

京都大学大学院
(株)タクマ

正 員 瀬津家久 京都大学大学院 正 員 鬼東幸樹
正 員 倉田昌明 京都大学大学院 学生員○江崎慶治

1. はじめに 実河川では、流れ、流砂及び河床形状の相互作用により流れ場が形成される。そのうち、流砂が流れに及ぼす影響としては、十分な研究がなされておらず、研究者間で意見の分かれるところである。そのため、本研究は、レーザ流速計(FLDA)を用いて掃流砂を伴う平坦河床上的流れを高精度に計測し、その乱流構造を解明するものである。

2. 実験装置および条件 本実験では、図-1に示すような長さ12m幅50cmの矩形断面の水路に中央粒径が $d_{50}=1.8\text{mm}$ の一樣砂を平坦に敷き詰めた移動床実験と、移動床実験と同一の砂を鉄板に張り付けた固定床実験の二種類を行った。また、移動床実験における掃流砂の収集は、計測断面から1m下流の位置で行った。なお、水理条件は表-1に示した。ここに、 h :水深、 U_m :平均流速、 U_* :摩擦速度、 Q :流量、 Re : Reynolds数、 Fr : Froude数、 S_b : 水路床勾配、 $q_s/U_* d_{50}$: 掃流砂量、 τ_{*c} : 無次元限界掃流力、 τ_* : 無次元掃流力である。

3. 実験結果および考察 図-2に主流速分布を示す。固定床実験での主流速分布が、 $d_{50}/4$ の原点補正量で概ね対数則に一致しているために¹⁾移動床実験においても同量の補正量を用いた。そこで、 y 座標を以下のように定義する。

$$y = y' + \Delta y$$
$$\xi = \frac{y}{h}, \quad y^+ = \frac{U_* y}{\nu} \quad (1)$$

ここに、 y' は粗度頂部より計測した鉛直座標である。移動床及び固定床実験のいずれのケースにおいても内層における主流速分布は、概ね対数則に従っていることが観察される。しかし、移動床実験の主流速分布は、流砂量の多いMB3およびMB4では、対数則から上方に逸れている。また、その傾向は掃流砂量の増加に伴い顕著となる²⁾。これは、底面付近において掃流砂の運動が流体を鉛直方向に混合させるために、底

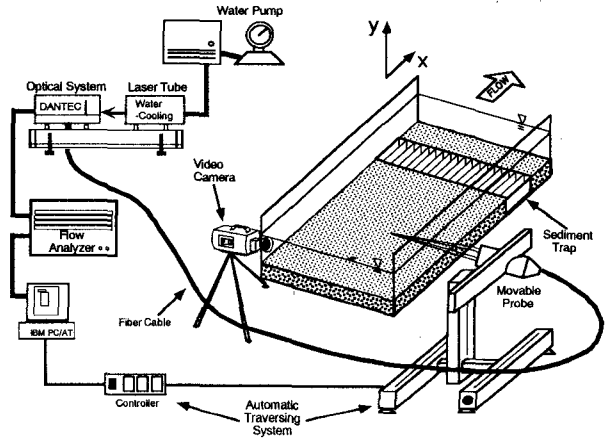


図-1 実験システム

表-1 実験条件

Case	h (cm)	U_m (cm/s)	U_* (cm/s)	Q (liter/s)	Re ($\times 10^4$)	Fr	S_b	$q_s/U_* d_{50}$	τ_{*c}	τ_*
NMB	7.0	40.6	2.6	14.2	2.8	0.49	1/1000	-	-	0.023
MB1	7.0	50.0	3.2	17.5	3.5	0.60	1/700	2.4×10^{-4}	-	0.035
MB2	7.0	54.7	3.5	19.1	3.8	0.66	1/600	7.1×10^{-4}	0.027	0.043
MB3	7.0	57.8	3.7	20.2	4.0	0.70	1/500	5.6×10^{-2}	-	0.046
MB4	7.0	64.0	4.1	22.4	4.5	0.77	1/400	1.9×10^{-1}	-	0.058

Case	h (cm)	U_m (cm/s)	U_* (cm/s)	Q (liter/s)	Re ($\times 10^4$)	Fr	S_b
FB1	7.0	40.6	2.8	14.2	2.8	0.49	1/800
FB2	7.0	50.0	3.1	17.5	3.5	0.60	1/700
FB3	7.0	57.8	3.7	20.2	4.0	0.70	1/500
FB4	7.0	64.0	4.5	22.4	4.5	0.77	1/400

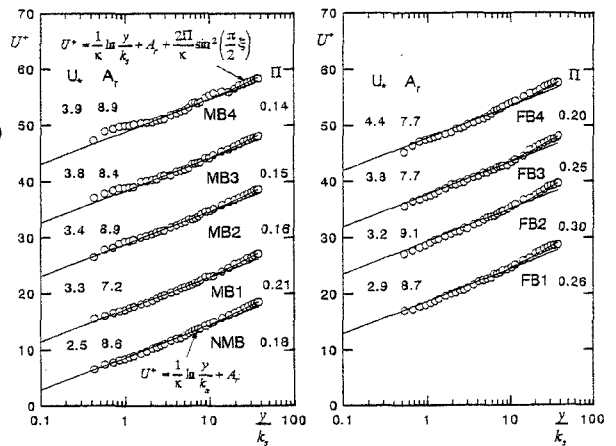


図-2 主流速分布 (左図: 移動床, 右図: 固定床)

