

京都大学防災研究所 正員 大年 邦雄
同 上 正員 今本 博健
京都大学大学院 学生員 吉村 庄平

1. はじめに：著者らは先に開水路流れにおける流速分布特性について実験的に検討し¹⁾、次のような結果を報告した。すなわち、滑面流れにおいて計測した流速分布を壁法則表示すると、粘性底層上に片対数級数で直線近似される対数則の良く適合する領域が存在するが、1本の直線では近似しえず、外部層では対数則からの離反がみられる。また、外部層の流速分布自身も直線近似されるようである、全体としては2本の直線で近似可能である。なお、粗面流れのものも同様な傾向を示す。このとき、路床側の直線で近似される領域を内部対数層、水面側を外部対数層と呼ぶことにすると、それぞれの領域における流速分布の式形は対数則と同一のものを用いることができるが、式に含まれる各種定数はそれぞれの領域で異なり、木理条件によっても変化する。

固体粒子を浮遊する流れに関する従来の実験および理論的研究においては、その基本となるべき清水流の全領域に対数則が適用され、上述した内部対数層から外部対数層への遷移(外部層における対数則からの離反)はあまり認識されていないようである、再検討を要すると思われる。

本報では、上述した認識を基礎として、開水路浮遊砂流の流速分布特性について実験的検討を加える。

2. 流速分布形状：浮遊砂流の流速分布について検討を行なう前に、清水流の流速分布形状について簡単に検討しておく。清水流の流速分布式に関しては、従来より種々のものが提案されているが、著者らが各種分布式の計測値との適合性を検討した結果、Zagustin式²⁾あるいはColes式³⁾の適合性が比較的高いことがわかったため、ここではこれらの2式を取上げることにし、比較の意味で対数則を併示する。なお、これらの諸式は次のように表される。

$$\text{log-law: } \frac{U}{U_\tau} = \frac{1}{K} \ln \frac{yH}{A_s} + A_s \quad (1)$$

$$\text{Zagustin: } \frac{U}{U_\tau} = \frac{1}{K} \ln \frac{1 - (1 - y/H)^{1/2}}{1 + (1 - y/H)^{1/2}} + A_s + \frac{1}{K} \ln \frac{yH}{A_s} + \ln \frac{y}{A_s} \quad (2)$$

$$\text{Coles: } \frac{U}{U_\tau} = \frac{1}{K} \ln \frac{yH}{A_s} + A_s + \frac{2B}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{4} \frac{y}{H}\right) \quad (3)$$

ここに、 U は路床からの高さ y における流速、 U_τ は摩擦速度、 K はカルマン定数、 H は水深、 A_s は積分定数、 B は係数である。なお、式(2)における積分定数は、対数則域で(実際には $y/H \approx 0$ の領域で)式(1)に一致するように決定している。

図-1は、滑面上の清水流において計測した流速分布と上記の諸式とを比較したものである。前述したように、計測値は $y/H > 0.2$ の領域において対数則で表されるものより上方に離反しているが、ZagustinおよびColesの各分布式は、そのような傾向をうまく表わしている。

次に、浮遊砂流の流速分布形状について検討する。ここではColes式を浮遊砂流へ拡張してその適合性を調べるとともに、近年、板倉ら⁴⁾によって提案された流速分布式を取上げて検討を加える。これらの流速分布式は次のように表される。

滑面上の浮遊砂流；

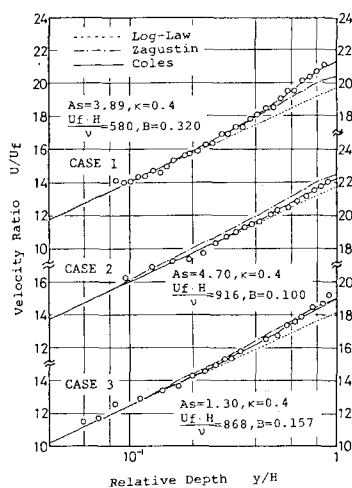


図-1 清水流の流速分布(滑面流れ)

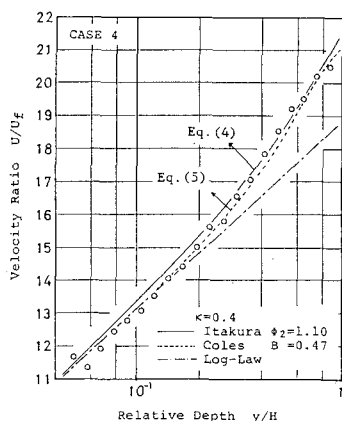


図-2 浮遊砂流の流速分布(滑面流れ)

表-1 各種パラメータと濃度との関係

パラメータ	滑面流れ	粗面流れ
K	増加	減少
As	増加	—
Ar	—	一定
ks	—	減少
B	増加	減少
K'	減少	減少

板倉S: $\frac{U}{U_*} = A_s + \frac{1}{K} \ln \frac{U_*}{U_*} + \frac{1}{K} \ln \frac{U}{U_*}$ (4)

Coles: $\frac{U}{U_*} = [A_s + \frac{1}{K} \ln \frac{U_*}{U_*}] + \frac{2B}{K} \sin(\frac{\pi}{4} \frac{U}{U_*})$ (5)

