

# II-308

## 段落部における射流から常流への遷移

日大 理工 正員 大津 岩夫  
日大 理工 正員 安田 陽一  
日大 理工 学生員 羽柴 秀樹

段落部における射流から常流へ遷移する流れを知ることは水工設計上必要である<sup>1),2)</sup>。最近、広範囲な段落高さ ( $0.45 \leq s/h_1 \leq 20$ ;  $s$ : 段落高さ,  $h_1$ : 段落上の射流水深) のもとで系統的検討が加えられ、流況の分類、低段落水路および高段落水路の定義、流況の成因、および各流況が形成されるための水理条件が明らかにされた<sup>1)</sup>。ここでは、段落上のフルード数  $F_1$  を拡張し ( $1 \leq F_1 \leq 7$ )、各流況が形成されるための水理条件について論ずる。

**流況** 段落部において射流から常流へ遷移する流れの流況は表1のように分類される<sup>1)</sup>。

**各流況が形成されるための水理条件** 段落上の流れが射流で段落下流側で常流へと遷移する場合、運動量方程式から式(1)が得られる<sup>1),3)</sup>。

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

ここで、 $F_1 = v_1 / \sqrt{gh_1}$ ,  $h_2$  は下流水深、 $k$  は段落面に作用する実際の圧力と静水圧との比である。

各流況における  $k$  の値 (段落面に作用する圧力) を知ることで、各流況が形成されるための水理条件  $h_2/h_1 = f(F_1, s/h_1)$  が式(1)から求められる<sup>1),3)</sup>。

| Low drop ( $0.5 \sim 1.5 \leq s/h_1 \leq 8.0 \sim 9.0$ ) |                            |                                  |                            | High drop ( $s/h_1 \geq 15 \sim 16$ ) |                            |                                  |                            |
|----------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| $F_1 \geq 2.5 \sim 3.0$                                  |                            | $1.0 \leq F_1 \leq 2.5 \sim 3.0$ |                            | $F_1 \geq 2.5 \sim 3.0$               |                            | $1.0 \leq F_1 \leq 2.5 \sim 3.0$ |                            |
| a)                                                       | A-jump                     | f)                               | A-jump                     | g)                                    | A-jump                     | r)                               | A-jump                     |
| b)                                                       | maximum wave               | e)                               | wave train                 | m)                                    | wave train                 | s)                               | wave train                 |
| c)                                                       | wave train                 | h)                               | wave train                 | n)                                    | wave train                 | t)                               | wave train                 |
| d)                                                       | maximum plunging condition | i)                               | maximum plunging condition | o)                                    | maximum plunging condition | u)                               | maximum plunging condition |
| e)                                                       | limited jump               | k)                               | limited jump               | q)                                    | limited jump               | v)                               | limited jump               |

### 低段落水路 ( $0.5 \sim 1.5 \leq s/h_1 \leq 8.0 \sim 9.0$ )

maximum wave (表1 (b)) が形成されるための水理条件は式(1), (2)から求められ、図1一点鎖線で示される<sup>1)</sup>。

$$k = 0.74 (s/h_1)^{-0.61} (F_1 - 1) + 1 \quad (2)$$

$$(2.5 \sim 3.0 \leq F_1 \leq 7.0, 0.5 \sim 1.5 \leq s/h_1 \leq 8.0 \sim 9.0)$$

maximum plunging condition (表1 (d, j)) が形成されるための水理条件は式(1), (3)から求められ、図1実線で示される<sup>1)</sup>。

$$k = 1 - 10^{-0.10F_1 - 0.34} \quad (3)$$

$$(1.0 \leq F_1 \leq 7.0, 0.5 \sim 1.5 \leq s/h_1 \leq 8.0 \sim 9.0)$$

なお、 $1.0 \leq F_1 \leq 2.5 \sim 3.0$  の範囲で、与えられた  $F_1, s/h_1$  に対して、下流水位を上げていくことによって形成される max. plunging condition の下流水深と下流水位を下げっていくことによって形成される max. plunging condition の下流水深に違いが認められる。すなわち、履歴効果が存在する。下流水位を上げていくことによって形成される max. plunging condition は式(1), (4)から求められ、図1破線で示される<sup>1)</sup>。

