

日本大学工学部 正員 ○高橋 迪夫
日本大学工学部 正員 木村 喜代治

はしがき：山地河川における流れは、一般的に、フルード数が大きく、また、河床が粗砂礫により構成され、相対水深の小さい流れとして特徴づけられる。このような流れに対する水理特性に関しては、すでにいくつかの報告がなされているが、まだ十分にその諸特性が把握されているとはいえないように思われる。

本報告では、この急勾配水路における粗粒子上の流れに関する研究の手始めとして、この流れに Prandtl-Kármán の対数速度分布則が適用され、実験結果の平均量より底面の位置が求められ、これを用いて流速分布より、足立・伊藤による底面粗度に直接関係する粗度領域の流速分布に関して検討が試みられている。

実験方法：長さ 6.5 m、幅 15.0 cm のアクリル製勾配可変水路の底面全体に、粒径 $D = 1.22$ cm と 1.61 cm のガラス球を最密に一層にはりつけ、水路勾配を $\sin i = 0.0349 \sim 0.242$ の間で 7 種類、流量を 2.4 ～ 6.4 m^3/sec の範囲で 5 種類にわたって変化させ、水路断面中央部の水深をポイントゲージにより水路上流端より 1.5 m の地点から 1 m 間隔に 5 点、流速分布をピトー管により上流端から 5.7 m の地点で各々測定した。同時に水温を測定した。

実験結果および考察：

底面位置の決定：底面粗面、側壁滑面の長方形断面開水路中央部における鉛直方向の Prandtl-Kármán の対数速度分布則を、二次元流れの組合せとして側壁の影響を考慮した底面摩擦速度 u_{*b} を用いて表わすと、

$$u/u_{*b} = 1/\kappa \ln(z/z') \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここで、 z ：底面からの鉛直方向の距離、 z' ： $u = 0$ における底面からの距離、 κ ：カルマン定数。

この式を本研究で対象としているような急勾配・粗粒子上の流れに適用する場合問題となるのは、底面をどこに定めるか、および、 z' あるいは底面の相当粗度 k_b をいかに評価するかということである。ただし、カルマン定数は通常用いられている 0.4 として考察を進めていくことにする。これらの問題に対して、例えば、芦田・大同・高橋・水山¹⁾は、同様の実験において、Cheng-Clyde³⁾による Chézy, Manning 式の適用性の検討結果を参考にして、 $k_b = D$ とし、底面を粒子中心から $0.35D$ 上方にとって結果を整理している。本報では、これらの問題を次のように考えることにする。

求める底面を図-1 のように粗度粒子中心から αD 上方とすると、水深は $H = h + (0.5 - \alpha)D$ となり、また、 z' を通常粗面に対して用いられている $k_b/30$ 、 $k_b = D$ とし、平均水量を用いて (1) 式を満足するような α を求めると、これより底面の位置が

決定されることになる。各実験値に対して求めた α とフルード数 Fr との関係を示すと図-2 のようになり、本実験範囲内においては、 $D = 1.22$, 1.61 cm に対して、

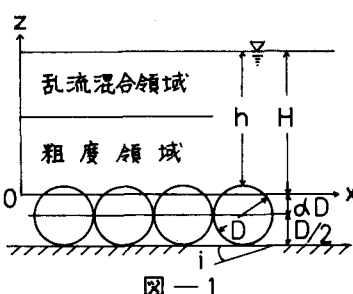


図-1

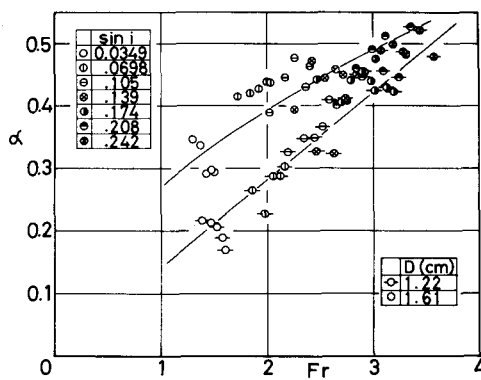


図-2

各々、 $\alpha = 0.14 Fr$, $\alpha = 0.27 Fr^{0.54}$ によつては近似されるようであり、フルード数の増加に伴つて底面が粒子の上方に移動するところがみられる。一方、 α は相対水深 H/D にも関係すると思われるが、本実験においては、現在までのところ明確な傾向は得られていない。

粗度領域の流速分布：上で求めた底面を用いた流速分布の一例として、 $Q = 5.4 \text{ l/sec}$ における各水路勾配に対する実測値を示すと図-3, 4のようになる。なお、図中の破線は対数則の勾配を示している。これらの図より、水路勾配の小さい場合

