

衝撃型減勢工に関する研究

中部電力 正員 渡辺 増美
 中部電力 宮本 晋一
 中部電力 ○豊田 淳士

1. 研究目的

流れ込み式水力発電所が緊急停止した際に水槽から溢水して流れる余水は、余水路末端で数十m/s と高流速となる。このため、安全上から十分減勢して河川に放流することが望まれる。この余水を減勢する代表的なものは減勢工と呼ばれる構造物であり、一般的に衝撃型、減勢室型、跳水型の3型式に大別される。

この内、衝撃型減勢工は、米国開拓局により研究開発されたもので、その設計手法が簡便なため、現在数多くの地点で採用されている減勢工である。

しかし、この設計手法は余水の流量のみから形状を決定するため、余水が高流速の場合に安全性に欠けることが過去の当社水理実験で報告されている。

本研究は、安全で適用範囲の広い減勢工を目標に、新たに余水の流量と流速を考慮して、自由に形状を選定できる衝撃型減勢工の設計手法を確立するために行ったものである。

2. 実験装置および方法

装置は、給水ポンプ、コントロールバルブ、電磁流量計、圧力タンク、半円形ノズルおよび減勢工模型により構成されている。減勢工の形状と諸元を図-1、表-1に示す。模型は、幅Bを10cmごとに4段階変えられ、これにバッフルウォールおよび下流せきのそれぞれの位置、形状も変えられる構造にした。

実験は、減勢工形状を変えながら減勢指標を満足する時の減勢工容積 V_w (図-1の斜線部)を、流入条件ごとに調べる方法をとった。

減勢指標とは、過去の水理実験の経験などから、バッフルウォール上を越流しないこと、バッフルウォール出口が露出しないこと、さらに下流のせき上の減勢後の水面変動比が0.4以下であり、せきを越流する流向が下向きであることなどである。

3. 実験結果の一例

今回行った実験では、最初に米国開拓局案の形状と流速との関係を検証し、流速が大きい場合に減勢状況が悪化することを確認した。次に、バッフルウォール部のみの減勢効果を114 ケース実施して調べ、位置・形状の設計方法を求めた。そして最後に、求めたバッフルウォールの位置・形状に適合した下流せきの位置・高さの組み合わせを140 ケース行い、その結果より得られたデータを

表-1 実験における諸元

記号	名 称
Q	流入・流出流量
V_1	流入流速
F_{r1}	流入フルード数
E_1	流入エネルギー水頭 (余水路敷を基準面とする)
E_1	流入エネルギー水頭 (減勢工敷を基準面とする)
E_2	減勢後のエネルギー水頭 (減勢工敷を基準面とする)
E_f	損失エネルギー水頭
h_1	流入水深
h_2	減勢後の平均水深
h_{2max}	減勢後の最大平均水深
h_{2min}	減勢後の最小平均水深
h_{jmax}	水じょう池内最大水深
L_0	上流側壁ひさし長
L_1	バッフルウォール設置位置
L_2	バッフルウォール水平部長
L_3	減勢工全長
B	減勢工幅
Z_0	上流側壁ひさし位置
Z_1	バッフルウォール鉛直部長
Z_2	減勢工深さおよび下流せき高
V_w	減勢工容積

$$\text{水面変動比} = (h_{2max} - h_{2min}) / h_2$$

h_2 減勢後の平均水深
 h_{2max} 減勢後の最大平均水深
 h_{2min} 減勢後の最小平均水深

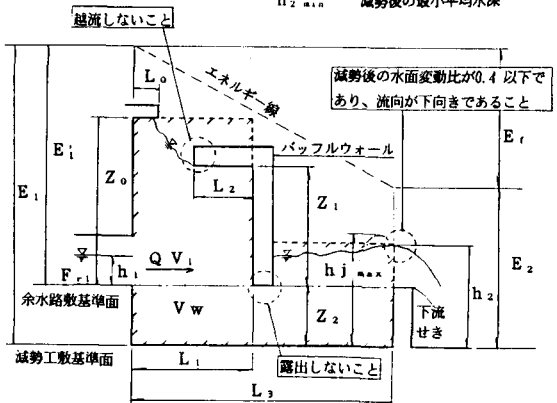


図-1 衝撃型減勢工諸元の記号

整理し、机上で設計できる“設計図表”を作成した。

バッフルウォール部の実験結果の一例として、図-2に流入運動量 $Q \cdot V_1$ に対し最も減勢工容積が少なかったバッフルウォールの位置 L_1 を、流水の飛距離 X_1 で無次元化し、流入フルード数 F_{r1} との関係求めたものを示す。なお、飛距離 X_1 は、流水の自由落下面が余水路敷の標高を基準とした線と交差する点であり、次式によって表される。

