの範囲においては，図－6に示されるように式(4)を満足する。Case U.I.，Case D.I.についてそれぞれ実験式(6)，(7)が得られる。

$$Y/h_1=(0.330/\sqrt{F_1})(x/h_1)\ —(6)\qquad Y/h_1=(0.370/\sqrt{F_1})(x/h_1)\ —(7)$$

図－3

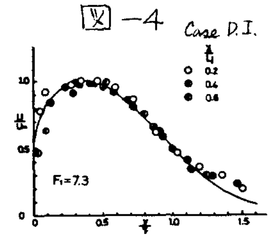


さらに水面形状を示す実験式[3]を$h/h_1=f(1/(\frac{x}{h_1}))$の関係に変換すると，図－8に示されるように$0.2\leq x/L_j\leq 0.6\sim0.7$の範囲で式(8)をほぼ満足している。

$$h/h_1=b-k/(x/h_1)\quad —(8)\qquad (b,\ k\text{は定数})$$

すなわち式(3)～(5)をほぼ満足するため，近似的に相似な流速分布が得られるものと考えられる。$y_1<y<y_0$の範囲で(図－5)主流の流速分布は誤差関数式(9)で示される[3]。

図－4　Case D.I.

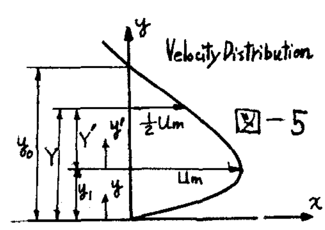


$$u/U_m=\exp(-\frac{1}{2}\eta^2)\quad —(9)$$

ここに$\eta=y'/l_0$，$l_0\propto x$，$y'=y-y_1$である。(l_0の値は$u/U_m=0.5$のときのηをη_0，y'をY'とすると式(9)より$\eta_0=Y'/l_0=1.177$となる。従って，$l_0=Y'/1.177$)　$y<y_1$の範囲では指数則式(10)で示される。

$$u/U_m=(y/y_1)^{1/n}\qquad n=7\sim12\qquad —(10)$$

式(9)，(10)を式(2)の関係に変換し(注1参照)，図示すると図－4の実線が得られる。(注1：図－6，7より$Y/h_1=(0.370/\sqrt{F_1})(x/h_1)$，$y_1/h_1=(0.130/\sqrt{F_1})(x/h_1)$)

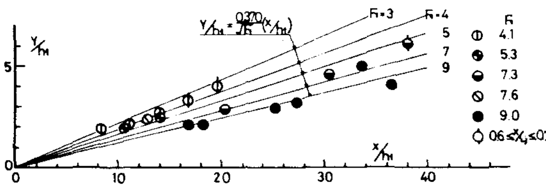


図－5

であり，$k = y_1/Y$ とおくと，$Y = Y' + y_1 = 1.177\,l_0 + kY$ より，$l_0 = (1-k)Y/1.177$，$\eta = y'/l_0 = y/l_0 - y_1/l_0 = \frac{1.177}{1-k}\left(\frac{y}{Y} - k\right)$ となる。Case D.I. の場合は $k = y_1/Y = 0.351$，$\eta = 1.814(y/Y - 0.351)$，$y_1/y = 2.85(y/Y)$ である。Case U.I. の場合は $k = 0.333$，$\eta = 1.765(y/Y - 0.333)$，$y_1/y = 3.00\,(y_1/Y)$ である。)

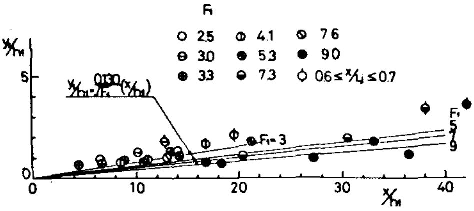
2. 鉛直シルによる強制跳水　シル前面の流速特性

図-6　case D.I.



