

I 緒言 流れを二次元と見なした開水路水流における鉛直流速分布式として、Prandtl の運動量輸送理論、Karman の力学的相似仮定より導かれた対数分布式がある。

$$\frac{U}{U_*} = 5.75 \log_{10} \frac{y}{y_0} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに U_* : 摩擦速度 $= \sqrt{\tau_0/\rho}$ ($= \sqrt{gHI}$), (τ_0 : 水路床面におけるせん断応力、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度)、 y : 底面からの高さ、 y_0 : 水路底面の粗滑状態に支配される積分定数

積分定数 y_0 は水路底面の粗さの状態によつて異なり、壁面がなめらかな場合には、層流底層の厚さに関する Reynolds が、壁面が粗い場合には、壁面自身の凹凸が重要な要素となる。Nikuradse は円管流の実験により

$$\text{滑面水路の場合 } \frac{U}{U_*} = 5.75 \log_{10} \frac{U_* y}{\nu} + A_s = 5.75 \log_{10} \frac{U_* y}{\nu} + 5.5 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{粗面水路の場合 } \frac{U}{U_*} = 5.75 \log_{10} \frac{y}{k_s} + A_r = 5.75 \log_{10} \frac{y}{k_s} + 8.5 \quad \dots\dots\dots (3)$$

を得た。ここに ν : 水の動粘性係数、 k_s : 水路の粗さの平均の高さ、 A_s, A_r : 定数

開水路、特に自然河川のような場合は、粗面水路のみを考慮すればよく、(3)式の使用が考えられるが、Nikuradse の実験は円管内壁に粗度要素として均一粒径の砂を一樣に糊付けして行なわれた場合であるので、自然流路に適用する際には定数 A_r や A_s の値の取り方には解明しなければならない多くの問題がある。

筆者は本発表において、最も基礎的研究として、水路巾 0.8m、水路長 15m の鋼製矩形断面直線水路内に、直径 25mm から 30mm までの範囲にある砂利を 4 種類の異つた密度をもとめて配列し膠着させて粗度を形成させ流量を 20 $\frac{m^3}{sec}$ 、25 $\frac{m^3}{sec}$ 、30 $\frac{m^3}{sec}$ 、40 $\frac{m^3}{sec}$ 、50 $\frac{m^3}{sec}$ の 5 ケースとして、 $\frac{U}{U_*}$ と $\frac{y}{k_s}$ の関係を半対数方眼紙にプロットして対数分布式を求め、(3)式と比較し検討した。また粗度要素の凹凸の高さ k_s と粗度要素の間隔 D との比 $\frac{k_s}{D}$ に関係あるパラメーター α を導き、このパラメーター α を用いて、粗度の変化に関係なく表現出来る対数分布式

$$\frac{U}{U_*} = 5.75 \log_{10} \frac{y}{\alpha} \quad \dots\dots\dots (4)$$

を導き、粗度が流速 U に及ぼす影響について考察した。

II 粗度 粗度要素の配列は水路床中心線に対して左右対称形になるようにして接着剤で固定した。配列の種類は図-1 に示すように 4 種類である。

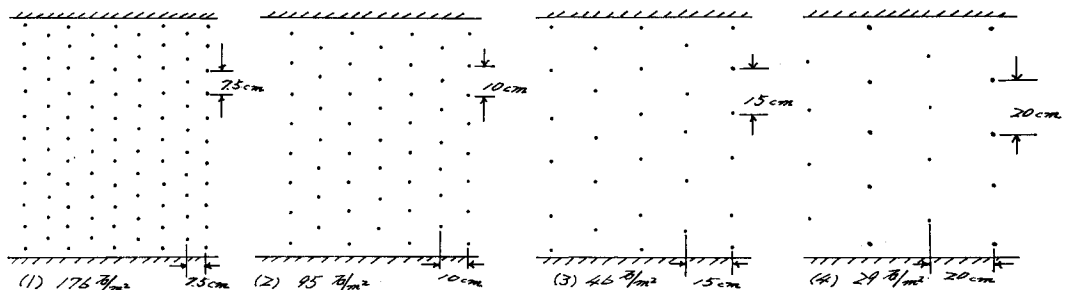


図 1

■ 解析 実験により求められた $\frac{U}{U_*}$ と $\frac{y}{\kappa_s}$ の関係を半対数方眼紙にプロットして、これより鉛直流速分布式を求めると次の4つの式となった。

ケース1 ($176 \text{ 疋}/\text{m}^2$) $\frac{U}{U_*} = 5.81 \log_{10} \frac{y}{\kappa_s} + 4.96$ (5-1)

