

日大理工 正員 栗津清蔵

日大理工 正員 大津岩夫

台形断面水路の跳水に関する実験的研究について⁽¹⁾⁽²⁾は、現在までに二、三の報告がなされたにすぎず、しかも資料の解析方法等に検討の余地がある。この報告は一般的な台形断面水平開水路の跳水における共役水深と跳水によるエネルギー損失に関する理論式の実験による検証、ならびに跳水の長さについての実験式の提案を行なったものである。

1. 実験装置と方法

図-1に示す水路にゲートの開きと下流側セキ板とを調整して跳水を起こす。 m 及び θ の効果を調べるため、表-1のように4通りの断面形状での h_1 , h_2 , L_j , Q , の測定を行なった。 $m = \frac{1}{2}$ の水路は鋼製、 $m = \frac{2}{3}$ の水路は木製で、両水路とも $n = 0.011$ であった。台形水路における跳水は、流れが鉛直方向と横方向とに広がらねばならず、この実験の範囲では、跳水は図-2のようなTypeを示した。 L_j を決定する場合の跳水の終点を表面渦の影響がほとんど消えた点と定義し(図-1, 2), h_2 の測定は跳水の終点で行なった。また、ほとんどの跳水はvena-contractaの直下流のところから起した。

2. 共役水深と跳水によるエネルギー損失

跳水部を検査面に選り、運動量方程式を適用する

$$(A\beta_1) - (A\beta_2) = \frac{Q^2}{g} \frac{A_1 - A_2}{A_1 A_2} \quad (1)$$

(1)式を導く際に導入した諸仮定は、(a)水路は水平で一般的な断面形状、(b)定流、(c)跳水前後で静水圧分布をする、(d) $\beta_1 = \beta_2 = 1$ 、(e)跳水部の壁面抵抗は無視する、(f)乱流の平均流のN.S.の運動方程式を検査面内の流体について積分すると運動量方程式が得られるが、それとともなう生ずる見掛けの圧力(Reynolds力に相当)は無視する。

台形断面の場合(1)式は次のような無次元運動量方程式となる。

$$\frac{2}{3}\delta_1^2 X_1^4 + \left(\frac{5}{3}\delta_1 + \frac{2}{3}\delta_1^2\right)X_1^3 + \left(1 + \frac{5}{3}\delta_1 + \frac{2}{3}\delta_1^2\right)X_1^2 + \left\{\left(1 + \frac{5}{3}\delta_1\right) - 2F_1^2 \frac{(1+\delta_1)^2 \delta}{1+2\delta_1}\right\}X_1 - 2F_1^2 \frac{(1+\delta_1)^3}{1+2\delta_1} = 0 \quad (2)$$

但し

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gD_1}} = \frac{\sqrt{Q^2(1+2\delta_1)}}{g\delta_1^2 h_1^3 (1+\delta_1)^3}, \quad X_1 = \frac{h_2}{h_1}$$

$$\delta_1 = \frac{m h_1}{g}, \quad m = \frac{m_1 + m_2}{2}$$

長方形断面の場合(2)式で $\delta_1 = 0$ と置き

$$X_1 = \frac{1}{2}(\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1), \quad F_1 = \sqrt{\frac{Q^2}{g\delta_1^2 h_1^3}} \quad (3)$$

三角形断面の場合は(1)式より

$$X_1^4 + X_1^3 + X_1^2 - \frac{3}{2}F_1^2 X_1 - \frac{3}{2}F_1^2 = 0 \quad (4)$$

但し $F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gD_1}} = \frac{\sqrt{3}Q}{m h_1 \sqrt{g h_1}}, \quad m = \frac{m_1 + m_2}{2}$ 跳水による相対エネルギー損失 $\frac{H_L}{H_1}$ は

$$\frac{H_L}{H_1} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = \frac{\left(h_1 + \frac{2\delta_1^2}{3}\right) - \left(h_2 + \frac{2\delta_2^2}{3}\right)}{h_1 + \frac{2\delta_1^2}{3}} \quad (5)$$

($\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ と仮定)

