

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) 井上 直洋

傾斜水路における跳水内の流速特性については、従来ほとんど明らかにされていない。最近、Rajaratnam⁽¹⁾らによって流速特性の検討がなされたが、跳水区間全体に対する検討ではなく、一般的結論を導くことはできない。⁽²⁾⁽³⁾この報告では、 $\tan \theta \approx 1/4$, $1/2$ ($\theta = 14^\circ$, $24^\circ \sim 26^\circ$) の実験に基づいて、傾斜水路上で跳水が形成される場合(図-1 type A)及び、跳水が傾斜部と水平部にまたがって形成される場合(図-1 type B)の跳水内部の流速特性について検討を加えたものである。

1. 最大流速の減衰 最大流速 U_m の減衰状況を $U_m/Y_1 = f(\gamma/d_1)$ の関係で整理すると図-2, 3となる。 $\tan \theta = 1/4$ の場合、すべての F_1 , γ/d_1 に対して U_m の減衰状況は、壁面噴流の場合より大きく、type A, B の跳水が形成され、流速の減衰に対する表面渦の効果が認められ、自由跳水の減衰状態に近い。 $\tan \theta = 1/2$ の場合、 $F_1 \geq 6.5 \sim 7$ の範囲では、流速の減衰状況は壁面噴流の場合より大きく、type A の跳水が形成される。 $F_1 \leq 6 \sim 6.5$ の範囲では、 U_m の減衰状況は壁面噴流の場合と同様^(注1)であり、表面渦の効果はないものと考えられる。このように壁面噴流と同様の減衰状況を示す場合は、跳水長を定めることはできず、跳水としてではなく、壁面噴流に近い現象として取扱われる。 $\tan \theta \approx 1/2$ の type B の場合、すべての F_1 に対して U_m は壁面噴流の場合より大きな減衰を示し、流速の減衰に対して表面渦の効果が認められる。

流速の減衰に対して表面渦の効果が認められる場合について、 U_m の減衰状況を $(U_m - U_e)/U_1 = f(X/L_0)$ の関係で整理すると図-4となり、 U_m は跳水内で大きく減衰していることが示される。

注1) 跳水長は、跳水始端断面から U_m が流下方向にほとんど変化しなくなる最初の鉛直断面までの長さとする。

2. 跳水内の流速 水路末に垂直な断面の X 方向の流速分布の測定値を $U/U_m = f(\gamma/Y)$ の関係で整理すると、 $0.1 \sim 0.2 \leq X/L_0 \leq 0.6 \sim 0.7$ の範囲では、type A のとき与えられた θ , type B のとき与えられた θ , γ/L (or γ/d_1) に対して、 F_1 , X に無関係に相似な分布が得られ、自由跳水(式(1))、 $k = 0.333$ ^(注2)と壁面噴流(式(2))を示す曲線^(注3)に囲まれた領域にプロットされる。

$$\frac{U}{U_m} = \left\{ \frac{1}{k} \left(\frac{\gamma}{Y} \right) \right\}^{1/2} \quad (0 \leq \frac{\gamma}{Y} \leq k) \quad , \quad \frac{U}{U_m} = \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1.77}{1-k} \left(\frac{\gamma}{Y} - k \right) \right\}^2 \right] \quad (k \leq \frac{\gamma}{Y}) \quad \text{--- (1)}$$

$$\frac{U}{U_m} = 1.48 \left(\frac{\gamma}{Y} \right)^{1/2} \left[1 - \exp(0.68 \frac{\gamma}{Y}) \right] \quad \text{--- (2)}$$

type A の場合、 $\tan \theta \approx 1/2$ のとき壁面噴流と著り跳水の近似曲線(式(1), $k = 0.22$)とに囲まれた領域に、 $\tan \theta \approx 1/4$ のとき著り跳水の近似曲線に、さらに θ が 0 に近づくとき自由跳水の分布曲線に近づく(図-5, 6)。また、 U_m の減衰状況が壁面噴流と同様の場合($\tan \theta \approx 1/2$, $F_1 \leq 6 \sim 6.5$)は、無次元化流速分布の実験値は壁面噴流の場合の曲線に近づく。type B の場合、 $\tan \theta \approx 1/2$ の無次元化流速分布は、跳水が傾斜面上に来る割合 γ/L によって変化し、実験値は $\gamma/L < 0.1 \sim 0.25$ のとき自由跳水の曲線に、 $\gamma/L = 0.3 \sim 0.6$ のとき著り跳水の近似曲線にほぼ一致し、 γ/L が 1 に近づくとき著り跳水と壁面噴流の曲線に囲まれた領域にプロットされる。 $\tan \theta = 1/4$ における無次元化流速分布の実験値は、すべての γ/L の値に対して、自由跳水の曲線と著り跳水の近似曲線に囲まれた領域にプロットされる。

なお、 Y の変化について $Y/d_1 = f(X/d_1)$ の関係で資料を整理すると、 $\tan \theta = 1/2$ の場合、type A, B 共に著り跳水の場合の近似式(3)に近い変化を示し、 $\tan \theta = 1/4$ の場合、type A, B 共に自由跳水の場合の式(4)に近い変化を示している(図-7, 8 図中、実線は式(3), (5)、破線は壁面噴流、一点鎖線は式(4), (6)を示す)。

$$Y_{d1} = 0.114 (x/d_1) \quad \text{--- (3)}$$

$$Y_{d1} = (0.330/\sqrt{F_1}) (x/d_1) \quad \text{--- (4)}$$

y_1 の変化について $y_1/d_1 = f(x/d_1)$ の関係で資料を整理すると図-7, 8 となり、type A, B 共に $\tan \theta = 1/2$ の場合は着跳水の近似式(5)に、 $\tan \theta = 1/4$ の場合は自由跳水の場合の式(6)に近い変化を示す。

