

II-174

水平水路に接続する傾斜水路からの流れ

日本大学 理工学部 正員 粟津 清蔵  
 日本大学 理工学部 正員 大津 岩夫  
 日本大学 理工学部 正員○安田 陽一

**まえがき** 従来、傾斜水路における跳水についていくつかの研究がなされているが、跳水の形成条件および跳水内部の流速減衰状況については不明な点が多い。ここでは水路傾斜角  $0^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$  の広範囲な傾斜角のもとで、傾斜水路における跳水の形成条件について系統的検討を加えた。すなわち、傾斜水路において射流から常流へ遷移する流れの流況を内部の流速減衰状況に基づき分類した。さらに、傾斜角が大きくなると、主流の流線が水路接合部近くで大きく曲げられ、流速の減衰に対する水路接合部の影響が大きくなることを示した。

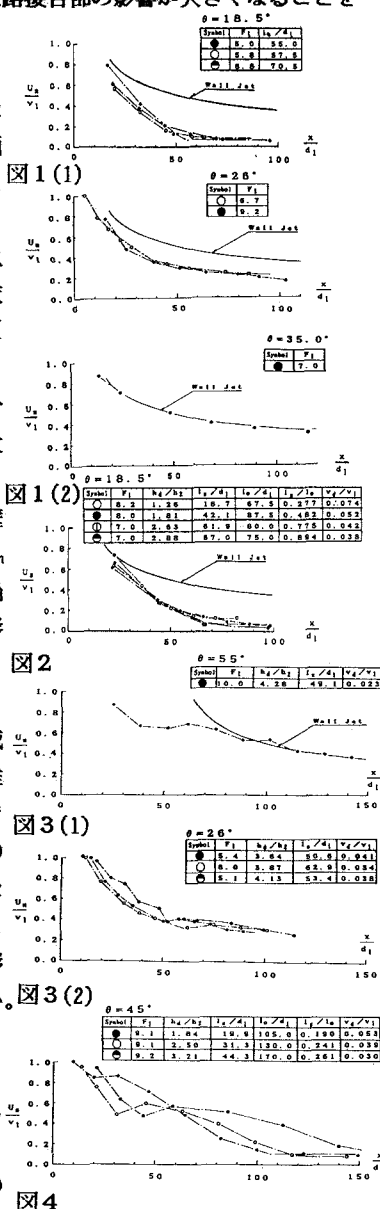
**最大流速の減衰状況と流況の説明**

遷移部始端を原点とし、水路床に沿った長さを  $x$  とする。与えられた  $F_1$ ,  $\theta$ ,  $h_d/d_1$  に対する流速の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1~5のように示される。ここに、 $v_1$  は跳水始端での平均流速 ( $v_1 = Q/Bd_1$ ;  $Q$  流量,  $B$  水路幅),  $F_1$  は跳水始端のフルード数 ( $F_1 = v_1/\sqrt{gd_1 \cos \theta}$ ),  $v_d$  は跳水終端での平均流速 ( $v_d = Q/h_d B$ ),  $l_s$  は跳水始端から接合部までの水路床に沿った長さ、 $l$  は水路床に沿った跳水の長さ、 $h_2 = d_1(\sqrt{8F_1^2 \cos^2 \theta + 1} - 1)/2$ ,  $d_1$  は水路床に垂直方向の跳水始端水深である(表1参照)。

