

VI-112

粗度改良による導水路の通水能向上について

名城大学 理工学部	正会員	新井宗之
東亜合成化学工業（株）	正会員	福島浩一
同上	正会員	天野時元

1. はじめに

水力発電の水資源の有効活用を図る一つの方法として使用水量の増量を目的に、発電用導水路の新設または既導水路の拡幅による方法などがある。

本研究では、導水路の粗度係数を低減する、つまり摩擦によるエネルギー損失を低減することにより導水路の通水能を向上させる方法の一つを明らかにしたものである。

2. 実験の概要

実験水路は、写真1に示すように、長さ19m、幅50cm、深さ40cmのステンレス製の可変勾配水路である。粗度の状態による水路の抵抗を知るために次のような4種類の条件で実験を行った。図-1の水路側壁断面概略図が示すように、1)初期状態；施工直後の条件を仮定した状態、2)劣化状態；無作為に10mm程度の凹凸を生じるようにした状態、3)表面補修後；水路表面の凹凸を充填材としてポリマーセメントモルタルと表面補修材として瞬結性ポリマーセメントで補修した状態、4)粗度改良処理状態；粗度改良材として水系エポキシ塗材で表面を処理した状態、の水路面である。（水路勾配は $\tan \theta = 0.0025 \sim 0.17$ 、水量は約2.0～9.4cm、断面平均流速は1240～4940cm/sであった。）水深は水路中央部で前後2m以上の水深がほぼ一樣である場合にポイントゲージにより測定した。ピトー管により流速測定も同様な位置と条件で行った。流水流量は下流端での計量マスによる方法により得た。



写真-1 実験水路全景

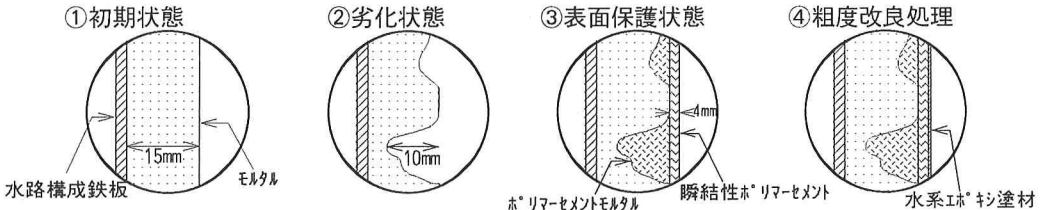


図-1 水路側壁断面概念図

3. 実験結果の考察

各水路面の状態における流速分布を図-2に示す。水路中央部で水深方向の流速をピトー管による測定した結果と、図中の実線および波線は対数則分布の値である。これらの実験結果によれば、流れはほぼ対数則分布で流れていることが示されている。

3-1 Manningの粗度係数

水路面の粗さを表すのに、平均流速公式としてManningの粗度係数 n について述べる。

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (\text{m/s 単位}) \quad (1)$$

ここに v ；平均流速、 R ；径深、 I ；動水勾配、 n ；粗度係数。

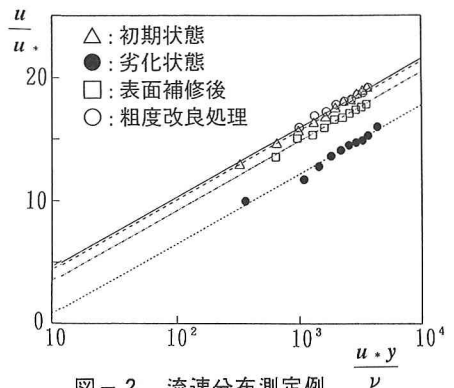


図-2 流速分布測定例

表-1に、それぞれの水路面状態における平均値を示す。この表からもわかるように、モルタルをこて仕上げた初期状態と水路面へ凹凸を補修した後の状態の粗度係数 n は 0.012、0.013 とほぼ同様な値を示している。しかし、水路面に部分的に 10mm 程度の凹凸をもつ状態では粗度係数 n は 0.018 と大きな値となった。一方、水路面を補修後さらに粗度改良材で処理した結果は、粗度係数 n が 0.009 とかなり小さくなっていることが示されている。

