

II-259 固体粒子を浮遊する開水路流れの平均速度分布について

京都大学防災研究所 正員 今本博健
同上 正員 ○大年邦雄
京都大学大学院 学生員 川本秀夫

1. はじめに

固体粒子を浮遊する開水路流れの平均速度分布については古くから研究されてきており、砂粒子を対象とした Vanoni¹⁾ の実験的研究、中立浮遊粒子を対象とした Eluta-Ippen²⁾ の実験的研究等によつてその概略的な解が理解されるようになり、日野³⁾ によつてその理論的裏付けが与えられた。さらに、近年、板倉ら⁴⁾ は、気象学の分野で用いられてきた Monin-Obukov の相似則を浮遊砂流に適用し、新たな理論式を提案している。また林ら⁵⁾ は、板倉らの理論を中立粒子を浮遊する流れに対して拡張し、現象の説明を試みている。

このように、固体粒子を浮遊する流れの平均速度分布については理論的にかなり説明されつつあるといえるが、その実験的検証が遅れているようである。これは、固体粒子を浮遊した場合の速度分布の変化がそれほど顕著でないため、実験的な検証が非常に困難であることに起因していると考えられる。

本報では、ポリスチレン粒子 ($\gamma=1.05$, $d_m=0.0337$ cm)、塩化ビニール粒子 ($\gamma=1.45$, $d_m=0.0115$ cm) および砂粒子 ($\gamma=2.65$, $d_m=0.0063, 0.0105, 0.0151$ cm) の3種の固体粒子を浮遊する開水路流れの平均速度分布について著者らが得た実験的検討結果を報告する。なお、ポリスチレン粒子および塩化ビニール粒子を用いた実験では、粒子は水路系内を循環するようにしたが、この場合、定常流れの実験条件下では体積濃度が10%以上の高濃度な流れを得ることは非常に困難であつて、最高濃度で7%未満の流れが計測の対象となっている。

2. 実験的検討

図-1 は、 $\gamma=1.05$ の固体粒子を浮遊する滑面流れにおいて計測された速度分布を同一流量・同一管路配分の清水流のものと比較して示したものである。断面平均体積濃度 $C_m=4.6\%$ では半水深以下での速度が清水流よりも若干減少する傾向を示しているが、 $C_m=6.6\%$ では清水流よりも大きな水深を示すとともにほぼ全水深にわたつて速度は一様に減少しており、速度勾配は清水流のものとは顕著な差はないようである。また、図-1 に示された計測値を片対数表示したものが図-2 であつて、固体粒子を含む流れの速度分布も清水流同様片対数分布で十分に表わしうることがわかる。

$\gamma=1.45$ の固体粒子を用いた場合には、前述されたように、高濃度の流れを対象とすることができなかったが、滑面上の流れにおいて計測された速度分布を図-1 と同様の表示を用いて示すと図-3 のようである。低濃度であつたため清水流の速度分布からの顕著な逸脱は検出されていないが、水深は若干増大するようであつて、流水抵抗は大きくなるものと思われる。

次に、浮遊砂流について検討する。板倉ら⁴⁾ は、この場合の平均速度分布式として次式を導いている。すなわち、

$$\frac{U-U_{max}}{U_f} = \frac{1}{k} \left[\ln \frac{y}{y_0} + \alpha \left(\frac{y}{y_0} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

ここに、 U は路床からの高さ y における流速、 U_{max} は最大流速、 U_f は摩擦速度、 k はカルマン定数、 H は水深、 α は定数である。

本実験において計測された滑面および粗面上の浮遊砂流の速度分布を

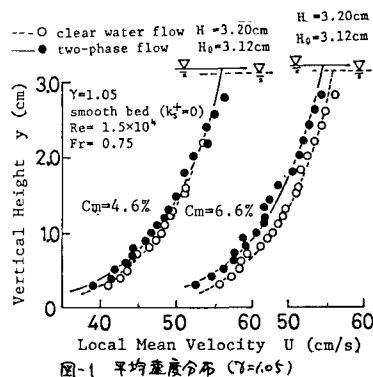


図-1 平均速度分布 ($\gamma=1.05$)

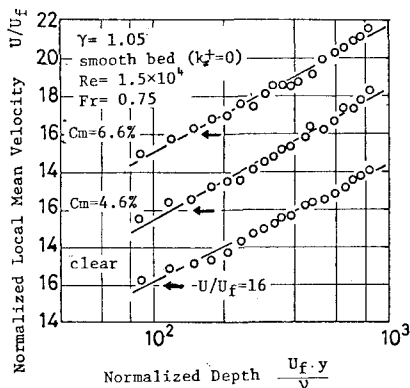


図-2 平均速度分布 ($\gamma=1.05$, 片対数表示)

