

京都大学防災研究所

正員

今本博健

京都大学大学院

学生員

浅野富夫

京都大学大学院

学生員

大年邦雄

1. はじめに

開水路浮遊砂流の抵抗特性についてはVanoni¹⁾をはじめとして多くの研究者によって実験的検討が加えられ、それらの実験結果を説明するモデルもいくつか提案されているが、^{2)~4)}詳細については不明の点も多く残されており、普遍的な浮遊砂流の水理特性を把握するための高精度の実験的検討が必要と考えられる。本報告は、既報⁵⁾に引き続き、滑面上の浮遊砂流の抵抗特性について実験的検討を行ったものであって、とくに定量的特性の把握に努めている。

2. 実験装置および方法

実験には、幅40cm、深さ20cm、長さ13mの循環式滑面直線水路を使用した。浮遊砂流の計測に際しては所定濃度の浮遊砂流が現出されるよう給砂開始とともに下流端で排水し、実験水は循環されないようにした。また、速度計測にはホットフィルム流速計を使用した。が、コニカル型プローブを用いた場合、センサーへの微粒子の付着あるいは浮遊砂の衝突は、計測時間がそれほど長時間にわたらないかぎり、無視されるほど少ないことが確かめられている⁶⁾⁷⁾。本実験において使用された砂は、平均粒径 $d_m=0.0152\text{mm}$ 、比重 $\gamma=2.65$ 、沈降速度 $w_0=1.86\text{cm/sec}$ の桂砂7号であって、浮遊砂濃度の鉛直分布はRouseの式と比較的良好一致を示している。

3. 抵抗係数

図-1および2は、水深Hの計測より算定された抵抗係数 $C_f=2(U_m/U_f)^2$ ($U_m=Q/BH$:断面平均速度、 $U_f=\sqrt{gH I_b}$:摩擦速度、Q:流量、B:水路幅、g:重力加速度、 I_b :路床勾配)と粒子の平均重量濃度 C_m との関係を示したものであって、浮遊砂流の抵抗係数 C_f は同一流量における清水流の抵抗係数 C_{f0} で基準化されている。図にみられるように、いずれのレイノルズ数 $Re(=U_m H/\nu)$ の場合についても、 C_f/C_{f0} は C_m の増加とともにほぼ一様に増加する傾向を示しており、粗面上の流れを対象としたVanoniの実験結果¹⁾と著しく異なっている。

また、図-2に示されるように、 C_m による C_f/C_{f0} の増加の度合いはフルード数 $Fr(U_m/\sqrt{gH})$ の増加とともにゆるやかに減少することが知れる。これは一定流量のもとで Fr が大きな場合ほど w_0/U_f (w_0 :浮遊粒子の沈降速度)が小さく、粒子が流れに及ぼす影響が小さいことによるものと考えられる。なお、図に示された実験ケースにおいて水深の増加に及ぼす供給砂の体積は無視されるほど小さく、 C_m の増加に伴う C_f の増加は滑面浮遊流の特性そのものであると

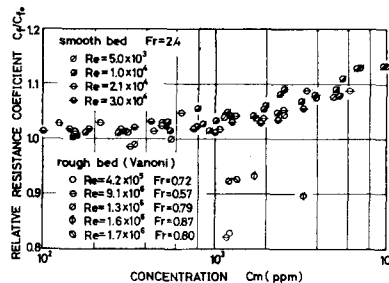


図-1

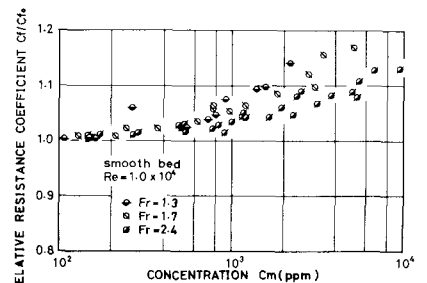


図-2

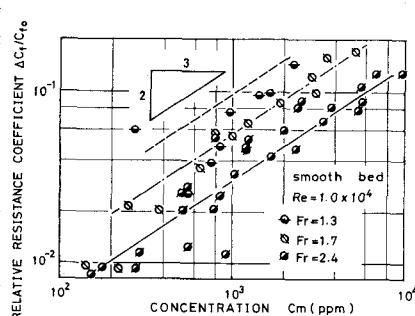


図-3

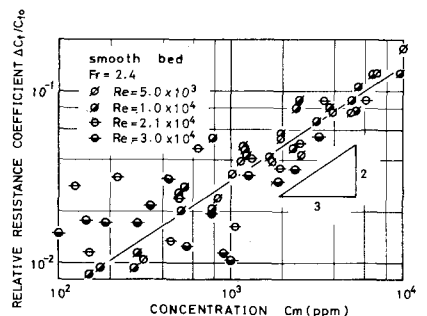


図-4

考えられる。

さらに、このような C_F の増加特性を定量的に検討するために、抵抗係数の差 $\Delta C_F (=C_F - C_{F0})$ と C_{F0} との比を C_m に対して示すと図-3および4のようになる。いずれの図においても $\Delta C_F / C_{F0}$ と C_m とは両対数紙上で直線関係にあり、

