

東京大学工学部土木工学科 正員 玉井 信行
東京大学工学部土木工学科 正員 〇河原 能久

1. はじめに

一次元開水路漸変流の解析において、Manningの抵抗則が広く利用されているが、粗度係数の持つ物理的意味は、必ずしも明確ではない。水理条件と明確に結びついて剪断応力の適切な評価が重要であると考えられる。本報は、固定床流れにおいて、水路幅の変化に伴う粗度係数の変化を検討しようとするものである。

2. 実験の概要

長さ20 m、幅40 cmの可変勾配水路の内側に、粒径約3 mmの均一な砂粒粗度と密はりつけに平板を、平行、新板、新板の状態に設置し、実験水路とした。実験条件は、表-1に示すものである。各実験ケース内での水理条件の変化は、流量により行はる。測定事項は、流量（オリフィスメータ利用）、水深（砂面計）、流速分布（直径1 cmのプロバ）流速計、ピトー管）であった。

表 - 1

	幅変化率 $\frac{dW}{dx}$	幅 $B_{(m)}$	水路床勾配 I
Run 1	0	36.2	1/500
Run 2	0	28.2	1/500
Run 4	0.0154	29.4*	1/500
Run 5	0.0154	29.4*	1/1000
Run 7	-0.0164	29.7*	1/500
Run 8	-0.0164	29.7*	1/1000

（*印は、代表幅と示す）

3. 剪断応力、粗度係数の算出

一次元漸変流のエネルギー方程式は、長方形断面水路の定常流に対して、次のように表わされる。

$$\frac{\tau_0}{\rho g K} = I - \frac{dH}{dx} (1 - Fr^2) + Fr^2 \cdot \frac{h}{B} \cdot \frac{dB}{dx} \quad \text{--- (1)}$$

ここに τ_0 : 剪断応力, ρ : 水の密度, g : 重力加速度, K : 径深 ($= B^2/b_{\text{max}}$), I : 水路床勾配

h : 水深, B : 水路幅, Fr : フロッド数 ($= \frac{V}{\sqrt{gh}}$), d : エネルギー補正係数, V : 平均流速

抵抗則として、Manning式を用いると、次式を得る。

$$\frac{\tau_0}{\rho g K} = \frac{n^2 V^2}{K^{4/3}} \quad (n: \text{Manning の粗度係数}) \quad \text{--- (2)}$$

(1), (2) の両式を用いて、剪断応力、あるいは、粗度係数の値を求める。ここからは、次に示す〈1〉, 〈2〉の方法により計算した。ただし、いずれの方法も、ある区間の代表量として算定される。

〈1〉の方法: エネルギー勾配を用いる方法

これは、(1) 式の右辺 (エネルギー勾配) と、測定された水理量から定められる区間の代表水理量を用いて計算し、剪断応力、粗度係数の値を算出する方法である。

〈2〉の方法: 基礎式 (1), (2) より水面形と追跡する方法

区間内、粗度係数は一定と看做し、測定された水面形と最も忠実に再現する凡の値と、区間の粗度係数とする。この値と、代表水理量を用いて、剪断応力と算出する。

4. 実験結果と考察

4.1 流速分布 は12 (4/sec) の流量に対する横断方向及び鉛直方向の流速分布は、それぞれ、図-1, 図-2 のようである。横断方向の測定は、水路床より水深の4割の高さにして、プロバ流速計により行はる。鉛直方向の分布形は、

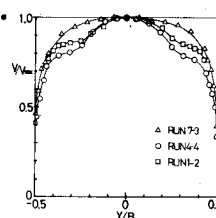


図 - 1

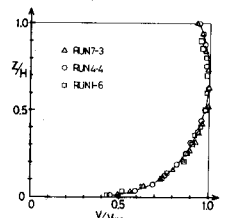


図 - 2

水路中心面内で、ピトー管を使用して測定したものである。横断方向の分布形は、幅が広がるにつれ、中央部が尖る傾向を示している。流量増加とともに、偏平になる傾向がみられた。鉛直方向の分布は、3ケースとも同様の傾向を示し、明瞭な差異は認められない。また、流速分布は、水路床近くでは対数則にのったが、鉛直方向の測定ケースが少なく、流量変化にともなう分布形の変化は明らかではない。

