

II-236 水路に連続して設置した支保工の粗度評価について

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

1. はじめに

水力発電所導水路トンネルでは、経年劣化に伴う機能の維持のために支保工を設置する場合がある。しかし、水路に連続した凹凸が生じ、通水後の流れの諸量を求めるのは困難である。そこで、支保工による連続した凹凸を壁面の粗さとし、これによる水頭損失を摩擦による水頭損失と考え、粗度係数として表すことを目的に水理実験を行った。その結果を報告する。

2. 実験装置および条件

実験に用いた水路は、幅40cm深さ40cm長さ20mの勾配可変式のガラス製開水路である。支保工には、2cm×2cm・4cm×4cmの先端形状の直角な透明アクリル柱を使用した。

測定は、水位および流速について行った。水位測定は、支保工背後に形成される渦領域内の変動が大きいため、ポイントゲージ（1/10mm読み計測技研製）とサーボ式水位計（SW402型 計測技研製）を併用した。流速測定は、正反式プロベラ流速計（径5mm 計測技研製）を使用した。

実験条件は、表-1～3に示すとおり、支保工を単独で設置したケース・支保工を連続して設置したケース・径深（水深）を変化させたケースである。

3. 実験結果および考察

(1) 支保工設置間隔による影響 n_{sk}

支保工設置面の粗度係数は、支保工の設置間隔が支保工の高さの10倍（ $s/k=10$ ）においてピーク値となり、流水抵抗が最大となっている。なお、図-1には支保工を単独で設置した場合のデータを支保工の抗力係数より、その設置間隔を $s/k=160$ と評価¹⁾²⁾し図示している。支保工の設置間隔が大きくなるに従い、支保工設置前の壁面の粗度係数に漸近し、支保工の設置間隔が最小となる $s/k=1$ （支保工が間隔を開けず隣接する状態）では、支保工設置面は凹凸がなくなり、支保工の影響は無視できる。（水路幅は支保工の高さだけ狭くなる）以上を境界条件とすると、支保工設置間隔の影響は（1）式で表される。

$$\frac{n_{sk}}{n_o} = 26.650 \left[\frac{1}{105 \sqrt{2\pi}} \left(7L_{0.910} \frac{s}{k} \right)^{3.5} \exp \left\{ \left(-7L_{0.910} \frac{s}{k} \right) / 2 \right\} \right] + 1 \quad (1)$$

※ [] 内は、自由度9のカイ2乗分布で回帰 n_o ：支保工設置前の壁面の粗度係数

(2) 支保工の形状による影響

支保工の断面形状が正方形の場合の設置間隔による影響を（1）で述べたが、Tracy-Carterが示した橋台の流水抵抗に関する実験式³⁾では、橋台の形状により水頭損失係数が変化しており、ここでも、粗度係数に対する支保工の形状による影響を考慮しなければならない。そこで、支保工1基の水頭損失を橋台の流水抵抗式より求め、支保工設置間隔 $s/k=160$ として、計算により粗度係数に対する支保工の形状による影響を評価する。計算結果を図-2および3に示す。支保工の高さに関する係数 k_1 は

$$k_1 = 2.40k/B + 0.88 \quad (2)$$

表-1 実験条件（単独支保工）

勾配 I	流量 Q (l/s)	支保工断面寸法 (cm)
1/10000	7.307	2.0X2.0X1
1/5000	10.334	2.0X2.0X1
1/2000	16.340	2.0X2.0X1
1/1000	23.108	2.0X2.0X1
1/2000	16.340	2.0X2.0X2
1/2000	16.340	4.0X4.0X1

表-2 実験条件（連続支保工）

設置間隔	2	3	4	5	7	13	25
s/k c/k	計算区間距離 L (m)						
5	4	0.2	0.3	0.5	0.7	1.3	2.5
10	9	0.4	0.6	0.8	1.0	1.4	2.6
20	19	0.8	1.2	1.6	2.0	2.8	-
30	29	1.2	1.8	2.4	3.0	-	-
40	39	1.6	2.4	3.2	-	-	-
60	59	2.4	3.6	-	-	-	-

表-3 実験条件（高水深）

勾配 I	水深 (cm)	流量 (l/s)	支保工設置間隔 (本数) s/k
1/2000	20.0	49.755	5(25), 10(13), 20(7)
1/5000	20.0	39.804	5(25), 10(13), 20(7)
1/5000	30.0	67.422	5(25), 10(13), 20(7)