3-2 摩擦損失係数

管水路や開水路における摩擦によるエネルギー損失を損失水頭として表し、円管の管水路においては次のように定義される。

$$h_f = f \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

ここに、 h_f ：損失水頭、 l ：管の長さ、 d ：管の内径、 v ：平均流速、 g ：重力線速度、 f ：摩擦損失係数。円管でない場合や開水路の場合には、管の内径 d に対して径深（ $d=4R$ ）を用いる。無次元量である摩擦損失係数 f は、レイノルズ係数 Re と壁面の粗さ ks の関数であることが明らかにされており、それぞれ次のような関係が明らかにされている。

乱流：滑らかな円管路の乱流

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log(Re \sqrt{f}) - 0.8 \quad (3)$$

粗滑遷移域

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.74 - 2.0 \log \left(\frac{ks}{d} + \frac{18.7}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (4)$$

粗い円管路の乱流

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \frac{ks}{d} - 0.8 \quad (5)$$

ただし、 ks ：相当粗度、 Re ：レイノルズ数（ $=vd/\nu$ 、 ν ：水の動粘性係数）。式(3)、(4)、(5)と実験結果を図-3に示す。この結果からも明らかなように、劣化状態での水路面の損失が大きく、実験結果もばらつきが大きい。補修後や初期状態の場合には損失が小さくなっている。さらに粗度改良材で表面処理した場合には、損失係数が小さくなっている。この場合滑面に近い値を示しており、レイノルズ数の増大とともに損失係数が減少する傾向にあることも示されている。

4. まとめ

以上、水力発電用導水路で問題となっている水路内の劣化にともなう通水能の改善に関する水理学的実験結果について述べた。これから明らかなように、水路面が劣化し凹凸が生じるようになると、粗度の増大が著しくなり、通水能の相当な低減をもたらすようになる。このため、その水路面を補修すれば初期施工時程度の粗度の減少をもたらすことができることを明らかにした。図-4に、Manningの粗度係数 $n=0.016$ の流量 Q_0 を1とした場合の粗度係数 n と流量 Q/Q_0 の関係を示すが、劣化した状態から補修しその水路面に粗度改良材で処理する場合には、約 1.6～2 倍の流量が流れることになることを示している。

表-1 Manningの粗度係数 n

実験水路面の状況	n
初期状態	0.012 ± 0.001
劣化状態	0.018 ± 0.004
表面補修後	0.013 ± 0.001
粗度改良処理状態	0.009 ± 0.001

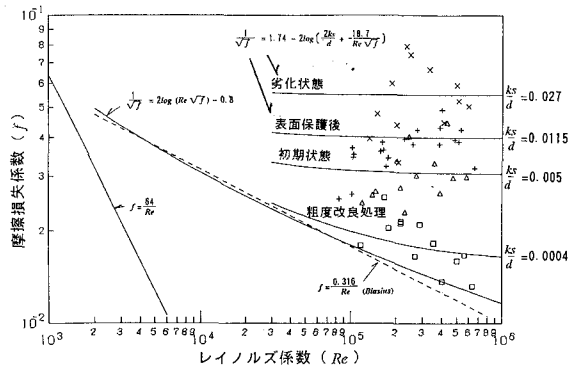


図-3 摩擦抵抗係数とレイノルズ係数

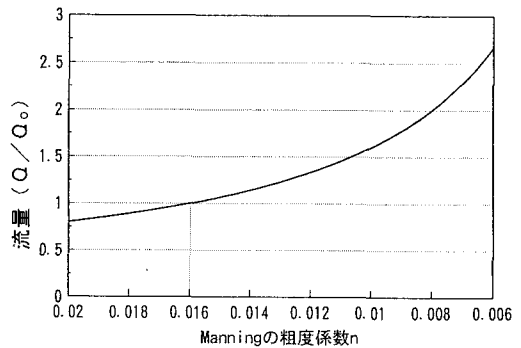


図-4 粗度係数 n と流量の関係