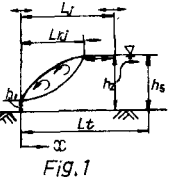


II-157 跳水内の流速について

日大理工 正 栗津清蔵
日大理工 正 大津岩夫
日大大学院 学 ○岡田 仁

この報告は、跳水式減勢工の設計方法を検討するため跳水内部の流速について実験的検討を加え、跳水始端のフルード数 F_1 が $\sqrt{3} < F_1 \leq 3$ と $F_1 \geq 4$ の場合とでは跳水特性がかなり異なることを示したものである。

F_1 と跳水特性 跳水終端断面 ($x=L_j$) を水面における逆流が観察されなくなった最初の断面とし、水面において常に逆流の観察される終端断面 ($x=L_{ij}$) をローラーの終端とし、 L_j と L_{ij} とを区別する* (図-1, 一印; 跳水の水路方向の振動範囲)。また、 $x=L_t$ を流速分布が一般開水路流と一致する最初の断面とする。図-2 に L_{ij}/h_2 , L_j/h_2 , L_t/h_2 と F_1 の関係を示す。 $\sqrt{3} < F_1 \leq 3$ において L_{ij}/h_2 は着しく変化し、 $F_1 \geq 4$ において $L_{ij}/h_2 = 4$, $L_j/h_2 = 5 \sim 5.5$, $L_t/h_2 = 6 \sim 7$ とほぼ一定となる。これより、「 $\sqrt{3} < F_1 \leq 3$ の場合は表面渦の効果が小さく、 $F_1 \geq 4$ の場合は表面渦の効果が大きく、 $3 < F_1 < 4$ の場合はその遷移領域である」と推定され、 $\sqrt{3} < F_1 \leq 3$ と $F_1 \geq 4$ の場合では energy dissipation の機構が異なるものと考えられる。



最大流速 U_m の減衰 各断面の最大流速の減衰状況は、跳水始端がゲート直下にある場合 (Case a) と射流境界層が発達している場合 (Case b) 共に、式 (1) で示される⁽¹⁾。

$$(U_m - U_2)/U_1 = 0.0855 - 1.114 \log_{10}(x/L_j) \quad 3 < F_1 \leq 9, 0.2 \leq \eta/L_j \leq 1 \quad (1)$$

$F_1 \leq 3$ の場合、跳水内の減衰状況は $U_m \propto 1/\sqrt{x}$ に近く (図-3)、壁面噴流 (Wall Jet; ジェットの拡散が表面渦の影響を受けない潜流) と類似な流況となり、表面渦の効果は小さい。

水面形状 実験値を $(R_2 - R_1)/(R_2 - R_1) = f(\eta/L_j)$ の関係で整理すると、Case a, b 共に図-4 のように示され、 $\sqrt{3} < F_1 \leq 3$ の場合、式 (2)₁ により、 $4 \leq F_1 \leq 9$ の場合、式 (2)₂ により示される。なお、 L_j は図-2 により求まる。また、図-4 には Bakmeteff-Matzke の実験値も含めてプロットしてあるが、ほぼ同一の関係が得られる。なお、 $3 < F_1 < 4$ の場合、実験値は (2)₁, (2)₂ によって囲まれた領域にプロットされる。

$$(R_2 - R_1)/(R_2 - R_1) = 1 - (1 - \eta/L_j)^{2.9} \quad \sqrt{3} < F_1 \leq 3 \quad (2)_1$$

$$(R_2 - R_1)/(R_2 - R_1) = 1 - (1 - \eta/L_j)^{1.9} \quad 4 \leq F_1 \leq 9 \quad (2)_2$$

主流の流速分布 各 F_1 に対する自由跳水内の主流の流速分布の測定値を、 $f(\eta/L_m, \eta/Y) = 0$ ---- (3) の関係で整理すると、 $Y \propto x$ を満足し、さらに、 $U_m \propto x^a$ における a が $(-1/2)$ に近い x の範囲において、 x に無関係に相似な分布を示す (図-5)。outer layer (図-6) においては、資料を U/U_m と $\eta (=Y/l_0)$ とで整理すると図-7 に示されるように流速分布は誤差関数、式 (4) で表示される*。

$$U/U_m = \exp(-\frac{1}{2} \eta^2) \quad (4)$$

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 (4) より $\eta_0 = Y'/l_0 = 1.177$ となる。従って $l_0 = Y'/1.177$)。inner layer においては、資料を U/U_m と Y/Y_1 とで整理すると指数則、式 (5) で表示される (図-8)。

$$U/U_m = (Y/Y_1)^{1/7} \quad (5)$$

なお、式 (4), (5) を式 (3) の関係に変換し、図示すると図-5 の実験線が得られ (実験値より、 $y_1 = 0.2Y$ である。よって $\eta = 1.47(Y/Y_1) - 0.244$, $Y/Y_1 = 5(Y/Y_1)$)、

