

開水路流れの流砂機構に関する実験的研究

京都大学大学院 フェロー 福津家久
京都大学大学院 学生員 東良慶

京都大学大学院 正会員 鬼束幸樹
京都大学工学部 学生員 ○西村宗倫

1. 本研究の目的

本研究は掃流砂を伴う開水路流において、LDA (Laser Doppler Anemometer) を用いて乱流計測を行ったものである。レーザー流速計のドップラーバースト信号を解析することで、流体と流砂の速度の分離を行った。これによって、掃流層内における水流だけでなく、流砂の速度分布やレイノルズ応力分布などの計測に成功した。

2. 実験装置

本実験で使用した水路は、図-1 に示すような長さ 12 m、幅 50cm の可変勾配型循環式直線水路である。水路上流端より 3m の位置から流下方向に長さ 7m の区間わたって 6号珪砂を平坦に敷いた。用いた珪砂は、中央粒径が $d_{50}=0.2\text{mm}$ で粒径のばらつきがほとんどない一様砂である。流れ場の作成方法としては、下流堰を上げた状態で水路内に水道水を慎重に注水し、十分に水深を上げた後、徐々に流量を増加させた定常状態に達した後に、水路床勾配および堰を調節することにより平坦河床上に掃流砂の存在する、水深 6cm の等流を形成させた。実験条件を表-1 に示す。水路右岸側にコンピュータ制御が可能な自動トラバース装置が設置され 1/100mm の精度で移動させ、流速分布を計測した。計測点は、上流端より 8m の位置として、掃流砂測定箱を流速測定断面から 2m 下流に設置した

3. ドップラー信号の分離

図-2 にドップラーバースト信号の振幅を表す電圧の 1 例を示す。本実験で用いたトレーサ(水性ペンキ)は直径が数 μm であるのに対し、掃流砂の直径は $200\mu\text{m}$ で 2桁オーダーが大きいため、ドップラーバースト信号の電圧は大きい値を示す。掃流砂を伴わないケースの電圧は常に 1.8V 以下であるのに対して掃流砂を伴う流れでは時折 1.8V を超えたものが観察される。この時の流速値は、相対的に小さくなっており、流砂をとらえたものと考えられる。そして本研究では出力電圧が 1.8V を超えた場合越えた場合を流砂のドップラーバースト信号であると仮定して解析を行った。

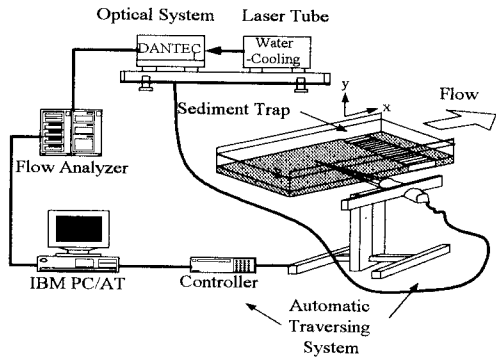


図-1 実験の模式図

表-1 水理条件

Case	$Q (\text{cm}^3/\text{s})$	$H (\text{cm})$	$U_m (\text{cm/sec})$	$U_s (\text{cm/sec})$	$R_s \times 10^4$
S1	114	6.0	19.0	1.14	1.14
S2	124	6.0	20.7	1.23	1.24
S3	129	6.0	21.5	1.27	1.29
S4	134	6.0	22.4	1.41	1.34
S5	142	6.0	23.6	1.45	1.42
S6	143	6.0	23.8	1.41	1.43
S7	147	6.0	24.6	1.70	1.47

Case	F_r	Sb	$c_s \times 10^3$	k_s^+	$q_s (\text{cm}^3/\text{sec}) \times 10^{-4}$
S1	0.25	1/4500	4.02	2.28	1.00
S2	0.27	1/4000	4.64	2.45	1.21
S3	0.28	1/4000	4.95	2.53	1.36
S4	0.29	1/3000	6.18	2.83	1.54
S5	0.31	1/3000	6.49	2.89	1.97
S6	0.31	1/3000	6.18	2.83	3.01
S7	0.32	1/2000	8.97	3.41	

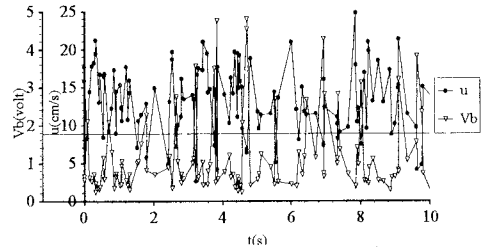


図-2(a) (ドップラーバースト信号) 流砂あり

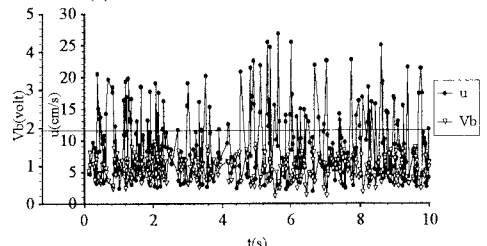


図-2(b) (ドップラーバースト信号) 流砂なし

Iehisa NEZU, Kouki ONITSUKA, Ryoukei AZUMA and Sourin NISHIMURA

4. 実験の解析結果および考察

(1) 乱れ強度分布

図-3 に水流の乱れ強度分布を示す底面の極めて近い掃流層を除く領域において、図中の右下がりの曲線で示された楠津 1)の普遍式に従っていることがわかる。一方壁面付近においては乱れの等方化指向が観察される。これは、流砂により攪拌されたことが原因と考えられる。

