

日大院・理工 学 村井 貞斉

日大・理工 正 後藤 浩

日大・理工 正 安田 陽一

日大・理工 正 大津 岩夫

1.はじめに 波状跳水は、河床勾配が急勾配から緩勾配に変化する河川で形成されたり、ゲートから流出する射流のフルード数 $Fr_1 = v_1 / (gD_1)^{1/2}$ (v_1 : 跳水始端での平均流速, g : 重力加速度, $D_1 = A_1 / T_1$: 跳水始端での水力水深, A : 流積) が 1 近くるとき観察されたりする。実河川において台形断面水路は多く利用されており、台形断面水路において形成される波状跳水の水利特性を知ることは水工設計上重要である。従来、台形断面水路における波状跳水について検討されている^{1), 2), 3)}ものの、水利特性・形成条件など不明な点が多い。ここでは、広範囲な実験条件 ($1.2 \leq Fr_1 \leq 3.0$, $2 \leq b/h_1 \leq 31$, $0 \leq m \leq 2$) (図 1 参照)のもとで射流のフルード数 Fr_1 , 7スベクトル比 b/h_1 および側壁勾配 $m (= \tan \alpha)$ を種々変化させ波状跳水の特性を示し、長方形断面の場合との違いを明らかにした (b : 水路底面幅, h_1 : 跳水始端水深)。

2.波状跳水を支配する無次元量 乱流境界層が十分に発達した領域 (図 2) に跳水始端が位置した場合、 Fr_1 , b/h_1 および $m (= \tan \alpha)$ によって波状跳水の流況が変化するものと考え、各流況の形成範囲は次式の関係で整理されるものと推論される。

$$f(Fr_1, b/h_1, m) = 0 \quad (1)$$

また、与えられた Fr_1 に対し台形断面水路における h_2/h_1 が $mh_1/b (= \delta)$ によって変化する⁴⁾ことから、(1)式は(2)式のように整理されるものと考えられる。

$$f(Fr_1, \delta, m) = 0 \quad (2)$$

なお、波状跳水が形成される場合、跳水始端付近の両側壁から衝撃波が形成される (図 1)。衝撃波が 1 波目山頂部より上流側で交差する場合 ($L_s/L_w < 1.0$) は、波状跳水の形成に対する衝撃波の影響が認められ、衝撃波が 1 波目山頂部より上流側で交差しない場合 ($L_s/L_w > 1.0$) は、流況に対する衝撃波の影響はほとんど認められない²⁾。ここでは、 $L_s/L_w > 1.0$ の場合を対象として検討を行っている。

3.流況 波状跳水の流況は与えられた Fr_1 に対して δ によって特徴づけることができ 2 つの Type に大別できる (図 3)。

流況-A: 水面の凹凸は下流側遠方まで続き、その水面の凹凸は下流側にいくほど徐々に小さくなる。この場合、長方形断面水路において形成される波状跳水と同様な流況となる (図 3-(a))。

流況-B: 流況 A とは異なり、水面の凹凸はほとんど見られず、ほぼ平滑な水面となり水深は下流側に向かって大きくなる (図 3-(b))。

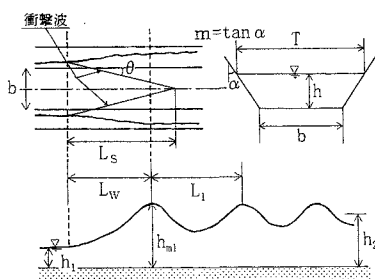


図 1 定義図

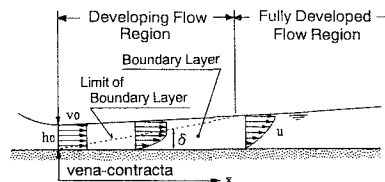


図 2 境界層の発達状態

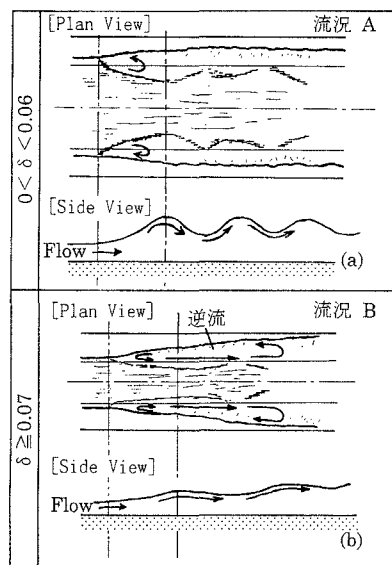


図 3 流況図

キーワード: 開水路流, 跳水, 台形断面水路, 波状跳水

連絡先: 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL. 03-3259-0668 FAX. 03-3259-0409

4.各流況の形成範囲

図4は、 Fr_1 と $\delta (=mh_1/b)$ との関係で流況Aと流況Bの形成範囲を示したものである。図4に示されるように、流況Aと流況Bとの境界を示す δ の値が Fr_1 の値に関わらず一定となり、 $\delta=0.06\sim0.07$ となることが認められる。