$$k = 0.637 + 10^{-0.23F_1 - 0.48} \quad (4)$$

$$(1.0 \leq F_1 \leq 2.5 \sim 3.0, 0.5 \sim 1.5 \leq s/h_1 \leq 8.0 \sim 9.0)$$

limited jump (表1 (e, k)) が形成されるための水理条件は式(1), (5)から求められ、図1二点鎖線で示される<sup>1)</sup>。

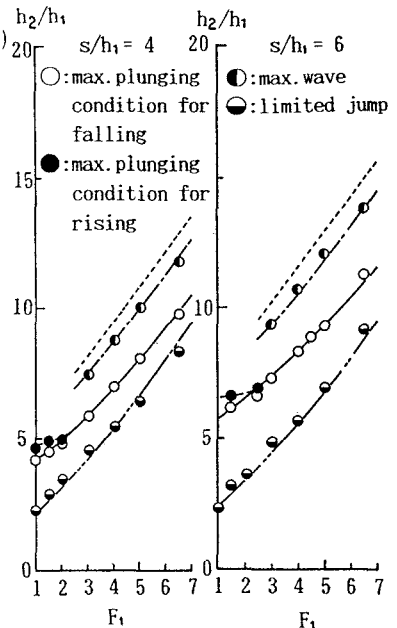


図1

$$k = 0.17 - 10^{(-4.1/(s/h_1)^2 - 0.025) F_1 - 0.85} \quad (5-1)$$

$$(1.0 \leq F_1 \leq 2.5 \sim 3.0, 0.5 \sim 1.5 \leq s/h_1 \leq 8.0 \sim 9.0)$$

$$k = 10^{(0.002 F_1 - 0.011)(s/h_1 - 1)^2 - 0.25 F_1} \quad (5-2)$$

$$(2.5 \sim 3.0 \leq F_1 \leq 7.0, 0.5 \sim 1.5 \leq s/h_1 \leq 8.0 \sim 9.0)$$

#### 高段落水路 ( $15 \sim 16 \leq s/h_1 \leq 20$ )

maximum plunging condition(表1(p,u))が形成されるための水理条件は式(1),(6)から求められ、図2実線で示される<sup>9)</sup>。

$$k = 0.637 + 10^{-0.23 F_1 - 0.48} \quad (6)$$

$$(1.0 \leq F_1 \leq 7.0, 15 \sim 16 \leq s/h_1 \leq 20)$$

なお、 $2.5 \sim 3.0 \leq F_1 \leq 7.0$  の範囲で、与えられた $F_1, s/h_1$  に対して、下流水位を上げていくことによって形成されるmax. plunging condition の下流水深と下流水位を下げていくことによって形成されるmax. plunging conditionの下流水深に違いが認められる。すなわち、履歴効果が存在する。下流水位を上げていくことによって形成されるmax. plunging condition は式(1),(7)から求められ、図2破線で示される。

$$k = 0.82 - 10^{-0.19 F_1 - 0.55} \quad (7)$$

$$(2.5 \sim 3.0 \leq F_1 \leq 7.0, 15 \sim 16 \leq s/h_1 \leq 20)$$

limited jump(表1(q,v))が形成されるための水理条件は式(8)から算出され、図2一点鎖線で示す<sup>1)</sup>。

$$h_2/h_1 = 1.66 F_1^{0.54} (s/h_1)^{0.19} \quad (8)$$

$$(1.0 \leq F_1 \leq 7.0, 15 \sim 16 \leq s/h_1 \leq 20)$$

なお、 $F_1=1$ の場合、式(8)はRandの実験式と一致する。

以上のことから、低段落水路の場合、maximum wave および maximum plunging condition の形成条件を知ることによって、wave trainの形成領域を知ることができる。また、maximum plunging conditionとlimited jumpの形成条件を知ることによって、plunging condition の形成領域を知ることができる。高段落水路の場合、A-jump<sup>9)</sup>(表1(ℓ), 図2点線)とmaximum plunging conditionの形成条件を知ることによって、wave trainの形成領域を知ることができる。また、maximum plunging conditionとlimited jumpを知ることによって、plunging conditionの形成領域を知ることができる。

最後に、ご指導賜った日本大学粟津清蔵教授に謝意を表します。

#### 記号説明

$h_1$  : 段落上の射流水深

$h_2$  : 下流水深、

$q$  : 単位幅流量、

$v_1, v_2$  : 1, 2断面での平均流速

#### 参考文献

1. Ohtsu, I. and Yasuda, Y. (1991) "Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop.", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.29 (to be published).
2. Leutheusser, M. J. and Birk, W. M. (1991) "Drownproofing of low overflow structures." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 117(2).
3. Ohtsu, I. and Yasuda, Y. (1987) Discussion of "Hydraulic jumps at positive and negative steps", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.25, No.3, pp.407-413.
4. Rand, W. (1955) "Flow geometry at straight drop spillways." Journal of Hydraulic Division, ASCE, No.791, pp.1-5.

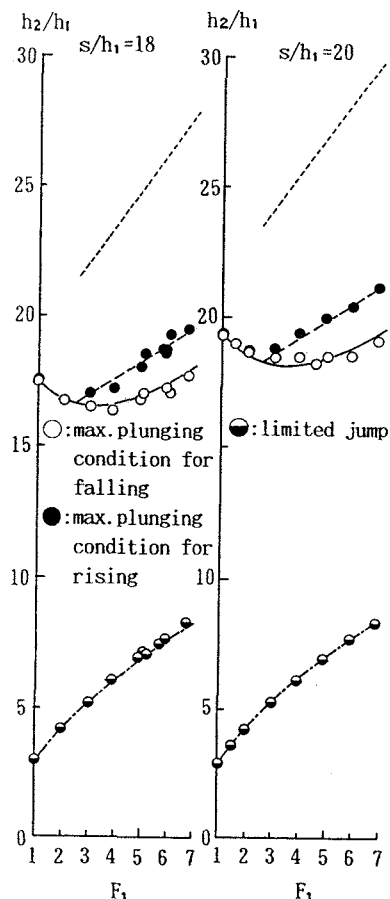


図2