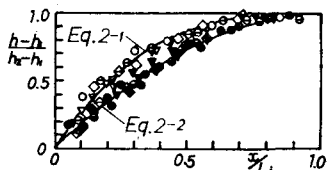
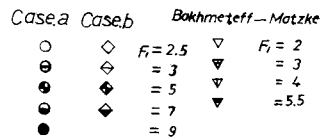
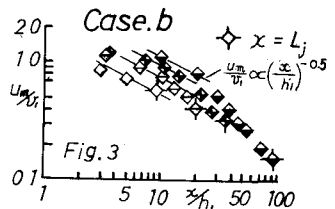
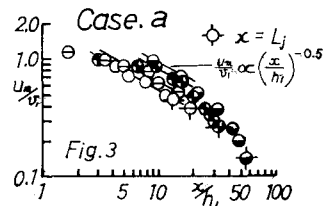
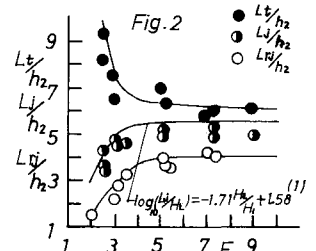


Fig. 4

潜り跳水の場合に提案された実験曲線(点線)⁽¹⁾とほぼ同一な流速分布曲線を示す。

Y/η_1 と x/η_1 の関係を図-9に示す(○,◇印は $Y \propto x$ を満足せず)。これより、 $Y \propto x$ を満足する範囲の実験式を求めるとCase aの場合、式(6)₁、Case bの場合、式(6)₂が得られる。式(6)を $x/\eta_1 = (x/\eta_1)(\eta_2/\eta_1)^{1/2}$ を用いて Y/η_1 と x/η_1 の関係に変換し図示すると、図-10が得られる。図-10より、 F_1 が小なほど跳水内部における $Y \propto x$ を満足する範囲が大きい。またCase bの場合、与えられた x/η_1 における Y/η_1 がCase aよりも大きく、さらに図-8より boundary-layer separation が生じているものと推定される。

$$Y/\eta_1 = 0.070(x/\eta_1) + 1.0 \quad (\text{Case a}) \quad (6)_1 \quad Y/\eta_1 = 0.090(x/\eta_1) + 1.2 \quad (\text{Case b}) \quad (6)_2$$

次に、「 $q(U_m \propto x^a)$ の x による変化」について、一つの説明を試みる。運動量方程式(x 方向)は、壁面抵抗無視、 $\rho u' u' = 0$ 、静水圧分布、と仮定すると、式(7)のように示される。

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\eta} \rho u^2 dy = -w \rho \frac{d\eta}{dx} \quad (7)$$

