

II - 5 5

開水路側壁に連続して設置した角柱の水頭損失について

○（株）東北開発コンサルタント 正員 三瓶 隆雄
東北電力（株）電力技術研究所 正員 佐々木牧夫

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単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場合の損失水頭については明確にされておらず、実測により損失水頭を求め、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に、角柱間隔を変化させて粗度係数を実験により求め、その粗度係数より粗さを表わすニクラーゼの相当粗度 k_s を算出し、栈粗度に関する多くの実験資料と比較検討した結果を報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験は、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、水路勾配1/1200、使用流量16.34l/secで行なった。

支保工を意味する角柱は、2cm×2cmのアクリル棒を使用し、表-1のような配列で片側の側壁に設置した。

測定は、サーボ式水位計（SW402型 計測技研製）を用いて、角柱設置区間の上流側および下流側で水深測定を行なった。

3. 解析方法

（1）角柱設置側壁の粗度係数 n_w

角柱設置区間の粗度係数 n を、下流側水深 H_1 および上流側水深 H_2 から不等流計算の試算法（標準逐次計算法）により求める。

$$H_2 + Z_2 + \frac{Q^2}{2gA_2^3} = H_1 + Z_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^3} + \left(\frac{n^2 l Q^2}{2R_1^{4/3} A_1^2} + \frac{n^2 l Q^2}{2R_2^{4/3} A_2^2} \right)$$

実験での流れが常流であるため、計算は下流から上流に向かって行なう。

角柱間隔ごとに平均して損失水頭が生じると考えれば、計算始点は角柱より s/k 離れた下流地点で、終点は最上流角柱先端である。

計算より求められた n は、流水断面の合成粗度係数であり、長方形断面で隅辺粗度の異なる場合、 n は、

$$n = \left(\frac{\sum (P_i \cdot n_i^{3/2})}{\sum P_i} \right)^{2/3} = \left(\frac{(H \cdot n_1^{3/2} + B \cdot n_2^{3/2} + H \cdot n_3^{3/2})}{(2H+B)} \right)^{2/3}$$

となる。この式により、角柱を設置した側壁だけの粗度係数 n_w を求めることができる。

（2）相当粗度 k_s

長方形断面水路において、流水断面積を側壁および底面粗度の影響により分割することができ、個々の

表-1 角柱配列

s/k	角柱および設置区間距離 (m)	
60	2(1.2), 3(2.4)	
40	2(0.8), 3(1.6), 4(2.4)	
30	2(0.6), 3(1.2), 5(2.4)	
20	2(0.4), 3(0.8), 4(1.2), 5(1.6), 7(2.4)	
10	2(0.2), 3(0.4), 4(0.6), 5(0.8), 7(1.2), 13(2.4)	
5	2(0.1), 3(0.2), 5(0.4), 7(0.6), 13(1.2), 25(2.4)	

