

中部電力 正員 広田 敏
中部電力 正員 大野 定利

1. まえがき

高速射流の減勢方法としては、地形、流量、フルード数、周辺環境等の条件から各種の減勢工が考えられ、跌水式、落下式、スキージャンプ式、衝撃型、格子型、立坑型等がある。

この内、立坑型減勢工は、①流量の適用範囲が広く、安定した流況が得られる。②平面形状が小さく用地的に有利である。③余水路末端水深と放流水位をそれぞれ独立に選べ、その間の高低差を立坑の長さで調整できる。④余水路方向に対して放流角度を自由に選ぶことができる。等の特徴を有し、近年における騒音等に対する環境問題の深刻化ならびに立地条件の厳しさを考慮すれば、今後、中規模減勢工の主流になるものと考えられるが、この種の減勢工設計手法に関する研究は比較的少ない。

本報告は立坑型減勢工の水利設計に必要な減勢室の大きさならびに形状について実験的に検討したものであり、減勢室容量は余水の保有エネルギー水頭および流量との関数に依存するものと解釈した実験式を提案した。

2 実験装置および方法

装置は図1に示すような、長さ3.5m、幅1.0m、深さ1.5m(最大)の透明塩化ビニル製水路で行ない、模型への給水は口径200mmの水中ポンプにより流量測定用のベンチュリ管(φ200mm)を経由させたのち鋼製圧力タンクに導き、落差調整用ガイドパイプの先端に取付けた射出用ノズル(塩ビφ76mm・φ133mm)で減勢室に落下させた。

実験は図2に示す減勢室形状とし、まず任意に設定した長さ l_2 、深さ z 、幅 B に対して減勢可能な限界流量 Q を求めた。限界流量とは減勢室内で安定した水クッションが生じ、飛散しない限界の流量である。次にこの Q に対して、落下面上流側長さ l_3 、流出部長さ l_1 および減勢室内水位 h_0 をそれぞれ求めた。 l_3 が過小であれば落下面上流側の水位が局部的に上昇し、飛散するため飛散しない限界の長さとした。

また落下水の保有エネルギー水頭を変にさせるため、射出用ノズルの口径 d_0 および高低差 H_0 を変にさせ、射出端流速 U_0 はノズル断面積から換算した。本実験の主な実験条件は表1に示す通りであるが、 $U_0=2.0\sim9.0$ m/s, $Q=10\sim60$ l/sの範囲で行なった。

3 減勢室の大きさ

図3に示す流量 Q 、直径 d (衝突直前)の落下水が、水路幅 d の水平床に U の流速で衝突する場合、衝突の前後にベルヌーイの定理を適用すれば次式で与えられる。

$$E = h_2 + U_2^2/(2g) + h_f \quad (1)$$

ここに、 E :落下水の保有エネルギー水頭($=U^2/(2g)$)、 h_2 :衝突後の水深、 U_2 :衝突後の流速、 h_f :衝突による損失エネルギー水頭。

また、連続の式は、 $Q = h_2 \cdot d \cdot U_2$ であり(1)式に代入して両辺を h_2 で微分すれば、 $h_f=0$ の時、

$$\frac{\Delta E}{\Delta h_2} = 1 - \frac{Q^2}{g \cdot d^2 \cdot h_2^3} \quad (2)$$

となり、 $\Delta E/\Delta h_2=0$ の時、 $h_2 = \sqrt[3]{(Q/d)^2/g}$ である。即ち h_2 が限界水深の時を表わし、このような h_2 と E との無次元比 X を次式で与え、これを落下水の落下指数と仮称した。

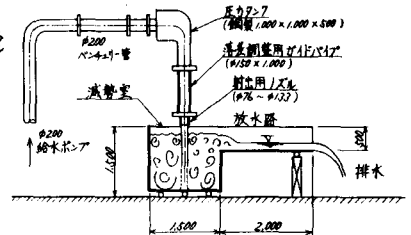


図1 実験装置

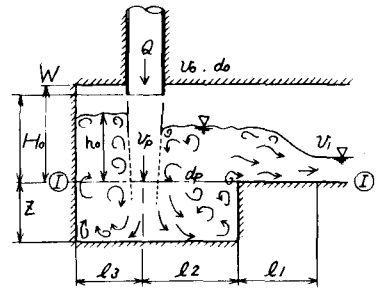


図2 減勢室形状

表1 実験条件

Q (l/s)	10~60	l_3 (m)	0.1~0.9
B (m)	0.15~0.55	H_0 (m)	0.3~0.9 (3種)
z (m)	0.2~0.7	d_0 (mm)	76~133 (2種)
l_1 (m)	0.3~0.4	U_0 (m/s)	2.0~9.0
l_2 (m)	0.3~0.8		

$$X = \sqrt[3]{(Q/d)^2/g} / E \quad (3)$$

図2に示した減勢室に流量 Q 、高低差 H_0 、射出端流速(立坑末端流速) U_0 で落下する場合、①～④断面における保有エネルギー水頭 E_p 、仮想流速 U_p 、仮想直径 d_p は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} E_p &= U_0^2/(2g) + H_0 = U_p^2/(2g) \\ U_p &= \sqrt{U_0^2 + 2gH_0}, \quad d_p = \sqrt{1.273 Q/U_p} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

