

II-158 円形断面水路の跳水について(2)

日本大学理工学部 正員 近藤 勉
日本大学理工学部 正員 栗津清蔵
東京都建設局 正員 藤原敬治

1. まえがき

最近フィルタイアダムのトンネル型放水設備の多用化, 下水道の発達などにもない円形断面水路を用いる機会も多いわけであるが, そこで発生する跳水現象についての研究成果は以外に少なく, 十分研究されたとは云い難い。前報^[1]において, 跳水後の流況が自由水面を持つ場合と管水路になる場合のそれぞれについて, 共役水深間の関係及びエネルギー損失に関する理論解を示したが, 本報ではこれに引き続いて, 跳水後の流況が自由水面を持つ場合の諸特性(流況, 共役水深間の関係, エネルギー損失, 跳水の長さ)について論じたものである。実験装置は図-1に示すような循環水路方式で, 内径0.2m, 有効長4.0mの塩化ビニール製の円管を用いた。

2. 流況

図-1のような実験装置で流況を観察すると, 跳水始端付近の平面形状は多くの場合非対称となり, 偏向し(図-2参照), また跳水終端付近の流況も振動が激しく非常に複雑である。図-2における l について調べると, 図-3のよう

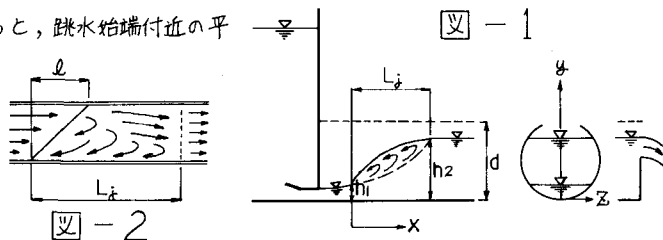


図-3のよう程度に相関関係にあり, F_1 の増加とともに l が増加する傾向にある。跳水全体の水路方向の振動は, F_1 の増加とともに大きくなる傾向にあり, 跳水始端における振動する範囲の大きさを l' とすると, $F_1=1.0$ 程度で $l'/d=1.75 \sim 2.00$ と相当大きなものになることがわかった。

3. 共役水深

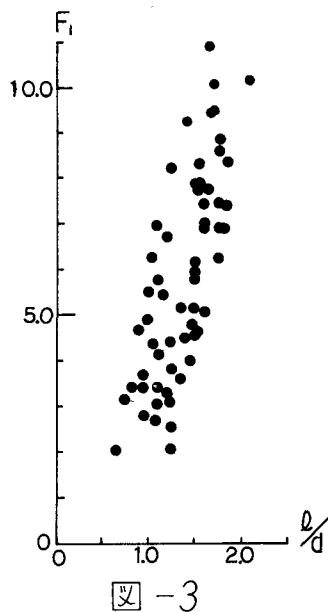
共役水深間の関係は, ①水路は水平で一様な断面形状, ②定流, ③跳水前後で静水圧分布をする, ④運動量係数 $\beta_1 = \beta_2 = 1$, ⑤壁面の抵抗を無視する, という仮定のもとに x 方向に運動量方程式を適用し, 理論的に導びくと(1)式のように無次元表示される^[1]。

$$\frac{Q^2}{g d^5} = M_1^2 \cdot K_1 \cdot \frac{M_2/M_1 \cdot (M_2/M_1 \cdot K_2/K_1 - 1)}{(M_2/M_1 - 1)}$$

$$= f\left(\frac{h_2}{h_1}; \frac{h_1}{d}\right) \text{-----(1)}$$

ここに, $M = 1/4 \cdot (\alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha)$, $\alpha = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot h/d)$

$$K = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{\sin^3 \alpha}{\alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha} - \cos \alpha \right)$$



添字1; 跳水始端の断面における諸量, 添字2; 跳水終端の断面における諸量を示す。(1)式を実験値によって検証したところ, 図-4のように示され, これより理論値と実験値はほぼ一致することが確かめられた。なお, 図-4においてL.C.J.とは跳水終端が自由水面であるとして取り扱える限界値を示す(以下の図も同様)。

4. エネルギー損失

図-1において、跳水始端、終端断面にベルヌーイの定理を適用すると

$$H_1 = H_2 + H_L \quad \text{----- (2)}$$

で示される。ここに、 $H = v^2/2g + h$ 、 H_L は跳水によるエネルギー損失である。ただし、①跳水始端、終端断面において静水圧分布をえる、②エネルギー係数を $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ とする、という仮定が含まれる。相対エネルギー損失は(2)式をも考慮にいれ、(3)式のように無次元表示される^[1]。

$$\begin{aligned} \frac{H_L}{H_1} &= \frac{H_1 - H_2}{H_1} = \frac{\left(\frac{h_1}{d} - \frac{h_2}{d}\right) + \frac{Q^2}{2gd^5} \left(\frac{1}{M_1^2} - \frac{1}{M_2^2}\right)}{\frac{h_1}{d} + \frac{Q^2}{2gd^5} \cdot \frac{1}{M_1^2}} \\ &= f\left(F_1; \frac{h_1}{d}\right) \quad \text{----- (3)} \end{aligned}$$

