

開水路浮遊中立粒子流の抵抗特性について

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
 山 口 県 正員 二 宮 純
 鴻 池 組 正員 ○池 田 満

1. はじめに

固体粒子、とりわけ砂粒子を浮遊した流れについては、Vanoni¹⁾以来活発な研究が行われており、その水理特性はかなり明らかにされているが、中立浮遊粒子を含む流れに関しては、Elata-Ippen²⁾ および Daily-Chu³⁾ による実験的研究があるものの、不明の点も数多く残されているようである。本研究は、40cm幅水路を用いて等流状態の開水路浮遊中立粒子流を取上げ、その抵抗特性について若干の実験的検討を加えるとともに、清水流の平均速度分布についても検討したので、その成果を報告する。

2. 実験結果および考察

図-1は、種々の水理条件下において計測された清水流の平均速度分布を欠損則表示したものである。片対数紙上での速度分布は、全体を1本の直線で近似するよりも、 $y/H \approx 0.2$ 付近を境にして勾配の異なる2本の直線で近似する方が現象に忠実である。すなわち、欠損則層は、内部対数層(inner log layer; 本来の対数則層)と外部対数層(outer log layer)とに区分されるものと考えられる。このとき、内部対数層におけるカルマン定数はほぼ0.4に等しいが、外部対数層のそれは図中の表に示されるように0.4よりもかなり小さく、水理条件によって変化している。

図-2は、上述の2つの領域の遷移相対水深 y_t/H と摩擦レイノルズ数 U_*H/ν との関係を示したものである。なお、図中に示されたVanoniのデータは、彼の論文¹⁾に記載された速度分布より読取ったものである。 y_t/H は k/H (k : 路床粗度高)の差異に関係なく、 $U_*H/\nu < 2 \times 10^3$ の領域ではいずれも0.2に近い値となり、 $U_*H/\nu > 2 \times 10^3$ では摩擦レイノルズ数の増加とともに減少する傾向を示している。

図-3は、清水流と粒子を含んだ流れの平均速度分布を比較するために、表-1に示すような、フルード数 Fr 、粗度レイノルズ数 $kt (=U_*k/\nu)$ および断面平均粒子濃度 C_m を変化させた12種の水理条件のもとで速度計測を行った

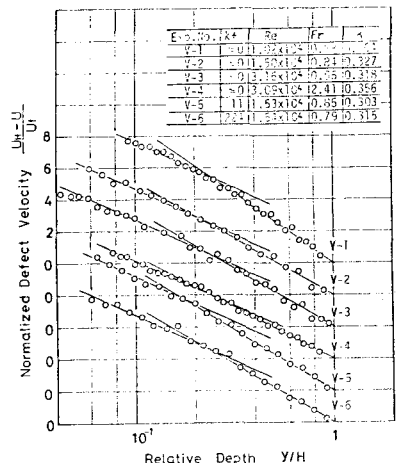


図-1 清水流の平均速度分布の計測結果

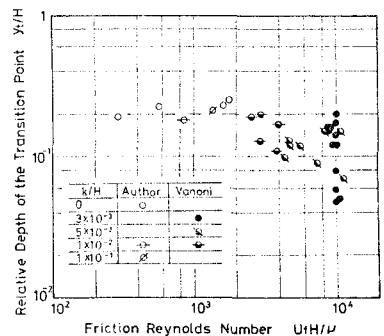


図-2 遷移相対水深と摩擦レイノルズ数の関係

結果を欠損則表示したものである。 y/H

50.2の領域では、いずれの計測結果も対数則を表す直線によく近似でき、外部対数層において対数則が粒子流にも適用できることがわかる。また、 y/H 50.2の領域では計測値がいずれの場合もこの近似直線から系統的に離反する傾向が見出せ、清水流と粒子流の区別に際なく速度分布が二本の直線と近似されることがわかる。このことは、Ippen⁴⁾あるいは岸ら⁵⁾が主張しているような、清水流ではほぼ全水深にわたって速度分布が片対数則上で一本の直線と近似され、粒子の影響によって速度分布に屈折が生ずるといふ理論とは全く異なり、今後さらに検討を加えてゆく必要がある。

