

II-14 台形せきによる跳水の安定限界について

京都大学防災研 正員 中川博次

1. 要旨 洪水調節用ダムの跳水型減勢工の経済的建設と機能の合理化を目的として台形せきを有する水叩きが広く用いられている。自由越流状態での跳水特性、減勢機能および跳水限界についてはすでに著者が実験的に考察し、その設計基準を明らかにした。本報告は、跳水中に台形せきが置かれた場合の跳水特性とくに減勢池内での跳水の安定限界を実験によって考察し、理論的解析の結果と比較検討したものである。

2. 跳水特性 幅50cm、長さ5.5mの硝子張り長方形一様断面水平水路の中段に高さ10cm、天端幅4cmの45°台形せきを設け、下流水位を調節してせきの上流任意の位置に跳水を形成せうようにした。水路床およびせき上にそれぞれ10cmおよび2cm間隔に圧力管を埋設し、ベンヌーメーターで圧力を測定した。水面形の測定によって $X/L_j < 0.8$ (X : 跳水始端からせきまでの距離, L_j : 正常跳水長) のときには常に最高水面はせきより下流に発生することが確かめられた。また、せき上流端の平均水深 h_0 と対応水深 h_j との比は X/L_j にほぼ直線的に比例し、 $X/L_j < 0.8$ ではその値は1より小さくなる。一方、最高水深 h_{max} と h_j との比と X/L_j との明確な相関は得られなかった。

3. 跳水必要下流水深 せき上で流れに作用する力の水平方向成分を次式で表す。

$$P_x = C_d \rho U_1^2 d / 2 \quad (1)$$

ここに、 C_d は抗力係数、 ρ は水の単位質量、 U_1 は跳水始端での平均流速、 d はせき高である。跳水始端と終端との間をたてられた運動量方程式は、無次元量 $\zeta = h_2/h_1$, $\delta = d/h_1$, $\lambda_1 = U_1^2/g h_1$ を用いて、

$$\zeta^3 - \{(2 - C_d \delta) \lambda_1 + 1\} \zeta + 2 \lambda_1 = 0 \quad (2)$$

で表わされる。図-1に実験圧力値から計算された C_d の値の変化を示すが、 X/L_j および跳水始端のフルード数 F_1 の増加とともに減少し、 $X/L_j > 1$ ではほぼ一定値に近づくことが示された。 $C_d \delta$ の種々の値に対する $\zeta - \lambda_1$ 曲線も(2)式によって得ることができるが、実測水深から計算された ζ の値は(2)式による計算値と十分満足すべき一致を示した。したがって、与えられたせきの位置、初期水理量および下流水位に対する跳水必要せき高を図-1および $\zeta - \lambda_1$ 曲線から求めることができる。

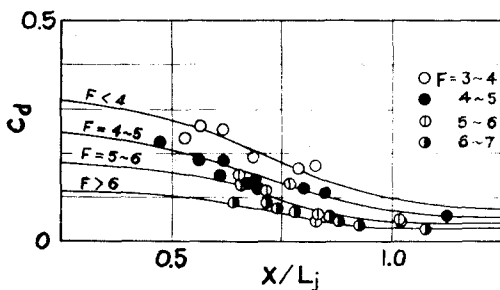


図-1

4. 臨界状態 ある下流水位条件のもとで安定した跳水が形成されているとき、放流量を次第に増加させるか、下流水位を低下させていくと、跳水先端が次第に下流へ移動し、ついにはせき上を射流状態とてび出すようになる。この瞬間の流れの状態を跳水-飛散臨界とよぶ。一方、飛散した流れが下流水位の増加によってせき上に跳水を形成し、水叩き内へ巻き込みを生じるときは飛散-跳水臨界とよぶこととする。跳水-飛散臨界状態すなわち $X=0$ のときの抗力係数 C_{d0} は下流水深の実測値から

(2)式を用いて計算された。図-2に示すように、

Q_{dc} は F_1 が大きいほど小さい値をとるようであり、また図-1と比較して X/L_f の低い領域での Q_{dc} の変化はあまり顕著でないことが認められる。

一方、飛散-跳水臨界ではせきの頂部で跳水が形成され、せきは一種の段落ちの機能を果たすものと考えることができる。せきより上流の水路床面上にとられた初期断面とせき上流面頂部との間にたそられたエネルギー方程式は無次元量で表示すれば、

$$(\lambda_1/2) + 1 = (\lambda_1/\lambda)^{1/3} \{ \cos \theta + (\lambda/2) \} + \delta + \zeta_f \quad (3)$$

となる。ここで、 λ_1 :初期断面での流れの動水係数 $=U_1^2/gh_1$ 、 λ :せき頂部で上流面に直角な断面での動水係数 $=U^2/gh$ 、 θ :せき上流面傾斜角、 ζ_f :上流面での摩擦損失水頭と h_1 との比である。いま、せき下流面における作用力として下流水深 h_2 に等しい静水圧分布を仮定すると、せき上流面頂部と下流断面との間で次の運動量方程式が得られる。

$$\frac{\rho g (h \cos \theta)^2}{2} + \frac{\rho g (zh_2 - d)d}{2} - \frac{\rho g h_2^2}{2} = \rho U h (U_2 - U \cos \theta) \quad (4)$$

(4)式と連続式より次式を得る。

$$\lambda = \frac{1}{2} \frac{\zeta_2 + \delta}{1 - (\zeta_2 + \delta) \cos \theta} (\cos^2 \theta - \zeta_2^2) \quad (5)$$

ここで、 $\zeta_2 = \zeta - \delta$ である。(3)および(5)式を用いて計算された $\zeta_2 - \lambda$ の関係曲線を図-3の実線で示すが、併記された実験値と比較してほぼ満足すべき一致を示した。また、飛散-跳水臨界下流水深は常に跳水-飛散臨界水深より高くなることが認められた。図-3に示される破線はこれらの値が限界状態になることを表わしており、実験値の下限とよく一致している。

参考文献

1) 中川博次:強制跳水に関する研究(1), 防災研究所年報第8号, 昭和40年3月。

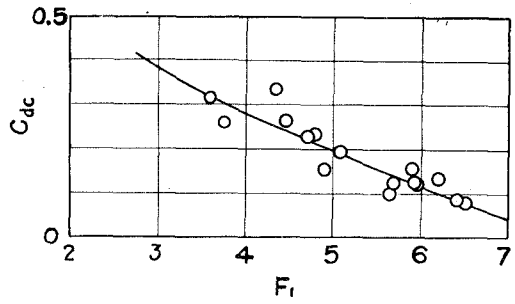


図-2

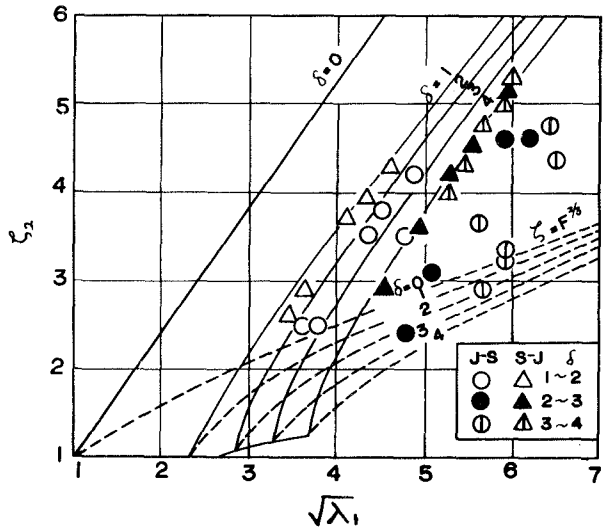


図-3