

II-11 緩こう配流れの流速分布

京大防災研究所 正員 角屋 睦

内水問題とくに自然排水方式による雨水排除を考える場合、水面こう配のきわめて小さい流れの水理が問題となるが、この種のものについてはよくわからないことが多い。ここでは滑面水路による若干の実験結果について報告する。

1. 抵抗係数

長方形断面用管路における流れの運動方程式は、慣用記号を用いると、周知のように次式で示される。

$$\frac{\tau_0}{\rho} - U_{*R}^2 = gR(\sin\theta - \cos\theta \frac{dh}{dx}) + \frac{R}{h} U_m^2 \left(\beta \frac{dh}{dx} - h \frac{d\beta}{dx} \right) \quad (1)$$

通常 boundary shear τ_0 を扱うかわりに、次式で定義される抵抗係数が用いられる。

$$C_f = 2\tau_0 / \rho U_0^2 \quad (U_0: \text{最大流速}), \quad f = 2\tau_0 / \rho U_m^2 \quad (2)$$

Chezy の C あるいは Manning の n が、 $C = \sqrt{2g/f}$, $n = R^{1/6} \sqrt{f/2g}$ で表わされるから、実用上の便より f について若干調べてみる。

図1は表1のような滑面水路による実験結果($f \sim U_{mR}/\nu$)を示したものである。 $1/500$ の水路の場合、同図に特示してないが、下流水位が低い状態では Blasius の式でよく表わされるが、下流水位が高くなるとこれより外れ、大きな値を示している。 $1/500$ 水路の場合、下流水位のせき上げにつれ、水面こう配が急激に小さくなり、實際上 point gauge での水面こう配の測定がむづかしいので、せき上げによるデータは数個

表1. 実験諸元

	中	長さ	水路底 こう配	実験流量 l/s	下流端 水位 cm	水面こう配	水位測定	流速測定
銅製水路	30cm	21m	1/500	1.4, 11.6	0~13	$I > 0.5 \times 10^{-4}$	point gauge	$U > 15\%$ ヒト管
"	20cm	15m	1/500	0.5, 1.2, 4, 10	0~6	"	0.1mm 読み	$U < 20\%$ 塩速法

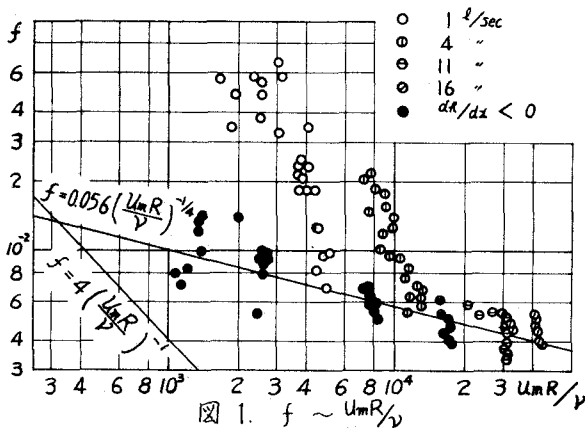


図1. $f \sim U_{mR}/\nu$

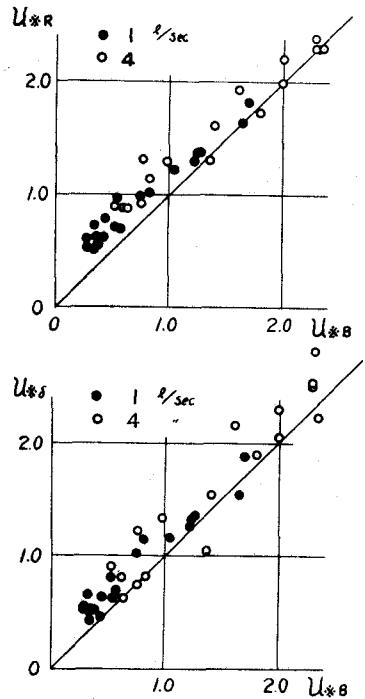


図2. $U_{*R}, U_{*B} \sim U_{*B}$

が含まれていない。このため全般的に Blasius の式でよく近似されるようである。

さて $1/500$ の水路の場合、図 1. の f の値が妥当であることを調べるため 断面より発達する境界層厚さ δ を用い

$$U_{\delta}^2 = (C_f/2) U_0^2 = g \delta (\sin \theta - \cos \theta \frac{dh}{dx}) - \frac{d}{dx} \int_0^{\delta} u^2 dz + u_0 \frac{d}{dx} \int_0^{\delta} u dz \quad (3)$$

$$U_{\delta B}^2 = (C_{fB}/2) U_0^2 = 0.0225 U_0^2 (U_0 \delta / \nu)^{1/4} \quad (4)$$

