

日本大学 理工学部 正員 大津 岩夫

日本大学 大学院 学員 〇安田 陽一

まえがき 開水路段落部における射流から常流へ遷移する流れを理解することは、床固めや落差工などの水理構造物の設計上、必要である。段落部における射流から常流へ遷移する流況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、図-2~5のような流況に分類される¹⁾。このうち、特に Large Single Wave (以降、L.S.W.と略す。)上下流端の水深間については不明であり、D-Jump 上下流端の水深間については従来の関係式²⁾は実験値を十分に説明できない。HAGER S²⁾は L.S.W.、および D-Jump におけるステップ上の圧力について触れているが、なぜこのような流況が形成されるのかについては考察がなされていない。ここでは、ステップ上の圧力に着目した上で、運動量方程式を用いて、種々の流況が生じる原因について考察した。さらに、U-Jump、および minimum D-Jump (発生低限界時の D-Jump) のローラーの長さについて、HAGER S による実験値³⁾を用いて、検討を加えた。

L.S.W., W.T., および D-Jump 上下流端の水深間の関係

図-1 に示す I-II 断面をコントロール・ボリュームに選り、運動量方程式を適用する。(ただし壁面せん断力を無視している。)

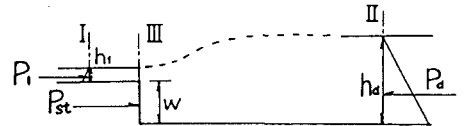


図-1

$$\rho g (v_2 - v_1) = P_{st} + P_1 - P_2 \quad (1)$$

8: 単位幅流量, $P = \rho g h$, v_2 : II 断面における平均流速, v_1 : I 断面における平均流速, P_1 : I 断面に作用する圧力, P_2 : II 断面に作用する圧力, P_{st} : ステップ面に作用する圧力 (図-1 参照)

I, II 断面では $\beta = 1$, P_1, P_2 は静水圧分布するものと考えられる。 P_{st} については、ステップ上での流線の曲率の影響を考えて、次のようにおく。 $P_{st} = k w W (h_1 + W/2)$ (2)

ここで、 k は実際に作用する圧力と静水圧分布と仮定した圧力との比を示す。 h_1 は I 断面の水深を示し、 W はステップ高を示す。式(1)は次のように示される。

$$F_1^2 = \frac{(h_2/h_1)^2 - k(W/h_1)^2 - 2k(W/h_1) - 1}{2\{1 - 1/(h_2/h_1)\}} \quad (3) \quad h_2: \text{下流水深}$$

与えられた W/h_1 と $F_1 (= v_1/\sqrt{g h_1})$ に対する各タイプの形成領域 (h_2/h_1) の一例を図-6 に示す。図中、点線は $k=1$ (静水圧分布を仮定した場合) を示す。

運動量方程式からの流れの考察

図-6 に示されるように、 $k=1$ の場合の関係式を満足しない。このことは P_{st} が静水圧分布しないためである。そこで、(3)式に各タイプの実験値を代入し、 k を求めた。(図-7)

図-7 からわかるように、L.S.W. の場合、 $k > 1$ となり、D-Jump の場合、 $k < 1$ となる。また、W.T. の場合、 k が $k_0 \leq k < k_{L.S.W.}$ の範囲にある。(ただし、 $P_{st} = \frac{1}{2} \rho w W^2$ の場合の k を $k_0 (= 1/(2h_1/W + 1))$, L.S.W. が生じる時の k を $k_{L.S.W.}$ と示す。)

一方、図-1 のように、ステップ上の流れが射流で、ステップ下流側で常流へと遷移する流れの場合、運動量

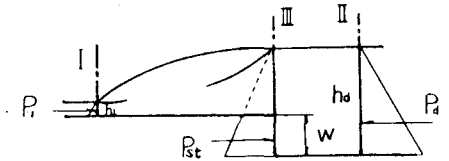


図-2 The jump forms upstream for the step (U-Jump)

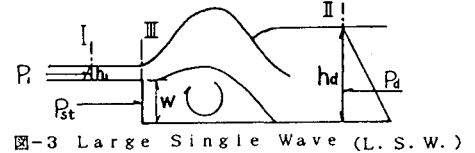


図-3 Large Single Wave (L.S.W.)

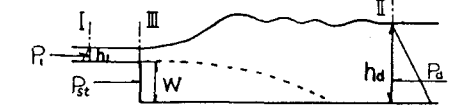


図-4 Wave Train (W.T.)