面付近での流速が一様化したため生じたものと考えられる。

底面付近のReynolds応力分布を図-3に示す。底面付近では掃流砂量の増加に伴いReynolds応力が増加していることが観察される。そこで、Reynolds応力分布を次式で近似する。

$$-\frac{\overline{uv}}{U_*^2} = 1 - \xi - \frac{\beta}{\kappa} \cdot \frac{1}{y^+} \quad (2)$$

上式の β は滑面2次元等流時において対数則領域で $\beta=1$ の定数をとるが、粗面あるいは流砂の効果による底面付近の分布形状の変化を考慮するために粘性項に β を係数として付加した。掃流砂の存在しないNMB及び固定床実験では、粗面効果によって欠損が生じている。一方、移動床実験では流砂量の増加に伴い底面付近のReynolds応力が増加し、 β が滑面の値である1に近づいている。これは、掃流砂の運動に起因する鉛直方向の激しい流体混合により運動量輸送が活発に行われたためと考えられる。

図-4は移動床実験及び固定床実験の底面付近における乱れ強度 u'/U 及び v'/U を図示したものである。同図には、乱れ強度分布の普遍式に粘性の効果を加えた次式を併示した。

$$\begin{aligned} \frac{u'}{U} &= 2.26 \exp(-0.88\xi) \Gamma + Cy^+(1-\Gamma) \\ \frac{v'}{U} &= 1.23 \exp(-0.67\xi) \Gamma \\ \Gamma &= 1 - \exp\left(-\frac{y^+}{B}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

移動床実験の乱れ強度 u'/U は流砂量が増加するにつれて低減している。また、移動床実験の乱れ強度 v'/U は、滑面の分布よりも増加している。このような乱れ強度 u'/U および v'/U の挙動は、掃流砂の運動が流体を空間的に混合させ、乱れの等方化指向が強いために生じたものと考えられる。

4. おわりに 本研究は、FLDAを用いて移動床上及び固定床上の流れ場を計測し、両者を比較することで掃流砂運動が乱流構造に及ぼす影響を検討したものである。

参考文献

- 1) Nezu, I. and Nakagawa, H. : IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam, 1993.
- 2) Yang, Y. and Hirano, M. : Discussion, *J. of Hydr. Res.*, vol. 33, pp.877-880, 1995.

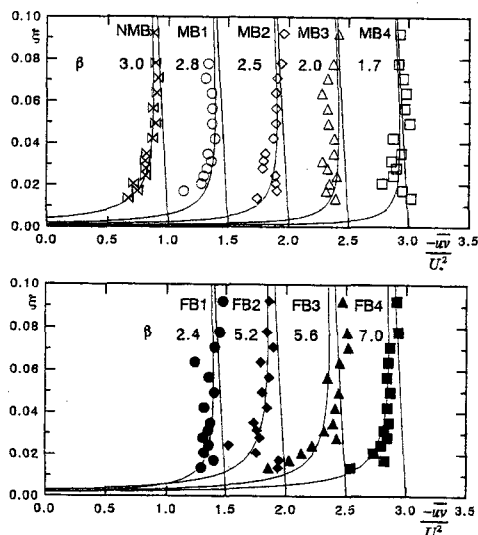


図-3 底面付近のReynolds応力分布
(上図：移動床，下図：固定床)

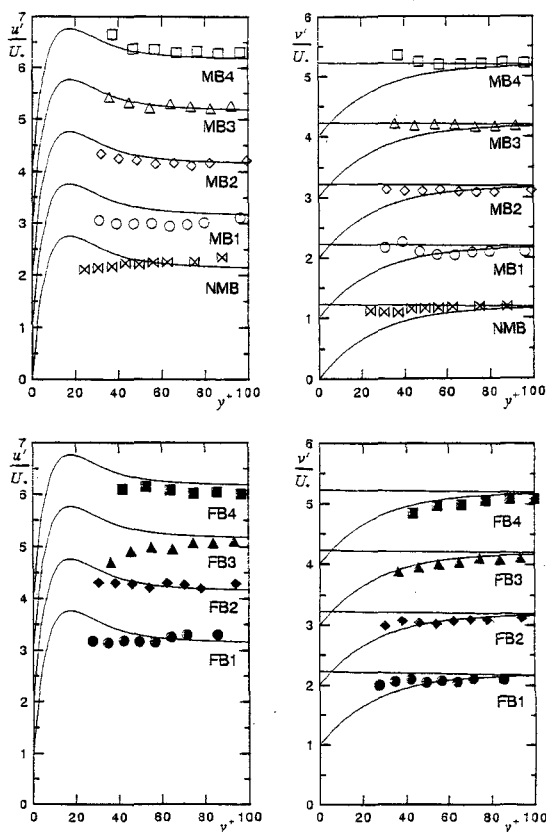


図-4 底面付近の乱れ強度分布
(上図：移動床，下図：固定床)