ケース2 ($95 \text{ 疋}/\text{m}^2$) $\frac{U}{U_*} = 5.71 \log_{10} \frac{y}{\kappa_s} + 2.90$ (5-2)

ケース3 ($46 \text{ 疋}/\text{m}^2$) $\frac{U}{U_*} = 5.74 \log_{10} \frac{y}{\kappa_s} + 4.23$ (5-3)

ケース4 ($29 \text{ 疋}/\text{m}^2$) $\frac{U}{U_*} = 5.59 \log_{10} \frac{y}{\kappa_s} + 5.24$ (5-4)

	κ_s (cm)	D (cm)	粗度要素密度
1	2.6	7.5	176 疋/ m^2
2	2.7	10.0	95 疋/ m^2
3	2.7	15.0	46 疋/ m^2
4	2.8	20.0	29 疋/ m^2

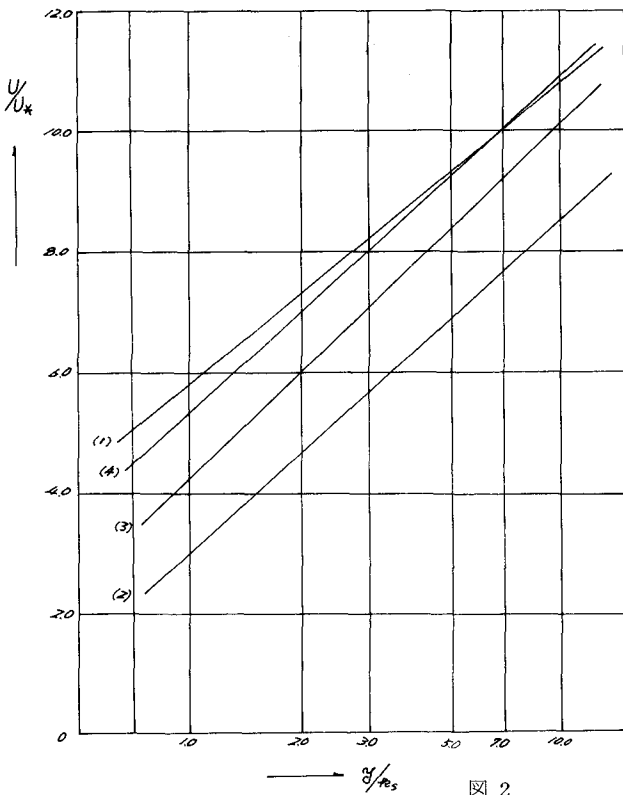


図 2

$$\chi = -52.9 \left(\frac{\kappa_s}{D} \right)^2 + 24.85 \left(\frac{\kappa_s}{D} \right) - 2.09 \quad \dots\dots\dots (7)$$

この式より $\frac{\kappa_s}{D} = 0.235$ で χ は最大となりその値は 0.827 となる。(6)式を見て明らかごとく、 χ 最大のときは、 χ 最小となる。即ち粗度の効果最大となるのである。換言すれば粗度密度を表わす $\frac{\kappa_s}{D}$ が 0.235 で、粗度による抵抗効果最大となり、その前後では粗度による抵抗効果減ずる傾向が見出された。これは Morris が述べているごとく、孤立粗度流から、後流干渉流へ、更に擬似滑面流へと遷移していくからであると考えられる。

図-2 で示された直線の平均こう配は、5.71 となり、理論的に導き出された(3)式のこう配 5.75 にほぼ近似している。また Karman 常数 α の値を求めれば、

$$5.71 = 2.3 \alpha^{-1}$$

であるから、 $\alpha = 0.4028$ となり、Nikuradse が実験より求めた $\alpha = 0.4$ とほぼ一致するので、開水路の流れの鉛直流速分布式として対数分布式を用いることの正当性を確かめ得た。

(3)式において $U=0$ とする y の値をとすれば、常数 A_1 は $-5.75 \log_{10} \frac{\chi}{\kappa_s}$ となる。

これより(3)式は

$$\frac{U}{U_*} = 5.75 \log_{10} \frac{y}{\chi} \quad \dots\dots\dots (6)$$

となること明らかである。実験の1ケースより4ケースまでにつき、パラメータ χ の値を求めれば

ケース	χ	κ_s/D
1	0.17	0.35
2	0.81	0.27
3	0.50	0.18
4	0.30	0.14

となり、 χ と $\frac{\kappa_s}{D}$ との関係は次の2次式で表わされた。