$$X = (h_1 / (g / 2 V_1^2))^{1/2}$$

この図から、最適位置 L_1 は飛距離 X_1 で表すことにより、流入フルード数 F_{r1} に依存すること無く、 $L_1 / X_1 = 0.42$ と一定値で表現できる。なお、バッフルウォールの形状である鉛直部 Z_1 、水平部 L_2 は、ともに流入フルード数 F_{r1} に依存する傾向を示した。また、減勢目標が得られる範囲での流況を考察すると、バッフルウォールと上流の壁で囲まれた領域を小さくする程、減勢効果が大きくなる傾向を示した。

次に、下流にせきを加えた実験では、減勢工深さ(せきの高さ)、エネルギー損失水頭、減勢工全長、減勢後の水深を求められる設計図表を作成した。設計図表の一例として、図-3に減勢工全長 L_3 についてエネルギー損失水頭 E_f で無次元化し、流入フルード数 F_{r1} との関係で表したものを示す。なお、 E_f は、図-1に示すように流入エネルギーと減勢後のエネルギーとの差であり、他の設計図表によって、せき高さ Z_2 と減勢工幅 B との比から、フルード数 F_{r1} により求まるようにしてある。

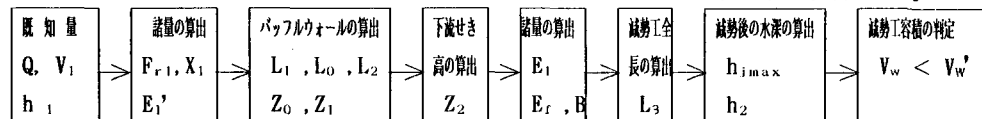
この図では、流入フルード数 F_{r1} に伴い損失エネルギー水頭 E_f が増大するため、右下がりの図となった。

4. 減勢工容積

今回実施した模型実験の減勢工容積 V_w と運動量 $Q V_1$ との関係を図-4に示す。図より両者の間には比例関係が成立しており、最小二乗法で整理した値は、 $V_w = 0.634 Q V_1 + 0.011$ となった。ここで0.011は値が小さいので無視し、 $V_w = 0.634 Q V_1$ を減勢工の必要容積と考えた。よって、設計図表より求めた形状から算出する減勢工の仮容積 V_w' は、 $0.634 Q V_1$ を上回れば良いことになる。

5. まとめ

実験結果を整理し、減勢工の設計に関して、今回の実験結果を適用すれば、以下の手順となる。



今回の研究により、流量と流速による減勢工の設計が可能となり、今まで問題であった高流速の余水にも対応できるようになった。また、減勢工の長さ、幅、深さなどを選択できるため、適用する地点の用地形状に合った設計も可能となった。

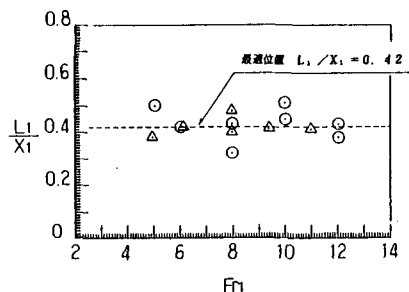


図-2 バッフルウォール位置 L_1

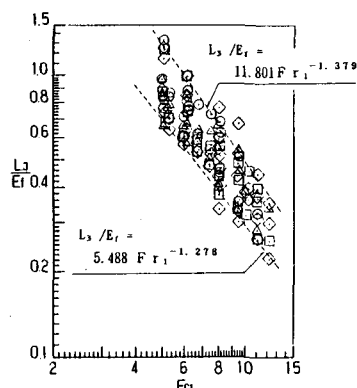


図-3 減勢工全長 L_3

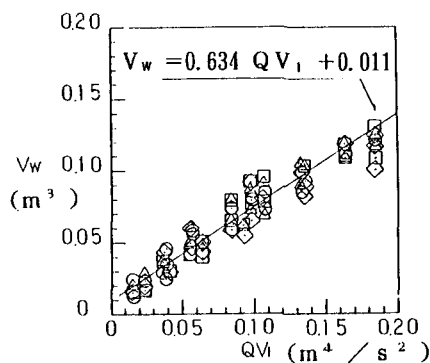


図-4 減勢工容積