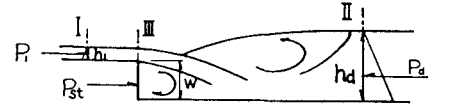


図-5 (a)

The jump forms downstream for the step (D-Jump)

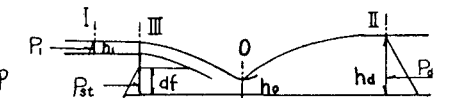
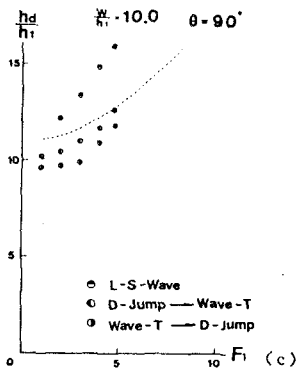
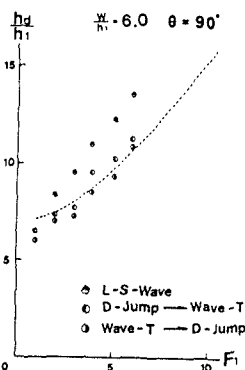
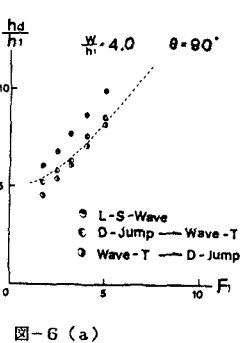
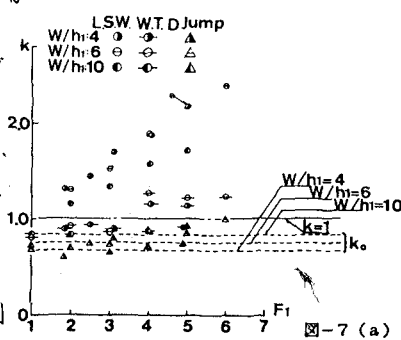


図-5 (b) minimum D-Jump

方程式(3)を満足する必要がある。そこで与えられた上流の水理条件($F_1, W/h_1$)に対して、下流水深を変化させた場合の k を求めた。その一例を表-1に示す。下流水深が大きくなるに



従って、 $k > 1$ (P_2 が静水圧より大きく)となる。このことは、主流がステップ直下で下に凸となる必要があることを意味する。すなわち、流れがステップ直後で上向きになるものと推測される。また、下流水深が小さくなるに従って、 $k < 1$ (P_2 が静水圧より小さく)となる。このことは、主流がステップ直下で上に凸となる必要があることを意味する。すなわち、流れが下向きになるものと推測される。このように、与えられた上流の水理条件に対して、下流水深が増加するに従って、ステップ直後で、下に向う流れから上に向う流れへと変化するものが運動量方程式から推測される。



U-Jump, および minimum D-Jump のローラーの長さの検討

U-Jump, および minimum D-Jump のローラーの長さ L_r を WLL/H_1 HAGER は $f(L_r/H_2, F_1) = 0$ の関係で整理している。(図-8)

ここでは、 $f(L_r/H_2, H_2/H_1) = 0$ の関係を用いて、HAGER による実験値を整理すると、図-9に示すように良い相関が示され、式(4)によく適合していることがわかる。式(4)は自由跳水、および強制跳水の L_r と同一の表示である。⁴⁾

$$\log_{10}(L_r/H_2) = -1.71 H_2/H_1 + 1.40 \quad (4)$$

ただし、 H_2 はI~II断面間のエネルギー損失水頭を示し、 H_1 はI断面における全水頭を示す。

Example calculation of k from momentum eq.3 ($F_1=4$ $W/h_1=60$ $\theta=90^\circ$)

h_2/h_1	k	h_2/h_1	k
12.0	2.37	8.5	0.90
10.0	1.46	8.07	0.75 ($k_0=0.75$)
8.8	1.00	7.5	0.57
(static pressure)			

注) 式(3)において、 $k=1$ の場合
(参考文献)

- 1) 栗津, 天津, 森田, 第41回年次学術講演会, 土木学会, 1986.11, II-239
- 2) HAGER, W.H., B-jumps at abrupt channel drops, Proc. A.S.C.E., J.H.E., Vol. III, 1985, 861~866
- 3) HAGER, W.H. and BRETZ, N.V., Hydraulic jumps at positive and negative steps, J.H.R., Vol. 124, 1986, 237~253
- 4) 大津岩夫, 鉛直ルによる強制跳水, 土木学会論文報告集第311号, 1981.7, 59~69