図-4は、中立浮遊粒子が流れの抵抗係数に及ぼす影響を検討するために、同一流量、同一路床勾配の清水流の抵抗係数 f_0 で基準化された粒子流の抵抗係数 f/f_0 と C_m の関係を示したものである。 Fr や k に関係なく、 C_m の増加とともに f/f_0 が増加しており、滑面流れについてこの従来の研究結果⁶⁾には一致しているが、粗面流れに対する日野の予測⁶⁾とは相反する計測結果が得られた。

前図の計測結果と砂粒子に比重2.65ノを浮遊した場合の f/f_0 と C_m の関係を比較したものが図-5であり、それぞれ同一水理条件下のものを同一座標に示している。中立浮遊粒子を含んだ流れの方が、 C_m がかなり大きいにもかかわらず、 f/f_0 の変化量は浮遊砂流よりも小さく、また k が f/f_0 と C_m の关系到及ぼす効果も明瞭でない。浮遊中立粒子流と浮遊砂流の主な相違点は、粒子の比重とそれに起因する濃度勾配であり、これらが流れの抵抗特性に大きな影響を及ぼすことがわかる。

3. おわりに

今後は、粒径、比重等の粒子の諸特性が流れの水理特性に及ぼす効果について、系統的に研究を進めてゆく予定である。

参考文献

- 1) Vanoni, V.A.: Trans. ASCE, Vol. 111, pp. 67-102, 1946.
- 2) Elata, C. and A.T. Ippen: TR. No. 45, MIT, 1961.
- 3) Daily, J.W. and T.K. Chu: TR. No. 48, MIT, 1961.
- 4) Ippen, A.T.: Jour. of BSCE, Vol. 58, pp. 131-143, 1971.
- 5) 板倉岸中山: 文部省科研報告, 1975.
- 6) 日野: 水工学シリーズ, 土木学会水理委員会, 66-07, 1966.

表-1 水理条件表

Exp. No.	Fr	k+	C_m (%)
NV-1	1.38	0	0
NV-2	1.30	0	2.42
NV-3	1.42	11	0
NV-4	1.41	11	2.42
NV-5	1.38	224	0
NV-6	1.38	230	2.62
NV-7	0.84	0	0
NV-8	0.83	0	2.42
NV-9	0.85	8	0
NV-10	0.83	8	2.42
NV-11	0.79	148	0
NV-12	0.78	150	2.62

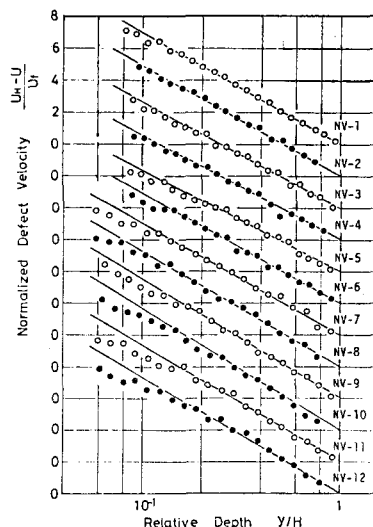


図-3 平均速度分布の計測結果

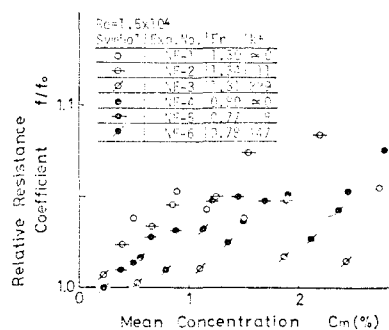


図-4 抵抗係数比と粒子濃度の関係

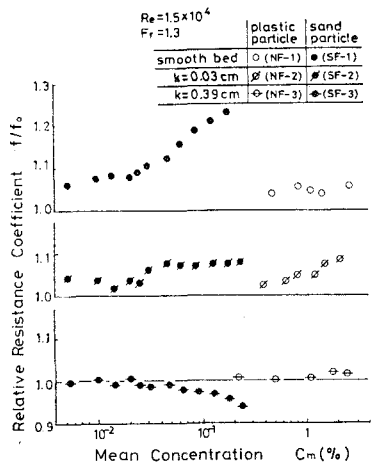


図-5 抵抗係数比と粒子濃度の関係