

徳島大学大学院 学生会員 岡部 健士

鴻池組勤務

堀谷 昭

徳島大学

正会員 工博 杉尾 隆三郎

1. 概 要 : 人工粗度の抵抗法則に関する実験的研究は古くから行なわれているが、用いられた粗度要素は比較的小さい。それゆえに流れに与える影響は穏やかで、水深基面の決定にもその高さはそれほど大きな問題とはならなかった。本研究では、 $4.5 \times 4.5 \text{ cm}$ という大型の槽を用いた実験を行ない、大型槽粗度の水深基面の決定、および抵抗法則に関して検討した。

2. 実 験 : 本実験に使用した水路は、長さ 12 m 、幅 30 cm 、深さ 25 cm の矩形断面をもつ可変勾配の鋼製水路である。槽の中心間隔を 10 cm 、 20 cm 、 40 cm 、 80 cm の4種に、流量を 2 l/s から 18 l/s まで 2 l/s ずつ増加させて9種に、水路勾配を $1/100$ 、 $1/200$ 、 $1/400$ の3種に、それぞれ変化させて合計108種の流れを作り、代表点の水深および流速分布の測定を行なった。水深の測定には 0.1 mm 読みのポイントゲージを用い、流速分布の実測には口径 1 mm の土研式ピトー管を用いた。

3. 実験資料の整理 : 流れは完全な等流とはならなかったため、諸値の計算に使用する水深は、全水路延長の中央付近の水深で代用することにし、水路勾配の代りにエネルギー勾配を用いた。また、水路側壁は鋼製のままで実験したので、普通の径深 R の代りに、Einstein考案の“側壁の影響を除いた径深 R_b ”を用いた。すなわち、 $R_b = R \left[1 - \frac{2 \left(\frac{V_m}{V_b} \right)^{3/2}}{b} \right]$ とし、 $R_b = 0.01$ とした。ここに、 R 、 V_m 、 V_b 、 b は、それぞれ水深、平均流速、側壁の粗度係数、エネルギー勾配、水路幅である。

4. 実験結果および考察

(a) 流速分布図 : 図-1は流速分布図の代表例である。測線は、相隣り合う2個の槽の中央点に立つ鉛直線である(図-2参照)。図-1によれば、 $L = 20 \text{ cm}$ 、 40 cm の場合には、槽頂高付近に極めて明確な不連続面が存在していることが認められる。図-3は $L = 40 \text{ cm}$ における流れ方向の流速の変化を示すために、図-2に示す3個の測線上の流速分布図をもとにして、等流速図を推定で描いたものである。

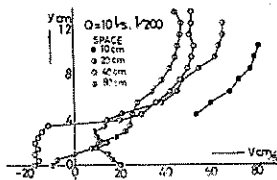


図-1 流速分布図

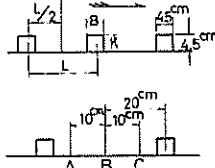
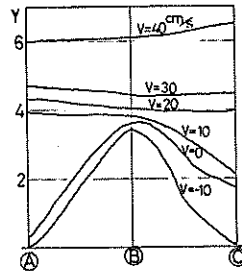
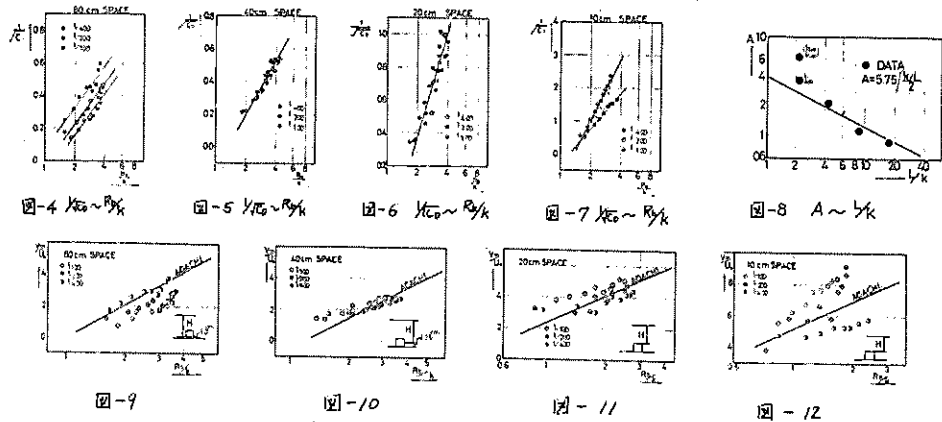


