

掃流砂による乱流強度について

九州大学工学部 学生員○藤田恭三
九州大学工学部 正会員 楊 永荻

九州大学工学部 正会員 平野宗夫
大成建設(株) 岡谷利之

1. はじめに

開水路における移動床流れの乱流構造は複雑であり、過去においても様々な実験及び研究が行われてきたが不明な点が多く残っている。本研究では掃流砂の存在が乱流強度に及ぼす影響について粒径、掃流砂量を変化させて実験を行い検討する。

2. 実験概要

実験は図1に示すような直線水路の水路内に厚さ6cmの珪砂を敷き詰め水深が8cm程度になるまで水を溜め、掃流砂層を有する移動床上流れを形成させ行なった。流速はSONTEC製の超音波ドップラー3D高精度流速計(ADV)を用いて測定した。主流方向にx軸、横断方向にy軸、河床に垂直な上向きにz軸をとり、それぞれの流速をu,v,wと定義する。表1は実験条件を示したものである。

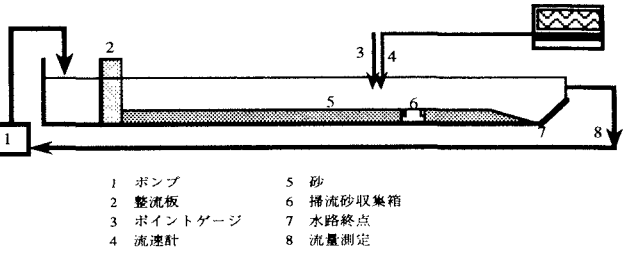


図1 実験水路

表1 実験条件

No.	h (cm)	U (cm/sec)	u _* (cm/sec)	d (mm)	q _s /u _* d (-) (10 ⁻²)	q _{SM} /u _* d (-) (10 ⁻²)	(u _* d)/ν (-)	b/h (-)	U/√gh (-)
K3-H	7.60	46.28	2.28	1.19	0.417	0.695	271	1.70	0.54
K3-I	7.66	42.43	2.27	1.19	0.419	0.813	270	1.68	0.49
K3-J	7.97	37.84	2.31	1.19	0.652	1.112	275	1.62	0.43
K3-K	7.45	49.64	2.95	1.19	3.645	5.448	351	1.73	0.58
K3-L	7.50	41.91	2.40	1.19	0.321	0.545	286	1.72	0.49
K3-M	7.83	41.22	2.40	1.19	0.525	1.016	286	1.65	0.47
K3-N	8.50	43.07	2.20	1.19	0.112	0.249	262	1.52	0.47
K3-O	8.52	42.79	2.61	1.19	2.103	4.164	311	1.51	0.47
K4-P	8.76	28.90	1.63	0.59	0.619	1.012	96	1.47	0.31
K4-Q	8.77	31.65	1.71	0.59	1.489	2.209	101	1.47	0.34
K4-R	7.54	27.00	1.42	0.59	0.153	0.306	84	1.71	0.31
K4-S	8.30	32.64	1.77	0.59	2.288	3.709	104	1.55	0.36
K4-T	7.99	32.64	1.88	0.59	1.606	2.316	111	1.61	0.37
K4-U	7.76	34.98	2.00	0.59	2.312	3.315	118	1.66	0.40

ここに、hは水深、Uは断面における平均流速、 u_* は摩擦流速、dは珪砂の中央粒径、 q_s/u_*d は断面における無次元平均掃流砂量、 q_{SM}/u_*d は等分割断面における掃流砂量分布の最大値、 $(u_*d)/\nu$ は粒径Re数、 b/h は断面のアスペクト比(半幅/水深)、 $U/\sqrt{gh}$ はフルード数である。本実験の摩擦流速は断面におけるレイノルズ応力分布より求めた。

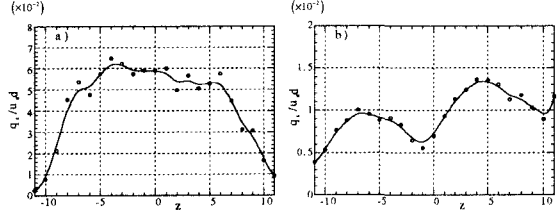


図2 掃流砂量の分布例

3. 実験結果と考察

3.1 掃流砂量の分布

図2は、砂の粒径d=1.19mmの場合の実験で、測定された水路断面での掃流砂量分布の一例である。本実験においては平均掃流砂量が約1.0(g/s・cm)以下のケースになると、分布形に2つあるいは3つの山形が現れた。断面のアスペクト比が同じでもその分布形は様々な形をとり、断面のアスペクト比と横断方向のせん断力分布との関連性が複雑であることを示している。

