

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  
 パシフィック コングレガツィオン 正 〇 巖 田 哲 義

従来、開水路段落部の実験的研究については、常流を対象とした多くの研究がなされている。しかしながら、段落部で射流から常流へと遷移する場合の研究は、僅かしか行われていない。段落部における流況の上・下流側の水理条件によってどのように変化するかについて十分に解明されたとはいえず、水工設計上しばしば問題となっている。ここでは、段落部において射流を経て常流へと遷移する場合、および段落上流側が射流で段落部において常流へと遷移する流況の特性を実験的に検討する。(実験条件を表1に示す。)

**流況** 段落部において射流から常流へと遷移する流れの流況は、段落高さ  $W/h_1$ 、射流のフルード数  $F_1$ 、下流水深  $h_2/h_1$  によって種々変化する。

与えられた  $W/h_1$  と  $F_1$  に対して  $h_2/h_1$  を変化させると図1-(a)~(d)に示すような流況が形成される。図1-(a)は跳水始端が段落上流側にあり、跳水の表面渦の大部分は段落上流側で形成される場合で、これをUJ (The jump forms upstream from the step) と呼ぶことにする。

図1-(b)はUJより  $h_2/h_1$  が低くなると生じ、段落下流直前に大きな渦が形成される流況で

これをLSW (large single wave) と呼ぶことにする。図1-(c)はLSWから  $h_2/h_1$  を下げると生じ、波状水面を呈する流況でこれをWT (wave train) と呼ぶことにする。図1-(d)はWTからさらに  $h_2/h_1$  を下げると生じ、最大流速  $u_m$  が水路床付近にある流況でこれをDJ (The jump forms downstream from the step) と呼ぶことにする。

**水深比の関係式** 図2-(a)に示す断面I~II間をコントロール・ボリュームに選び、運動量方程式と連続の式を適用すると式(1)が得られる。

$$P_1 + P_w - P_2 = (\rho g / 2) \{ (1/2) h_2^3 - (1/2) h_1^3 \} \quad (1)$$

ただし、壁面摩擦力は無視し、各断面で水圧は静水圧分布するものとし、運動量係数  $\beta = 1$  とする。

式(1)を無次元化して整理すると式(2)となる。

$$F_1^2 = \frac{(h_2/h_1)^3 + (W/h_1)^3 - 2(h_2/h_1)(W/h_1) - 1}{2 \{ 1 - 1/(h_2/h_1) \}} \quad (2)$$

図2-(b) ( $h_w = h_2$ ) の場合、式(2)は式(3)となる。

$$F_1^2 = \frac{(h_2/h_1 - W/h_1)^2 - 1}{2 \{ 1 - 1/(h_2/h_1) \}} \quad (3)$$

図2-(c) ( $h_w = W + h_1$ ) の場合、式(2)は式(4)となる。

$$F_1^2 = \frac{(h_2/h_1)^2 - (1 + W/h_1)^2}{2 \{ 1 - 1/(h_2/h_1) \}} \quad (4)$$

次に、図2-(d)のようにナッパ下流直前に渦が存在する場合、式(1)で  $P_w = (\rho g d^3) / 2$  となり、式(5)が得られる。(  $h_w = d$  とする。)

$$F_1^2 = \frac{(h_2/h_1)^3 - (d/h_1)^3 - 1}{2 \{ 1 - 1/(h_2/h_1) \}} \quad (5)$$