図-2 測線

図-3 等流速図 ($L = 40 \text{ cm}$)

(b) 対数法則と遮蔽効果 : Sayre & Albertsonによれば、人工粗度の抵抗は、その92~98%までが形の抵抗(抗力)である。Raju & Gardé²⁾の考え方に従って、基面を水路底にとり抗力係数 $C_D = \frac{2L}{k} \cdot \frac{U_m^2}{V_m^2}$ とし、 $1/C_D$ と R_b/k との関係を検討したが図-4~図-7である。図より、 $1/C_D = A \log_{10}(R_b/k) + B$ なる関係式が得られる。ここに、 A 、 B は L 、 k などによって定まる定数である。この式と対数型流速公式 $V_m/V_b = 5.75 \log_{10}(R_b/k) + \text{const.}$ とを比較して $A = 5.75 \sqrt{\frac{k}{2L}}$ を得、これと実験値とを比較したが図-8である。図-8によれば、描点は $L/k \geq 5$ ならば実線にほぼ一致するが、 $L/k < 5$ ならば実線から離れる傾向を表わし、槽相互の遮蔽効果が無視され得る限

界が $L/k = 5$ にあることを示している。計算値が実線に適合するように水深基面の位置を決定し、粗度の幾何学的特性およびその他の要因と基面の引き上げ量との関係を究明すれば、問題は対数型流速公式の第2項の定数の決定のみにしぼられるであろう。足立は、数多くの実験の結果、槽粗度を枝型と溝型に分け、おのおのに対して別々の公式を与えている。そこで、試が $5^{\text{mm}} \times 6^{\text{mm}}$ の槽を用いて得た公式が本実験にも適用できるか否かを検討した。各配置間隔に対してそれぞれ3~4種の水深基面を仮定してみたが、ここでは最もよく適合していた場合のみの比較図を記載する(図-9~図-12)。ここに、 $L=80^{\text{mm}}$, 40^{mm} の場合には枝型公式と、また $L=20^{\text{mm}}$, 10^{mm} の場合には溝型公式と比較し、採用した水深基面は図中に記入している。全体として描点群の勾配はよく似ているが、 $L=40^{\text{mm}}$ の場合を除けば床勾配の影響が大きく、何か他の因子の考慮が必要と思われる。



(C) 抵抗係数 f' とレイノルズ数 Re :

$f' = 28 R_b I_0 / U_m^2$, $Re = R_b U_m / \nu$ とし、水深基面と枝項にとって両者の関係を調べたのが図-13である。基面を下げると点群の勾配はより急になり、かつ配置間隔によって勾配が変わる(図中の実線は Bazin の実験式である)。描点が平行な直線上にほぼ並ぶと思われるので、つぎのような無次元の実験式を得た。

$$f' = m \left(\frac{L-B}{k} \right)^{\alpha} Re^{\beta}$$

この実験の範囲では、 $m=2.32$, $\alpha=0.32$, $\beta=-0.38$ となった。なお、 Re の範囲から推定すると、この実験は遷移領域にあると思われる。今後は、さらに実験をつみ重ね、定数項の信頼度を高めるとともに Re の範囲の指定および他の因子の影響などについて検討したいと考える。

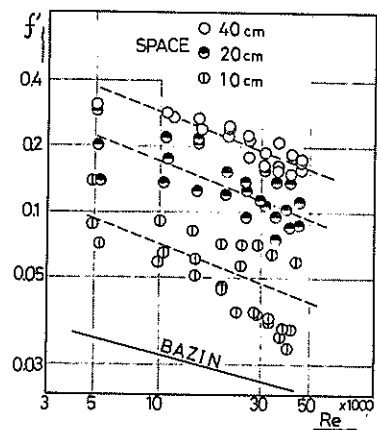


図-13 水深基面と枝項にとった場合の $(f' \sim Re)$ 図

5. 参考文献 :

- 1) 足立 昭平 : 開水路における枝型人工粗度の実験的研究; 京大防災研究所年報, 第3号, 昭和34年, pp.17~33.
- 2) R. Raju & R.J. Garde : Resistance to Flow over Two-Dimensional Strip Roughness; ASCE, HY3, March 1970, pp.815-834.
- 3) 本間 仁 : 標準水理学, pp.64~70. 水理学(技術者のための流体力学), pp.121~123.