仮想流速とは、初速 U_0 で自由落下する場合の落下過程における抵抗と無視した流速で、その時の円形換算直径を仮想直径と仮称したもので、 $E_p = E$, $U_p = U$, $d_p = d$ として、(3)式で示される落下指数 X と減勢室容積との関係を求めた。

図4は、横軸に落下指数 X 、縦軸に減勢室容積比 $Y_b = (l_2 + l_3)Z \cdot B / E_p^3$ ととり、 $1.43 \leq B/d_p \leq 7.45$ の範囲に対する実験値をプロットしたもので、最小二乗法により整理すれば次式で与えられる。

$$Y_b = 8.847 X^{3.297} \quad (5)$$

同様に落下途中下流側の容積比 $Y_a = l_2 Z \cdot B / E_p^3$ に対して、

$$Y_a = 5.705 X^{3.350} \quad (6)$$

となり、これらの関係が成立する Z/B および l_2/B の適用範囲は、図5に示すように次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} 0.553 \leq Z/B \leq 2.041 \\ 1.019(Z/B) \leq l_2/B \leq 2.085(Z/B) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

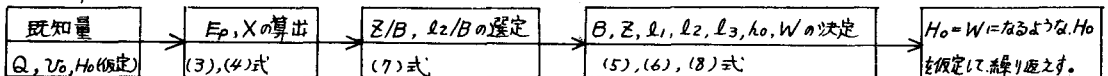
一方、流出部長さ l_1 および減勢室内水位 h_0 は、図6に示すように

$$\left. \begin{aligned} l_1/B &= 1.182(Z/B) \\ h_0/B &= 0.948(Z/B) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

となり、減勢室の高さ W は、実験での流況を考慮して、 $W = 1.3 h_0$ 程度見込めば、水理設計上、支障ないものと判断された。

4 まとめ

減勢工の設計に際して、今回提案した実験式を適用すれば、次の通りである。



例えば、 $Q = 4.6 \text{ m}^3/\text{s}$, $U_0 = 35.8 \text{ m/s}$, $H_0 = 7.6 \text{ m}$ に対する減勢室形状は、 $Z/B = 1.167$, $l_2/B = 1.250$ とした場合、 $B = 6.0 \text{ m}$, $Z = 7.0 \text{ m}$, $l_1 = 8.4 \text{ m}$, $l_2 = 7.6 \text{ m}$, $l_3 = 5.9 \text{ m}$, $h_0 = 6.6 \text{ m}$, $W = 6.6 \text{ m}$ とすれば良い。

今後、減勢室の圧力特性ならびにエネルギー減勢率等について、実験による検討を加え明らかにしたい。なお本研究に際し、電力中央研究所、丸岡計氏、福原肇氏の御指導、御協力を得たことを深謝する。

〔参考文献〕※1) 福原肇一：読書堂電力水槽余水路減勢工の水理検討，電力中央研究所報告。

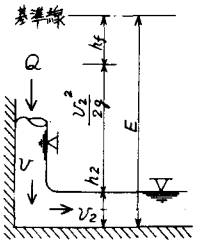
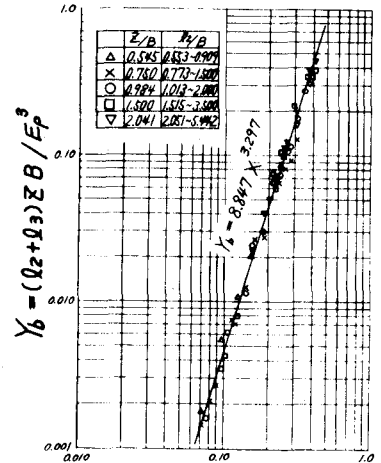


図3 エネルギー水頭



$$X = \sqrt[3]{(Q/d_p)^2/g} / E_p$$

図4 減勢室容積

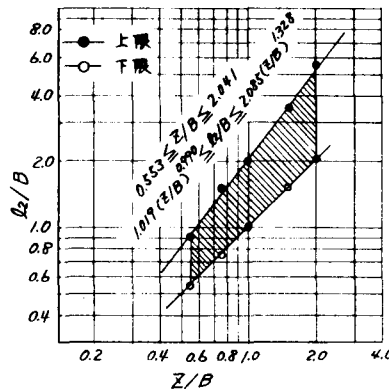


図5 $Z/B, l_2/B$ の適用範囲

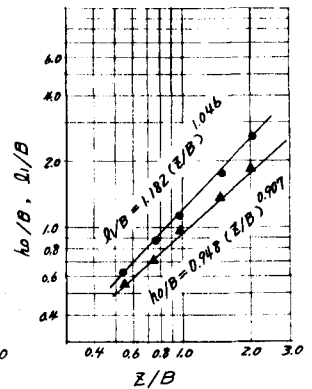


図6 $h_0/B, l_1/B$ の関係