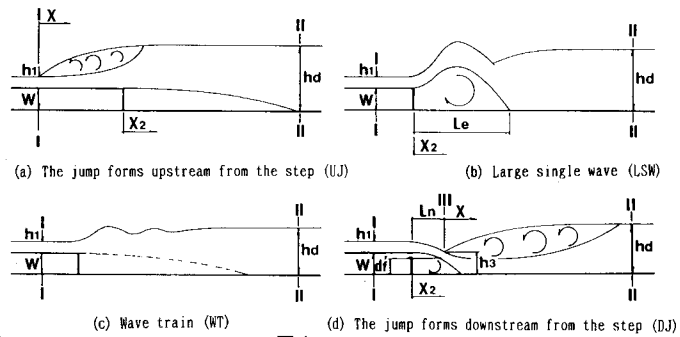


図1

表1

$W/h_1$	0.99 - 10.04
$F_1$	1.00 - 5.16

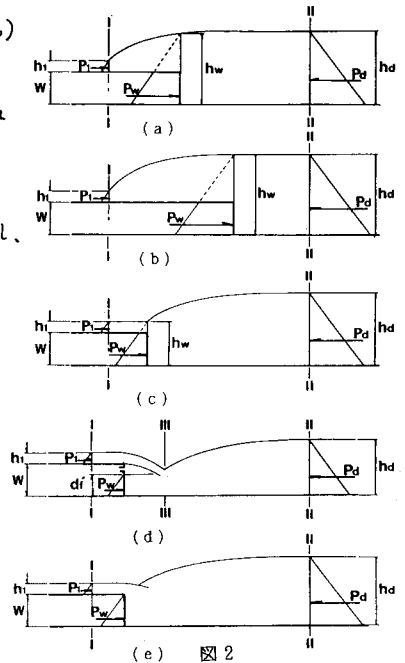


図2

$d_f \rightarrow W$  の場合、式(5)は式(4)となる。(図2-(e))

$$F_1^2 = \frac{(hd/h_1)^2 - (W/h_1)^2 - 1}{2 \left\{ 1 - 1/(hd/h_1) \right\}} \quad (6)$$

流況の分類 与えられた  $W/h_1$  と  $F_1$  に対する各タイプ<sup>2</sup>の形成領域( $hd/h_1$ )

の一側を図3に示す。图中、一点線は式(3) ( $hw = hd$ )、点線は式(4) ( $hw = W + h_1$ )、実線は式(6) ( $hw = W$ )、破線は  $hd/h_1 = h_2^*/h_1$  を示し、 $h_2^*/h_1$  は図2-(f)の断面I-O間でのエネルギー損失を無視してベルヌーイの定理を適用して得た式(7)

$$W/h_1 = (F_1^2/2) \left\{ 1/(hd/h_1)^2 - 1 \right\} + (hd/h_1) - 1 \quad (7)$$

および、 $h_2^*/h_1 = (\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1)/2 = (\sqrt{8F_1^2/(hd/h_1)^2 + 1} - 1)/2$  から求める。

UJは○印より高い  $hd/h_1$  で生じ、UJの形成下限は式(3)とほぼ一致している。なお、式(3)を  $(hd-W)/h_1 = f(F_1, W/h_1)$  の関係で表示すると、 $W/h_1$  にはあまり影響されず、 $(hd-W)/h_1 = f(F_1)$  で表示される。(図4)

LSWが形成される  $hd/h_1$  は○印で示され、UJからLSWへ移行したときの  $hd/h_1$  とWTからLSWへ移行したときの  $hd/h_1$  はほぼ同一である。LSWが形成される場合、実験値を  $(hd-W)/h_1 = f(F_1)$  で整理すると良い相関が得られ、実験式(8)で示される。(図5)