3.2 平均流速の分布

図3は実験K3(d=1.19mm)及びK4(d=0.59mm)の流れの平均流

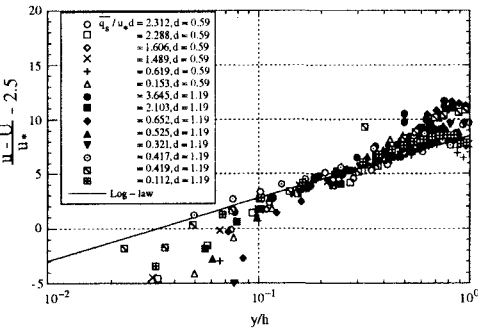


図3 平均流速分布

速分布を示したものである。図中の直線は対数則を示したものである。図より、平均流速分布は対数則より傾きが大きくなる傾向がある。これは、掃流砂量により流速分布の κ が小さくなることを示している。

3. 3 乱れ強度の分布

図4は実験K4($d=0.54\text{mm}$)の移動床上流れでの流れ方向の流速 u の乱れ強度の分布を示している。図中の線は、固定床の開水路における乱れ強度の式¹⁾ $\sqrt{u'^2}/u_* = D_1 e^{(-\lambda_1 y/h)}$ によるものである。ここで、係数 D_1 、 λ_1 は実験定数で

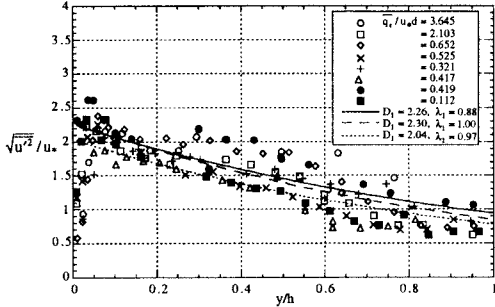


図4 乱れ強度分布 ($d=0.59\text{mm}$)

ある。図より、河床付近以外では、両者は同様の傾向を示している。

図5は実験K3($d=1.19\text{mm}$)の場合の乱れ強度分布である。図4とは同様の傾向を示すが、粒径が大きいため乱れ強度が図4に比べて図中の線を下回る傾向が見られる。

図6は乱れ強度について河床近傍を拡大したものである。図より掃流砂層により河床近傍の乱れ強度が抑制されることが分かる。又、その変化は平均掃流砂量が増加するとともに大きくなっている。

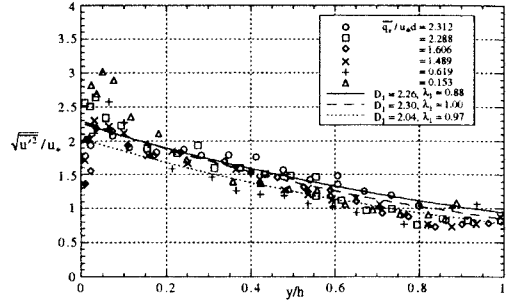


図5 乱れ強度分布 ($d=1.19\text{mm}$)

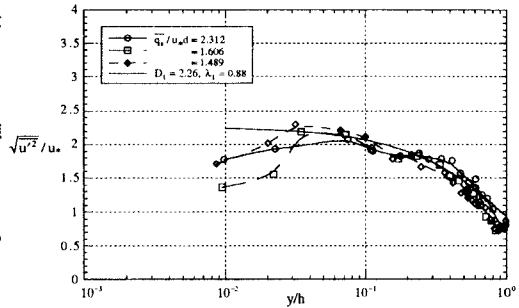


図6 河床付近出の乱れ強度分布

3. 4 スペクトル特性

乱れのパワースペクトル密度は流速測定値より高速フーリエ変換(FFT)によって求められる。図7は実験K4($d=0.59\text{mm}$)の場合の河床付近($y/h=0.07$)と、河床より離れた地点($y/h=0.8$)の乱れのパワースペクトル密度の分布を示している。スペクトル密度の分布は1Hz付近でピークとなり、それより高周波数側で $-5/3$ 乗に従う傾向を示すが、河床付近(図a)では高周波数側にいくにつれその傾きが緩やかになっている。又、掃流砂量が多いほどその傾向が顕著になっている。河床より離れた地点(図b)では掃流砂量の差異による影響がほとんど見られない。これは掃流砂がスペクトル密度に及ぼす影響が河床付近に限るものであり、乱れ強度に及ぼす影響と同様の傾向を示している。

4. むすび

本研究は、平坦な掃流砂を有する移動床上流れの実験において、流速及びその掃流砂量を計測し、掃流砂層の乱れ強度に及ぼす影響を検討した。その結果、乱れ強度は掃流砂の存在により河床付近では減少する傾向があり、掃流砂の粒径が大きくなるほど河床近傍における乱れ強度は小さくなる傾向を示すことがわかった。

参考文献：

- [1] Kironoto B.A. and Graf W.H.: Turbulence Characteristics in Rough Uniform Open-Channel Flow, Proc. Institute Civil Engineering Water, Marit. & energy, vol. 106, pp333-344, Dec. 1994