

II-159

急拡水路の跳水

日大院・理工 学 石川 元康
日大・理工 正 安田 陽一
日大・理工 正 大津 岩夫

複数の水門のうち一門だけが開かれている場合、あるいはダム洪水吐きの水路幅が減勢池幅より狭いとき、急拡水路において跳水が形成される。この場合、水理条件によっては対称な流況ばかりでなく非対称な流況も形成される。従来の研究⁽¹⁾⁽²⁾では対称な跳水の場合についての検討がなされている。ここでは、水平急拡水路において対称な流況、および非対称な流況が形成される場合の跳水特性について実験的に検討を加えた。

流況

表-1の実験条件において、与えられた F_0 、 k 、 X_4 （または X_3 ）のもとで図-1aに示す流況となる（流況a）。この状態から下流水深を増加させると、主流が右岸または左岸側に偏向した流況となる〔流況b（図-1b）〕。この場合、主流は一方の側壁に衝突して側壁に沿って流下し、その対岸では下流遠方まで逆流が生じる。この状態からさらに下流水深を増加させると、主流が右岸側あるいは左岸側へと交互に偏向し、これにともなって水面において右回り、左回りの平面渦が交互に発生する非対称な流況となる〔流況c（図-1c）〕。さらに下流水深を増加させると、主流の偏向がほとんど認められず、対称な流況となる〔流況d（S-jump²⁾）（図-1d）〕。ここでは、非対称な潜り跳水である流況cと対称な潜り跳水である流況dを対象とする。

水深間の関係

図-1c、dに示す断面Ⅲ、Ⅳ間の流体に運動量方程式を適用し、無次元化すると式(1)が得られる。ただし、断面Ⅲ、Ⅳにおいて圧力は静水圧分布、壁面摩擦を無視、運動量補正係数を $\beta_0 = \beta_4 = 1$ とする。

$$X_4^3 - (X_3^2 + 2F_0^2 k)X_4 + 2F_0^2 k^2 = 0 \quad (1)$$

与えられた F_0 、 k 、 X_3 のもとで、流況c、dにおける下流水深 X_4 の実験値を $(X_4)_{ex}$ 、式(1)からの理論値を $(X_4)_{th}$ とする。 $(X_4)_{ex}$ と $(X_4)_{th}$ との比較より、実験値は式(1)を満足する（図-2）。

一例として $k=1/3$ 、 $b/h_0=9.52$ の場合、流況c、dが形成される必要下流水深 X_4 を図-3に示す。図より流況c、dの形成領域が示される。

なお、他の k 、 b/h_0 に対してはさらに検討の必要がある。

相対エネルギー損失

断面Ⅲ、Ⅳ間のBernoulliの定理、連続の式から相対エネルギー損失 H_L/H_0 は式(2)で示され、式(1)、(2)から $H_L/H_0=f(F_0, k, X_3 \text{ or } X_4)$ の関係が表示される。ただし、断面Ⅲ、Ⅳにおいて圧力は静水圧分布、エネルギー補正係数は $\alpha_0 = \alpha_4 = 1$ である。

表-1 実験条件

B(cm)	b(cm)	L(cm)	k	b/h ₀	F ₀
60	20	400	0.333	9.52	$2.7 \leq F_0 \leq 7.6$
80	10	920	0.125	4.65	$3.9 \leq F_0 \leq 5.8$
	16		0.200	7.44	$3.1 \leq F_0 \leq 6.2$
	26.7		0.333	12.40	$3.0 \leq F_0 \leq 5.9$
	40		0.500	18.60	$2.8 \leq F_0 \leq 5.6$

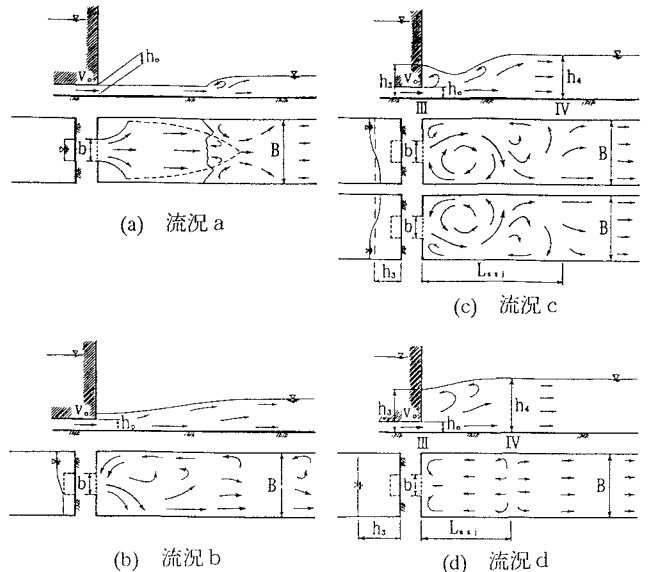
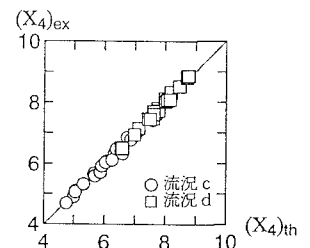


図-1 流況図

図-2 $(X_4)_{ex}$ と $(X_4)_{th}$ との比較

$$\frac{H_L}{H_o} = \frac{2(X_3 - X_4) + \{1 - (k/X_4)^2\}F_o^2}{2X_3 + F_o^2} \quad (2)$$

一例として $k=1/3$ 、 $b/h_o=9.52$ の場合、流況 c、d が形成される下限水深における相対エネルギー損失についての実験値を $H_L/H_o=f(F_o)$ の関係で整理すると図-4 のように示される。同一の F_o 、 X_3 のもとでは小さい急拡比 k に対して大きい相対エネルギー損失 H_L/H_o が得られる。

