

II-181

段落部における射流から常流への遷移

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 大学院 学生員 ○安田陽一

まえがき

段落部における射流から常流へ遷移する流れを実験的に検討すると、与えられた射流条件に対する下流水深の変化によって、5つの流況に分類される¹⁾(図-1~5)。各流況が形成されるための水理条件を知ることが、水工設計上、必要である。しかしながら、waveが形成されるための水理条件は不明であり、B-jumpが形成されるための水理条件についても、検討の余地がある²⁾。ここでは、ステップ面に作用する圧力に着目した上で、wave、およびB-jumpが形成されるための水理条件を明らかにした。

流況の説明

A-jumpの状態から下流水深を下げると、ある段階で、A-jumpは1つの定常的なwaveに変化する。これをmaximum waveと呼ぶことにする(図-2)。その特徴は段落下流で大きな渦が形成されること、およびその渦の下流側短区間で、流れが一般開水路流れになることである。

max.waveの状態から下流水深を下げるにつれて、waveとwave trainとを区別することが困難となる。さらに、下流水深を下げるにつれて、流況はwave trainからB-jumpへと変化する。この変化した直後のB-jumpをmaximum B-jumpと呼ぶことにする(図-4)。

設計上、wave trainの形成は下流遠方まで、水面の変動が大きい状態であるため、好ましくない。

wave、およびB-jumpが形成されるための水理条件

図-2, 4に示されるように、1, 2断面間の流体をコントロール・ボリュームに選び、運動量方程式を適用する。

$$\rho q (v_2 - v_1) = P_s + P_1 - P_2 \quad (1)$$

ただし、 $P_1 = \rho g h_1^2 / 2$, $P_2 = \rho g h_2^2 / 2$, P_s はステップ面に作用する圧力である。

P_s はステップを通過する主流の流線の曲率の影響を考慮して、次のようにおく。

$$P_s = k \rho g s (h_1 + s/2) \quad (2)$$

ただし、 k はステップ面に作用する実際の圧力と静水圧との比である。式(1), (2)から次式が得られる。

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

与えられた上流の水理条件(F_1 , s/h_1)に対して、下流水深 h_2/h_1 が減少するに従って、ステップを通過する流れが、上向きから下向きへと変化する($k > 1$ から $k = 1$ を経て、 $k < 1$ となる)ことが式(3)から推測される³⁾。

max.waveとmax. B-jumpにおけるステップ面に作用する P_s を知るために、ステップ面の圧力を実測することによって、 k が求められる。この k を k_d とする。一方、式(3)

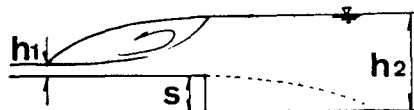


図-1 A-jump



図-2 maximum wave



図-3 wave train

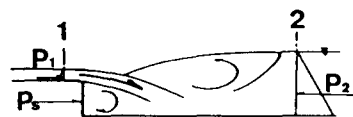


図-4 maximum B-jump



図-5 minimum B-jump

に実験で得た F_1 , s/h_1 , および h_2/h_1 を代入することによって、間接的に k が求められる。この k を k_i とする。 k_d と k_i との比較を図-6に示す。この図から、間接測定によって、直接測定と同一な k が得られることが確かめられる。

