

II-239

人工棧粗度を用いた台形開水路の抵抗則について

山口大学工学部 正会員 河元 信幸

山口大学工学部 正会員 斎藤 隆

1. まえがき： 実水路と模型水路の粗度相似則を満足させるのに多種多様な人工粗度が用いられる。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剥離流れを伴う極めて複雑な流れであるため、未だ決定的な抵抗則は見出されていない。特に側壁の影響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、従来の実験結果に基づいて、粗度の相似条件を満足すべき模型水路の棧粗度配置を検討したものである。

2. 実験水路と実験方法： 実験水路は底幅30cm、法勾配 0.3の台形断面で、長さ 10mの3面アクリル樹脂製のもので、水路勾配は、6/1000である。水面形状の測定は横断方向に15cm間隔で設置された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ている水位を差圧計に導き、両水位差をペンレコーダーに記録する方法で行なった。人工棧型粗度には、2mm角のアクリル溶接棒を用いた。実験の目的は総合粗度係数 $n = 0.017$ となる棧粗度の配置間隔を決定することである。

3. 実験結果とその検討： Manningの粗度係数 n と相当粗度 k_s との関係は、Manning式と対数式とから次式となる。

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

$R/k_s = 1 \sim 10^4$ ($\psi = 6 \sim 29$) の範囲で上式の右辺は0.15~0.12の値をとる。この両値から、粗度係数 $n = 0.017$ を満足する相当粗度は $k_s = 6 \sim 7\text{mm}$ 、 $k_s/k = 3 \sim 3.5$ である。足立¹⁾が既往の人工粗度に関する実験結果を整理した結果が図-1で、破線が実験描点の範囲で、その平均値が実線である。この図から、上記条件を満足する棧粗度の間隔は

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

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

となる。仮想床面位置との関係から、図-1に黒丸描点で示した $s/k = 25$ 、 $s = 50\text{mm}$ とした。

図-2は、測定した水面形状と $n = 0.0204$ として計算した水面形状を比較したものである。流れの遠心力の影響がある段落部を除くと総合粗度係数は目的とした値よりもかなり大きく、実験結果に相当する粗度配列は図-1からは求められない。図-1は2次元的な実験による結果で、側壁粗度の影響を評価するのに径深表示だけでは不十分であると考えられる。

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。

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

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

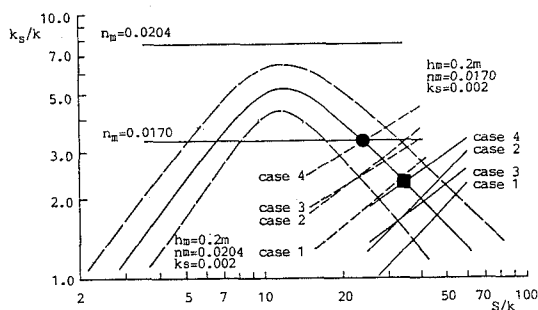
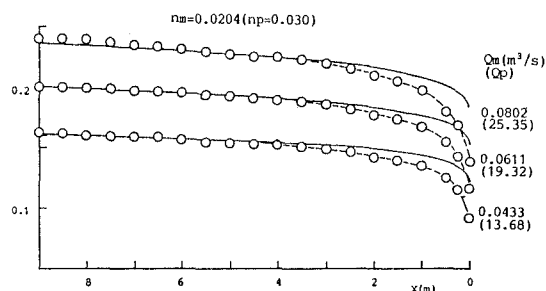
図-1 $k_s/k \sim s/k$ の関係

図-2 水面形状

式中の m 、 θ を測定した流速分布から求めた結果を、他の実験者のものを含めて描点したものが図-3、4である。実験者によって描点の傾向が若干異なるので図中の実線と破線で近似する。

