

II - 316

急拡水路の潜り跳水の特性

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

はじめに

放水路やダムボトムアウトレットなどから幅の広い下流部へ流出させる場合、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場合、高速流のエネルギー減勢のために急拡水路における跳水が利用される。急拡水路の跳水の流況は、水利条件によって対称な流況ばかりでなく、非対称な流況となる¹⁾。これらの流況が形成されるための水利条件を知ることが水工設計上必要である。従来の研究²⁾³⁾では流況の把握が十分なされておらず、各流況の水利特性については不明である。ここでは、水平急拡水路における潜り跳水の流況、各流況の形成条件、相対エネルギー損失の特性について実験的に検討を加えた。

1. 流況

図-1に示す急拡水路における流況は、 b/h_0 、 F_0 、 k 、 $X_4 (=h_4/h_0)$ または $X_3 (=h_3/h_0)$ によって変化し、次の①～④に大きく分類される(図-3)¹⁾。すなわち、①跳水始端が流出口下流側に位置する場合、②主流が常に一方の側壁に沿う非対称な場合、③(交互偏向流況)主流が時間的に右岸側、左岸側へと交互に偏向する場合、④(安定潜り流況)主流の時間的な偏向は認められず、ほぼ対称な潜り状態の場合である。さらに、下流水深の変化に伴ない、次の二つのフローパターン(I、II)(図-2)に大別される。

フローパターン I

跳水始端が流出口下流側に位置する流況[図-3(a)]から下流水深を増加させると、主流が常に非対称な流況となる[図-3(b)]。この場合、主流は一方の側壁に沿って下流し、その対岸では下流速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、交互偏向流況が形成される[図-3(c)]。このとき、水面において右回り、左回りの平面渦が交互に発生する。さらに下流水深を増加させると、下流水面の安定した安定潜り流況となる[図-3(d)]。このような下流水深の変化に伴う流況の移行をフローパターン I とする。

フローパターン II

跳水始端が流出口下流側に位置する流況[図-3(e)]から下流水深を増加させると、主流が常に非対称な流況となる[図-3(f)]。この状態からさらに下流水深を増加させると、交互偏向流況は形成されず、安定潜り流況となる[図-3(g)]。このような下流水深の変化に伴う流況の移行をフローパターン II とする。

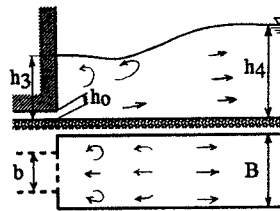


図-1 定義図

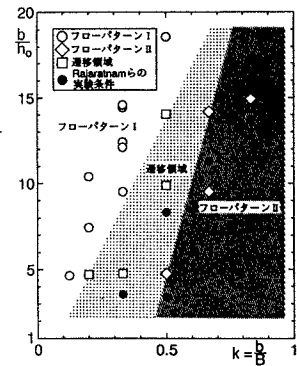


図-2 実験条件およびフローパターンの領域区分

	フローパターン I	フローパターン II
小	① 下流に跳水が形成される流況 (a)	① 下流に跳水が形成される流況 (c)
↓	② 常に非対称な流況 (b)	② 常に非対称な流況 (f)
↓	③ 交互偏向流況 (e)	③ 交互偏向流況 (g)
大	④ 安定潜り流況 (d)	④ 安定潜り流況 (h)

図-3 流況図

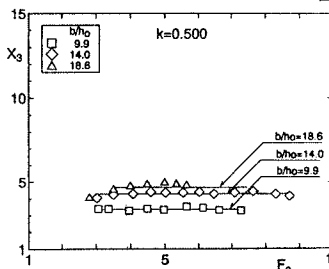


図-4(a) 交互偏向流況の下限潜り水深

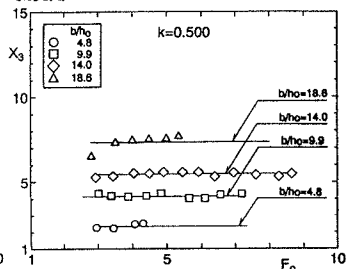


図-4(b) 安定潜り流況の下限潜り水深

2. 水深間の関係

常に非対称な流況から交互偏向流況へ移行した直後の X_3 および交互偏向流況から安定潜り流況へ移行した直後の X_3 はそれぞれ F_0 に関わらず(図-4)b/h₀、kによって変化し(図-5)、各流況について実験式(1)、(2)がそれぞれ得られた。

$$\bar{X}_3 = 0.578(1-k)^2(b/h_0) + 2.0 \quad (1)$$

$$\bar{X}_3 = 1.27(1-k)^2(b/h_0) + 0.31\sqrt{1-k} + 1.0 \quad (2)$$

交互偏向流況と安定潜り流況の水深間の関係は、跳水始端(流出口)断面と跳水終端断面間の流体に運動量方程式を適用し、式(3)によって示される¹⁾²⁾。

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

与えられたb/h₀、F₀、kのもとで、交互偏向流況および安定潜り流況が形成されるための下限の下流水深 X_4 は式(1)、(2)をそれぞれ式(3)へ代入することによって得られ、一例を図-6(a)、(b)に示す。これらの図に示されるように、実験値と一致し、各流況の形成範囲が明確にされる。