A) **D型跳水** 水路傾斜角  $\theta$  が  $0^\circ < \theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$  で下流水深  $h_d$  が十分に大きい場合、傾斜面上で顕著な表面渦が形成される。この場合、最大流速  $U_m$  は短区間で十分に減衰し、 $U_m$  の減衰に対する表面渦の効果が大きくD型跳水の形成が認められる(一例を図1(1)に示す。図中実線は壁面噴流の場合<sup>1)</sup>  $U_m/v_1 = 3.50(x/d_1)^{-0.50}$  を示す) なお、跳水終端断面は  $U_m$  が十分に減衰し、 $U_m$  の流下方向への変化率が急に小さくなった最初の鉛直断面である。また、この断面では水路床に沿うジェットが表面渦の影響によって上向きとなり、底面近くの流速も非常に小さくなっている。一方、 $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$  で  $h_d$  が十分に大きい場合、表面渦が顕著でなくなり、ジェットが下流側遠方まで水路床に沿うようになる。この場合、 $U_m$  の減衰に対する表面渦の効果が小さく、遷移部終端断面を定めることが困難となる。例えば、図1(2)に示されるように、 $22^\circ \sim 23^\circ < \theta < 30^\circ$  では、 $U_m$  が十分に減衰されず、 $U_m$  の流下方向への変化も小さくなる。このため、遷移部終端断面を定めることが困難となる。また、 $\theta \geq 30^\circ$  になると、 $U_m$  の流下方向への減衰は壁面噴流の場合<sup>1)</sup>(図1(2)実線)と同様となる。これらのことから、 $0^\circ < \theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$  の場合、D型跳水の形成が認められるが、 $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$  の場合は跳水の形成が認められない。すなわち、 $\theta = 21^\circ \sim 22^\circ$  はD型跳水の形成限界である。

B) **B型跳水**

1)  $0^\circ < \theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$  の場合 水平水路に自由跳水が形成されている状態から下流水深  $h_d$  を大きくすると、顕著な表面渦が傾斜面と水平面とにまたがって形成される。この場合、 $U_m$  は短区間で十分に減衰し、 $U_m$  の



減衰に対する表面渦の効果が大きく、B型跳水の形成が認められる(一例を図2に示す。図中、実線は壁面噴流の場合を示す)。なお、 $0^\circ < \theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$  の場合のB型跳水においては、 $l_s/l_e$  が1に近づくにつれて、流況はD型跳水の場合に近づく。また、与えられた $F_1$ 、 $\theta$ に対して、跳水終端が水路接合部に一致するときの跳水終端水深はD型跳水の終端水深 $h_t$ と一致する。

2)  $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$  の場合  $\theta > 22^\circ \sim 23^\circ$  において主流の流線が水路接合部近くで大きく曲げられ、接合部下流で $U_m$ の加速領域が存在するようになる(図6)。このことは $\theta$ が大きいかほど顕著となり、ジェットが水路接合部近くの衝突領域を経て、下流側で再発達するようになる(図7)。下流水深 $h_d$ の大小によって流況は次のように分類される。

a)  $h_d/h_2 > 3.0 \sim 3.2$   $h_d$ が十分に大きく、 $\theta$ が大きい場合、再発達したジェットの流速減衰状況が衝突噴流による壁面噴流の場合<sup>3)</sup>と同様な傾向を示す。例えば $\theta = 55^\circ$  の場合、図3(1)に示されるように、 $U_m$ の流下方向の減衰は鉛直衝突噴流による壁面噴流の場合<sup>3)</sup>(図中、実線; $U_m/U_0 = 3.84(x_1/b_0)^{-0.52}$  ( $H/b_0 = 40$  の場合)ここに、 $U_0$ は噴出速度、 $x_1$ は衝突点からの水平長さ、 $H$ は吹出口から衝突点までの垂直距離、 $2b_0$ は吹出口の幅である。ここでは $U_0 = v_1$ 、 $x_1 = x - l_s$ 、 $b_0 = d_1$ 、 $H = l_s$ としている)と同様な傾向を示す。また、 $22^\circ \sim 23^\circ < \theta < 55^\circ$  の場合、図3(2)に示されるように $U_m$ が十分に減衰せず、 $U_m$ の流下方向への変化も小さくなる。このため、遷移部終端断面を定めることが困難となる。すなわち、 $U_m$ の減衰に対する表面渦の効果はほとんどなく、跳水の形成が認められない。