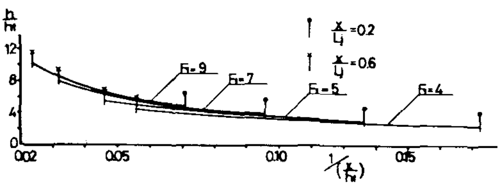
鉛直シルによる強制跳水について，シルを越える流れが潜り越流状態の場合[6]のシル前方の流速特性を，Rajaratnam & Murahari[7] の実験値を再整理することによって検討する。流速分布は，$0.2 \le x/L_j \le 0.6 \sim 0.7$ の範囲では，自由跳水と同様に近似的に相似であり，$u/u_m = f(\eta)$ をほぼ満足することが確められる。Y については図-9に示されるように $Y \propto x$ となり，y_1 については，図-10に示されるように $y_1 \propto x$ となる。（図中矢印はシル設置の位置を表わす）また u_m の減衰状況については，図-11に示されるように式(3)を満足し，自由跳水の場合と類似の流速特性を示すことが確められる。

図-7　Case D.I.



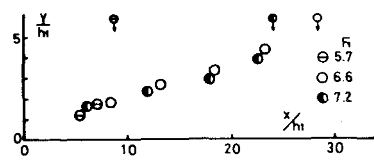
遷移領域の長さ　(シルを越える流れが)潜り越流状態の場合，射流から常流への遷移領域の長さ L_t* については，これを強制跳水によるエネルギー損失の達成される長さと関連づけることによって，一般に式(10)，$f(L_t/H_L,\ H_L/H_1) = 0$ ——(10) の関係によって表示され[5][8]，この関係に基づき実験式(11)を提案した。

図-8



$$\log_{10}\left(\frac{L_t}{H_L}\right) = -1.71\left(\frac{H_L}{H_1}\right) + 1.72 \quad \text{——(11)}$$

図-9



さらに式(11)を式(12)，$f(L_t/h_1,\ F_1,\ h_t/h_1) = 0$ ——(12) の関係に変換し図-12に示す。これより与えられた F_1 に対して，強制跳水 ($0.2 \le x/L_j \le 0.6 \sim 0.7$) の遷移領域の長さ L_t/h_1 は自由跳水の遷移領域の長さよりも短かい。なお自由跳水の場合は式(11)において $S = 0$ のときであり，式(11)を式 $f(L_t/h_2,\ F_1) = 0$ の関係に変換して図示すれば図-3の実線が得られる。すなわち式(11)は自由跳水を含む統一的表示である。

図-10

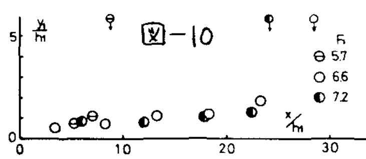


図-12

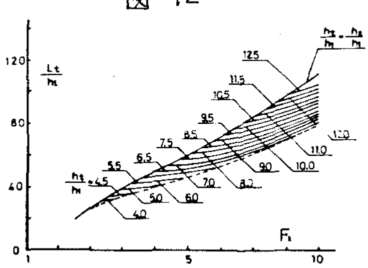
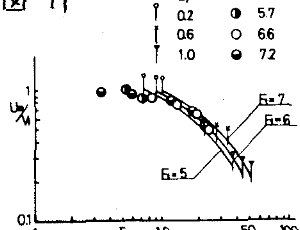


図-11



※：水面がレベルで静水圧分布しているとみなし，鉛直流速分布形状，および最大流速と底流速の水路方向の変化率が急に小さくなった常流側の最初の断面までの跳水始端からの距離 L_t を遷移領域の長さとする。

文献：
1) S.49 年講
2) S.51 〃
3) S.52 〃
S.52年講における図2 $L_t/h_2 = f(F_1)$ はプロットミス本報図3で訂正
4) S.48年講
5) 51.2 論文集
6) 53 年講
7) Jour. of Hy. Res. 1971
8) 52. 年講

記号：
$x, y, L_j, L_t, h_1, h_2, h_t, S$：図-13参照
$v_1 = q/h_1$，$v_2 = q/h_2$（q は単位幅流量），$F_1 = v_1/\sqrt{g h_1}$
Y, y_1, u_m, y_0, y：図-5参照
H_L：跳水によるエネルギー損失
H_L/H_1：跳水による相対エネルギー損失

図-13