3. 相対エネルギー損失

跳水始端断面と跳水終端断面間でBernoulliの定理を適用すると相対エネルギー損失 H_L/H_0 は式(4)で示される¹⁾²⁾。

$$\frac{H_L}{H_0} = \frac{2(X_3 - X_4) + F_0^2\{1 - (k/X_4)^2\}}{2X_3 + F_0^2} \quad (4)$$

フローパターンIにおいて、常に非対称な流況から交互偏向流況へ移行した直後の状態および交互偏向流況から安定潜り流況へ移行した直後の状態での $H_L/H_0 = H_L/H_0(F_0, b/h_0, k)$ の関係で整理したものを図-7(a)、(b)に示す。これらの図より、与えられた F_0 に対してb/h₀、kが小さいほど H_L/H_0 は大きい値を示す。また、安定潜り流況の場合は常に $k=1$ の自由跳水の H_L/H_0 よりも大きい値を示す。なお、フローパターンIIおよび遷移領域についても同様である。

まとめ

- 1) 急拡水路における流況は、流出口下流に跳水が形成される流況、常に非対称な流況、交互偏向流況、安定潜り流況に大きく分類される(図-3)。
- 2) 急拡水路の跳水の流況のうち従来報告されていない交互偏向流況が形成されることを示し、下流水深の変化に伴ないこの流況が形成される場合をフローパターンI、形成されない場合をフローパターンIIとし、領域区分した(図-2)。
- 3) 交互偏向流況および安定潜り流況が形成されるための形成条件を明らかにした(図-5、図-6)。
- 4) 交互偏向流況および安定潜り流況の相対エネルギー損失 H_L/H_0 を表示した(図-7)。

記号説明

b: 流出口水路幅、B: 下流水路幅、F₀: 流出口でのフルード数($F_0 = v_0/\sqrt{gh_0}$ 、h₀: 流出口の射流水深、v₀: 流出口での平均流速)、H₀: 跳水始端の全水頭($H_0 = h_3 + v_0^2/2g$ (または $H_0 = h_0 + v_0^2/2g$))、H_L: 跳水始端、終端間のエネルギー損失 [$H_L = H_0 - H_4$ 、H₄: 跳水終端の全水頭($H_4 = h_4 + v_4^2/2g$)、v₄: 跳水終端での平均流速]、k: 急拡比($k=B/b$)、X₃: 潜り水深($X_3 = h_3/h_0$ 、h₃: 潜り跳水始端水深)、X₄: 下流水深($X_4 = h_4/h_0$ 、h₄: 下流水深)

参考文献

- 1) 石川・大津・安田: 急拡水路の跳水, 土木学会年講, 第49回, II-159, 1994
- 2) 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)
- 3) Rajaratnam, N. and Subramanya, K.: Hydraulic Jumps Below Abrupt Symmetrical Expansions, Proc. ASCE, vol. 94, No. HY2, March, 1968, pp. 481-502.

$$\bar{X}_3 = 0.578(1-k)^2\left(\frac{b}{h_0}\right) + 2.0 \quad (1)$$

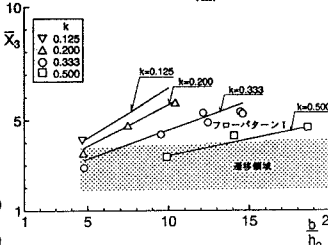


図-5(a) 交互偏向流況の平均潜り水深

$$\bar{X}_3 = 1.27(1-k)^2\left(\frac{b}{h_0}\right) + 0.31\sqrt{1-k} + 1.0 \quad (2)$$

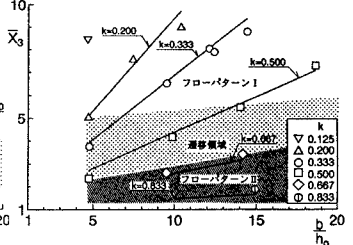


図-5(b) 安定潜り流況の平均潜り水深

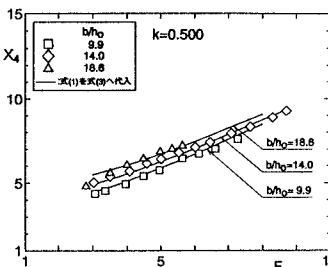


図-6(a) 交互偏向流況の形成条件

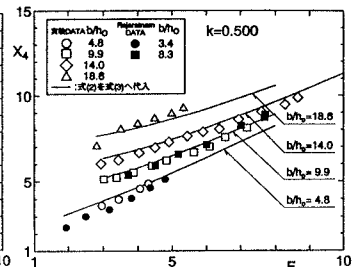


図-6(b) 安定潜り流況の形成条件

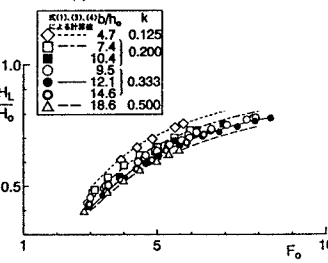


図-7(a) 交互偏向流況の相対エネルギー損失

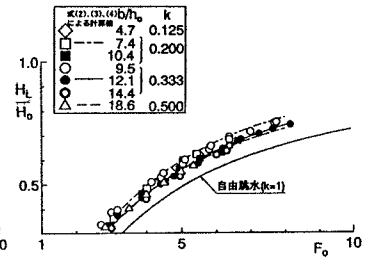


図-7(b) 安定潜り流況の相対エネルギー損失