

中部電力(株) 正員 大野 定利
〃 〃 広田 敏1. 概要

洪水吐流の保有する高エネルギーを減殺する方法としては、流量、立地地図の河川水位および地形地質などの関係から、各種の減勢工形式が考えられ、従来から各種の形式が採用されてきたが、今回減勢能力向上の一方法として、放流水を高落差ダムから落下放出するものと、ダム底部水路から水平流出するものの、二つに分流して両水脈を水平水路床で衝突合流させて、その拡散混合によりエネルギーの減殺をさせた場合の減勢効果について、二次元水理実験により検討を行なった。

実験の結果、相当大きな減勢効果が存在することが認められ、この種のエネルギー減衰に関する解析手法を開発し、また実験の信頼性を検証するため、落下流のみの減勢効果について、既往の研究成果との比較検討も併せて行なつたので、減勢工に関する設計資料として、ここに紹介する。

2. ジェット流の衝突合流によるエネルギー減衰

落下流量の一部を底部水路からも流出させて、それぞれのジェット流を水平水路床上で、衝突合流させる場合衝突合流する前後にかけて、それぞれの保有エネルギーおよび残存エネルギーの観測結果を解析して、この種のエネルギー減衰関係を求めた結果を次式に示す。

$$\begin{aligned} g h_0^2/2 + Q_1 V_1 + Q_2 \sqrt{2g(H_2 - h_0)} \cos \theta_0 &= g h_m^2/2 + Q_m V_m \\ \theta_0 = \tan^{-1} \sqrt{\frac{\tan^2 \theta_t + 2g(H_2 - h_0) - V_t^2}{V_t^2 \cos^2 \theta_t}} & \\ h_m = H_2 \left[0.6383 \left(\frac{3\sqrt{Q_1^2/g}}{H_2} \right)^{1.3651} + 0.8659 \left(\frac{3\sqrt{Q_2^2/g}}{H_2} \right)^{1.4963} \right] & \\ H_{12} = \left(\frac{Q_1 \sqrt{H_1} + Q_2 \sqrt{H_2}}{Q_m} \right)^2 & \quad (1) \\ H_1 = H_0 + h_1 + h_0 & \\ Q_1 = h_1 V_1 = h_1 \sqrt{2g(H_0 - h_0)} & \\ Q_m = Q_1 + Q_2 = h_m V_m & \\ \text{但し } 0.2 \leq Q_2/Q_1 \leq 3.0, \quad 56 \leq \theta_0 \leq 81 & \quad (\text{度}) \end{aligned}$$

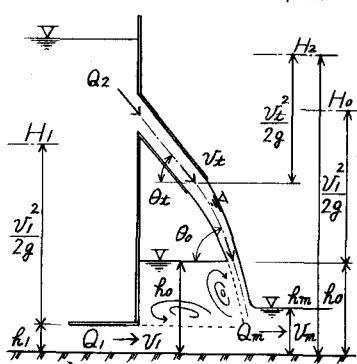
ここで、総流量 $Q_m = Q_1 + Q_2$ 、単位巾当り水平流量 Q_1 、単位巾当り落下流量 Q_2 、水平流の保有エネルギー・水頭 H_0 、落下流の保有エネルギー・水頭 H_2 、仮想エネルギー・水頭 H_{12} （実験データーの整理上使用）、水平流の射出端水深 h_1 （水平流の水深）、合流水の水深 h_m 、水じょく池の水深 h_0 、落下射出流速 V_t 、水平射出流速 V_1 、合流水の流速 V_m 、落下射出角度 θ_t 、水じょく池の水面突入角度 θ_0 、重力加速度 g である（図-1）。

従って、既知である H_0 、 Q_2 、 h_1 、 V_t および θ_t の諸量に対して (1) 式を導立てて、トライアル計算により解けば、底部水路の流量 Q_1 、合流束上流側に形成される水じょく池の水深 h_0 および衝突合流によりエネルギーが減殺された流出の水深 h_m を求めることができる。

3. 落下放出流のエネルギー減衰

高落差を有し、落下放出された水脈が水平水路床で衝突拡散混合によりエネルギーを失う場合のエネルギー減衰について、落下流の落下角度 θ_0 を $56^\circ \sim 81^\circ$ の範囲に対し実験データーを解析した結果、無次元係数 h_m/H_0 （落下した流れの水深 h_m 、落下流の保有エネルギー・水頭 H_0 ）に關係する無次元量は、単位巾当りの落下流量 Q_2 に対する限界水深 h_m 、落下流の保有エネルギー・水頭の比 $Q_2/g/H_0$ であることが判明し、これらの実

