

II-231

傾斜水路における射流から常流への遷移

日大理工 正員 栗津清蔵
日大理工 正員 大津岩夫
日大理工 正員 安田陽一
日大理工(院)学員○松本正浩

前報では水平水路に接続する傾斜水路における内部の流速減衰状況および跳水の形成条件について明らかにした^{1)~3)}。ここでは、内部の流速特性に基づき一様な傾斜水路における跳水の形成条件を明らかにした。また、2次元壁面噴流として取り扱われる条件を明らかにした。

最大流速の減衰状況と流況の説明：一様な傾斜水路において射流から常流へ遷移する流れの流況は、以下に述べるが、表1のように分類される。

与えられた F_1, θ に対する各流況の内部の流速減衰状況を調べるため、水路床に垂直な断面における最大流速 U_m を $U_m/v_1=f(x/d_1)$ の関係で整理すると図1~3のように示される。ここに d_1 は遷移部始端での水路床に垂直な射流水深、 v_1 は遷移部始端での平均流速($v_1=Q/Bd_1$; Q 流量, B 水路幅)、 F_1 は遷移部始端でのフルード数($F_1=v_1/\sqrt{g d_1 \cos \theta}$)、 h_d は水路水平部における下流水深、 l_0 は水路床に沿った跳水の長さ、 h_1 はD型跳水の終端水深である(記号:表1および図8参照)。

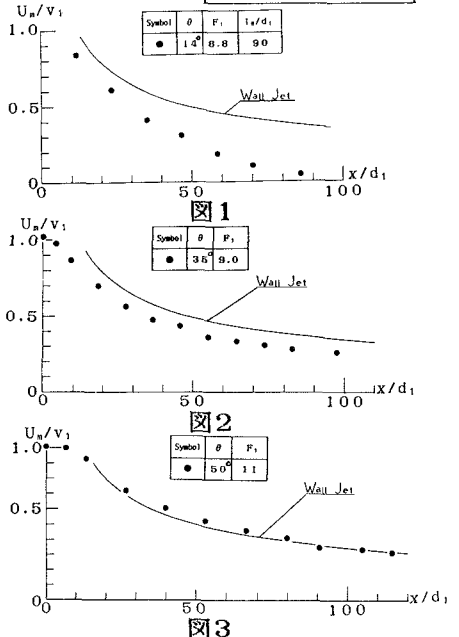
最大流速 U_m の減衰が2次元壁面噴流⁴⁾と同様な傾向を示す場合、流速の減衰に対する表面渦の効果はほとんどなく、流況は2次元壁面噴流として取り扱われる。しかし、 U_m が壁面噴流の場合よりも十分に減衰する場合、流速の減衰に対する表面渦の効果が大きく、跳水の形成が認められる。

傾斜角 θ が $0^\circ \leq \theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$ の場合、傾斜面上に顕著な表面渦が形成される(表1(a))。この場合、図1に示されるように、 U_m は短区間で十分に減衰する(なお、図中実線は壁面噴流の場合⁴⁾($U_m/v_1=3.5/\sqrt{x/d_1}$)を示す)。すなわち、流速の減衰に対する表面渦の効果は大きく、跳水の形成が認められる(これはD型跳水と呼ばれている)。ここで、D型跳水の終端断面は U_m が十分に減衰し、 U_m の流下方向への変化が急に小さくなった鉛直断面として定めた。なお、終端断面では、水路床に沿うジェットが上向きとなり、底面近くの流速は非常に小さくなっている。一方、 $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$ の場合、表面渦は顕著でなくなり、ジェットは下流側遠方まで水路床に沿うようになる。この場合、 θ が大きくなるほど流速の減衰に対する表面渦の効果は小さくなる。すなわち、 θ が $22^\circ \sim 23^\circ < \theta \leq 40^\circ \sim 45^\circ$ の場合、図2に示されるように、 U_m は十分に減衰されず、 U_m の流下方向への変化も小さい。また、 $\theta > 40^\circ \sim 45^\circ$ の場合、図3に示されるように U_m の減衰は2次元壁面噴流の場合⁴⁾($U_m/v_1=3.5/\sqrt{x/d_1}$; 図中実線)と同様になる。従って、 $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$ の場合、跳水終端断面を定めることが困難である。以上のように、 $\theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$ でD型跳水の形成が認められるが、 $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$ で跳水の形成が認められなくなる。また、 $\theta > 40^\circ \sim 45^\circ$ で、2次元壁面噴流として取り扱われる。

流速分布：水路床に垂直な断面の x 方向の流速 u の実験値を $u/U_m=f(y/Y)$ の関係で整理すると、 $\theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$ の場合(D型跳水の場合) $0.1 \sim 0.2 \leq x/l_0 \leq 0.6 \sim 0.7$ の範囲で、与えられた θ に対して F_1, x に無関係に相似な分布が

表1

Uniform sloping channels	
a) $0^\circ < \theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$	
b) $22^\circ \sim 23^\circ < \theta \leq 40^\circ \sim 45^\circ$	
The formation of jump is not recognized.	
c) $\theta > 40^\circ \sim 45^\circ$	
The formation of jump is not recognized.	



