

開水路砂流の抵抗特性に関する実験的研究 (6)

京都大学防災研究所	正員	今本博健
京都大学防災研究所	正員	大年邦雄
京都大学大学院	学生員	西園忠次
北陸電力	正員	○津田 勲

1. はじめに

著者らは、従来より開水路砂流の抵抗特性について実験的検討を加えてきており¹⁾滑面上の砂流では、濃度の増加とともに抵抗係数は増加し、完全粗面上では、逆に減少するという従来の知見とは異なる結果を得ている。さらに、流れのレイノルズ数およびフルード数が抵抗係数と濃度との関係に及ぼす効果に着目すると、レイノルズ数が明確な効果を示さないのに対し、フルード数が小さいほど抵抗係数の変化量は大きいという結果も得られている。したがって、抵抗係数の変化特性に関する情報はきわめて少なく、とくに、滑面上および不完全粗面上の砂流の特性についてはほとんど知られていないようである。そこで、本研究では、路床粗度高を系統的に変化させた流れにおいて、抵抗係数と濃度との関係を検討し、粗度の効果を明らかにすることを目的としている。また、開水路砂流の抵抗特性に関する若干の定性的説明を試みている。

2. 実験結果および検討

図-1 は、流れのレイノルズ数 Re およびフルード数 Fr をそれぞれ一定に保ち、路床粗度高 k を 4 種変化させた流れにおける抵抗係数比 f/f_0 (f_0 : 清水流の抵抗係数) と平均砂濃度 C_m (体積濃度) との関係を示したものである。それぞれの k に對する粗度レイノルズ数 $k_t = U_* k / \nu$ は、0, 12, 30, 250 であって、 $k = 0.065 \text{ cm}$, 0.03 cm のものは不完全粗面上の流れとなっている。 $k_t = 0$ の滑面では、 f/f_0 は C_m とともに増加するが、 $k_t = 250$ の完全粗面では、逆に減少している。 $k_t = 12, 30$ の不完全粗面上の流れにおける f/f_0 と C_m との関係は微妙であって、前者は増加傾向、後者は減少傾向を示している。すなわち、不完全粗面上の流れでは、 k_t に応じて f/f_0 と C_m との関係は異なることがわかる。そこで、粗度レイノルズ数 k_t が抵抗係数の変化に及ぼす効果を検討すると次のようである。

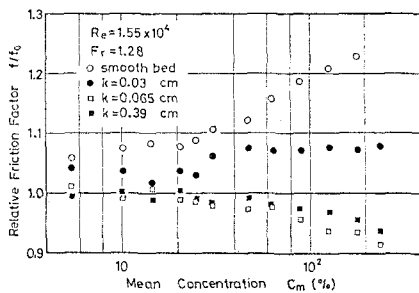


図-1

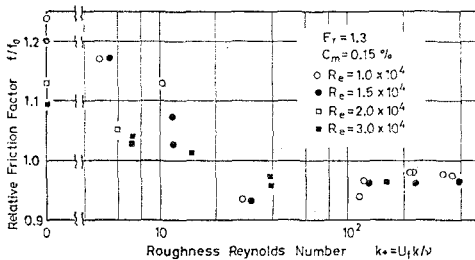


図-2

図-2は、4種の Re のもとで、それぞれ C_m をそれぞれ一定に保ち、 k を系統的に変化させた場合の y/y_0 と k_+ との関係を示している。図より、 $k_+=0$ の滑面上の流れでは $y/y_0 > 1$ であるが、 k_+ の増加とともに y/y_0 は減少し、 $k_+=15$ 付近で1となり、 $k_+=30$ 付近で極小傾向を示したのち、完全粗面の領域では1より小さい一定値となることがわかる。このように、粗度レイノルズ数は抵抗係数と濃度との関係に大きく関与し、浮遊砂流の流特性は極めて複雑である。

図-3は、同一流量のもとでの清水流と浮遊砂流の平均速度分布を普通表示により比較したものである。滑面上の浮遊砂流は清水流に比し大きな水深を示すとともに、全水深にわたり速度が減少している。粗面上のものは小さな水深を示すとともに、全水深にわたり速度が増加している。また、同一鉛直高さにおける浮遊砂流と清水流との速度差についてみると、滑面では路床近傍ほど速度減少が著しく粗面では水面付近ほど速度増加が顕著で、いずれについても速度勾配は浮遊砂流のものが大きくなっている。

図-4および5は、図-3を対数表示したものであって、清水流および浮遊砂流の両者とも、その速度分布は勾配を異にする2本の直線に近似され、乱流境界層における欠損則層が内部対数層（inner log layer；本来の対数則層）と外部対数層（outer log layer）とで構成されることが推測される²⁾。

このような浮遊砂流の流速分布特性は、浮遊砂がもつ次のような効果によって定性的に説明される。すなわち、浮遊砂が混入すると見かけ上の有効粘性が増大し、速度の減少作用を及ぼすとともに抵抗係数を増大させる効果をもつ。浮遊砂は路床付近ほど高濃度であるため、滑面上の浮遊砂流では、路床付近の速度減少が卓越し、速度勾配が清水流よりも大きくなり、カルマン定数の減少をもたらすものと考えられる。一方、完全粗面上の流れは、粗度要素背後の復流に大きく支配されているが、路床近傍の高濃度層によって、このような復流の発達を抑えられる（吸収される）。有効粘性の増大効果よりも粗度要素背後の復流が抑えられる効果の方が卓越するため、完全粗面上の浮遊砂流では、速度が増加し、水面付近で大きな速度増加を示すものと考えられる。したがって、この場合、抵抗係数およびカルマン定数は清水流のものより減少することになる。

図-3は、同一流量のもとでの清水流と浮遊砂流の平均速度分布を普通表示により比較したものである。滑面上の浮遊砂流は清水流に比し大きな水深を示すとともに、全水深にわたり速度が減少している。粗面上のものは小さな水深を示すとともに、全水深にわたり速度が増加している。また、同一鉛直高さにおける浮遊砂流と清水流との速度差についてみると、滑面では路床近傍ほど速度減少が著しく粗面では水面付近ほど速度増加が顕著で、いずれについても速度勾配は浮遊砂流のものが大きくなっている。

参考文献

- 1) 今本・大井・二宮、開水路浮遊砂流の抵抗特性に関する実験的研究(4)、関西交部年講、1979。
- 2) 今本・大井・二宮・池田、開水路中砂粒子流の抵抗特性について、関西交部年講、1980。

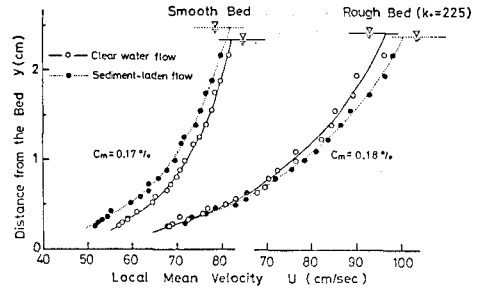


図-3

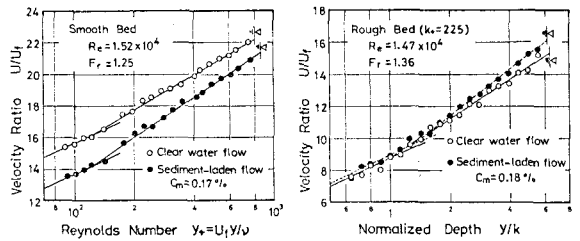


図-4

図-5