k について、次元解析的考察から次式が得られる。

$$k = f(F_1, s/h_1, h_2/h_1) \quad (4)$$

式(3)から、 $h_2/h_1 = f(k, F_1, s/h_1)$ であるから、式(4)は次のように示される。

$$k = f(F_1, s/h_1) \quad (5)$$

式(5)に従って、実験値を整理すると、max.waveの場合、次式が得られる(図-7)。

$$k = 0.723(s/h_1)^{-0.55}(F_1 - 1) + 1 \quad (6)$$

$$(2 \leq F_1 \leq 6, 2 \leq s/h_1 \leq 6)$$

max. B-jumpの場合、次式が得られる(図-7)。

$$k = 1 - 10^{-(0.090F_1 + 0.422)} \quad (7)$$

$$(2 \leq F_1 \leq 6, 2 \leq s/h_1 \leq 6)$$

max.waveが形成されるための水理条件は式(3) , (6)から求められ、図-8の実線で示される。また、max. B-jumpが形成されるための水理条件は式(3) , (7)から求められ、図-8の点線で示される。なお、max. B-jumpを示す線はMorganら⁴⁾によるB-jumpの上限を示す線を満足する。さらに付け加えると、図中、破線は式(3)において $k=1$ (ステップ面に作用する圧力が静水圧分布の状態)を示す。さらに、図中、式(8)はA-jumpを示し、式(9)は $hs \rightarrow s$ の状態を示す。¹⁾

$$F_1^2 = \frac{(h_2/h_1 - s/h_1)^2 - 1}{2(1 - 1/(h_2/h_1))} \quad (8)$$

$$F_1^2 = \frac{(h_2/h_1)^2 - (s/h_1)^2 - 1}{2(1 - 1/(h_2/h_1))} \quad (9)$$

(参考文献)

- 1) 栗津、大津ら、土木学会年講、1986、II-239
- 2) W. H. Hager et al., Jour. of Hy. Res., Vol.24, 1986, No.4, pp.237-253
- 3) 大津、安田、土木学会(関東)、1987、p.100
- 4) W. L. Moore and C. W. Morgan, Trans. ASCE, Vol.124, 1958, pp.507-524 (記号)

v_1 : 1断面における平均流速, v_2 : 2断面における平均流速, q : 単位幅流量, s : 段落の高さ

h_1 : 段落上の射流水深, h_2 : 下流水深, $F_1 = v_1 / \sqrt{gh_1}$

hs : under nappe depth (図-5)

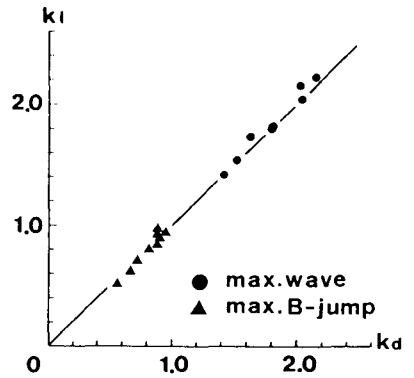


図-6 k_d と k_i との比較

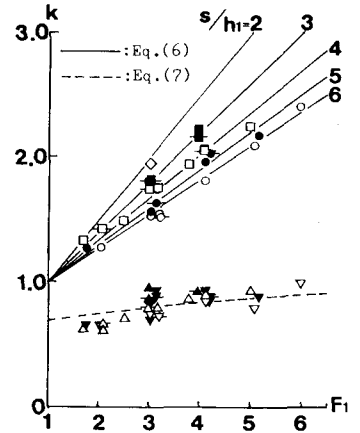


図-7 F_1 , および s/h_1 による k の変化
(Symbol: 表1参照)

Symbol	max. wave		max. B-jump	
	s/h_1	k_i	k_i	k_d
2	◇	—	◆	—
3	□	—	▲	—
4	□	—	△	—
5	●	—	▼	—
6	○	—	▽	—

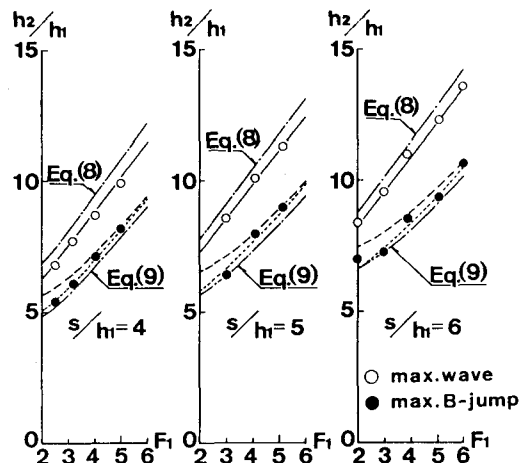


図-8 max. wave, および max. B-jump が形成されるための水理条件