得られ、水平水路の自由跳水の場合⁵⁾ (略:F.J.;式(1);
 $n=7, k=0.333, Y/d_1=0.370/\sqrt{F_1} x/d_1, y_1/d_1=0.130/\sqrt{F_1} x/d_1$)と同様になる(図4)。ここで、 Y は $u=U_m/2$
 $(du/dy<0)$ 、 y_1 は $u=U_m$ となる y の値であり、 $k=y_1/Y$
 である。

$$\left. \begin{aligned} u/U_m &= \{(1/k)(y/Y)\}^{1/n} \quad (0 < y/Y < k) \\ u/U_m &= \exp[-1/2\{1.177/(1-k)(y/Y-k)\}^2] \\ &\quad (k \leq y/Y \leq 1.5) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

また、 Y, y_1 の変化についてもF.J.と同様になる(図5, 6)。

$\theta > 40^\circ \sim 45^\circ$ の場合、 u の分布、 Y および y_1 の変化は壁面噴流の場合^{4), 5)} (略:W.J.;式(2); $Y/d_1=0.080 x/d_1, y_1/d_1=0.0128 x/d_1$)と同様になる(図4, 5, 6)。

$$u/U_m = 1.48(y/Y)^{1/7} \{1 - \operatorname{erf}(0.68 y/Y)\} \quad (2)$$

$22^\circ \sim 23^\circ < \theta \leq 40^\circ \sim 45^\circ$ の場合、 u, Y および y_1 の実験値はF.J.の場合とW.J.の場合とに囲まれた領域にプロットされる(図4, 5, 6)。

壁面せん断応力: 壁面壁面せん断応力 τ_0 の実験値を $\tau_0/(1/2 \rho v_1^2) = f(x/d_1)$ の関係で整理した一例を図7に示す。 $\theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$ の場合、 τ_0 は自由跳水の場合⁵⁾に近づく。 $\theta > 40^\circ \sim 45^\circ$ の場合、壁面噴流の場合⁶⁾ (图中破線で示す)と同様になる。

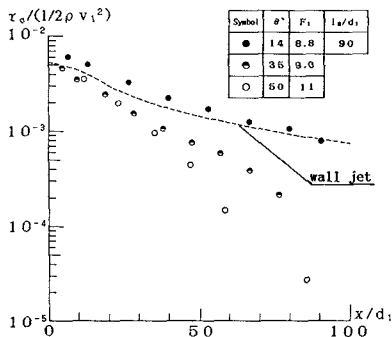


図7

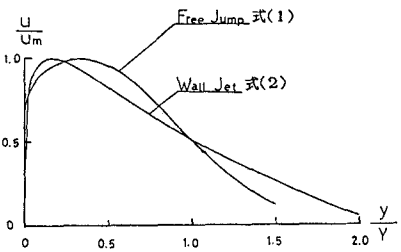


図4

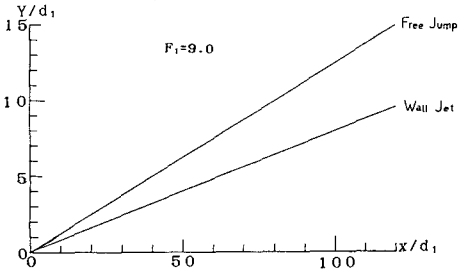


図5

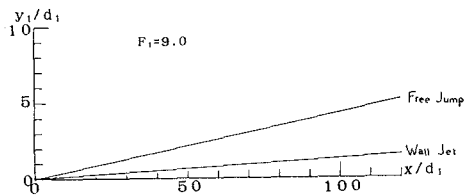


図6

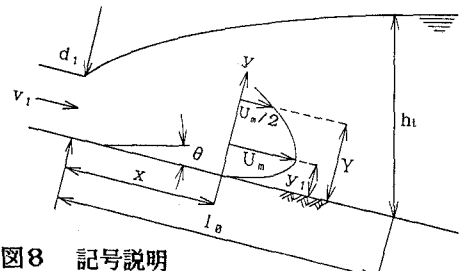


図8 記号説明

参考文献:

1. 粟津, 大津, 安田; 水平水路に接続する傾斜水路からの流れ, 第44回土木学会年講, 1989, II-174
2. 粟津, 大津, 安田, 松本; 傾斜水路の跳水, 第44回土木学会年講, 1989, II-175
3. Ohtsu, I., Yasuda, Y.; Discussion of "B-jump in sloping channel", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 28, 1990, No. 1
4. Rajaratnam, N., Turbulent Jets, Developments in Water Science 5
5. Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Awazu, S., Free and Submerged Hydraulic Jumps in Rectangular Channels, Report of the Research Institute of Science and Technology, Nihon University, No. 35, 1990
6. Myers, G. E., Schauer, J. J., and Eustis, R. H., Plane Turbulent Wall Jet Flow Development and Friction Factor, Journal of Basic Engineering, Trans. of the ASME, March 1963