

掃流砂を伴う平坦河床上の乱れエネルギー収支

(株)タクマ 正 員○倉田昌明

京都大学大学院 正 員 櫛津家久

京都大学大学院 学生員 江崎慶治

1. はじめに 掃流砂の存在する流れでは、底面付近で乱流構造が変化することが指摘されている。そのため、エネルギー収支も滑面等流のものとは異なることが推測される。本研究は、ファイバー型レーザ流速計を用いて掃流砂を伴う平坦河床上の流れを計測し、その乱流構造を解明するとともに、乱れのエネルギー収支についても検討するものである。

2. 実験方法および条件 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 $d_{50}=1.80\text{mm}$ の一樣珪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珪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 :掃流砂量、 τ_{*c} :無次元限界掃流力、 τ_* :無次元掃流力である。 τ_* は、次式で表される。

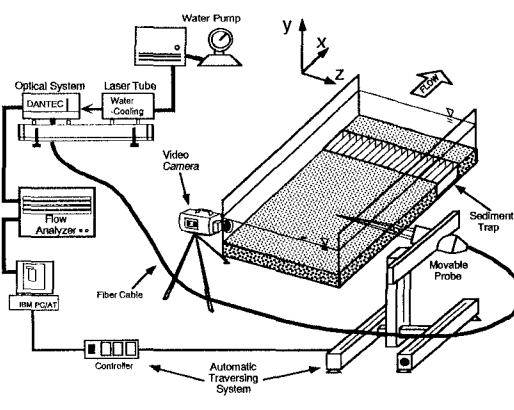


図-1 実験システム

表-1実験条件

Case	h (cm)	U _m (cm/s)	U* (cm/s)	Q (liter/s)	Re ($\times 10^4$)	Fr	St _b	q ₉ /U _m d ₅₀	τ_w	τ_w
NWB	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 $\times 10^{-4}$	0.027	0.035
MB2	7.0	54.7	3.5	19.1	3.8	0.66	1/600	7.1 $\times 10^{-4}$		0.043
MB3	7.0	57.8	3.7	20.2	4.0	0.70	1/500	5.6 $\times 10^{-2}$		0.046
MB4	7.0	64.0	4.1	22.4	4.5	0.77	1/400	1.9 $\times 10^{-1}$		0.058

Case	h (cm)	U _m (cm/s)	U* (cm/s)	Q (liter/s)	Re ($\times 10^4$)	Fr	Sb
FB1	7.0	40.8	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

$$\tau_* = \frac{U_*^2}{(\sigma/\rho - 1)gd} \quad (1)$$

3. 実験結果および考察 図-2に、主流速分布を示す。原点補正量については、固定床実験での主流速分布が、 $d_{50}/4$ の補正を施すことによってほぼ対数則に従うことから、移動床実験にも同量の補正量 $\Delta y = d_{50}/4$ を適用した。なお、鉛直方向の座標は以下のように定義する。

$$\begin{aligned} y &= y' + \Delta y \\ \xi &\equiv \frac{y}{h}, \quad y^+ \equiv \frac{U_* y}{v} \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 y' は粗度頂部を原点とした鉛直上向き座標である。いずれのケースにおいても、内層における主流速分布は、概ね対数則に従う傾向にある。しかし、移動床実験の主流速分布は、

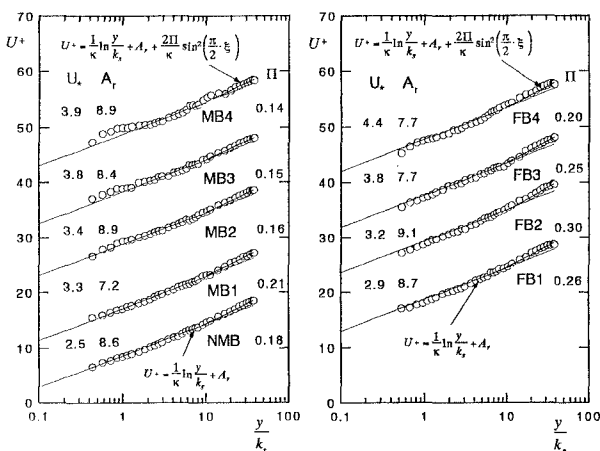


図-2 主流速分布(左図：移動床，右図：固定床)

キーワード：移動床，レーザ流速計，乱れエネルギー収支

☎660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺町2丁目2番33号

☎606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL:075-753-5081 FAX:075-753-5066

