

(132) 急勾配・粗粒子上の流れる基礎的研究

日本大学工学部
同

正員 木村 喜代治
正員 ○ 高橋 迪夫

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、相対粗度の大き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の対数速度分布式と適用し、基準面の決定、相当粗度の評価に関して、2, 3の実験結果より考察が加えられている。

実験装置および方法：使用した水路は、長さ6.5 m、幅15.0 cmの亚克力製勾配可変水路であり、その底面全体に $d = 1.61$ cmのガラス球を密に一層にはり付けた。実験は、水路勾配 $\sin i = 0.0349 \sim 0.276$ までの8種類について行われ、水路中央部の水深、流速分布を各々、ポイントゲージ、ピトー管により、また、流量は2.4 ~ 6.4 ℓ/sec の範囲の5種類とし、ベンチュリメーターにより測定した。同時に、水温を測定した。なお、水深は水路上流端より1.5 mの地点から1 m間隔に5点、流速分布は上流端より5.7 mの地点で測定した。

実験結果および考察：Prandtl-Kármánの対数速度分布則を用い、流れを水平、鉛直の二方向の二次元流れの組み合わせとして取扱ひ、側壁の影響を考慮に入れ、木村²⁾の計算法によると、両側壁等粗度の流れに対する水路中央断面における鉛直方向の対数則は、

$$\frac{U_c}{U_{*bc}} = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{z}{z'} \right) \quad \dots\dots (1)$$

で表わされる。ここで、 z ：底面基準面からの鉛直方向の距離、 z' ： $U = 0$ における底面基準面からの距離、 K ：カルマン定数、 U_{*bc} ：底面中央部における摩擦速度であり、次式により求められる。

$$U_{*bc} = K \ln (y/y') \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 K は速度の次元を有するので、 $K = K^* U_{*R}$ 、($U_{*R} = \sqrt{gRI}$)とし、無次元化した係数 K^* を、

$$K^* = \sqrt{\frac{1 + 2R/b}{2R/b \{ [\ln(R/z') - 1]^2 + 1 \} + \{ [\ln(b/2y') - 1]^2 + 1 \}}} \quad \dots\dots (3)$$

により表わす。ただし、 R ：水深、 b ：水路幅、 y ：側壁基準面からの水平方向の距離、 y' ： $U = 0$ における側壁基準面からの距離であり、本計算には、側壁を滑面とみなして次式を用いる。

$$y' = 0.111 U_{*w} / U_{*w}, \quad U_{*w} = K \{ \ln(R/z') - 1 \} \quad \dots\dots (4)$$

この式においてまず問題となるのは、本研究で対象としているような急勾配、粗粒子上の流れにおいては、水深の基準面をどこに定めるか、および、 z' 、あるいは、底面の相当粗度 R_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 K については、とくに、土砂を含んだ流れに対しては、これを変数とする議論もいくつか報告されているが、問題をいかに複雑にするので、ここでは、通常用いられている $K = 0.4$ (定数)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・等は、同様な実験において、ChengおよびClydeのChézy式および

びManning式の適用性の検討結果を参考にして、 $R_b = d$ とし、基準面を粒子頂点から $0.15d$ 下方にとつ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。

基準面の決定： Prandtl - Kármán の式を適用する際に、まず最初に、基準面をどこに定めるか、すなわち、いかなる高さを基準として水深を定義するかという問題が生ずる。そこで、求める基準面を図-1のように粒子中心から d 上方とし、この d の値を種々変化させてそれらの d に対して式(3)、(4)および $\bar{z} = d/30$ より計算した全ての実験結果における $\bar{z}$ の平均値 $\bar{z}_m$ を用いて、 $R_{bm} = 30\bar{z}_m$ により相当粗度の平均値 R_{bm} を求め、 d と R_{bm} との関係を示すと図-2のようになる。これより、 $R_{bm} = d$ としてこの時の d の値を求めると、 $d = 0.43$ が得られる。すなわち、粒子頂点から $0.07d$ 下方に基準面をとるのが妥当ではないかと考えられる。

