

粗面薄層流の平均流速分布、ならびにその計測結果

山口大学 正員 斉藤 隆
山口大学 正員 深田 三夫
岡山県庁 小坂 進

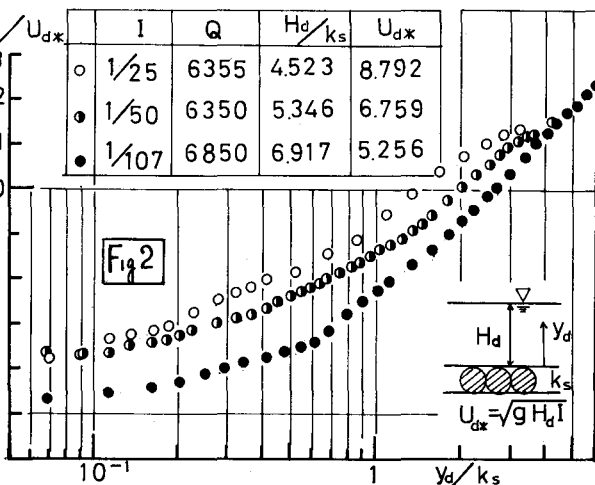
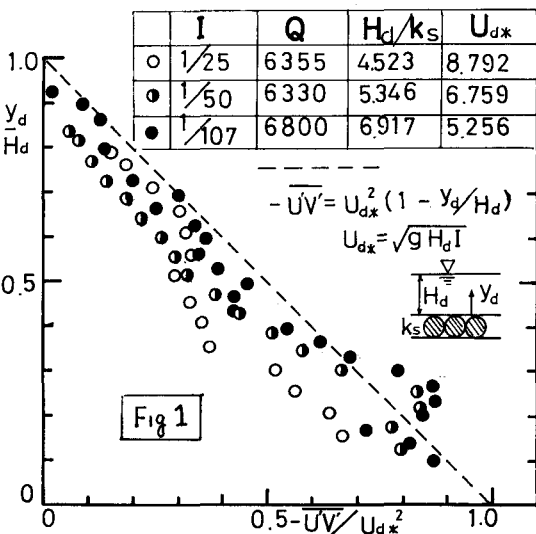
—よえがえ—

粗面薄層流は、壁面粗度と同程度の水深を持つ流で、山地河川に代表されるような、急勾配斜面上の流れはその代表的な例である。このような流れにおける、抵抗則は、粗度層内、いわゆる、粘性底層、乱流底層内の平均流速分布や、これによって、大きく影響され、これらを定量的に、理解することは、工研流本堂等の予測において、基本的な課題である。相対水深の大きな、緩勾配流れにおいては、流れの大部分の領域において、Prandtl-Karman の対数速度分布則が成りた、抵抗則の算出にあたり、対数分布則を基礎としていた。しかし、粗面薄層流においては、流れのほぼ、全域にわたって、むしろ、対数分布則は成りたっていない可能性があり、このことは、従来より指摘されてきたことであるが、平均流速の測定法、および、測定精度の点で、問題があったように思われる。筆者らは、本実験において、平均流速測定に、従来とは、異なった方法を用いた。これによって、粗度層内の平均流速分布形を、より一層、詳しく理解できると思われる。

—実験装置、測定方法、および測定値の解析法について—

実験に用いた水路は、長さ5m、幅 $B=40\text{cm}$ の可変勾配水路で、水路底には、平均粒径 $d_s=0.436\text{cm}$ の自然砂を密に敷きつめた、水路勾配 I 、流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ を変化させ、それぞれについて、平均流速分布を測定し、同時に、熱線流速計により、レイノルズ数 Re 、 $-\rho u^2$ 、乱れ強度 $\sqrt{u'^2}/\bar{u}$ と測定した。平均流速分布の測定には、ピトー静圧管を用いたが、動圧管の先端を薄く加工することによって、壁面近傍の流速測定の精度とあげ、差圧測定には、天秤を用いた U/U_{dx} によって、低流速($5\text{cm/sec} \sim$)の測定が可能となった。抵抗則の算出には、壁面位置の決定という重要な問題が残されているが、ここでは、乱流底層内の平均速度分布、および、渦動粘性係数のおおよその傾向を知るため、仮想壁面位置を、平均粗度上端にとり、これを、水深の原点とした。平均速度分布からの渦動粘性係数の算出には、前後11点の測定値を、最小二乗近似により、二次曲線に近似し、せん断力分布と、直線と仮定することによって、求めた。

—平均流速分布、および、渦動粘性係数の算出



に使用した基本式はフリエー

$$\text{摩擦速度: } U_{*k} = \left(\frac{\tau_0}{\rho}\right)^{1/2} = (g H_d I)^{1/2} \dots\dots\dots ①$$

$$\text{滑動粘性係数: } -\rho U V' = \varepsilon \frac{dU}{dy} = \tau_0 (1 - y/H_d) \dots\dots\dots ②$$

— 測定結果について —

Fig 1には、レイノルズ応力の測定値の無次元化されたものが示されている。一般の二次元等流流れにおける、レイノルズ流カ分布（ただし分子粘性力は無視する）を点線を示した。仮想壁面位置、粗度上端に、統一したことにより、小路深勾配が、急になるに従い、点線分布からはがれていくが、流れの大部分の領域において、応力分布は直線分布とみなして差つかない。以下の解析は、応力分布と直線と、②に従って解析を進めた。

Fig 2で、平均流速分布と対数分布線とを示した。芦田等は、 y_d の大小に境、流れを上層と下層に分け、それぞれにおいて、異なる対数分布を持つ、対数分布形であることを示している。ここには詳示しないが、本実験の他の、あつたデータの示すところによれば、緩勾配になるほど、しかも、相対水深の大きい流れにおいて、上層部において、対数分布形は顕著になるから、粗度近傍は、単純に、対数分布形とはいえないようである。しかも、勾配が増し、相対水深が小さくなり、対数分布形が完全に姿を消す例もある。このことは、②式に従って、滑動粘性係数を算出すれば、より一層、明らかになる。

Fig 3, Fig 4に示した図が、それである。それぞれ、 H_d/δ と H_d/δ による無次元化した分布が示されている。 $p \sim K$ 対数則による分布は、図中の実線等で示したような二次曲線分布となるが、薄層流において、壁面近傍は、相対水深 H_d/δ の値によらず、 $\varepsilon \sim 0.35 U_{*k} \delta$ となることの方がわかる。

Fig 5には、個々の実験において対数分布とみなされる領域における傾度 $(U_y/k)_u$ と①の摩擦速度 U_{*k} を用いて求めた $(U_y/k)_H$ との比較が示されている。対数分布則に従う領域があるとしても、 $p \sim K$ 対数則の一部とみなすには、仮想壁面位置と、実際の河床面より更に下げなければならないことがわかる。芦田は、乱流流れの抵抗と、限界流速力に関する研究、京大防災研年報、16号 B P 481~

