

日本大学理工学部 正 栗津清蔵
日本大学理工学部 正 大津岩夫
日本大学大学院 学 ○吉田 保

跳水内部の流況が射流の Froude 数や露出射流の特性によりどのように変化するかを知ることは合理的な裁断工の設計上必要である。最近、露出射流の特性が跳水の特性、特に内部の流況に及ぼす影響について、三の研究^{[1][2]}が発表されたが、理論及び実験的に検討の余地がある。この報告は水平水路上の露出射流について考察し、さらに、跳水先端が vena-contracta 及び fully developed flow の領域にある跳水について実験的に論じたものである。

水平水路上の境界層の発達

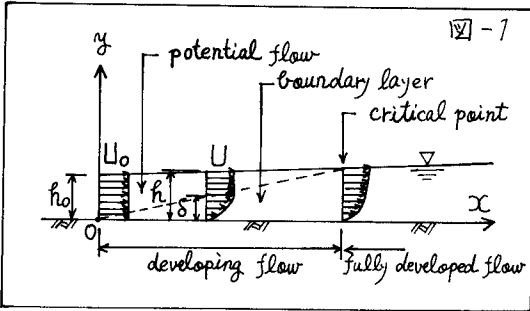
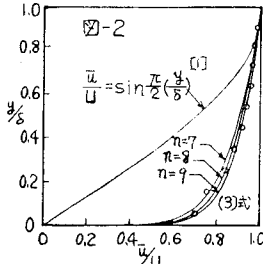


図-1 に示すように 原点 0 から乱流境界層が発達するものとし、二次元流、主流部は potential flow, 圧力は静水圧分布、境界層内の流速分布は指数則に従うと仮定する。Wilson と Turner^[1] は層流境界層として解析しているが、実際の現象とは異なっている(図-2)。



potential flow の Bernoulli eq. $E_0 = h + U^2/2g$ (1)

流量一定の条件 $q = U(h - \delta_x)$ (2)

指数則 $U/\delta_x = (y/\delta_x)^{1/n}$ (3)

(1)(2)式から $E_0 = U^2/2g + q^2/U + \delta_x$ (4)

(3)式から $\delta_x = q/n+1$ (5)

原点では $E_0 = h_0 + U_0^2/2g$, $q = U_0 h_0$ であるから

(1)式から $h/\delta_x = 1/2 F_0^2 (1 - 1/g^2) + 1$ (6)

(4)式から $\delta_x/h_0 = 1/2 F_0^2 (1 - 1/g^2) + 1 - J$ (7)

(5)(6)(7)式から $J = h/\delta_x - \delta_x/(n+1)h_0$ (8)

$\delta_x > 0$ であるためには(7)式から

$F_0 > 1$ で $J > 1$ or $F_0 < 1$ で $J < 1$ (9)

また(4)式より $\frac{d\delta_x}{dx} = \frac{h_0}{U_0} \frac{1}{J} (J^3 - F_0^2) \frac{dU}{dx}$ (10)

境界層の運動量方程式

$$\frac{d\theta}{dx} + \frac{H+2}{U} \frac{dU}{dx} \theta = \frac{C_f}{2} \quad (11)$$

において、 $H = \text{const.}$ とし、(7)(10)式を用いれば

$$dx = \frac{2}{C_f} \left\{ -\left(\frac{H+4}{2H}\right) \frac{U}{g} + \left(\frac{H+2}{H}\right) \left(h_0 + \frac{U^2}{2g}\right) \frac{1}{U} - \left(\frac{H+1}{H}\right) \frac{q}{U^2} \right\} dU \quad (12)$$

$\frac{dh}{dx} \rightarrow \infty$ のとき $\frac{d\delta_x}{dx} \rightarrow \infty$ となり、このとき(12)式より

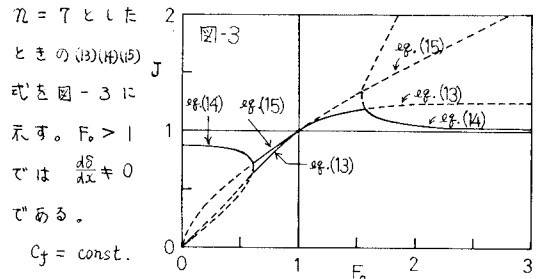
$$F_0 = \left[2 \left\{ (H+1)J^3 - (H+2)J^2 \right\} / \left\{ (H+2)J^2 - (H+4) \right\} \right]^{1/2} \quad (13)$$

境界層が水面に達した点(境界点)は $h = \delta$, (6)(8)式より

$$F_0 = \left[2 \left(\frac{n+1}{n} J - 1 \right) / \left(1 - \frac{1}{J^2} \right) \right]^{1/2} \quad (14)$$

$\frac{d\delta_x}{dx} = 0$ のとき (10)式より

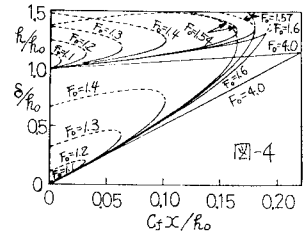
$$J^3 = F_0^2 \quad (12) \text{式を用いると } U/\sqrt{g(h-\delta_x)} = 1 \quad (15)$$



と仮定すれば (12)式より

$$\frac{G_f x}{h_0} = 2 \left\{ \frac{H+4}{4H} F_0^2 \left(1 - \frac{1}{J^2} \right) - \frac{H+2}{H} \left(1 + \frac{1}{2} F_0^2 \right) \ln J + \frac{H+1}{H} (J-1) \right\} \quad (16)$$