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 とを一定として、Manning式と式(3)から ks/k を求めると、図-5（CASE-IV）のように水深によって ks/k の値が変化する。水深が20cmに限定してManningの粗度係数 n の値が0.0204となる ks/k と s/k の関係を計算した結果を図-1中の右上がりの点線である。CASE-IVの点線と2次元実験の平均曲線との交点は先に行なった実験の栈粗度間隔を示す黒丸描点と一致していて、水面形状から推定れた総合粗度係数の値と精度良く評価している。上述したと同様に、水深を20cmに限定して、Manningの粗度係数の値を $n=0.017$ となる ks/k と s/k の関係を計算した結果が図-1中の右上がりの実線である。CASE-IVの実線と2次元人工粗度実験の平均曲線の交点に近い黒四角描点の栈粗度間隔を読みとると、

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

である。栈粗度の間隔ををこのように張り変えて水面形状を測定した結果が図-6である。図中の曲線は $n=0.017$ として計算した水面形状である。紙面の関係で除いたが、相当粗度 $ks=4.6\text{mm}$ とし、側壁と床面の交点からの2等分線によって側壁領域と床面領域に分割して総合粗度を求めると、実験水深12cmで $n=0.0175$ から、22cmで $n=0.0168$ と小さくなる。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： 栈粗度の間隔を2通り変えた不等流実験の結果、足立が壁面領域の厚さとその点の混合強さを表わす関数を導入して提案した人工粗度の抵抗則の表示式中の係数 m と指数 θ に CASE-IVの実験結果を用いると、2次元人工粗度実験結果の $ks/k \sim s/k$ の関係とから、台形栈粗度水路の総合粗度をほぼ正当に評価することが出来た。

参考文献

- 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；開水路における栈型人工粗度の実験的研究、京都防災研究所年報、3号、1959

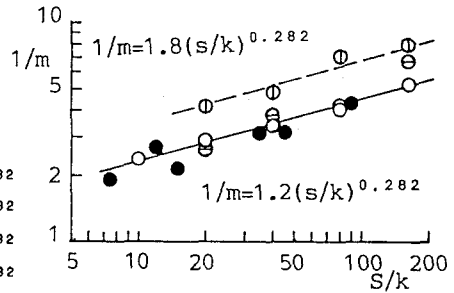


図-3 $m \sim s/k$ の関係

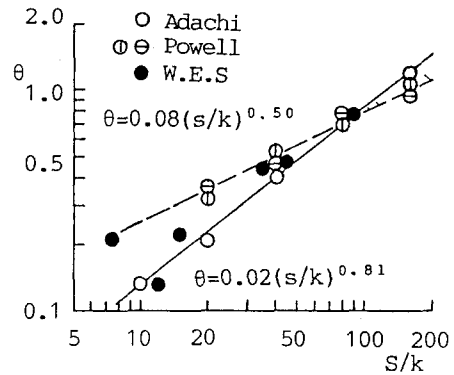


図-4 $\theta \sim s/k$ の関係

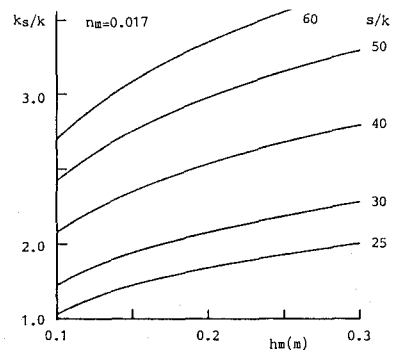


図-5 $ks/k \sim h$ の関係

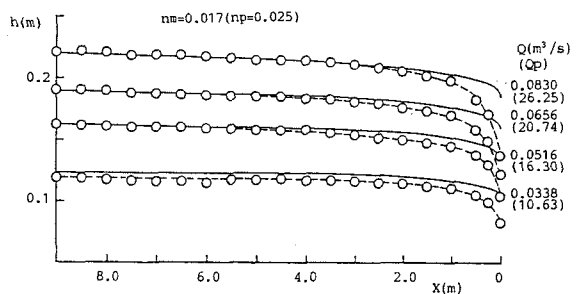


図-6 水面形状