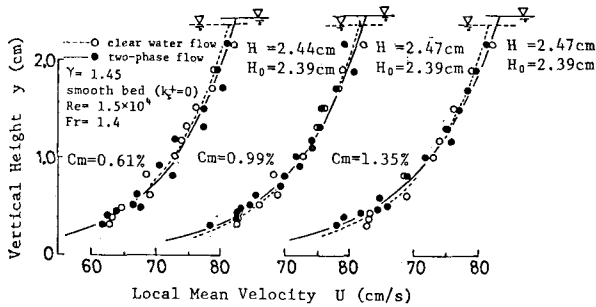


図-3 平均速度分布 ($Y=1.45$, 平均表示)

欠損則表示し、式(1)と比較したものが図-4である。図中の実線は計測値より定まる中値を用いて式(1)を表わしたものであるが、

清水流と同様、直線近似も可能であって、同図では、計数分布式と式(1)の適合性の優劣を判断することは極めて困難である。そこで χ^2 検定により両者の適合性を検討してみると、表-1のようなのである。表に示す

表-1 χ^2 検定結果

	滑面	粗面
計数分布	$\chi^2 = 0.320$	$\chi^2 = 0.376$
式(1)	$\chi^2 = 0.320$	$\chi^2 = 0.310$

れた χ^2 値の分布式による差異は微小であって、適合性の優劣はつけ難い。

最後に、汚濁砂流の速度分布に及ぼす粒径の効果について検討する。完全粗面上の流束において、 $C_m \approx 0.25\%$ の一定に保ち、粒径のみを変化させた場合の速度分布計測値を図-1と同様な表示法を用いて示したものが図-5である。粗面上の汚濁砂流であるため、いずれの粒径のものについても速度は清水流のものより増大しているが、その増大の度合は粒径の大きいものほど顕著である。また、清水流との速度差に着目すると、 $d_m = 0.0105 \text{ cm}$ では水面近傍ほど大きく、著者⁵⁾が先に指摘した傾向を示しているが、 $d_m = 0.0151 \text{ cm}$ ではほぼ全水深にわたって一様に増大している。また、これらの計測値を片対数表示すると図-6のようになって、いずれの粒径に対して直線近似で片対数分布のよく適合していることがわかる。

以上のような粒径の効果は次のように説明される。粗面上の汚濁砂流では、路床近傍の高濃度層によって粗度要素が流水に及ぼす影響が緩和されると考えられるが、汚濁砂の前面平均体積濃度が一定であれば、粒径の大きい場合ほど路床近傍の濃度が大きく水面近傍の濃度は小さくなる。したがって、粗度の緩和効果は粒径の大きい場合ほど顕著になることになる。

(参考文献)

- 1) Vanoni, V.A.: Proc. ASCE, Vol. 70, 1944.
- 2) Elata-Ippen: Tech. Report, No. 45, Hydrodynamics Lab., MIT, 1961.
- 3) 日野 幹雄: 土木学会論文集, 92, 1963.
- 4) Itakura, T. and T. Kishi: Proc. ASCE, Vol. 106, 1980.
- 5) 林 泰造, 大山 好永: 第23回水理講演会論議, 1979.
- 6) 今井 博俊, 大井 邦雄, 二宮 純: 第34回年報, 2-78, 1999.

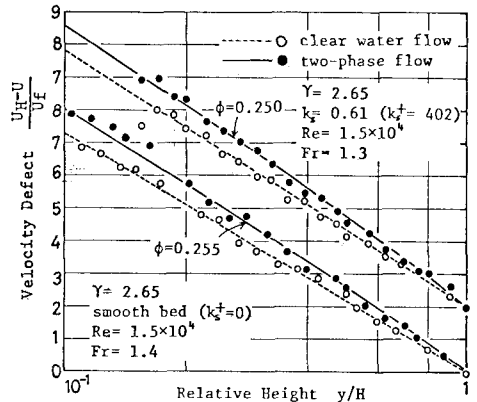


図-4 平均速度分布の欠損則表示 ($Y=2.65$)

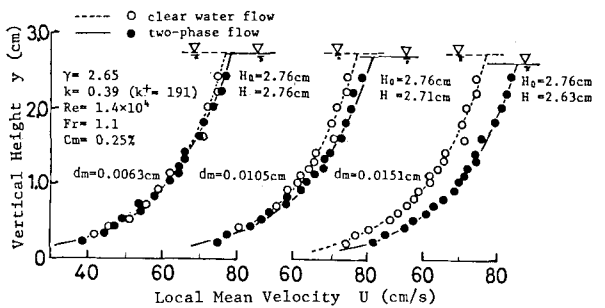


図-5 粒径を変化させた場合の平均速度分布 ($Y=2.65$)

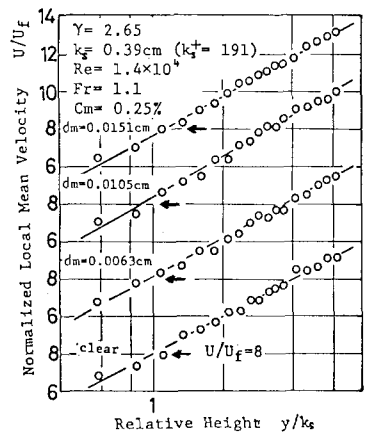


図-6 平均速度分布 ($Y=2.65$, 片対数表示)