(6)(8)(16)式より図-4を得るが、実際には $F_0 < \sqrt{3}$ では波状跳水となることに注意を要する。

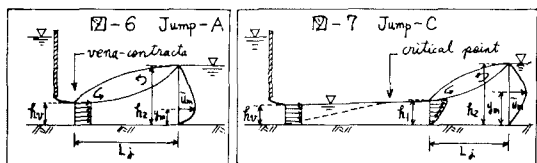


水面形及び境界層の発達計算値と実験値

の一例を図-5に示す。計算値と実験値が良好一致を示さないのは C_f の与え方、及び二次元流と仮定し、側

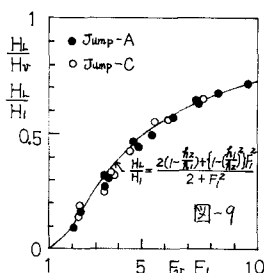
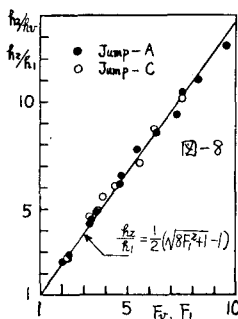
の或る点から Fough な水面に変わり、実験においても水深を測定しにくくなる。これは乱流境界層が水面に達し、水面まで乱流領域になったためと考えられ、Lane (1936) 以来いわれている余水吐のような急勾配水路上を流れる水流が境界点から空気の混入を開始し、流れが巨濁することに相当する現象と推定される。

跳水への影響



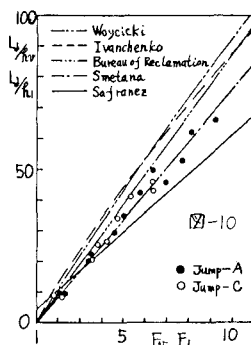
跳水先端が *vena-contracta* 直下 (Jump-A) 及び fully developed flow の領域 (Jump-C) における跳水について、その特性を実験的に比較検討する。実験には表面を滑らかに仕上げた幅 33cm、長さ 640cm の水路を用い、gate の開きは 7.4cm、4.7cm、2.5cm とした。

Leutheusser and Kartha によると、跳水の矢役水深と長さは inflow condition の影響を受けると報告されている^[2]が、Jump-A で $h_v = 2.7 \text{ mm}$ ($F_v = 30$)、Jump-C で $h_i = 8.2 \text{ mm}$ ($F_i = 14.39$) の実験であり、また、Wilson and Turner^[1]によると $h_v = 4 \text{ mm}$ の実験である。これらの実験は、水深の測定精度、壁面の影響などを考慮すると問題があるように思われる。矢役水深、相対エネルギー損失、及び跳水の



長さと Froude 数との関係
を図-8, 9, 10 に示す。こ
れらの図からは射流特性
による影響は見られない。

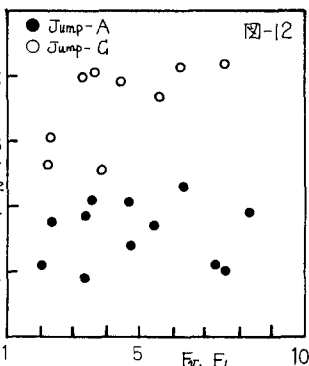
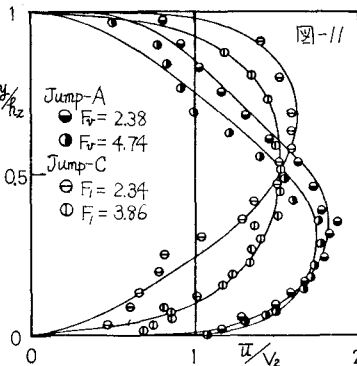
跳水終端での流速分布を無次元化し、その一例を図-11に、最大流速が生じる位置 y_m を図-12に示す。これより、跳水終



端での流速分布
形状は露出射流
の特性に大きく

影響されること
がわかった。し
かしながら、よ
り広範囲の実験
がさらに必要で
ある。また、跳

水は水路方向に振動しており^[3]、跳木内部の乱れや跳木終端での水路床に沿う変動流速について今後の検討が必要である。



(記号)

排除厚 $S_k = \int_0^{\theta} (1 - \frac{U}{U_0}) dy$. 運動量厚 $\theta = \int_0^{\theta} \frac{U}{U_0} (1 - \frac{U}{U_0}) dy$
 形狀係數 $H = S_k / \theta$. 局所的摩擦係數 $C_f = 2\tau_0 / \rho U^2$
 $J = U_0 / U$. $F_0 = U_0 / \sqrt{g h_0}$. $V_1 = \frac{g}{R_1}$. $F_V = V_0 / \sqrt{g h_0}$.
 $F_1 = V_1 / \sqrt{g h_1}$. $H_1 = R_1 + \frac{V_1^2}{2g}$. $H_L = H_V - H_2$ or $H_1 - H_2$.

(文献)

- [1] Wilson and Tuner, "Boundary layer effects on hydraulic jump location." A.S.C.E. July, 1972.
- [2] Leuthesser and Kartha, "Effects of inflow condition on hydraulic jump." A.S.C.E. August, 1972.
- [3] 栗津, 大津, 吉田, "跳木内の流速について," 土木学会第28回年譜, 1973.