b)  $1.6 \sim 1.8 < h_d/h_2 \leq 3.0 \sim 3.2$  この範囲では、顕著な表面渦は観察されないが、大きな渦が傾斜面と水平面とにまたがって形成される。この場合、 $U_m$ は水路接合部の影響を大きく受け、 $U_m$ の減衰に要する流下距離 $x/d_1$ が長くなる。しかしながら、傾斜面と水平面とにまたがって大きな渦が形成されているため、 $U_m$ は十分に減衰し、B型跳水の形成が認められる(一例を図4に示す)。なお、跳水終端断面は接合部下流側で $U_m$ が十分に減衰し、 $U_m$ の流下方向への変化率が急に小さくなった最初の鉛直断面である。

c)  $h_{2*}/h_2 \leq h_d/h_2 \leq 1.6 \sim 1.8$  この範囲では、顕著な表面渦が傾斜面と水平面とにまたがって形成される。この場合、 $U_m$ は水路接合部の影響を大きく受け、短区間で十分に減衰する。すなわち、 $U_m$ の減衰に対する表面渦の効果が大きく、B型跳水の形成が認められる(一例を図5に示す)。なお、 $h_{2*}$ は跳水始端が接合部に位置するときの下流水深である。

以上のことから、傾斜水路における射流から常流へ遷移する流れのフロー・パターンは表1のように分類される。

なお、B型跳水のうち、顕著な表面渦が形成され、 $U_m$ が短区間で減衰する場合Type B-1、表面渦は顕著でなく、 $U_m$ の減衰に要する流下距離が長い場合をType B-2とする。

θ = 45°	$F_1$	$h_2/h_1$	$l_s/d_1$	$h_0/d_1$	$l_1/d_1$	$l_2/d_1$	$U_m/U_0$
○	2.3	1.08	7.2	9.2	21.0	27.0	0.880
○	2.4	1.54	13.8	7.6	0.183	0.045	
○	2.1	1.77	17.4	9.5	0.183	0.055	

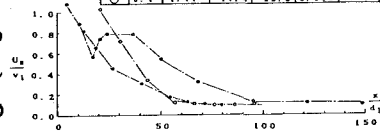


図5

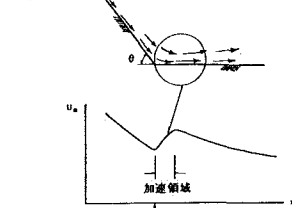


図6

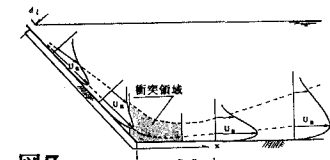


図7

表1

傾斜角度 $\theta$	傾斜水路における射流から常流へ遷移する流れの流況
$0^\circ < \theta \leq 21^\circ \sim 22^\circ$	<p><math>h_t/h_2 &lt; h_d/h_2</math> D型跳水</p>
$22^\circ \sim 23^\circ$	<p><math>h_{2^*}/h_2 (\approx 1) \leq h_d/h_2 &lt; h_t/h_2</math> B型跳水: Type B-1</p>
$< \theta \leq 55^\circ$	<p><math>h_{2^*}/h_2 \leq h_d/h_2 \leq 1.6 \sim 1.8</math> B型跳水: Type B-2</p>
	<p><math>h_d/h_2 &gt; 3.0 \sim 3.2</math> 跳水の形成が認められない流況</p>

参考文献)

- 1) Rajaratnam, N., Turbulent Jets, Developments in Water Science 5, p. 218
- 2) 小松, 噴流の流体力学的研究, 日大理工研究所報, 36号, 1970 (あるいは、文献1) pp. 231-239 (谷, 小松)
- 3) Rajaratnam, N., Plane Turbulent Impinging Jets, Jour. of Hy. Res., Vol. 11, No. 1, 1973, pp. 29-59
- 4) 高藤ら, 衝突および再接触噴流による壁面噴流, 山口大(工)研究報告, 28巻, 1号, 1977, pp. 31-42