図5は、各流況の形成範囲を $f(m, b/h_1, Fr_1)=0$ の関係で整理し直したものである。図5に示されるように、長方形断面において形成される流況と同様な流況(流況A)が形成されるためには、 m が大きくなるにつれ b/h_1 が大きくなる必要があることが認められる。

なお、図中破線は $L_s/L_w=1.0$ の場合を示し、実験的に得られた(4)、(5)式を(3)式に代入することによって計算される。

$$L_s/L_w=(b/h_1+2m)/2(L_w/h_1)\tan\theta \quad (3)$$

$$\theta=(30.6-4.1m)Fr_1^{0.65-0.23m} \quad (4)$$

$$L_w/h_1=1.3Fr_1+(2.56+3.5m) \quad (5)$$

ここに、 L_s :衝撃波始端から衝撃波の交差する位置までの水平長さ、 L_w :衝撃波から1波目山頂部までの水平長さ、 θ :衝撃波の角度である(図1参照)。

5.波状跳水の水利特性

図6、図7は、1波目の波の高さ h_{m1} および波長 L_1 を $h_{m1}/h_2=f(Fr_1, \delta)$ 、 $L_1/h_2=f(Fr_1, \delta)$ の関係で整理したものである(h_2 :跳水の共役水深)。図6、7に示されるように、流況Aの場合($0<\delta<0.06$ の場合)、長方形断面($\delta=0$)において形成される波状跳水の場合とほぼ同様な結果となることが認められる。一方、流況Bの場合($\delta\geq 0.07$ の場合)、側壁勾配の影響が水路中央部に及び1波目の高さ h_{m1} は常に h_2 より小さくなり、長方形断面の場合とは大きく異なる。波長 L_1 については、流況Bの場合、流況Aの場合($0<\delta<0.06$ の場合)よりも長くなる。これは、水面の凹凸が小さいため流況Aの場合より流下方向の運動量が大きくなり波長が長くなったものと考えられる。

6.まとめ 台形断面水路において形成される波状跳水(衝撃波が1波目山頂部より上流側で交差しない場合($L_s/L_w>1$))について実験的に検討した結果、流況を2つに大別し、各流況の形成範囲を明らかにした。また、波状跳水の1波目の波高・波長および流況の形成から $0<\delta<0.06$ の範囲で長方形断面での波状跳水の場合と同様な流況が形成されることを示した。さらに、 $\delta\geq 0.07$ の範囲で形成される波状跳水においては水深が下流側に向かって増加し、水面の凹凸は長方形断面に比べて顕著でない流況(流況B)が形成され、側壁勾配の影響が水路中央部に及ぶことを明らかにした。

<参考文献> 1)栗津, 大津, 台形水路の跳水について(2), II-115, 土木学会年次学術講演会, pp.333~336, 1970.

2)大津, 安田, 後藤 波状跳水の形成条件について, 水工学論文集, 第42巻, pp.673~678, 1998.

3)Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Gotoh, H., Characteristics of Undular Jumps in Rectangular Channels, Proc. of the 26th IAHR Congress, IC14, London, UK, 1995.

4)大津, 台形および長方形断面水路の自由跳水和潜り跳水, 土木学会論文報告集248号, pp.57~72, 1976.

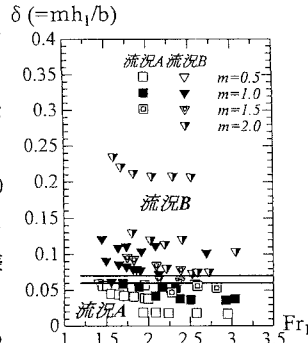


図4 流況Aと流況Bとの境界

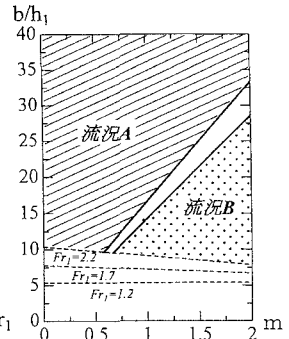


図5 各流況の形成範囲

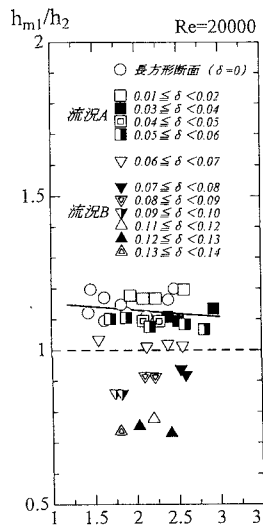


図6 h_{m1}/h_2 と Fr_1 との関係

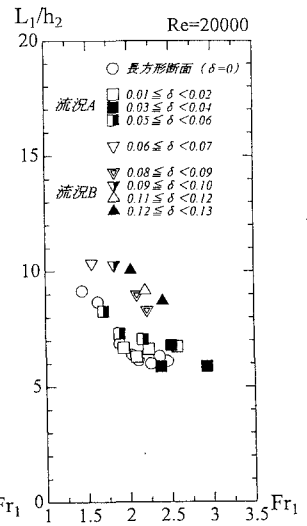


図7 L_1/h_2 と Fr_1 との関係