(2) 底面付近における速度分布

図-4 に底面付近における水および砂の流下方向速度分布を示す。流速は鉛直方向に徐々に増加している。砂の速度も同様に鉛直方向に増加しているが、その値は水のものよりも小さい。これにより水と流砂との間に相対速度が生じ、運動量交換がなされることが推察できる。この現象は、流砂量が増加するほど、顕著に確認された。このことは、流量が多いほど流砂量も増し、運動量輸送が活発に行われていると解釈できる。

(3) 上昇および下降砂粒子の流下方向平均速度分布

図-5 に上昇および下降する砂粒子の流下方向速度分布を示す。下降粒子は無条件平均速度よりも大きく、上昇粒子は無条件平均速度よりも小さな値となっていることがわかる。すなわち、流砂が下降する場合は高運動量が下方の領域に運ばれ、上昇する場合はその逆であることを表している。

(4) 上昇および下降砂粒子のレイノルズ応力分布

図-6 に上昇および下降する砂粒子のレイノルズ応力分布を示す。上昇粒子よりも下降粒子の方がレイノルズ応力大きいことが認められる。これは、イジェクションよりもスweepの方が寄与が大きな事を示唆している。つまり、底面付近ではほぼ停滞している粒子が移動を開始する際に周囲流体から受け取る運動量よりも、一度跳躍を開始した後に底面からある程度離れたときに水流から受け取る運動量の方が大きいことを表している。

5. おわりに

得られた LDA のドップラーバースト信号の振幅にしきい値を設けることによって流砂と水流との分離することに成功した。掃流層内の水流および掃流砂の解析を行った結果、流砂レイノルズ応力が発生することを実験的に明らかにした。

<参考文献>

- 1) 楠津家久:開水路乱流の乱れ強度に関する研究, 土木学会論文報告集,第 261 号, pp. 67-76, 1977.

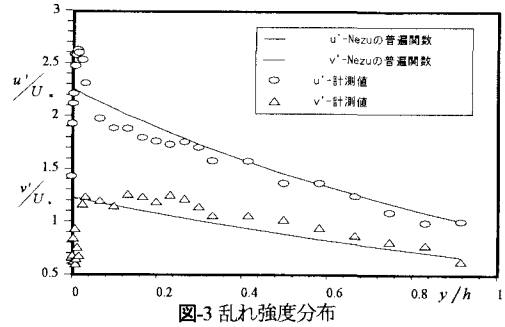


図-3 乱れ強度分布

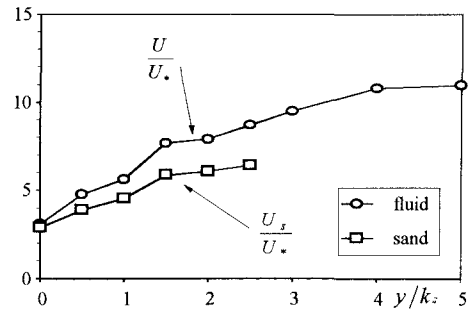


図-4 上昇および下降粒子の底面付近における速度分布

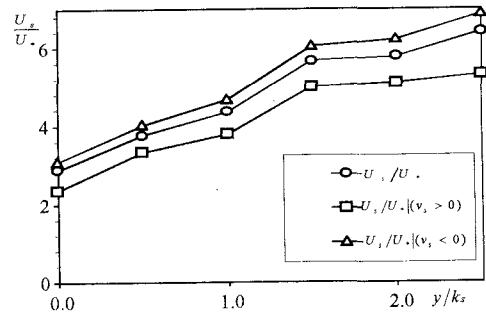


図-5 上昇および下降砂粒子の流下方向平均速度分布

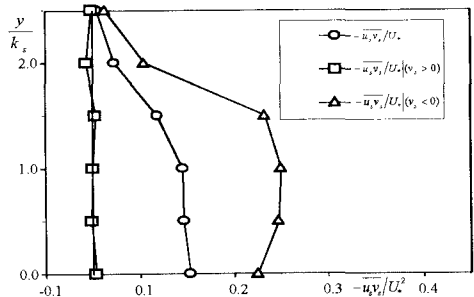


図-6 砂粒子のレイノルズ応力分布