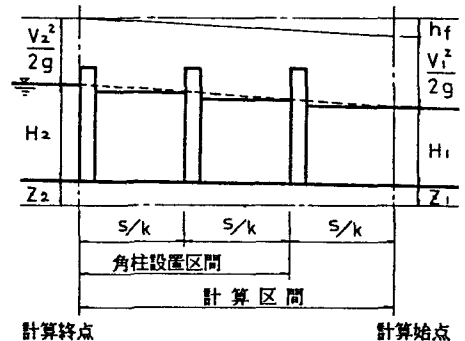


図-1 不等流計算

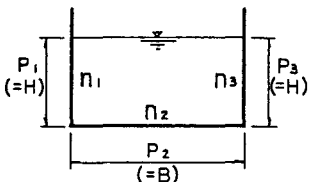


図-2 合成粗度係数

分割断面で個々の抵抗則が成立するものとする。個々の分割断面の平均流速 V_i が全断面の平均流速 V に等しくなるとし、抵抗則としてマンニング式を用いれば、

$$V = n_w^{-1} \cdot R_w^{2/3} \cdot I_e^{1/2}$$

が成立する。 I_e はエネルギー勾配であり、この式より側壁に関する径深 R_w を求めることができる。

側壁に関する摩擦損失係数 f は、ダルシー・ワイズバッハの式より、

$$f = 8 g R_w I_e / V^2 = 8 g n_w^2 / R_w^{1/3}$$

さらに、粗面乱流の対数式では、

$$1 / \sqrt{f} = 2 \cdot \log_{10}(R_w / k_s) + 2.12$$

となり、相当粗度 k_s を求めることができる。

4. 実験結果

不等流計算を行なった区間距離とその粗度係数 n について、図-3 に示す。これによると、区間距離が 0.8m 以上になれば、 n は s/k ごとにほぼ一定となることがわかる。解析は、ほぼ一定となった n の平均値 $\bar{n}$ を使用して行ない、その結果を表-2 に示す。

表-2 解析結果

s/k	$\bar{n}$	$\bar{h}$	n_w	I_e	R_w	f	k_s	k_s/k	レイノルズ数
60	0.0129	0.0996	0.0243	0.001038	0.1725	0.08347	0.0368	1.84	2.1×10^5
40	0.0136	0.0996	0.0274	0.001146	0.1908	0.10193	0.0595	2.98	
30	0.0142	0.0996	0.0299	0.001255	0.2034	0.11898	0.0830	4.15	
20	0.0153	0.1000	0.0343	0.001446	0.2238	0.15201	0.1341	6.71	3.5×10^5
10	0.0163	0.0998	0.0383	0.001655	0.2392	0.18525	0.1892	9.46	
5	0.0149	0.0999	0.0327	0.001381	0.2159	0.13982	0.1141	5.71	

図-4 は、棧粗度に関する従来の実験資料と今回の実験結果を整理したもので、純棧間隔 c/k に対する流水抵抗の特性を示したものである。資料の場合、角柱を底面のみもしくは全潤辺に設置しているが、今回のように、支保工をモデルに角柱を側壁のみに設置した場合でも、 c/k に対する抵抗特性は従来と同じ傾向になることがわかる。しかし、今回の実験結果は水深（径深）の低い場合だけの結果であるため、 k_s/k の数値に対する判断をすることはできない。したがって、径深を増加させた場合の実験を行ない、径深と k_s/k の関係を求める必要があると考える。

5. おわりに

今回の実験より、支保工への実用化を図ることはできなかったが、角柱間隔に対する k_s/k を定量的なものとして求めれば、実用化することが可能であると考えている。

（参考資料）

- (1).石原藤次郎：水工水理学，丸善，昭和47。
- (2).Johnson, J.W.: Rectangular artificial roughness in open channels, A. G. U. 1944

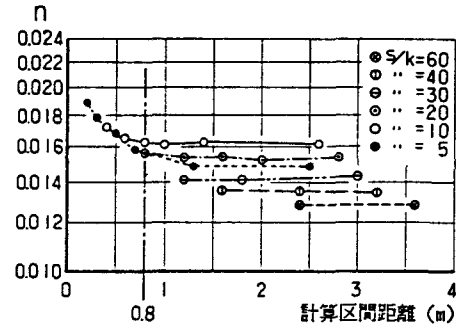


図-3 計算区間距離による粗度係数の変化

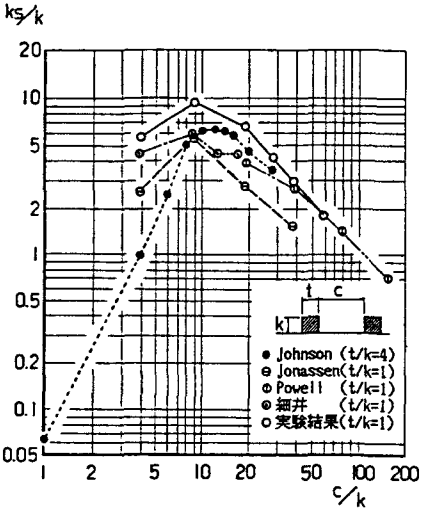


図-4 棧間隔に対する流水抵抗特性