

開水路側壁に設置した角柱の水頭損失について

○ 東北電力(株) 総合研究所 正員 佐々木牧夫
東北電力(株) 総合研究所 正員 氏家 久芳
(株)東北開発コンサルタント 正員 三瓶 隆雄

1. はじめに

水路の損失水頭を求めるために、粗度係数や形状損失係数などが与えられており簡便に算出できるようになっているが、水路トンネルに設置した支保工などの様に障害物の連続した水路の損失水頭については明確にされておらず、実測または実測値から試算により損失水頭および粗度係数を決定しているのが現状である。

本報告は、水路側壁に支保工が設置されている場合をモデルとし、損失水頭係数および不等流計算に用いる粗度係数の算出を目的として行ないその結果について報告する。

2. 実験装置および実験条件

図-1に示すように、幅40cm・深さ40cm・長さ20mの勾配可変式のガラス製開水路を用いて行なった。支保工を意味する角柱は、先端形状が直角な2cm×2cmの亚克力柱を使用した。

流れは、水位変化の比較的小さい常流状態として、角柱周辺においてもフルード数の十分小さな表-1に示す4ケースについて行なった。流速測定は正反式プロベラ流速計(径5mm 計測技研製)を用い精密法により行なった。水位測定は、サーボ式水位計(SW402型 計測技研製)を用いて行なった。

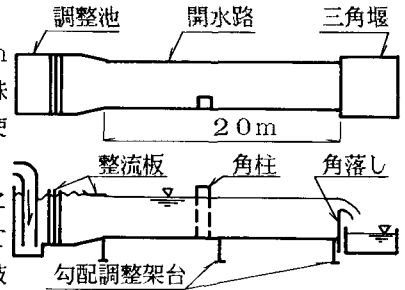


図-1 水路概略図

3. 理論的考察

開水路側壁に設置した角柱周辺の流れは、水路の幅を急激に狭めて流れを阻害する角柱の下流側に渦が発生して形状抵抗を受ける。図-2において、 h_1 を上流水深、 v_1 を上流の流速、 α_1 をその点の流速分布による補正係数、 h_2 を角柱のすぐ下流の水深、 h^* を $h_1 \sim h_2$ の水位差、 v_2 を角柱のすぐ下流の流速、 C を狭さくによる流量係数、 h_f を摩擦損失水頭とすれば、それらの関係はTracyおよびCarter¹⁾によって次式で示されている。

$$h^* = V_2^2 / (2gC^2) - \alpha_1 V_1^2 / 2g + h_f \quad (1)$$

ここで、角柱による損失水頭 Δh と h^* の比 $k_h = \Delta h / h^*$ は、粗度係数 n と水路幅縮小比 $B_* = B_2 / B_1$ により、狭さくによる流量係数 C は、水路幅縮小比 B_* と狭さく部の水路幅 B_2 に対する角柱の流れ方向の長さ l の比 l / B_2 によりそれぞれ表わされるものとする、摩擦による損失水頭を無視し、角柱による損失水頭のみを考えると連続式より(1)式は

$$\frac{\Delta h}{k_h} = \frac{1}{2C^2} \cdot \frac{(k_h h_2 / h_1)^2}{(h_2 / h_1 - 1 + k_h)^2} \cdot \frac{B_1^2}{B_2^2} \cdot \frac{V_4^2}{g} - \frac{\alpha_1}{2} \cdot \frac{h_4^2}{h_1^2} \cdot \frac{V_4^2}{g}$$

となる。 $h_4 / h_1 = \phi$ とおき、簡単のため $\alpha_1 = 1$ とすると

$$\frac{F_{r4}^2}{2} = \frac{(1 - \phi)}{k_h \phi^3} \cdot \frac{k_{Fr}^2 C^2 B_*^2 (\phi - 1 + k_h)^2}{k_h^2 - k_{Fr}^2 C^2 B_*^2 (\phi - 1 + k_h)^2} \quad (2)$$

となる。ここで、 k_{Fr} は角柱のすぐ下流のフルード数による流量係数 C の補正係数である。(2)式は任意の B_* による F_{r4}^2 と ϕ の関係を表わしている。

また、形状抵抗によるエネルギー損失は、Darcy-Weisbachによると

表-1 実験諸元

ケース	勾配	流量 (l/s)	水路幅 (cm)
1	1/10000	7.307	40.0
2	1/5000	10.334	40.0
3	1/2000	16.340	40.0
4	1/1000	23.108	40.0

