

中央大学理工学部

正員 工博 林 泰造

新日本技術コンサルタント

同 工修 片山 統雄

中央大学大学院

学生員 串山 宏太郎

1. ま え が き

開水路底面に作用する摩擦力の大きさを研究することは、流水の抵抗法則を知る上に重要な事柄である。このことのまず第一歩として人工粗度としての稜粗度の抵抗を研究した。稜粗度の抵抗は、稜上面及び稜間面に働く剪断力と、稜の形状抵抗とが考えられる。従来、摩擦力の測定には、水流のエネルギー勾配 I_e を測定して、 $\tau = w R I_e$ の式により τ と計算する方法、又は Preston 管により測定する方法など間接的な方法が行われてきた。しかし、これらでは当然かなりの誤差が予想されるので、ここでは稜粗面に作用する抵抗を直接的に測定する方法を考えた。

2. 実験装置並びに実験方法

使用水路は $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 6000 \text{ mm}$ の鉄製水路で、その一部分に剪断力測定用の可動板をとりつけて直接測定を行なうことにした。この剪断力測定用の可動板は、水密を保ちかつ僅かな剪断力にも感じて固体摩擦なくに変位するように水銀の上にフロートさせた構造とする。この可動板の流れ方向の変位を鉛直レバーにより上にとり出してストレーン・メーターに導き、その読みをヴィジグラフに記録する。なおこの鉛直レバーに流水が当りそれが可動板に力と及ぼすことになるので、それを防ぐため、このレバーの外側に内径15

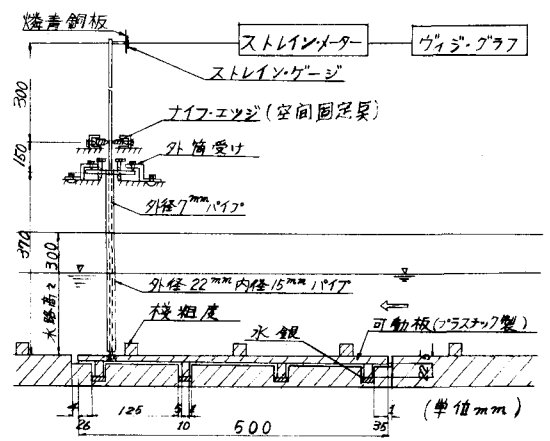


図-1 水路床に作用する剪断力の測定装置

mmパイプをカバーとしてかぶせレバーに流水の力が及ぶことを除去了。稜粗面としては、5mm角断面のアクリル樹脂製角棒を稜としていろいろな間隔で、等間隔に並べ水路底面に接着した。

水路勾配は $1/600$, $1/400$ の2種類で水深は7cm~13cmの範囲で5mm毎に剪断力の測定を行なった。また流速はピトー管によって稜上、稜間の2地点で行なった。

3. 実験結果

流速分布の測定は、滑面における場合には水路勾配 $I = 1/400$, 水深 $d = 11 \text{ cm}$ の場合について行った。その結果は図-2に示される。粗面における場合には $I = 1/400$, $d = 11 \text{ cm}$ の場合について相対稜間隔 $S/\lambda = 2, 4, 8, 16, 32$ に対して稜間、稜上の2点で行なった。測定結果は $S/\lambda = 2$ の場合が図-3に示される。同図中、 y は水路底面からの鉛直距離、 d は水深、 B は水路幅、 λ は稜粗度の高さ、 S は稜粗度間隔 (中心から中心まで)、 U_s は表面流速、 u は水深 y における流速、 U_m は摩擦速度 ($\sqrt{\tau_0/\rho}$)、 τ_0 は測定剪断応力、 $U_m d/\nu$ は摩擦速度による Reynolds 数である。

剪断力の測定は、水路勾配 $I = 1/600, 1/400$
水深 $d = 7 \sim 14 \text{ cm}$ の範囲で、相対枝間隔 $S/h = 2, 4, 8, 16, 32$ について行なった。測定結果は図-4 および図-5 に示される。

速度分布則は、壁面の摩擦速度 U_* 、動粘性係数 ν 、枝粗度の高さ h 、間隔 S 、幅 b 、に決定づけられると考えられる。(したがって次元解析から

$$\frac{U}{U_*} = f\left(\frac{U_* h}{\nu}, \frac{S}{h}, \frac{b}{h}\right) \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{よって, } U = C \sqrt{R I} = \left(\frac{1}{2}\right) R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \text{と}$$

図-2 滑面の場合の流速分布 図-3 枝粗度の場合の流速分布

$$U_* = \sqrt{U_*^2} = \sqrt{g R I e} \quad \text{の関係から}$$

$$\frac{U}{U_*} = \frac{C}{\sqrt{g}} = \frac{1}{\sqrt{g}} R^{\frac{1}{2}} \quad \text{--- (2)}$$

(したがって, (1), (2) 式より

$$\frac{\nu \sqrt{g}}{R^{\frac{1}{2}}} = f\left(\frac{U_* h}{\nu}, \frac{S}{h}, \frac{b}{h}\right) \quad \text{--- (3)}$$

という。この場合、枝粗度は底面にだけ附し、側壁の抵抗は底面の枝粗度のそれと比べて十分小さいと

考えて無視すれば、 $R \approx d$,

(d は水深) と考えてよい。

図-4 および図-5 は (3) 式に基づき $U_* h / \nu$ と $U_* h / \nu$ はパラメーターとして $\nu \sqrt{g} / R^{\frac{1}{2}} - S/h$ の関係を示したグラフである。

4. 結論

流速分布は、 $S/h = 2$ の場合には枝間と枝上とでは殆ど同一であり、この様な意味ではこの場合は疑似平面の特性を保持しているといえる。

剪断力の測定結果として、枝粗度の影響を Manning の粗度係数の形で表わしてみると、水路勾配 $I = 1/400$ では S/h の値に対して一旦増大して $S/h = 8$ 附近で最大となり、以後 S/h の値に対して減少する。一オ $I = 1/600$ でも傾向的には同様であるが粗度係数の最大値は $S/h = 8$ より多少 $S/h = 4$ の方へ移動している。図-6 は足立教授の研究整理された結果であるが、同教授の整理された結果は著者等の水路勾配の比較的急な

場合に当るものと考えられる。水路勾配が比較的緩になるにつれて図-6 枝粗度要素の相当砂粒粗度(足立教授)

1) 足立昭平：流水の抵抗則，1967年度水工学に関する夏期研修会講義集，A.河川コース Po2-1~Po2-19