跳水長

L_{ssj} を跳水によるエネルギー損失が完了するまでの長さとして解釈すると、式(3)の関係が得られる^{3) 4) 5)}。

$$L_{ssj}/H_L = f(H_L/H_o, k, b/h_o) \quad (3)$$

急拡水路の潜り跳水(流況 c、d)、および急拡開水路の跳水(T-jump⁶⁾)における跳水長 L_{ssj} は跳水始端から水面において逆流が常に観察されなくなった最初の断面までの距離と定められている。なお実験から、流況 c、d における終端断面は流下方向の断面における最大流速が十分に減衰し、流下方向にほとんど変化しなくなる最初の断面と一致することが確かめられる。

非対称流況の場合

流況 c および T-jump⁶⁾ の非対称流況の場合の実験値を式(3)の関係に基づき整理すると図-5 のように k 、 b/h_o にかかわらず $L_{ssj}/H_L=f(H_L/H_o)$ の関係で示される。

対称流況の場合

流況 d、S-jump²⁾、T-jump⁶⁾ の対称流況の場合の実験値を式(3)の関係に基づき整理すると図-6 のように k 、 b/h_o にかかわらず $L_{ssj}/H_L=f(H_L/H_o)$ の関係で示される。

すなわち、急拡水路の跳水の長さは、対称流況と非対称流況によって大きく2つのcategory(図-5、-6)に分けられる。

記号説明

b : 流入水路幅、 B : 下流水路幅、 F_o : 跳水始端のフルード数 ($F_o=v_o/\sqrt{gh_o}$ 、 h_o : 跳水始端の射流水深、 v_o : 跳水始端の平均流速)、 H_o : 跳水始端の全水頭 [$H_o=h_3+v_o^2/2g$ (または $H_o=h_o+v_o^2/2g$)]、 H_L : 跳水始端、終端間のエネルギー損失 [$H_L=H_o-H_4$ 、 H_4 : 跳水終端の全水頭 ($H_4=h_4+v_4^2/2g$)]、 v_4 : 跳水終端の平均流速、 k : 急拡比 ($k=b/B$)、 L : 水路長、 L_{ssj} : 跳水長、 X_3 : 潜り跳水始端水深、 X_4 : 下流水深 ($X_4=h_4/h_o$ 、 h_4 : 下流水深)

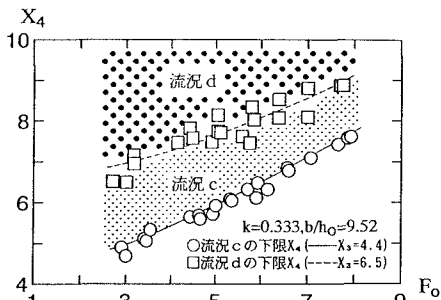


図-3 流況の形成条件

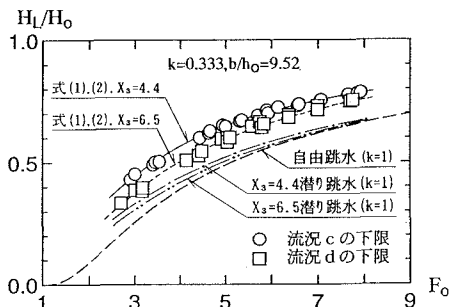


図-4 相対エネルギー損失

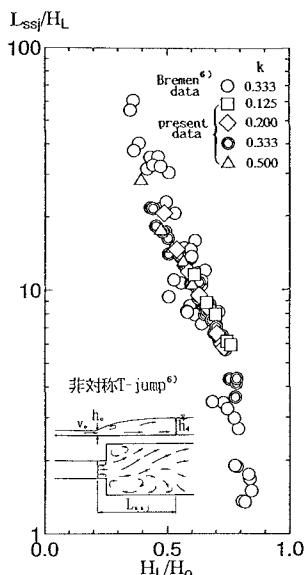


図-5 非対称流況の跳水長

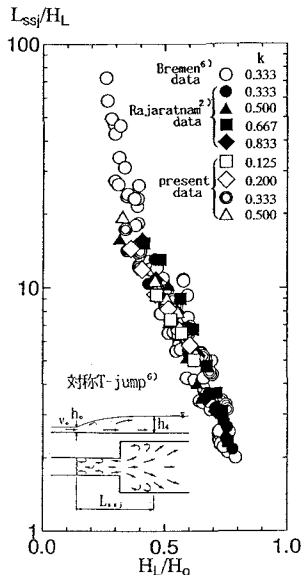


図-6 対称流況の跳水長

参考文献

- 1) 栗津・大津: 急拡水路の潜り跳水について, 土木学会年講(第29回Ⅱ-153, 1974、第30回Ⅱ-122, 1975)
- 2) Rajaratnam, N. and Subramanya, K.: Hydraulic Jumps Below Abrupt Symmetrical Expansions, Proc. ASCE, vol. 94, No. HY2, March, 1968, pp. 481-502.
- 3) 大津: 台形および長方形断面水路の自由跳水と潜り跳水, 土木学会論文集, 第246号, 1976年2月.
- 4) Ohtsu, I. and Yasuda, Y.: Discussion of "Hydraulic jump in triangular channel", Journal of Hydraulic Research, IAHR, vol. 27, 1989, No. 1, pp. 178-188.
- 5) Ohtsu, I., Yasuda, Y., Awazu, S.: Free and Submerged Hydraulic Jumps in Rectangular Channels, Rep. of the Res. Ins. of Sci. and Tec., Nihon Univ., No. 35, February, 1990.
- 6) Bremen and Hager: T-jump in abruptly expanding channel, J. Hydraulic Research, vol. 31, 1993.