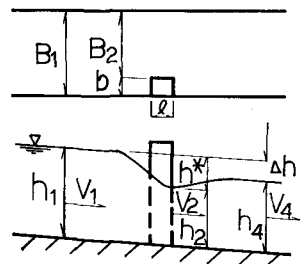


図-2 角柱周辺の流れ

$$\Delta h = \xi \cdot V_4^2 / 2g$$

ここに ξ : エネルギー損失係数

と表わされる。これを变形すると

$$\Delta h / h_4 = \xi \cdot F_{r4}^2 / 2 \quad (3)$$

となり、エネルギー損失係数 ξ は、 $\Delta h / h_4$ と $F_{r4}^2 / 2$ で表わされる直線の傾きに等しくなるが、 $\Delta h / h_4$ は ψ の 1 次関数で表わされるため、角柱によるエネルギー損失係数は (2) 式で表わされる直線群の傾きであると言える。

4. 実験結果

- (1) エネルギー損失係数 ξ は、(2) 式より図-3 に示すとおりである。実験から、水路幅縮小比 $B_* = 0.95$ の場合のエネルギー損失係数 ξ は、0.06047 であった。

- (2) 角柱による損失水頭 Δh と角柱の影響を考慮する区間の摩擦による損失水頭 h_f を角柱周辺の粗度係数 n で表わすと、水路幅縮小比 $B_* = 0.95$ の場合のエネルギー損失係数 ξ を 0.06047 とすれば、 n は図-4 に示すように角柱の影響を考慮する長さ L と角柱下流のフルード数 F_{r4} を変数とする直線群で表わすことができる。

- (3) 水路幅縮小比 $B_* = 0.95$ の場合の水路横断方向の流速分布を図-5 に示す。流速分布は、角柱下流に発生する渦により乱されるが、その後徐々に回復し角柱の流れ方向の長さの約 30 倍付近で上流側の分布状態にほぼ復帰する。

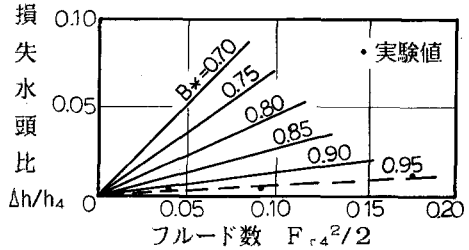


図-3 エネルギー損失係数

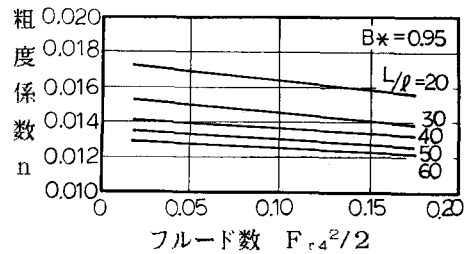


図-4 粗度係数

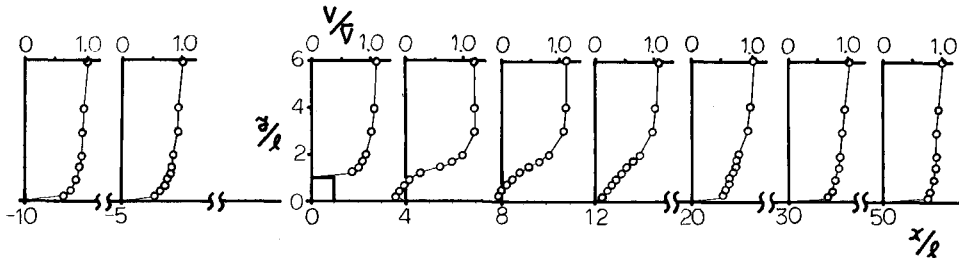


図-5 流速分布図

5. おわりに

- (1) 支保工により補強された水路トンネルなどの障害物が連続する水路においては、連続する間隔が障害物の影響のある範囲（障害物から下流の流速分布の復帰する地点までの長さ）より長い場合は障害物個々の損失水頭は障害物が単独の場合とほぼ同じであると考えられる。
- (2) 障害物の間隔が短い場合は、上流側の障害物の影響が下流に影響を及ぼすものと考えられ、今後は、水路幅縮小比 B_* を変化させるとともに障害物を連続した場合について実験を行ないたいと考えている。

(参考資料)

- 1) Tracy, H. J. & Carter, R. W.: Backwater Effects of Open-Channel Constrictions, Trans. A. S. C. E., 120, (1955), 993~1018