$$y_1/d_1 = 0.025 (x/d_1) \quad \text{--- (5)}$$

$$y_1/d_1 = (0.110/\sqrt{F_1}) (x/d_1) \quad \text{--- (6)}$$

このように近似的に相似な流速分布曲線が得られるための条件を運動方程式、連続の式に基き検討すると、式(7)~(9)が成立する必要がある。

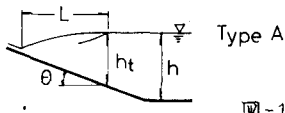
$$Y \propto x \quad \text{--- (7)}, \quad u_m \propto x^a \quad \text{--- (8)}, \quad (\tan \theta - \frac{dh}{dx}) / (u_m / \sqrt{gY \cos \theta})^2 = \text{const} \quad \text{--- (9)}$$

また、式(8)の指数 a は、運動方程式を 0 から x まで積分することにより、次のように示される。

$$a = -1/2 - (\frac{dh}{dx} - \tan \theta) / 12 (\frac{u_m}{\sqrt{gY \cos \theta}})^2 (\frac{dx}{Y}) \int_0^{\text{const}} (\frac{u_m}{u_m})^2 dL \quad \text{--- (10)} \quad (Y = y/Y)$$

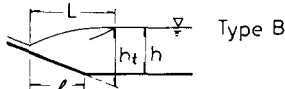
これより、一般に $a < -1/2$ であるが、 $u_m / \sqrt{gY \cos \theta}$ の値が大きい範囲、あるいは、 θ が大きく水面が水平に近く $dh/dx \approx \tan \theta$ の場合は、 $a \approx -1/2$ となることが理解される。

実験によると ($\tan \theta \approx 1/4, 1/2$)、 $0.1 \sim 0.2 \leq x/d_0 \leq 0.6 \sim 0.7$ の範囲では、式(7)が成立し(図-7, 8)、式(8)の a は $a \approx -1/2$ であり、 $dh/dx \approx \tan \theta$ である。したがって、この範囲において、式(7)~(9)を満足し、相似な分布曲線が得られたものと解釈される。



Type A

図-1



Type B

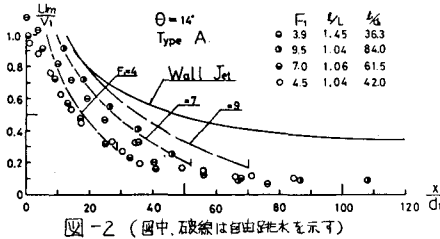


図-2 (图中、破線は自由跳水を示す)

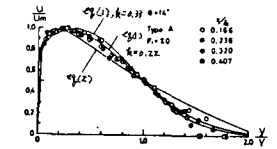


図-5

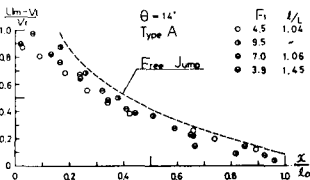


図-4

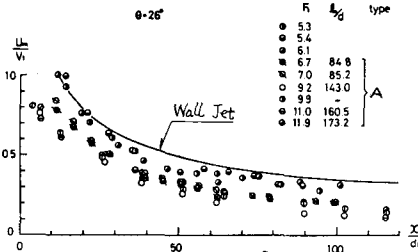


図-3

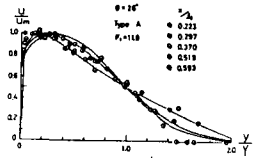


図-6

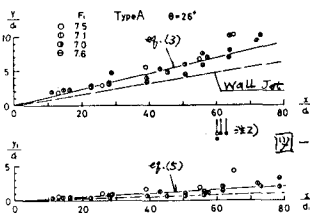


図-7

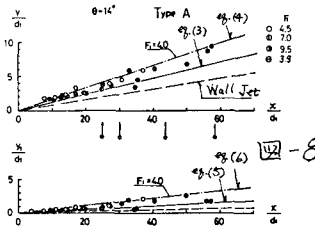


図-8

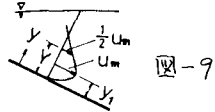


図-9

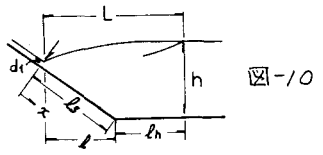


図-10

(文献)

- (1) Rajaratnam, N.: "Flow characteristics of sloping channel jumps", Proc. ASCE, HY6, June, 1974
- (2) 栗津, 大津, 藤巻: "傾斜水路の跳水について", 第4回, 工学論文集, II-382, 1979
- (3) 栗津, 大津, 井上: "傾斜水路の跳水について(2)", 第5回, 工学論文集, II-229, 1980
- (4) 栗津, 大津, 藤巻: "跳水内へ流涎について", 第6回, 工学論文集, 研究発表会, II-55, S.54, 1
- (5) 大津: "台形および長方形断面水路の自由跳水と1替り跳水", 工学論文集, 第246号, 1976
- (6) 大津, 布: "傾斜水路の跳水", 日大(工) 研究報告, S.52

(記号)

- H_1 : 跳水領域の水路床最低部を基準面としたときの跳水始端の全水深
 - H_L : 跳水による損失水深
 - F_1 : 跳水始端のフルード数 ($= u_1 / \sqrt{g d_1 \cos \theta}$)
 - u_1 : y_1 (y: 単位巾流量)
 - u_0 : y_0
 - l_0 : 跳水始端から跳水終端までの水路床に沿った長さ ($= l_0 + l_n$)
- その他 図-9, 10 参照