$$\Delta C_F / C_{F0} = a C_m^b \quad (1)$$

と表されるようである。ここに、指数 b は Re および Fr に関係なく $b=2/3$ 程度と推定されるのに対し、比例定数 a は Fr により異なり図-4を考慮すると a はさらに、

$$a = a_1 Fr^{-a_2} \quad (2)$$

と書き直され、 C_m をppmで表示した場合、両図より $a_1=1.7 \times 10^{-3}$ 、 $a_2=2$ 程度と推定される。なお、図において C_m が小さい計測値ほど大きなばらつきを示しているが、これは浮遊砂流と清水流との水深の差が非常に小さいことに起因する計測誤差の影響と考えられる。

4. 平均速度分布

平均速度分布の計測例として $Re=1.0 \times 10^4$ のものを示すと図-5のようになり、 $C_m=5.09 \times 10^3$ ppmという高濃度の実験ケースを除き、浮遊砂流においても対数分布式

$$\frac{U}{U_F} = A_s + \frac{1}{K} \ln \frac{U_F z}{V} \quad (3)$$

が適用されることが知れる。ここに、 U は路床面からの距離 z における平均速度である。また、同一相対水深 z/H における平均・摩擦速度比 U/U_F は多少のばらつきはあるものの C_m が大きいケースほど小さい傾向が認められ、3.で示した C_F の特性が平均速度分布からも確かめられる。

さらに、浮遊砂流の平均速度勾配は清水流の勾配よりもゆるやかなようであり、カルマン定数 K は C_m の増加とともに大きくなると推測される。このような特性をさらに詳細に検討するために、 $0.2 < z/h < 0.8$ の領域の計測値に最小二乗法を用いて K を評価し、清水流の $K_0=0.33$ で基準化して示すと図-6のようになる。なお、 K の評価にあたっては、路床面上に粒子の堆積が認められなかったことおよび $U_F K_0 / V$ ($K_0=d_m$)の最大値が10程度であることより式(3)を用いており、また図-6には濃度分布にRouseの式を適用することにより評価した K の値についても併示されている。図に示されるように K は C_m の増加とともに増加しているが、さらに3.と同様に $\Delta K / K_0$ と C_m との関係を示すと図-7のようになる。これより K についても

$$\Delta K / K_0 = a' C_m^{b'} \quad (4)$$

の関係が認められ、指数 b' については抵抗係数の場合と同様にはほぼ $2/3$ と推定される。また、図-3と図-7との比較より、 $\Delta K / K_0$ は $\Delta C_F / C_{F0}$ の $1/2$ 程度の大きさであることが知れ、 $a'=1/2 a$ と推測される。

5. おわりに

以上のように、滑面上の浮遊砂流に及ぼす平均濃度の効果はかなり明らかにされたが、従来より明らかにされている粗面上の浮遊砂流の特性とはかなり異なっており、今後さらに検討が必要とされる。

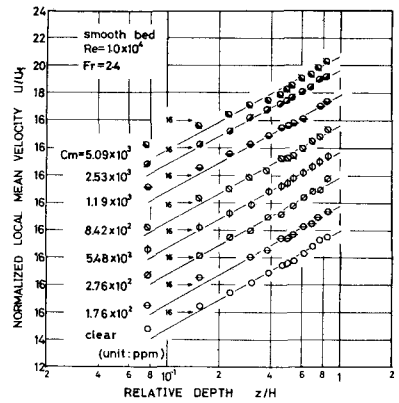


図-5

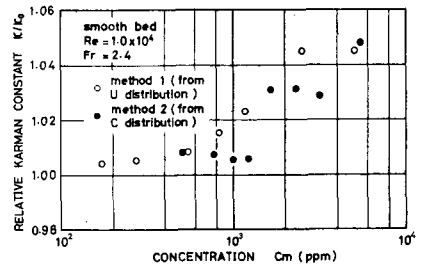


図-6

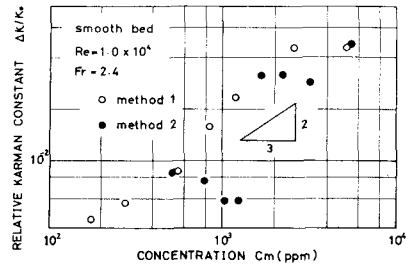


図-7

- 参考文献 1) Vanoni: Proc. ASCE, 70, 1944. 5) 今本・浅野・大年: 昭和52年度関西支部.
2) 樗: 土木学会誌, 40-9, 1955. 6) 今本・浅野: 昭和49年度関西支部.
3) 志村: 土木学会論文集, 46, 1957. 7) 今本・浅野・石垣: 昭和52年度関西支部.
4) 日野: 土木学会論文集, 92, 1963. 8) 今本・浅野・石垣・今西: 京大防災研年報, 1977.