

日大院理工 学 川嶋 一朗

日大理工 正 安田 陽一

日大理工 正 大津 岩夫

はじめに 従来、急拡水路における跳水の流況、水深間の関係、跳水長などについての検討はされてはいる¹⁾ものの、特に開水路中に形成される急拡水路での跳水の水利特性については不明な点が多い。ここでは、傾斜水路から水平水路に接続する場合を対象とした急拡水路における跳水(図-1 参照)の流況、水深間の関係、エネルギー損失、および跳水長について実験的に検討を行った。

流況 急拡水路における跳水の流況は、与えられた急拡比 k 、フルード数 Fr 、アスペクト比 b/h_0 のもとで下流水深 $X_4(=h_4/h_0)$ の増加に伴って、図-2(1)～(4)に示されるような流況に分類される。すなわち、(1)跳水始端が流出口下流に位置し、対称な跳水が形成される場合、(2)主流が常に一方の側壁に沿って大きな平面渦を形成する非対称な場合(非対称流況)、(3)平面渦の形成が時間的に不安定となり、主流が右岸、左岸側と交互に偏向する場合(交互偏向流況)、(4)主流の周期的な偏向は認められず、右岸、左岸の両側に対称な渦が形成される場合(対称流況)の4つの流況に分類される。なお、これらの流況は、bottom outlet

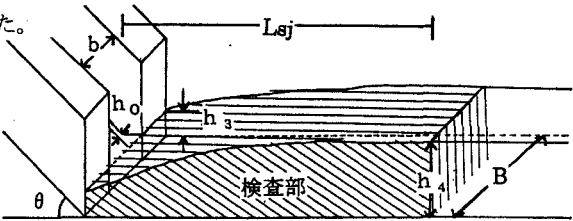


図-1 定義図

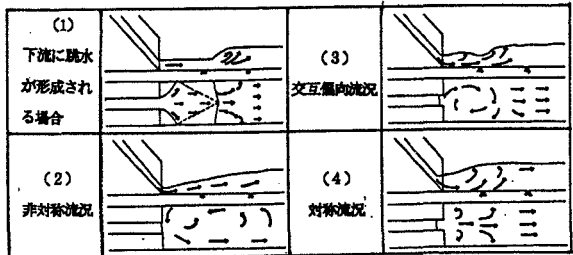


図-2 流況図

(底部流出口)からの急拡水路の潜り跳水の場合りと同様な流況となる。

水深間の関係 急拡水路において交互偏向流況および対称流況が形成されるために必要な被り水深 $X_3(=h_3/h_0)$ は、 Fr に関らず k 、 b/h_0 によって変化し、実験的にそれぞれ式(1)、(2)によって示される。(図-3, a), b)

$$X_3 = 0.49(1-k)^{0.88}(b/h_0)^{0.94} + 1 \quad (1)$$

$$X_3 = 0.90(1-k)^{1.30}(b/h_0)^{1.0} + 1 \quad (2)$$

$$(0.20 \leq k \leq 0.60)$$

水路接合部の断面と跳水終端断面との間の流体を検査部を選び、運動量方程式を水路水平方向に適用すると式(3)が得られる。

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

与えられた k 、 Fr 、 b/h_0 のもとで、交互偏向流況および対称流況の各流況の境界を示す

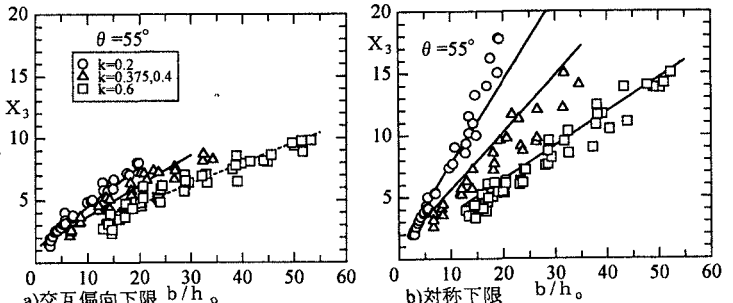


図-3 必要被り水深

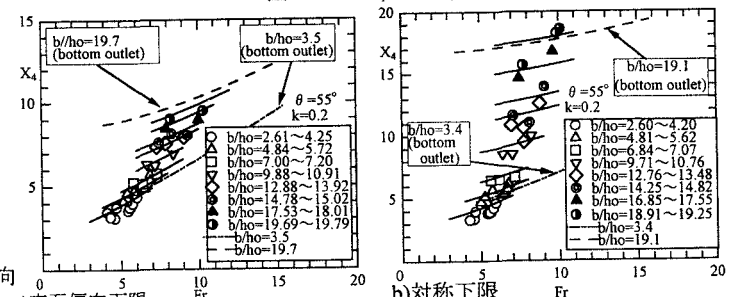


図-4 必要下流水深

キーワード：急拡水路 減勢工 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

被り水深式 (1)、(2) を式 (3) に代入すると各流況の形成に必要な必要下水深得られ、その一例を図一 4 実線に示す。図に示されるように、実線は実験結果を満足している。なお図中破線、鎖線は、bottom outlet からの潜り跳水の場合¹⁾を示し、bottom outlet からの潜り跳水の場合と比較すると同様な傾向が示される。