流砂量の増加に伴い底面付近においては対数則から上方に逸れている。これは、掃流砂の運動により、流体が鉛直方向に混合されたため、底面付近で流速の一樣化が生じたものと考えられる。

図-3は、底面付近のReynolds応力分布を示したものである。移動床実験における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わかる。そこで、Reynolds応力分布を次式で近似する。

$$-\frac{\overline{uv}}{U_*^2} = 1 - \xi - \frac{\beta}{\kappa} \cdot \frac{1}{y^+} \quad (3)$$

上式の β は滑面二次元等流時に $\beta=1$ の定数となるが、粗面あるいは掃流砂の効果による底面付近の分布形状の変化を反映させるために粘性項に β を係数として付加した。固定床実験では、粗面の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に近づく傾向にある。これは掃流砂の運動によって、鉛直方向の激しい流体混合が生じ、運動量輸送が活発に行われたためと考えられる。

図-4は、乱れエネルギーの収支を $0 < y/h < 0.3$ の範囲に対して表したものであり、乱れ発生率 G 、逸散率 ϵ 、乱れエネルギー拡散率 T_d の3つの変化特性について示した。拡散率は、相対的に非常に値が小さいといえる。底面付近における発生率は、流砂量の増加に伴って減少する。これは、Reynolds応力の値がやや大きくなるものの、流速勾配が急激に減少したためである。掃流砂を伴った流れ場では、底面付近において平均流のもつエネルギーの一部は河床近傍を運動する流砂に与えられるため、その分、発生率が急激に減少していると考えられる。また、逸散率は流砂量の増加に伴い全体的に値が減少しており、発生率と比較すると、底面極近傍で値に差異が生じている。掃流砂量の最も多いMB4では、底面とのせん断による損失に加えて、河床近傍に形成された砂粒子濃度の高いシートフロー的な層内での粒子間衝突による損失、あるいは砂粒子を水流中に維持するために生じる損失分 ϵ が発生した乱れエネルギーから補填されるものと推測される。

4. おわりに 本研究では、FLDAを用いて移動床および固定床上の流れ場を計測し、両者を比較することによって、掃流砂運動が乱流構造に及ぼす影響について検討し、乱れのエネルギー収支の解明を行った。

参考文献

- 1) Nezu, I. and Nakagawa, H. : IAHR Monograph, Balkema Rotterdam, 1993.
- 2) Itakura, T. and Kishi, T. : Open channel flow with suspended sediments, *Proc. ASCE*, vol.106, HY8, pp.1325-1343, 1980.

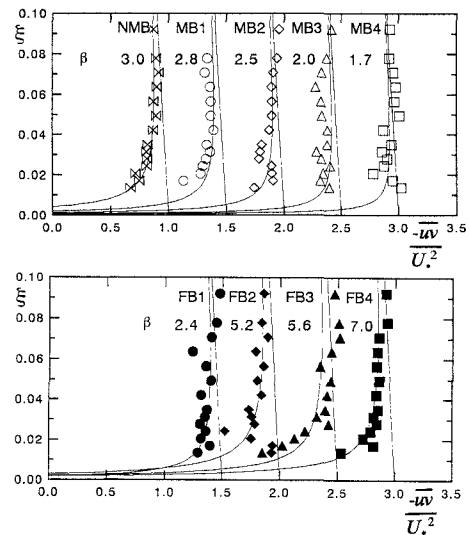


図-3 底面付近のReynolds応力分布
(上図：移動床，下図：固定床)

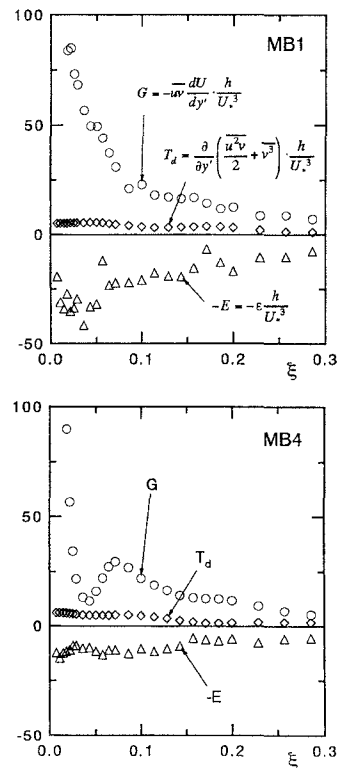


図-4 乱れエネルギーの収支
(上図：MB1，下図：MB4)