

台形槽粗度水路の抵抗則について

○山口大学 河元 信幸 戸田建設 宮村 孝司
長谷川工務店 川崎 孝夫 山口大学 斎藤 隆

1. まえがき

開水路模型実験を行なう場合、模型水路の粗度は相似条件を満足するものでなくてはならない。人工粗度の形式は多種多様であるが、最も単純なものは、流れを横切って一定間隔に棧を並べる棧型粗度である。棧型粗度近傍における流れは剝離流れを伴う極めて複雑な流れであるため、現在なお決定的な法則は見出されていない。特に開水路流れにおいては、自由表面、側壁の効果など不明な点が多く残されている。

本研究は、一般的な流れ場の解析を目的とするものではなく、実水路の粗度係数 ($n = 0.025$) を相似則を満足すべき模型水路の粗度係数 ($n = 0.017$) を実験すべき方法を検討したものである。

2. 実験水路と実験方法

実験に用いた水路は底幅30cm、法勾配 0.3の台形断面で長さ 10mの3面アクリル樹脂製水路である。水路勾配は、実水路の関係から6/1000に固定されている。水路形状の測定は水路横断方向に15cm間隔に設置された3本の静圧管を直径 5cmのマノメーターに接続し、この水位と別途に設置された水槽の水位とを差圧計に導き、両水位差をペンレコーダーに記録する方法で行なった。人工棧型粗度としては、入手並びに設置の簡便さから 2mm角のアクリル溶接棒を用いた。

3. 実験結果と検討

Manningの粗度係数 n と相当粗度 ks との関係は、対数分布式と Manning式とから次式となる。

$$\frac{ks^{1/6}}{n\sqrt{g}} = (6.0 + 5.75 \log \frac{R}{ks}) / \left(\frac{R}{ks} \right)^{1/6} \quad (1)$$

$R/ks = 1 \sim 10^4$ ($\psi = 6 \sim 29$) の範囲で上式の右辺は0.15~0.12と変化する。上式より模型水路での粗度係数に対応する相当粗度は $ks = 6 \sim 7\text{mm}$ 、 $ks/k = 3 \sim 3.5$ である。図-1は人工棧型粗度に関する既往の実験結果を足立¹⁾が整理したものである。この図から、上記条件を満足する棧粗度の配列は

$$s/k = 5 \sim 8 \quad s = 10 \sim 16$$

$$s/k = 20 \sim 35 \quad s = 40 \sim 70$$

となる。 s/k が小さい場合には、 s/k によって仮想床面位置を変える必要があるが、 $s/k > 20$ では、仮想床面位置は床面を採用してもよいとされている。このことより、図-1中に黒丸描点で示した $s/k = 25$ 、 $s = 50\text{mm}$ を採用した。

図-2は、測定した水面形状と粗度係数 $n = 0.024$ として計算した不等流水面形状を比較したものである。計算は水路下流端で限界水深としている。実測した水路下流端での水深は限界水深のほぼ7割程度で従来の実験結果とほぼ一致している。この図から、総合した粗度係数は $n = 0.03$ で、目的値 $n = 0.025$ に較べてか

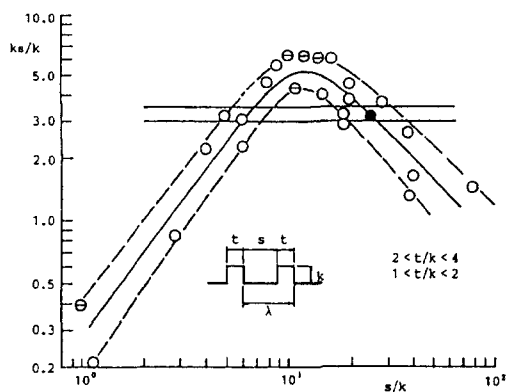
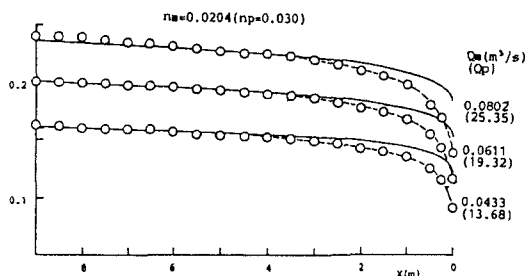
図-1 $ks/k \sim s/k$ の関係