$\bar{z}$ の検討： 上で決定した基準面により求めた各実験結果に対する $\bar{z}$ の変化の状態を、フルード数 Fr との関係で表わしたのが図-3であり、これからはとくに傾向を認めることはできない。つぎに、 $\bar{z}/h$ と Fr との関係を表わしてみると図-4のようになり、各水路勾配毎に一本の直線上に分布しており、しかもこれらの直線の傾きはほぼ同一であることが認められる。これより、 $\bar{z}/h = -0.0284 Fr + \Phi(\sin i)$ とおくことができ、 $\Phi(\sin i)$ の関数形は図-5より、 $\Phi(\sin i) = 0.205(\sin i)^{0.39}$ となる。これらのことより、本報では d は一種類のために粒径に対する検討はなされていないが、急勾配、粗粒子上の流れにおける $\bar{z}$ は、岩垣の報告にもあるように、 d のみによっては規定され得ないようである。

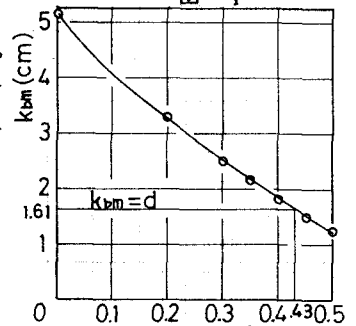
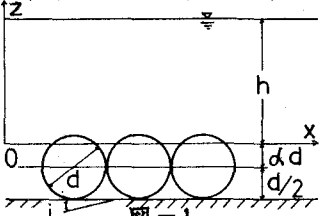


図-2 d

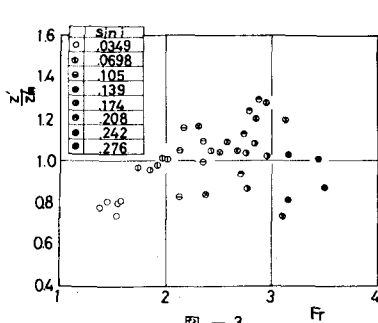


図-3

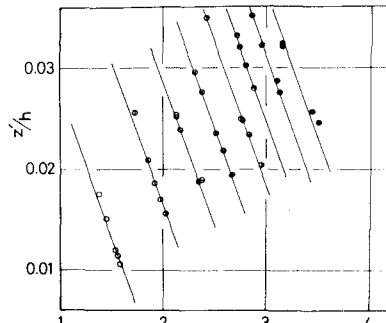


図-4

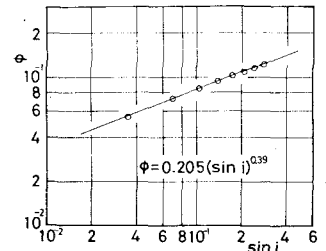


図-5

流速分布： 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験値を示すと図-6のようになる。これより、 $\sin i = 0.208$ 以下では、 $\bar{z}/\bar{z}_m$ がほぼ20以上のいわゆる乱流域においては、対数則にかなりよく適合しているようであり、また、 $\bar{z}/\bar{z}_m$ が20以下は、足立らのいう底面粗度に直接関係する粗度領域と思われる。一方、 $\sin i = 0.208$ 以上になると、この粗度領域は水面付近にまで及んでいることが認められる。

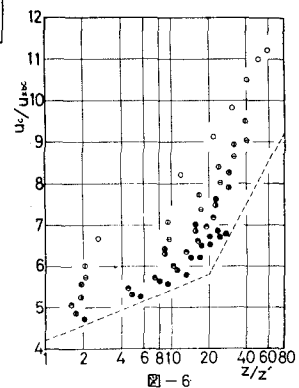


図-6

＜参考文献＞

- 1) 例えは、戸田和男・大同淳文・高橋保・水山壽久：急勾配流れの抵抗と限界持流力に関する研究，京大防災研年報，第16号B，1973.4.
- 2) 木村孝代治：長方形水路における流れの諸特性に関する研究，学位論文，1975.
- 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.
- 4) 足立昭平・伊藤敏彦：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.