

京都大学大学院	学生員	大年 邦雄
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	二宮 純

1. はじめに

著者らは従来より開水路流れの抵抗特性および乱流特性に及ぼす滲透砂の効果について実験的検討を行い^(1,2), 滑面流れの抵抗係数あるいはカルマン定数は滲透砂濃度の増加とともに増大することを示した。これは従来からの予見とは異なった結果となっている。そこで、著者らが採用している実験装置および方法に関して種々の観点から再検討を行うとともに、実験技術上の諸問題についても検討を加え、その有効性についてこの確認を得た。³⁾ そのような検討をふまえた上で、本報告においては固定床粗面上の滲透砂流における抵抗特性について言及し、合わせて滑面上の流れの場合との比較を行うことにする。なお、本実験に使用した滲透砂は珪砂7号と呼ばれる混合砂で、その平均粒径および Stokes の式より算定される平均沈降速度はそれぞれ 0.016 cm , 1.99 cm/sec である。

2. 抵抗係数

抵抗係数 C_f は摩擦速度 U_τ および断面平均流速 U_m を用いて、 $C_f = 2(U_\tau/U_m)^2$ と定義される。このように表示された抵抗係数 C_f と滲透砂濃度 C_m との関係を滑面および粗面上の開水路流れに對し示したものが図-1 (a) ~ (c) である。なお、図において C_f はそれぞれの場合における清水流の抵抗係数 C_{f0} で基準化されている。図より、滑面の場合には C_f は濃度とともに大きくなるが、粗面では逆に C_f は濃度とともに小さくなること、さらに、その変化の度合は滑面、粗面を問わずフルード数 F_r に依存し、 F_r の小さい方が変化の度合が大きくなるということも知れる。また、粗面の場合については、底面粗度高 d_s が大きくなると抵抗係数の減少の度合が小さくなる傾向を有することもうかがわれる。なお、図-1 にはレイノルズ数 Re を各ケースにおいてほぼ一定としているため、 Re が C_f と C_m の関係に及ぼす効果については言及できない。

3. 平均速度分布

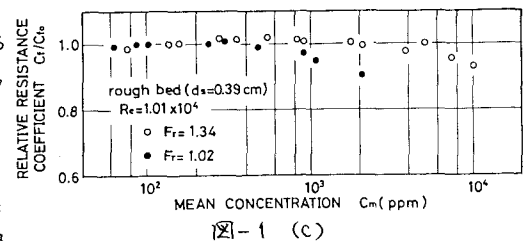
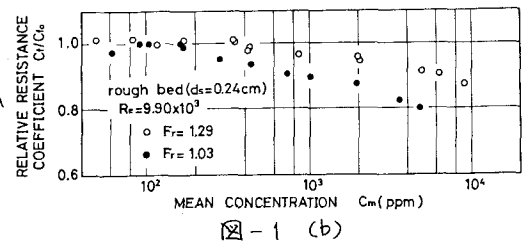
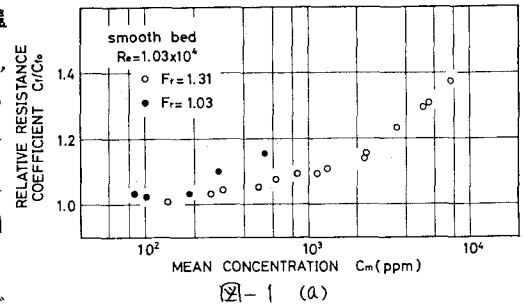
二次元壁面乱流の平均速度分布式として現在よく用いられている対数速度分布式は次のように表される。

$$\text{滑面: } \frac{U}{U_\tau} = A_s + \frac{1}{k} \ln \frac{U_\tau z}{\nu}, \quad \left(\frac{U_\tau k_s}{\nu} < 5 \right) \quad (1)$$

$$\text{粗面: } \frac{U}{U_\tau} = A_r + \frac{1}{k} \ln \frac{z}{k_s}, \quad \left(\frac{U_\tau k_s}{\nu} \gg 70 \right) \quad (2)$$

ここに、 U は器床面からその高さにおける平均速度、 ν は動粘性係数、 k_s は相当粗度高、 A_s および A_r は積分定数、 k はカルマン定数である。

さて、滲透砂流において、ホットフィルム流速計を用いて計測された平均速度分布を滑面および粗面の場合について示したものがそれぞれ図-2 および図-3 である。図-2 は滑面において、 $Re = 1.0 \times 10^4$, $F_r = 2.4$ のもとで計測されたものであって、滲透砂流においても全般的に対数則が適