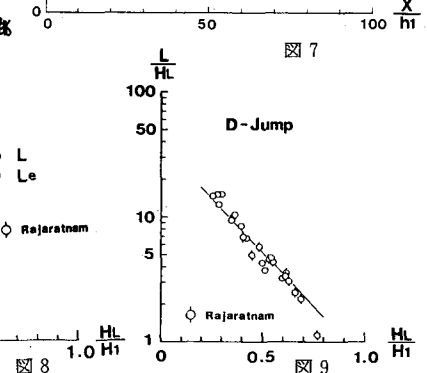
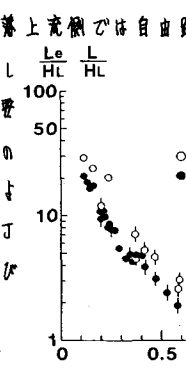
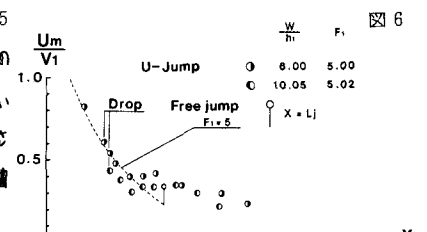
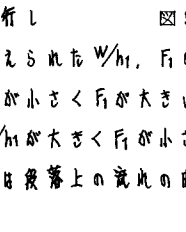
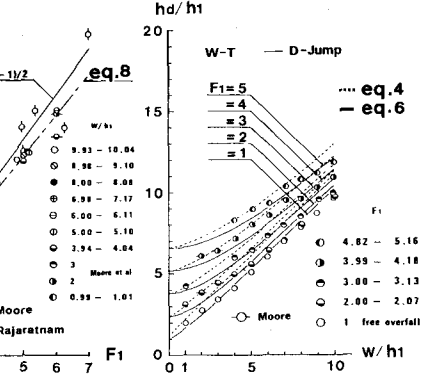
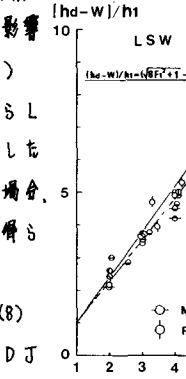
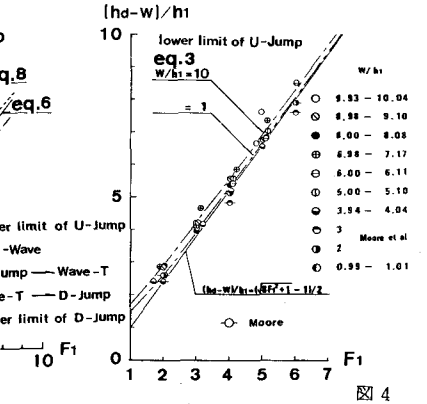
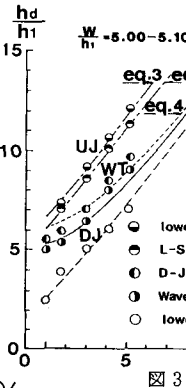
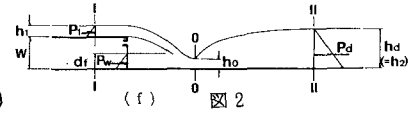
$$(hd-W)/h_1 = 1.269 F_1 - 0.269 \quad (8)$$

WTはLSWとDJの間で  $hd/h_1$  で生じ、WTからDJへ移行したときの  $hd/h_1$  (○印)とDJからWTへ移行したときの  $hd/h_1$  (●印)の値には差がある。なお、与えられた  $W/h_1$ 、 $F_1$  のもとでWTからDJへ移行したときの  $hd/h_1$  は、 $W/h_1$  が小さく  $F_1$  が大きいほど式(4) ( $hw = W + h_1$ ) から求めた値に近づき、 $W/h_1$  が大きく  $F_1$  が小さいほど式(6) ( $hw = W$ ) から求めた値に近づく。これは段落下の流況の直率の結果のためと考えられる。(図6)

遷移領域の長さとの流速特性 UJの場合、 $U_m$ は段落下直前で自由流水の場合と同様に減少するが、段落下直後は徐々にしか減少せず、流速の減少にはかなり下流まで長さが必要(図7)。LSWの場合、直前に形成される渦の長さ  $L_e$ 、および  $U_m$ の減少に必要な長さ  $L$  は、図8のようになり、 $L/H_L = f(H_L/H_1)$  の関係で示される。DJの場合、 $U_m$ の減少に必要な長さ  $L$  は自由流水、および滞り流水の場合の式(9)とほぼ一致する。(図9)

$$L/H_L = -1.71(H_L/H_1) + 1.58 \quad (9)$$

なおWTの場合、段落下よりかなり下流まで水質の乱れは大きく、水工設計上WTの形成は好ましくない。



記号  
B: 水輪槽  
h: 段落下の射流水深  
F1: 段落下の射流のフルード数 ( $F_1 = V_1 / \sqrt{g h_1}$ )  
X: 取水始端からの水平座標軸(図1)  
X0: 段落下直前からの水平座標軸(図1)  
d: under nappe depth  
d':  $h_2 > h_1$  の場合の  $d_2$

参考文献  
1. En-Yun Hsu et al: Discussion on "Control of the Hydraulic jump by Sills" by J.W Forster et al Trans. ASCE vol. 115 1950  
2. W. L. Moore et al: Hydraulic Jump at Abrupt drops, Trans. ASCE, Vol. 124, 1959  
3. 大津忠夫: 堰段落下時の取水について 昭和55年度日本大学理工学部学術講演会論文集  
4. 須津, 大津, 春日: 段落下直前の流況について(2) 土木学会第41回年報  
5. 大津忠夫: 台形および長方形断面水路の自由流水および滞り流水, 土木学会論文報告集第 246号, PP57-72, 1976  
6. W. Rajaratnam et al: Hydraulic jumps and waves at abrupt drops, HY4, 1977 April