

日大理工 (学) 金丸 清人
日大理工 (工) 大津 若夫

跳水内部の流速特性を知ることは、水叩きの設計や水叩き下流の洗堀現象を解明するために必要である。ここではレーザー流速計(LDV)による測定によって、従来不明確である跳水内部の流速特性、主として最大流速(平均および瞬間最大流速)や乱れ強さについて検討を加えた。

[1] 平均最大流速 $\bar{u}_m$

従来、 $\bar{u}_m$ の減衰状況は式(1)によって与えられている。

$$(\bar{u}_m - v_1)/v_1 = 0.0855 - 1.114 \log_{10}(x/L_j) \quad (1)$$

$$0.1 \sim 0.2 \leq x/L_j \leq 1, 3 \leq F_1 \leq 9.5 \quad (1)$$

ここに $L_j = 5.2h_2$ ($3 \leq F_1 \leq 3.5$), $L_j = 5.5h_2$ ($3.5 \leq F_1$)

この場合、跳水終端断面($x = L_j$)は $\bar{u}_m$ の大きさが流下方向にほとんど変化しなくなる最初の断面としている。式(1)を式(2)の関係に変換し測定値と比較すると、図-1,2のように示され式(1)を満足している。

$$\bar{u}_m/v_1 = f(x/h_1, F_1) \quad (2)$$

[2] 瞬間最大流速 u_m

瞬間最大流速 u_m の測定値を式(3)の関係で整理すると図-3,4が得られる。

$$u_m/v_1 = f(x/h_1, F_1) \quad (3)$$

これより $x = L_j$ における $u_m/\bar{u}_m$ の値は $F_1 = 3.5$ のとき2.1, $F_1 = 5$ のとき2.4である。

[3] 瞬間最大底流速 ($u_b)_m$

瞬間最大底流速($u_b)_m$ の測定値を式(4)の関係で整理すると図-5,6が得られる。

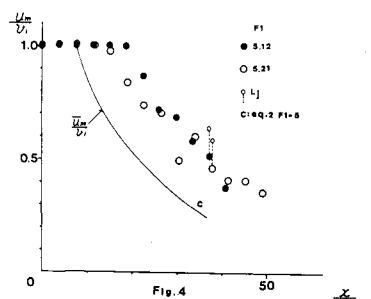
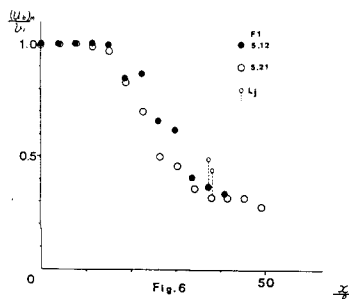
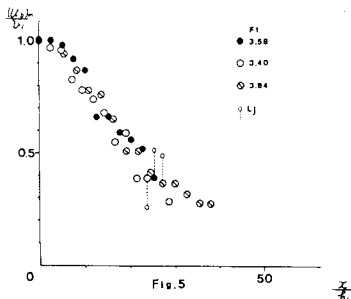
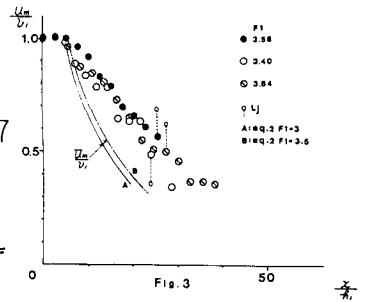
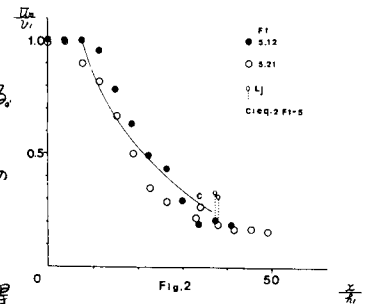
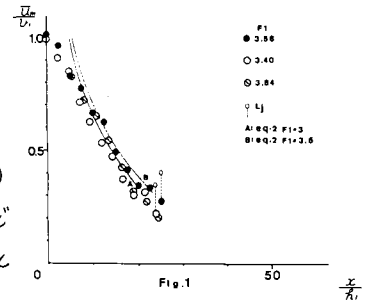
$$(u_b)_m/v_1 = f(x/h_1, F_1) \quad (4)$$

[4] 乱れ強さ

各断面の最大乱れ強さ($\sqrt{u'^2})_m$ の測定値を式(5)の関係で整理すると図-7が得られる。

$$(\sqrt{u'^2})_m/v_1 = f(x/L_j) \quad (5)$$

図-7の曲線はA: Rouse ($F_1 = 6.0$ air model), B: Leuthesser ($F_1 = 6$), C: Kalis ($F_1 = 6.3$, $\gamma = 0.2h_2$), D: Kalis ($F_1 = 5.5$),



E: Rázvan⁵⁾ ($F_1 = 7.5 \sim 9.0$) の測定値に基づき描いたものである。今回の測定値は曲線Bと類似な傾向を示している。

〔5〕 $(u_m / \bar{u})$ と $(\sqrt{u'^2} / \bar{u})$ との関係

$x = L_j$ における測定値を式(6)の関係で整理すると図-8, 9が得られる。(添字bは水路底面において測定した値を示す)

$$u_m / \bar{u} = \sqrt{(\sqrt{u'^2} / \bar{u})} \quad (6)$$

これより図-8, 9は式(7)をほぼ満足していることを示している。

$$u_m / \bar{u} = 1 + 3 \sqrt{u'^2} / \bar{u} \quad (7)$$

〔6〕 跳水によるエネルギー損失

跳水領域 ($0 \leq x \leq L_j$) において平均流のエネルギー方程式を適用すると式(8) (平均流の粘性応力に関する項と Control Surface における反応力による仕事を無視する) で示され、変動流のエネルギー方程式は式(9) (diffusion項や圧力変動項は無視する) で示される (Fig. 8, 9参照)。