合しているが、相対水深 $z/H = 0.4$ 付近を境界に勾配が急変していると思なした方がより自然であるようにも思われる。この点については詳細に検討する必要がある。一方、図-3に示された粗面における平均速度分布は、流遊砂を含んでも全水深にわたり対数則が非常によく適合している。流遊砂流においても平均速度分布式として対数速度分布式がよく適合することは従来より実験的に明らかにされているが、本研究によってもそれが実証されている。

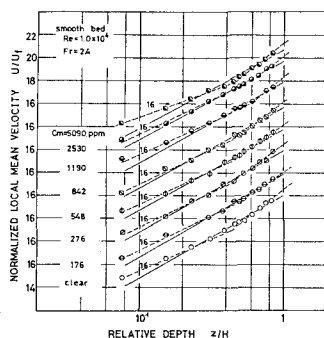


図-2

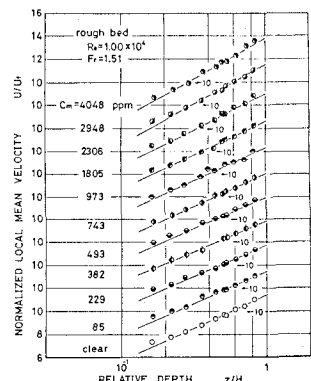


図-3

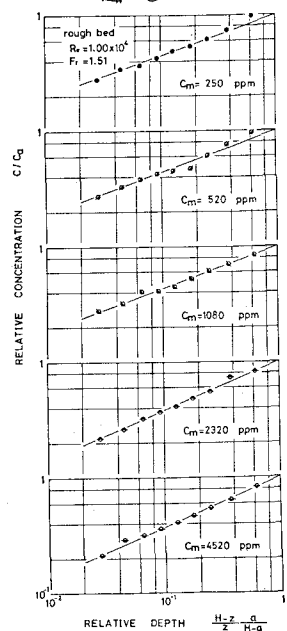


図-4

4. カルマン定数

カルマン定数 k と流遊砂濃度 C_m との関係を平均速度分布および流遊砂濃度分布を基にして考察する。すなわち、図-2および図-3に示された平均速度分布が対数則によく適合することより、 $0.2 < z/H < 0.8$ の領域に最小自乗法を適用してカルマン定数を評価するとともに、流遊砂濃度分布が図-4に示すようにRouseの分布式ときわめてよい一致を示すことが実験的に確認されたので、これよりカルマン定数を評価する。なお、Rouseの分布式は次式のように表される。

$$\frac{C}{C_a} = \left(\frac{a}{H-a} \frac{H-z}{z} \right)^2, \quad Z = \frac{w_0}{\beta k U_*} \quad (3)$$

ここに、 C は路床からの高さ z における濃度、 C_a は基準高 $z=a$ における濃度、 β は比例定数、 U_* は流遊粒子の沈降速度である。

以上の方法によって求めたカルマン定数と流遊砂濃度との関係を示したものが図-5である。なお、図においては流遊砂流におけるカルマン定数 k は清水流におけるカルマン定数 k_0 で基準化されている。図より、カルマン定数は滑面の場合には流遊砂濃度 C_m の増加とともに次第に増大し、粗面の場合には低濃度の領域で若干大きくなる傾向があるものの、全般的には C_m が増加するとともに減少することが知れる。さらに、変化の割合についてみると、 C_m がおよそ5000 ppmまでの範囲においては、滑面の場合のカルマン定数の増大は高々8%程度であるが、粗面においては20%近くまで減少していることも知れる。このような傾向は平均速度分布および濃度分布の両者から見い出される。

5. おわりに

以上のように、流遊砂濃度が流れの抵抗特性、とりわけ抵抗係数およびカルマン定数に及ぼす効果は滑面と粗面とでは異なる傾向を示すことが実験的に明らかにされたが、今後は流遊粒子については濃度のほかに比重の効果に関しても検討し、さらに、各種水理量と流遊粒子の諸特性が流れの抵抗特性に及ぼす効果について詳細な実験的検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 今本・浅野・大年；開水路流遊砂流の抵抗特性に関する実験的研究(2)，第32回年講，II-211，1977。
- 2) 浅野・今本・大年；開水路流遊砂流の乱流特性に関する実験的研究(2)，第32回年講，II-150，1977。
- 3) 今本・大年・二宮；開水路流遊砂流の実験における2,3の問題点について，関西支部年講，II-42，1978。

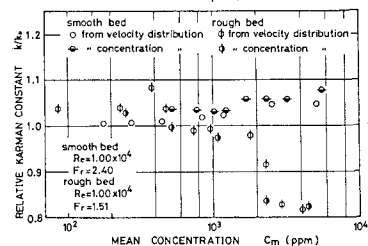


図-5