4.2 代表水理量の算定 水深変化率の代表値は、測定された水面形と一次式で近似したときの勾配とした。また、代表水路幅は、区間での平均値とし、代表水深としては、代表水路幅と同一の水路幅をもつ位置における水深とした。ただし、測定区間は、下流端より約6mの位置より4～6m上流側であった。

4.3 粗度係数の算出 上記の方法<2>により算出された粗度係数 n と、代表水深・代表水路幅比 H/B との関係とグラフにしたものが、図-3である。全体的な傾向として、漸縮水路の粗度係数が最も大きく、漸幅水路のものが最も小さい。なお、水深変化率、フルード数の影響が入っており、ばらつきと大きくさせている。また、方法<1>で計算された粗度係数値と、方法<2>による値とは、いずれの実験ケースにおいても良好一致とみた。

4.4 剪断応力の算出について 式(1)の右辺と、左辺の項で除すと、次のようになる。

$$1 = T_1 + T_2 + T_3 \quad \text{--- (3)}$$

$$\text{ただし } T_1 = \frac{I}{\tau_0 / \rho g R}, \quad T_2 = \frac{-\frac{dH}{dx}(1-F_r^2)}{\tau_0 / \rho g R}, \quad T_3 = \frac{F_r^2 \cdot \frac{dB}{dx} \cdot \frac{dB}{dx}}{\tau_0 / \rho g R}$$

代表水理量を用いて、3項 T_1, T_2, T_3 の大きさを比較したのが、図4-1 4-2, 4-3である。これらより、次の事が知られる。今回の実験では、一樣水路においても等流状態が実現されず、下流端の影響が無視できない。流量が大きくなるにつれ、また、同一流量に対しては水路幅が狭いほど、水深変化の効果が大きくなる。漸縮水路においては、フルード数の増加とともに剪断応力に与える幅変化の項の割合が、水路床勾配による項より大きくなっていく。流量の増大とともに水深変化率(一般)は増加しているが、剪断応力への寄与は小さい。しかし、水路床勾配が小さくなるにつれ、また、フルード数が小さくなるにつれ、水深変化による影響も大きくなる。漸縮水路では、 $T_3 < 0$ 、 $T_2 > 0$ (今回の実験では)である。水路床勾配、水深変化、水路幅変化による項のいずれとも無視しない。

また、径深と $\tau_0 / \rho g R$ との関係と調べると、同一の径深値に対し、 $\tau_0 / \rho g R$ の値は、漸縮、一樣幅、漸幅の順に小さくなる事が知られる。

5. 結論

下流端の影響、水路幅変化の接続部の影響等が、検討されていないが、実験範囲内では、一樣幅水路、漸縮水路、フルード数の小さな漸幅水路では水深の変化による影響は無視できない。

なお、今回の結果とともに、マクロな観点からの漸変流の剪断応力の算出について考えたい。また、末尾ながら、助言をいただいた河西 基氏(電力中央研究所)と、実験データも利用させていただいた神山 勉君(東京工科大学)に感謝いたします。

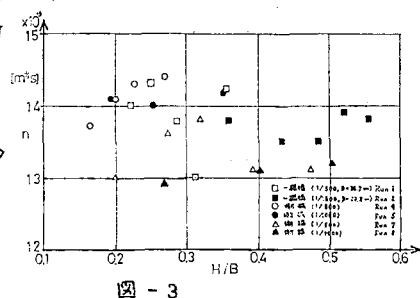


図-3

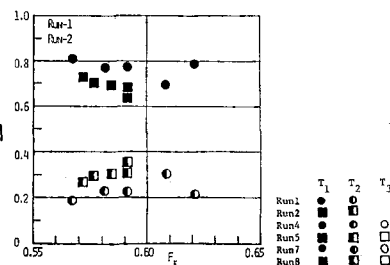


図 4-1

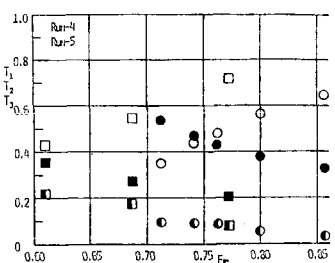


図 4-2

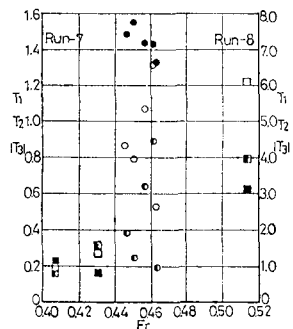


図 4-3