図-1 衝突合流の二次元拡散



験結果を整理すれば、次式で表わされる。

$$\frac{h_m}{H_2} = 0.5012 \left(\frac{\sqrt[3]{Q_2^2/g}}{H_2} \right)^{1.2446}$$

$$h_m = 2(1.45 - \cos \theta_0) \sqrt[3]{Q_2^2/g}$$

$$Z^3 + A Z^2/2 - B/2 = 0$$

$$Z = \cos \theta_0$$

$$A = H_2 / \sqrt[3]{Q_2^2/g} - 2.9$$

$$B = H_2 \cos^2 \theta_0 / \sqrt[3]{Q_2^2/g}$$

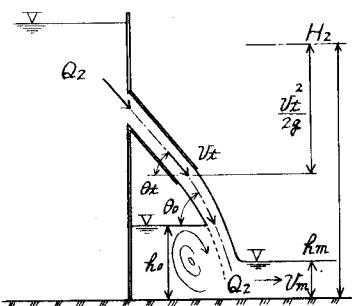
$$H_2 = V_2^2 / 2g$$

$$\text{但し } \frac{\sqrt[3]{Q_2^2/g}}{H_2} \leq 0.16, 56 \leq \theta_0 \leq 81 (\text{度})$$

(2)

図-2

落下流の三次元拡散



ここに、射出流速 V_2 、水じょく池水深 h_m 、落下した流れの流速 V_m 、射出角度 θ_0 、重力加速度 g である(図-2)。従って、既知である H_2 、 Q_2 、 V_2 、 θ_0 のそれぞれの諸量に対し V_m 、(2)式を計算すれば、水平水路床に落下した流れの水深 h_m および落下点上流側に形成される水じょく池の水深 h_m を求めることができる。

4. 結論

ダム洪水吐流の高エネルギーを減殺する方法の、一つとして落下放出する流水と底部水路からの水平流との衝突合流させることにより、エネルギーの減殺効果をあげる目的から、基礎的な実験を行なった結果、単位巾当たりの流量、落差、流量比などによっても異なるが、相当大きな効果が期待できることが判り汎用の実験式を得ることができた。即ち、実験の範囲では、(1)式を計算することによりその減殺効果を知ることができます。

また実験の信頼性を検証するための、落下流のみの減殺効果に関しては、既往の研究結果のうち、Plandによる研究とよく一致し、Whiteおよび安芸の式とは同一結果に至らなかつたが、今回の実験結果は、細長い矩形断面を有するノズルより水脈を水路床に比較的短い距離で落下衝突させた場合のエネルギー減殺効果についてまとめたものであり、安芸の研究では、アーチダム等に見られる越流方式のように、自由落下させた場合において、落下中にかかる水の粘性、表面張力等による水脈落下形状の変形、落下中の空気連行により水が圧縮性を帯び、これらの影響によりエネルギー減衰が異なることを考えられ、自由落下の場合の減殺効果は大きくなるものと考えられるが、その量的な把握は、実験装置の関係で出来なかつたので、今後更に検討したい。

尚実験結果の整理に当つては、統て無次元表示を用ひているため具体的な計算例について示す。

[計算例]

ダム高さ 5.0 m の場合について、放流方式が通常の重力ダムの越流方式(形式1)、アーチダムの越流落下方式(形式2)および落下放出方式とダム底部からの水平流を衝突合流させる方法(形式3)として、それらの放流方式別の減殺効果の比較を行なつた。比較方法は放流水の水叩き始端での水深 h_m の比較によることとし、 $Q_m = h_m \cdot V_m = \text{const.}$ から水叩き始端の平均流速の減速効果によって、判定することとした。

単位巾当たりの総放流量を 5.0 m^3/s とした場合、形式1による水叩き始端の流速を 100 % とすれば、形式2の流速は、85 %、形式3では、78 % に減速である。従つてエネルギーの減殺効果は、それぞれ全エネルギー水頭の 25 % および 36 % と大なる効果が期待できる。尚計算例では、自由落下途中の損失水頭は、ないものとして整理したものである。

おわりに今回の実験結果の整理に当り、電力中央研究所 安芸周一博士に、貴重な御意見を賜わつたことに深く感謝の意を表わします。

参考文献 [1] 水理公式集；第3編 5・3 高段落水路の跳水、安芸周一；自由落下水脈の水クッション効果に関する研究、電力中央研究所報告N. 6.9.009