粗面上の浮遊砂流;

板倉S: $\frac{U}{U_*} = A_r + \frac{1}{K_s} \ln \frac{U_*}{U_*} + \frac{1}{K_s} \ln \frac{U}{U_*}$ (6)

Coles: $\frac{U}{U_*} = [A_r + \frac{1}{K_s} \ln \frac{U_*}{U_*}] + \frac{2B}{K_s} \sin(\frac{\pi}{4} \frac{U}{U_*})$ (7)

ここに、 $\alpha = Hk\gamma U_*^3 (\gamma - 1) U_* C_m$ (8)

α は係数、 γ は重力加速度、 γ は浮遊砂の比重、 U_* は沈降速度、 C_m は断面平均体積濃度である。

図-2は、滑面上の浮遊砂流において計測した流速分布を式(4)、(5)と比較したものである。浮遊砂流においても、清水流と同様、計測値は外部層で計数則から離れており、両分布式は式に含まれる係数あるいはBによってそのような傾向をうまく表わしている。ところで、式(4)における係数は流れおよび浮遊砂の特性量を用いて式(8)より決定され、その物理的意味は明確であるが、清水流に計しては $\alpha=0$ となり式(4)は計数則に一致する。しかし、上述したように清水流の流速分布を計数則では十分に表し得ない。一方、式(5)は、係数Bのもう物理的意味は不明確ではあるが流速分布形状を的確に表現しており、清水流および浮遊砂流に計して式に含まれる各種パラメータと物理量との関係が明確にされるならば、流速分布式として非常に優れていると考えられる。

3. 流速分布を規定する各種パラメータ：清水流および浮遊砂流に計してColes式の適合性の高いことが明らかにになったので、以下では、Coles式を規定する各種パラメータに及ぼす浮遊砂の効果について検討する。実験では、滑面および粗面上の流れにおいて浮遊砂濃度を系統的に変化させた場合について流速分布を計測し、次のようにして各種パラメータ値を推定した。すなわち、 $\gamma/H \leq 0.2$ の領域で計数則が成立するとし、式(5)および(7)の「」の部分とその領域における計測値に適用して A_s 、 K 、 K_s を算定した。このとき、粗面上の清水流では、相当砂粒粗度高 $K_s (=k_{s0})$ は路床の平均粗度高 k に等しいとして $A_r (=A_{r0})$ を算定し、浮遊砂流においても A_r は一定($=A_{r0}$)として取扱うことにより K_s の変化を求めた。また、水面における計数則と流速差 $4U/U_*$ が $2B/K$ となることより B を算定した。このようにして算定した各種パラメータと浮遊砂濃度との関係を、滑面および粗面について示すとそれぞれ図-3および図-4のようになる。なお、図に示された K' は外部層($\gamma/H \geq 0.2$)における計測値を計数則で近似した場合のカルマン定数を意味している。各種パラメータ値はかなりばらついており、図より、浮遊砂濃度による明確な変化傾向を見出すのは困難ではあるが、浮遊砂濃度の増加に伴う各種パラメータの変化は表-1のようになると考えることができる。

4. おわりに：浮遊砂濃度起因する流速分布形状の変化について定量的な検討を加えたが、流速分布式を規定する各種パラメータと濃度との関係は、図-3、4に示すようにばらつきが大きいため、今後、詳細な検討が必要である。

参考文献 1) 今本博健・大年邦雄：京都大学防災研究所年報，第23号B-2，pp.373~392，1980。 2) Zagustin, K.: La Houille Blanche, 1969-2, pp.113~118, 1969。 3) Coles, D.: Jour. Fluid Mech., Vol. 1, part 2, pp. 191~226, 1956。 4) Itakura T. and T. Kishi: Proc. ASCE, Vol. 106, pp. B25~B343, 1980。

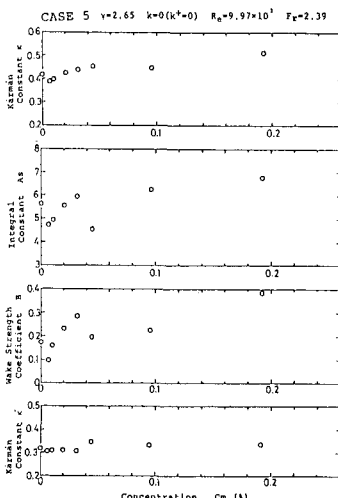


図-3 各種パラメータと濃度との関係 (滑面流れ)

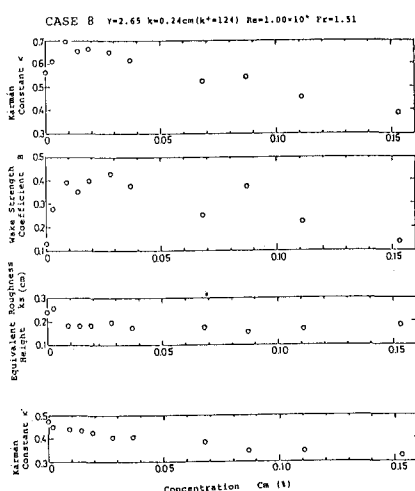


図-4 各種パラメータと濃度との関係 (粗面流れ)