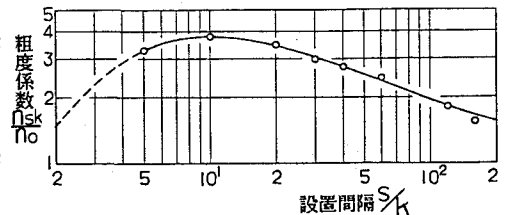


図-1 支保工設置間隔の影響

と表され、粗度係数に対する支保工の高さの影響は、直線的に比例していることがわかる。支保工の長さに関する係数 k_2 は

$$k_2 = (k/l)^{0.106} \quad \text{----- (3)}$$

と表され、支保工の長さ l に反比例していることがわかる。

（3）径深による影響

径深を変化させた表-3に示す9ケースの実験結果と従来の栈粗度に関する実験資料^(2) 4) 5)の比較を図-4に示す。従来の実験資料に比べ実験値は大きめの値を示している。実験値は栈底を基準面としているが、従来の実験資料は基準面の位置が同一ではなく一概に比較はできないが、 $c/k=9$ ($s/k=10$) 付近においてピークを示す傾向は同じである。径深を変化させた4ケース（実験値）を見ると、径深 $R=0.1$ （勾配 $I=1/5000$ 水深 $H=20\text{cm}$ ）のケースが小さな値となっているが、他の3ケースは、径深が変化するにもかかわらず同程度の値であり、径深の影響はこの場合小さい。

以上より、支保工設置壁面の粗度係数は、支保工設置間隔 s/k ・支保工の高さ k ・支保工の長さ l により(1)~(3)式と表すことができ、3式を合成すると

$$n_w/n_o = k_1 \cdot k_2 \cdot n_{sk}/n_o \quad \text{----- (4)}$$

となり、支保工設置壁面の粗度係数 n_w は、支保工の設置形状より容易に得ることができる。

4. 現地実測との比較

実水路の断面形は図-5に示すように標準馬蹄形水路であり、内面に高さ 10cm のH型鋼製支保工を 1m 間隔に延長 318m 設置している。実水路における支保工の粗度係数は、標準逐次計算法により表-4に示す諸元を用いて行っている。下流水深は、支保工設置区間下流に無支保区間が 240m 程度あることから等流水深としている。上流水深は、支保工設置区間の上流約 1140m 地点に位置する竪坑において実測した結果を用いている。無支保区間の粗度係数は、経年劣化後のコンクリート面として $n_o=0.015$ としている。以上から、支保工設置区間の断面合成粗度係数は $0.044\sim0.045$ が得られている。

これに対し、実験から求められた算定式を用いて支保工の粗度係数を推定すると、(4)式より支保工の粗度係数 n_w は 0.056 が得られ、断面の合成粗度係数 $n=0.042$ となる。実水路における測定結果から求めた粗度係数に対して、少し小さな値となっているが、ほぼ妥当な結果が得られている。

<参考文献> 1) 石原藤次郎：水工水理学，丸善，昭和47年

2) 足立昭平：人工粗度の実験的研究，土木学会論文集第104号，昭和39年

3) Tracy, H. J. & Carter, R. W.: Backwater effects of open-channel constrictions. Trans. A.S.C.E., 120, (1955), PP. 993~1018 4) Johnson, J. W.: Rectangular artificial roughness in open channels. Trans.

Amer. Geophys. Union, Hydrology Section, 1944, PP. 906~914 5) Powell, R. W.: Flow in a channel of definite roughness. Trans. A.S.C.E., vol. 111, 1946, PP. 531~566

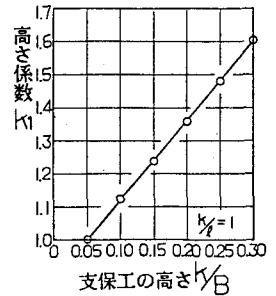


図-2 高さの影響

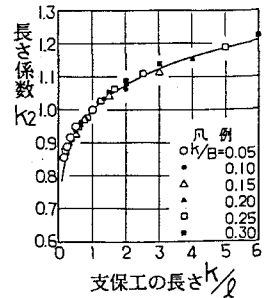


図-3 長さの影響

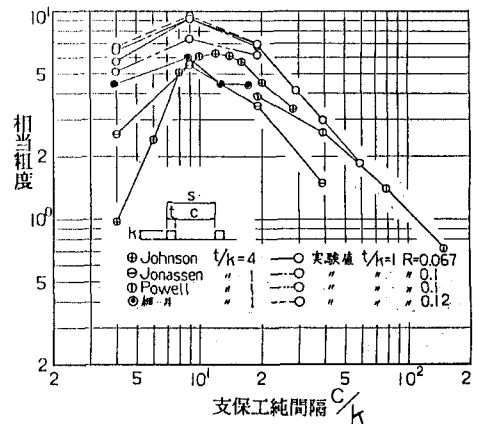


図-4 支保工純間隔と相当粗度の関係

表-4 測定諸元

流量	4.445 m³/s
水路勾配	1/1200
断面係数 (コンクリート)	0.015
等流水深	1.538 m
流水断面積	3.051 m²
溝 辺	4.634 m

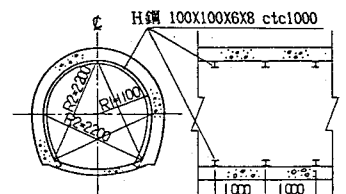


図-5 水路断面および支保工配置