$$\alpha_1 u_i^2 / 2g + \lambda_1 h_1 = \alpha_2 u_i^2 / 2g + \lambda_2 h_2$$

$$+ \left[-\frac{1}{\omega Q} \int_D \left\{ \rho(u'^2 - v'^2) \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \rho \bar{u} v' \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) \right\} dw \right] \quad (8)$$

$$P_r = \text{Dis.} + \text{Con.} \quad (9)$$

こゝに P_r = 式(8)右辺第3項 (Turbulence Production)

$$\text{Dis.} = \frac{1}{\omega Q} \int_D \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} dw \quad (\text{Dissipation 略 Dis.})$$

$$\text{Con.} = \frac{1}{\omega Q} \int_0^{h_2} \rho \frac{V}{2} \bar{u} dy \quad (\text{Convection 略 Con.}), V' = \sqrt{u'^2 + v'^2 + w'^2}$$

$$\text{式(8)(9)から } (x=0, L_j \text{ では } \alpha_1 = \alpha_2 = 1, \lambda_1 = \lambda_2 = 1) H_1 = H_2 + (\text{Dis.} + \text{Con.}) \quad (10)$$

$$\text{式(10)から } 100 = \left(\frac{H_2 + \text{Dis.} + \text{Con.}}{H_1} \right) \times 100 (\%) \quad (11)$$

$\sqrt{v'^2} \div 2 \sqrt{u'^2}$ として Con. の値を測定値から求め式(11)の関係で整理すると表-1が得られる。 $(\text{Con.} / H_1) \times 100$ は1.4~3.1%であり他の項に比較して非常に小さく、跳水領域内において乱流のエネルギーの大部分が粘性によって消失していることが示される。 $x > L_j$ において跳水による乱流が残っているが巨視的には L_j 跳水によるエネルギー損失が達成される長さで解釈できる。

記号

添字1: 跳水始端断面における諸量, 添字2: 跳水終端断面における諸量, 添字m: 最大値, 添字b: 水路底面における諸量, $v = \bar{v} + v'$, $\bar{v} = (\bar{v} + v') \bar{t} + (\bar{v} + v') \bar{t}$, q : 重力加速度, h : 水深, Q : 流量, B : 水路幅, $\bar{v} = Q / B h_1$, $\bar{v}_2 = Q / B h_2$, $\lambda = \rho g$, $F_1 = \bar{v}_1 / \sqrt{g h_1}$, $H_1 = \bar{v}_1^2 / 2g + h_1$, $H_2 = \bar{v}_2^2 / 2g + h_2$, λ : 圧力分布補正係数, α : エネルギー係数, $dw = dA ds$ (微小流管要素)

注: $x / L_j = 2 (x / h_1) / (L_j / h_1) \sqrt{8 F_1^2 - 1}$, $\bar{v}_1 / \bar{v}_2 = h_1 / h_2$ と用いる。注2: この実験では跳水は必ずしも形成された。

参考文献

- 1) 大津 土木学会論文集 1976-2 2) Rouse et al. 1958 Feb. ASCE Hy. 3) Resch and Leuthesser Jour. of Hydropaulic Res. 1972(16) 4) J. Kalis 1965 IAHR 5) E. Rázvan 1967 IAHR 6) P. Wisner et al. 1967 IAHR 7) H.N.C. Breusers 1967 IAHR 8) 大津 土木学会年報 54年II-148 9) 大津 土木学会年報 55年II-227 10) Rouse 1970 May. ASCE Hy.

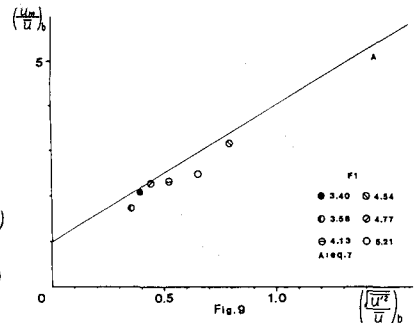
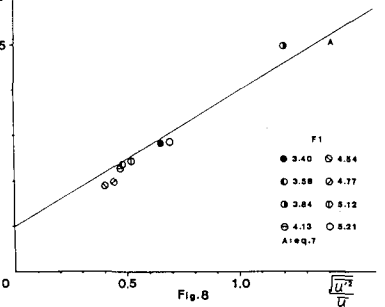
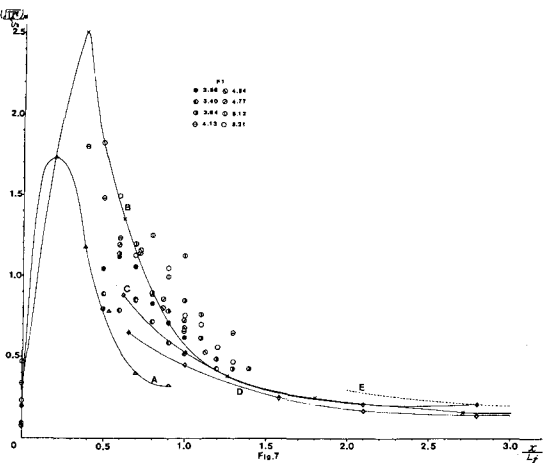


Table.1

F ₁	CON. (m)	CON. / H ₁ × 100 (%)
3.40	0.002518	1.59
3.84	0.002502	1.42
4.13	0.005664	3.01
4.54	0.008566	3.13
5.12	0.009281	3.09
5.21	0.005566	2.55