台形断面の場合は

$$\frac{H_L}{H_1} = \frac{2(1-X_1) + \frac{1+\delta_1}{1+2\delta_1} \left[1 - \left(\frac{1+\delta_1}{1+\delta_1 X_1}\right)^2\right] F_1^2}{1 + \frac{1+\delta_1}{1+2\delta_1} F_1^2} \quad (6)$$

長方形断面の場合は(6)式で $\delta_1 = 0$ と置き

$$\frac{H_L}{H_1} = \frac{2(1-X_1) + (1 - \frac{1}{4})F_1^2}{2 + F_1^2} \quad (7)$$

三角形断面の場合は(5)式より

$$\frac{H_L}{H_1} = \frac{4(1-X_1) + (1 - \frac{1}{4})F_1^2}{4 + F_1^2} \quad (8)$$

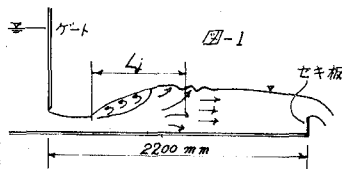


図-2



$$m = \tan \theta$$

表-1

m	θ (cm)	
$\frac{1}{2}$	8.0	11.5
$\frac{2}{3}$	11.6	15.3

(対称断面)

台形断面水路の跳水の平面図
(矢印は表面流の方向を示す)

(2)式において F_r , δ_1 , が与えられたときの解 X_1 を得るため, (2)式を電子計算機で解き, 数表を作成し (2), (6) 式の理論曲線を描き, それと実験値とを比較すると, それぞれ図-3, 4 になる。これから理論値と実験値とが一致していることがわかる。

3. 跳水の長さ

一様な台形断面水平開水路の跳水の長さは, 次のような変数間の関係で示されるであろう。

$$f(L_j, h_1, h_2, m, \theta, Q, g) = 0 \quad (9)$$

次元解析により得られる多くの独立な無次元量の組合せのうちで次の表示を考える。

$$f\left(\frac{L_j}{H}, \delta_1, m, F_r\right) = 0 \quad (10)$$

(10)式に対して実験結果をプロットすると図5のようになり, この実験の範囲では m , δ_1 , にかかわらず次式で資料を整理すればよく表わされることがわかった。

$$f\left(\frac{L_j}{H}, (F_r - 1)\right) = 0 \quad (11)$$

実験式で示すと

$$\frac{L_j}{H} = 30.9 (F_r - 1)^{-1.27} \quad 3.5 \leq F_r \leq 9.5, 0.0525 \leq \delta_1 \leq 0.14, m \leq 5$$

次に(11)式における無次元量の物理的意味について考える。跳水の長さを跳水によるエネルギー損失が完了するまでの長さで解釈すると, 無次元量 $\frac{L_j}{H}$ の意味が理解される。また跳水の長さは射流の強さ, すなわち F_r により大きく影響を受けることから, 無次元量 F_r の意味も理解される。模型と原型との相似性については, F_r が模型と原型とで等しいことが開水路流れの力学的相似の条件であり, H に関する理論式と実験値とが一致していることから, (11)式により実際の現象をある程度説明できるものと思われる。しかしながら, より広い範囲の実験がさらに必要と思われる。跳水部の渦について今後の研究が必要であろう。

(記号) h : 水深, v : 平均流速, A : 流横, Q : 流量, T :

水面幅, h_g : 水面から河心までの水深, β : 運動量の補正係数, α : 運動エネルギーの補正係数, Γ : フルード数

L_j : 跳水の長さ, $D = \frac{A}{T}$, $H = \alpha \frac{v^2}{g} + h_g$, $X_1 = \frac{h_2}{h_1}$, $\delta_1 = \frac{m h_1}{g}$, $m = \frac{m_L + m_r}{2}$

Suffix 1: 跳水する直前の諸量, Suffix 2: 跳水した直後の諸量, $m_L = \tan \theta_L$, $m_r = \tan \theta_r$

(文献) (1) Posey, C. J. Hsing, P. S. Hydraulic Jump in Trapezoidal Channels (News Record 1938. Dec.)

(2) Sandover, J. A. Holmes, P. The Hydraulic Jump in Trapezoidal Channels (Water Power 1962 Nov.)