相対エネルギー損失 跳水始端断面と跳水終端断面との間においてベルヌーイの定理を適用すると急拡水路における跳水の相対エネルギー損失 H_L/H_0 は次式で示される。

$$\frac{H_L}{H_0} = \frac{\left(\frac{\ell_i}{h_0} \tan \theta + \frac{1}{\cos \theta} - X_4\right) + \left\{1 - \left(\frac{k}{X_4}\right)^2\right\} Fr^2}{2\left(\frac{\ell_i}{h_0} \tan \theta + \frac{1}{\cos \theta}\right) + Fr^2} \quad (4)$$

ここに、跳水始端、終端断面における圧

力を静水圧分布とし、エネルギー補正係数を 1 とし、 ℓ_i は跳水始端から水路接合部までの水平距離としている。

各流況の境界での相対エネルギー損失の値を式 (4) から求め、 $H_L/H_0=f(Fr, \theta, k, b/h_0)$ の関係で整理した一例を図一 5 に示す。図に示されるように、相対エネルギー損失は与えられた θ, k に対して、 Fr および b/h_0 によって変化する。なお図中実線、破線は、bottom outlet からの潜り跳水の場合¹⁾を示す。bottom outlet からの潜り跳水の場合と比較すると同様な傾向が示される。

跳水長 跳水長を跳水によるエネルギー損失を完了するために必要な長さとして解釈する¹⁾と、式 (5) の関係が得られる。交互偏向流況および対称流況が形成される境界における跳水の長さを式(5)の関係で整理したものを図一 6 に示す。なお図中実線、破線は、bottom outlet からの潜り跳水の場合¹⁾を示す。

$$L_{sj}/H_L = f(L_{sj}/H_L, H_L/H_0, k, b/h_0) \quad (5)$$

ここに、急拡水路における跳水長 L_{sj} は跳水始端断面から水面において逆流が常に観察されず、水面が安定し始めた最初の断面までの水平距離と定める。なお跳水終端断面では、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り始めた断面と一致していることが実験から確かめられた。

交互偏向流況および対称流況が形成される境界における跳水長 L_{sj}/H_L は、 $k, b/h_0$ に関わらず、 $L_{sj}/H_L=(H_L/H_0)$ の関係で示され、bottom outlet からの潜り跳水の場合¹⁾と比較すると同様な傾向が示される。

まとめ

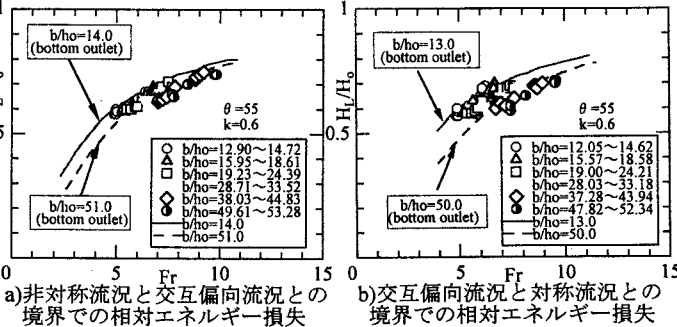
急拡開水路における跳水について、その流況、水深間の関係、相対エネルギー損失、跳水長などの特性を明らかにした。また、それらの特性が bottom outlet からの急拡水路の潜り跳水¹⁾と同様な傾向であることを示した。

記号説明

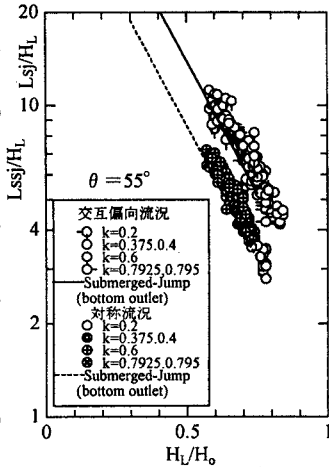
b:流出口水路幅、B:下流水路幅、Fr:水路接合部でのフルード数 ($Fr: V_0/\sqrt{g h_0}$)、 h_0 :跳水始端の射流水深、 V_0 :跳水始端での平均流速、傾斜角: θ)、 L_{sj} :跳水長、 H_0 :跳水始端での全水頭($H_0=(h_0/\cos \theta + \ell_i \tan \theta) + V_0^2/2g$)、 ℓ_i :跳水始端から水路接合部までの水平距離)、 H_L :跳水始端、終端間のエネルギー損失($H_L=H_0-H_4$)、 H_4 :跳水終端の全水頭($h_4 + V_4^2/2g$)、 V_4 :跳水終端での平均流速]、 k :急拡比($k=b/B$)、 X_3 :急拡部 (傾斜面と水平面) での被り水深($X_3=h_3/h_0$)、 X_4 :下流水深($X_4=h_4/h_0$)

参考文献

1)Ohtsu,I.and.Yasuda,Y.Ishikawa,M.(1999),Submerged Hydraulic jump below abrupt expansions. , Jour. of Hydr. Engrg.ASCE,vol,125,No.5 pp.492-498.



図一 5 相対エネルギー損失



図一 6 交互偏向、対称流況の跳水長