を算定し、比較すると図 2 のようである。

2. 流速分布

$U_{\delta R}$, $U_{\delta \delta}$ および $U_{\delta B}$ の値が比較的よく一致するにかかわらず、 f が大きな値を示す主因は、境界層の挙動と流速分布の形式によるものと思われる。

いま簡単に一次元的に考え流速分布に power law を仮定し

$$C_f = K (U_0 \delta / \nu)^{-k} \quad (5)$$

が成立するものとして $\xi = \delta / h$ による場合の f の式を求めると

$$f = K_f (U_{\delta R} / \nu)^{-k}, \quad K_f = K(1 - N_1 \xi)^{k-2} \xi^{-k}; \quad N_1 = \gamma / (\gamma + 1), \quad k = 2N_1 \quad (6)$$

図 3 に 1 例として $1/n = 7$ の例を示す。 f がかなり大きくなるのは ξ が 1 よりもある程度説明できるが必ずしも十分ではない。

図 4 に実際の流速分布の 1 例を示す。これらより研究成果を利用すると、本実験の程度では上流端より 2~4m ぐらいで、境界層が水面に達するはずであるが、流れが養流に近い場合はともかく、下流水位が高くなるにつれ、境界層の発達がおそくなる。また流速分布も $1/\eta$ 乗則、対数法則いずれにも従わないようである。これには側壁の影響が含まれる可能性もあるが、例えば境界層内流速分布に power law を認め、その指数 $1/n$ と、排障厚 δ で作った Reynolds 数との関係を示した図 5 のような傾向も無視できない。

図 6 は、流速分布が $\Lambda = (dp/dx)(R/\rho U_{\delta R})(U_{\delta R}/\nu)^{1/4}$ で支配されないかと調べたものである。いずれにしても、この種の問題では、境界層の挙動を再検討する必要があるであろう。

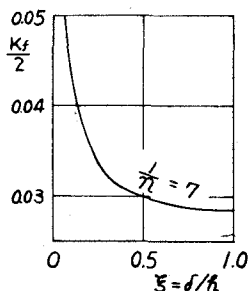


図 3. $K_f/2 \sim \xi = \delta/h$

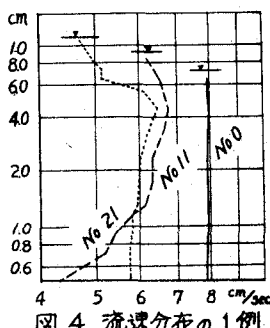


図 4. 流速分布の 1 例

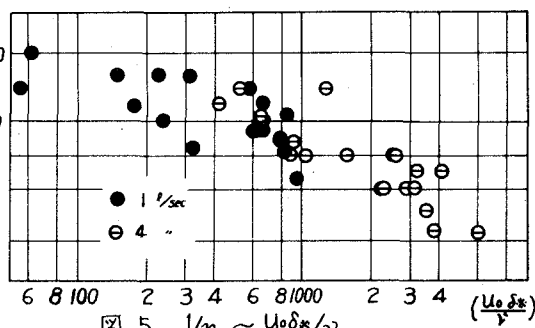


図 5. $1/n \sim U_0 \delta^* / \nu$

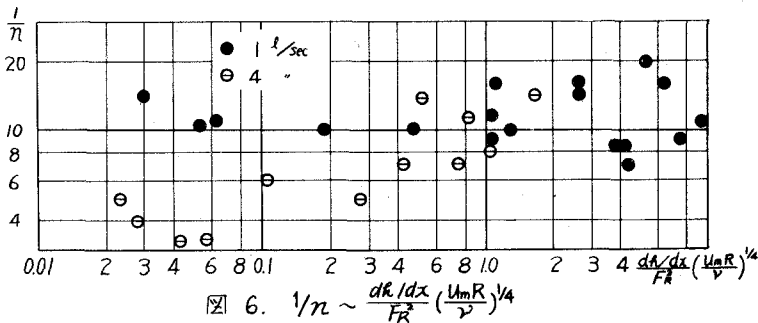


図 6. $1/n \sim \frac{dp/dx}{FR} \left(\frac{U_0 R}{\nu} \right)^{1/4}$