図-2 水面形状

なり大きな値となっている。この原因として、図-1は二次元水路の実験結果で、側壁粗度の効果と考えられる。

足立²⁾は壁面領域の厚さ、およびその点の混合の強さを表わす関数を導入して次式を導いている。

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y}{m k s} \left(\frac{H}{k s} \right)^\theta \right) \quad (2)$$

$$\frac{V}{u_*} = \frac{1+\theta}{\kappa} \ln \left(\frac{R}{k s} \right) + \frac{1}{\kappa} \left(\ln \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \right) \quad (3)$$

式中の m 、 θ を測定した流速分布から求めた結果が図-3、図-4である。図中には他の実験者による結果も描点されているが、実験者によって描点の傾向が若干異なるので図中に示した実線と破線で近似した。

CASE-I $\theta=0.02 (s/k)^{0.81}$ $1/m=1.2 (s/k)^{0.282}$
CASE-II $\theta=0.02 (s/k)^{0.81}$ $1/m=1.8 (s/k)^{0.282}$
CASE-III $\theta=0.08 (s/k)^{0.5}$ $1/m=1.2 (s/k)^{0.282}$
CASE-IV $\theta=0.08 (s/k)^{0.5}$ $1/m=1.8 (s/k)^{0.282}$

粗度係数 n と s/k とを一定値として、Manning式と式(3)から $k s/k$ を求めると、 $k s/k$ は水深によって変化するので、水深が20cmの場合について s/k と $k s/k$ の関係を上記の各CASEについて検討した結果を図-5に点線と実線で示してある。図中に水平な直線で示したものは対数分布則を用いた場合で、図-2に示した実験結果とは大幅に違っている。

図中に点線で示してある $n=0.0204$ の場合をみると、CASE-IVの $s/k=25$ の点は図-1に示した二次元人工粗度実験の平均曲線上にあって、図-2に示した実験結果の粗度係数値とよく一致している。

$n=0.017$ としたCASE-IVの直線と二次元人工粗度実験の平均曲線の交点の横間隔を読みとると

$$s/k=35 \quad s=70\text{mm}$$

横粗度をこのように張り変えて水面形状を測定した結果を描点したものが図-6である。図中の実曲線に $n=0.017$ として計算した水面形状で、水深による粗度係数の変化を考慮すると、両者はよく一致している。

4. むすび

足立が提案した人工粗度の抵抗則を用いると、側壁粗度の影響をほぼ正当に評価することが出来た。

1) 足立昭平；人工粗度の実験的研究、土木学会論文集、104号、1964

2) 足立昭平；開水路における槽型人工粗度の実験的研究、京都防災研究所年報、3号、1959

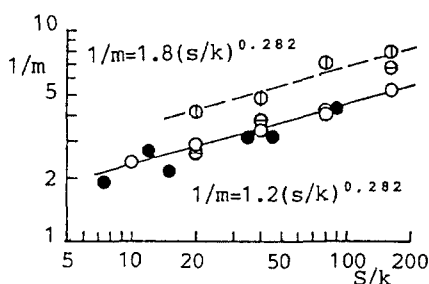


図-3 $m \sim s/k$ の関係

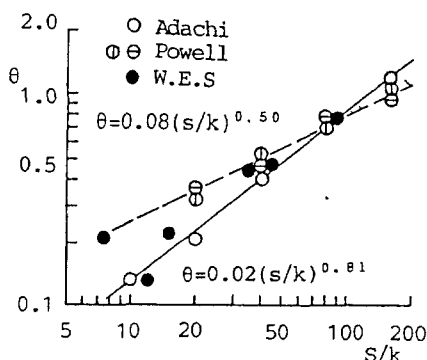


図-4 $\theta \sim s/k$ の関係

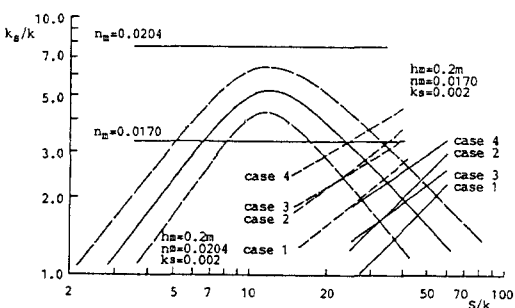


図-5 $k s/k \sim s/k$ の関係

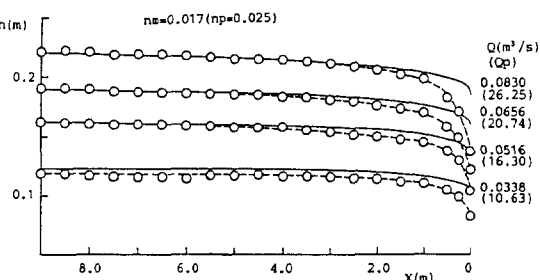


図-6 水面形状