これについて実験値によって検証したのが図-5である。これより理論値とほぼ一致することが確かめられる。さらに図-5より、 h_2 が自由水面を保つ範囲において設計上相対エネルギー損失を増加させるためには、 h_1/d をなるべく小さく、 F_1 が大きくなるように考慮しなければならないことが理解され、 h_1 が $h_1/d \approx 0.5$ 付近を越えるとエネルギー損失はほとんど期待できないことがわかる。

5. 跳水の長さ

跳水終端の定義を逆流の観察されなくなった断面と定義し、跳水の長さ L_j 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、台形及び長方形断面水路の場合について理論的及び実験的立場からすでに説明されている表示に基き^[2] (4)式が想定される。

$$f\left(\frac{L_j}{H_L}; \frac{H_L}{H_1}; \frac{h_2}{d}\right) = 0 \quad \text{----- (4)}$$

(4)式に基いて資料を整理すると図-6のように示された。実験式で示すと(5)式のように示される。

$$\left. \begin{aligned} \log_{10} \frac{L_j}{H_L} &= -1.71 \frac{H_L}{H_1} - 0.875 \frac{h_2}{d} + 2.40 \\ 0.268 \leq \frac{h_2}{d} \leq 0.912, 2.0 \leq F_1 \leq 10.9 \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (5)}$$

文献[2]で発表されている台形及び長方形断面の場合と比較すると、同じ H_L/H_1 でも m (形状)のかわりに h_2/d によって L_j が変化することを示し、また実験式のこの配が同じである点など非常に類似していることが理解され、興味深く思われる。

(参考文献)

[1] 栗津, 近藤 ; 円形断面水路の跳水について, 土木学会30回年講, 1975

[2] 大津 ; 台形および長方形断面水路の自由跳水と潜り跳水, 土木学会論文報告集, 1976.2

図-4

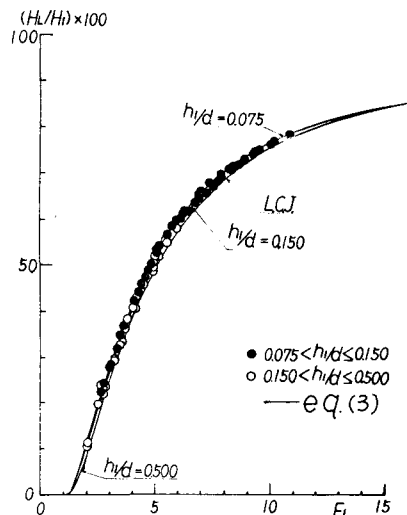
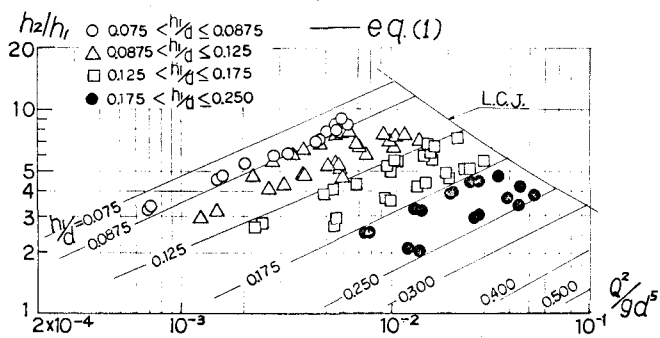


図-5

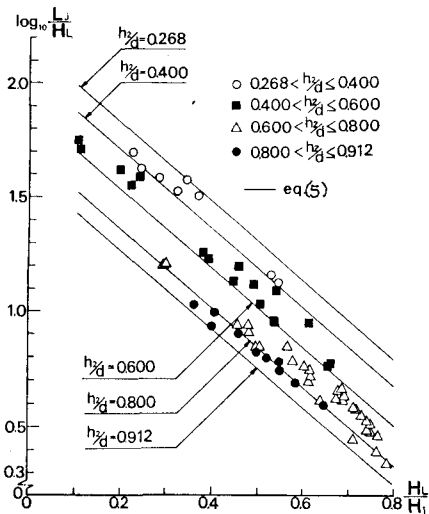


図-6