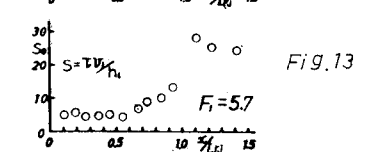
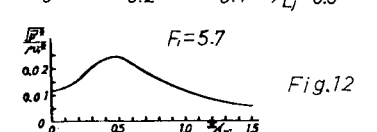
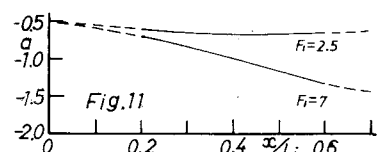
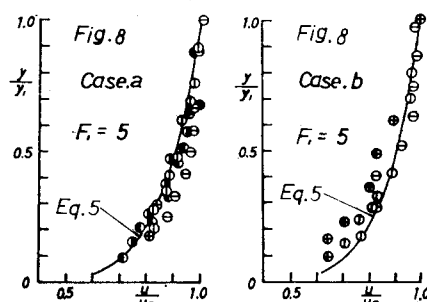
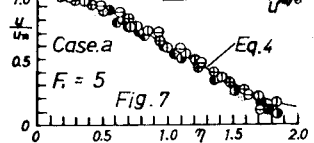
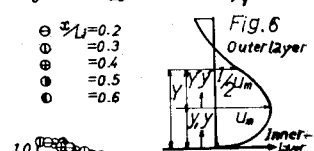
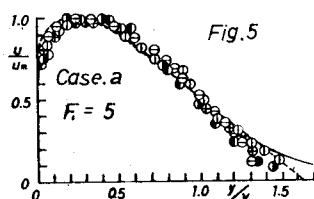
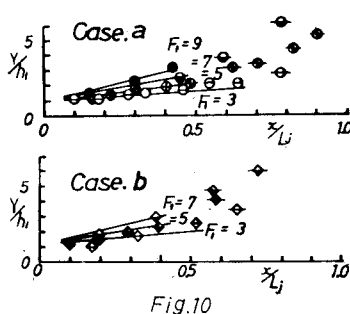
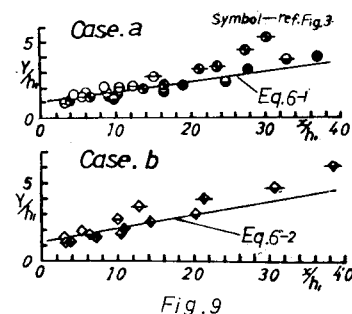
逆流域の運動量を主流域に比し無視し、流速分布を式(4)で表示できるものと仮定すると、式(7)は式(8)となる(流速分布の測定値は $U_m \propto 1/\eta$ からそれるに従って、図-5の実線から幾分はずれるが、大略は式(4),(5)によって近似可能である)($\eta_1 = y/\eta_0$)。

$$\eta_0 \frac{dU_m}{dx} / U_m \frac{d\eta}{dx} = -\frac{1}{2} - 8 \rho \frac{d\eta}{dx} / 2 U_m \frac{d\eta}{dx} \int_{\eta_1}^{\eta_2} \left(\frac{U}{U_m} \right)^2 d\eta \quad (8)$$

$\eta_0 \propto x$, $U_m \propto x^a$ より、 $\eta_0 \frac{dU_m}{dx} / U_m \frac{d\eta}{dx} = a$ (ただし、 Δx 間で a は一定と仮定)となり、式(9)が得られる。

$$a = -\frac{1}{2} - \frac{d\eta}{dx} / 2 \left(\frac{U_m}{\eta_0} \right)^2 \frac{d\eta}{dx} \int_{\eta_1}^{\eta_2} \eta^{-2} d\eta \quad (9)$$

式(1),(2),(9)による計算結果を図-11に示す。これにより、図-3の減衰状況の大略が説明されよう。



※このように L_{ij} , L_j を定義した意義は次の事項からも明らかとなろう。(1)観察に都合がよい。(2)ローラーの内部($0 \leq x \leq L_{ij}$)と外部($x > L_{ij}$)とでは圧力変動の規模と様式が異なる(底面圧力変動の測定値を $\sqrt{P^2}/\rho U^2 = f(x/L_{ij})$ の関係で、底面圧力変動の自己相関関数 $R(\tau)$ が最初に $R(\tau) = 0$ となる位置 S_0 を $S_0 = f(x/L_{ij})$ の関係で再整理すると、図-12, 13が得られる。なお、 $x/L_{ij} = 1/2$ において $(\sqrt{P^2})_{\max}$ である($F=4 \sim 5.7$ のとき $(\sqrt{P^2}/\rho U^2)_{\max} \approx 0.025$)。(3) $x/L_{ij} = 1/2$ において $(\sqrt{U^2})_{\max}$ である($F=6$ のとき $(\sqrt{U^2}/U^2)_{\max} \approx 2.1 \sim 2.6$)。(4) $x = L_j$ において跳水によるエネルギー損失が完了しているものと推定され、 L_j を跳水によるエネルギー損失の達成される長さとして解釈される⁽¹⁾⁽⁵⁾。

※米式(4)を満足する η の範囲は $\eta \approx 1.96$ であり、このとき確率積分は $I = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{1.96} e^{-\frac{1}{2}\eta^2} d\eta = 0.95 \approx 1.0$ となる。
(文献) (1) 大津 土木学会論文集 1976.2 (2) Chow Open-Channel Hydraulics. (3) O.F. Vasilev and V.I. Bukreyev IAHR, 1967 Vol.2 (4) S.Narasimhan and D.Bharagava Proc. A.S.C.E. 1976 3 HY3 (5) 栗津・大津 1976 年 隣