でも粗度近傍において、また、水路勾配の大きい場合にはかなり水面の近くまで対数則の勾配からはずれてくることが認められる。そこで、これらを足立・伊藤と同様に、図-1のように対数則に従う乱流混合領域とこれからはずれる粗度領域とに大きく分け、

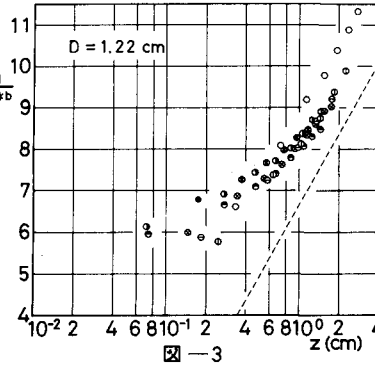


図-3

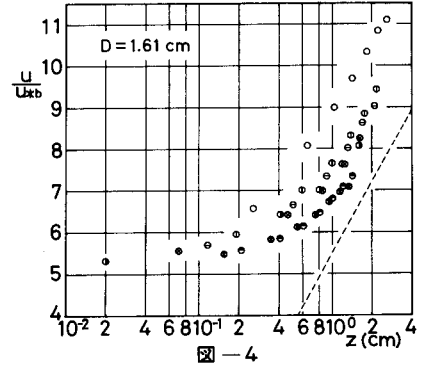


図-4

粗度領域の流速分布に関して検討を加えてみることにする。足立・伊藤によると、この粗度領域では混合距離は粗度要素自身の形状、大きさによって決定づけられ、 z には無関係であるとして、この領域内の混合距離を l_0 とおいて、粗度領域の流速分布を次式で表わしている。

$$U/U_{*0} = U_0/U_{*0} + 2/3 \cdot H/l_0 \{1 - (1 - z/H)^{3/2}\} \quad \text{..... (2)} \quad U_0: \text{底面における流速}$$

この式に従い、図-3, 4の値を図-5, 6のように U/U_{*0} と $2/3 \cdot H \cdot \{1 - (1 - z/H)^{3/2}\}$ との関係で表わし、この図中の直線の勾配より求めた l_0 をフルード数との関係で示したのが図-7である。この l_0 に対して足立・伊藤は H/D との関係で整理し、 H/D が $0.5 \sim 3$ に対しては l_0/D が $0.2 \sim 0.5$ の値を得ている。本実験における l_0/D も、

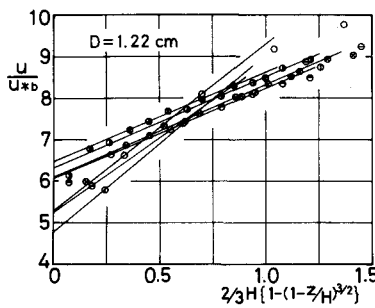


図-5

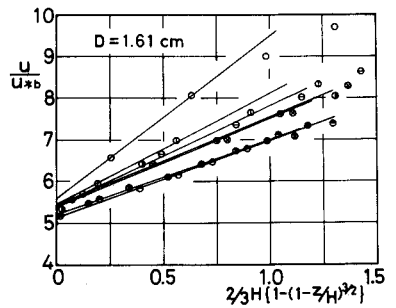


図-6

H/D が $0.9 \sim 3.3$ に対して $0.16 \sim 0.37$ の値をとるが、この範囲では H/D に対する関係はあまり明確ではないが、急勾配の流れであるためフルード数により変化するようであり、フルード数の増加に伴つて l_0 はほぼ直線的に大きくなっていくことが認められる。

<参考文献>

- 1) 芦田和男・大同淳之・高橋保・水山高久：急勾配流れの抵抗と限界掃流力に関する研究，京都大学防災研究所年報，第16号B, 1973.4.
- 2) 足立昭平・伊藤紘慶：球形粗度の実験的研究，土木学会第23回年次講演会概要集，1968.
- 3) Cheng, E.D.H. and C.G. Clyde: Instantaneous Hydrodynamic Lift and Drag Forces on Large Roughness Elements in Turbulent Open Channel Flow, Sedimentation, ed. by H.W. Shen, 1972.

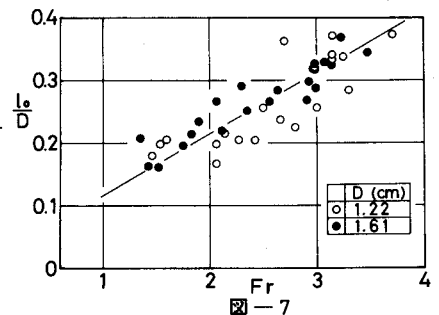


図-7