

移動床上流れの乱流構造に関する実験的研究

九州大学工学部 学生員 岡谷利之
九州大学工学部 正会員 楊 永萩

九州大学工学部 正会員 平野宗夫
九州大学工学部 木本大介

1. はじめに

開水路における移動床流れの乱流構造に関する研究は、固定床に比べ、少ないのが現状である。流砂により流れの乱流構造が変化するメカニズムの究明は、移動床流れの流動機構を解明する上で重要である。本文は、ADV流速計を用い、掃流砂を有する平坦な砂れき河床上の流れを対象にした実験に基づいて、砂の粒径および掃流砂量の違いによる乱流構造の変化、また固定床との比較を行い、検討するものである。

2. 実験概要

実験は図1に示すような長さ550cm、幅25.8cm、高さ20cmのアクリル・鋼製の河床勾配可変型の直線水路で行われた。主流方向にx軸、河床に平行な横方向をy軸、河床に垂直な上向きにz軸をとり、それぞれの流速は u, v, w と定義する。移動床の実験は、まず水路内に厚さ6cmの珪砂を敷き詰め、平坦な河床を作り出した上、上流と下流から同時に少しずつ放水し、水深が8cm以上になるまで水を溜めてから、主流方向へ流し始め、流量を調整して、掃流砂層を有する平坦な砂礫河床上流れを形成させる。実験はけい砂の粒径、掃流砂量お

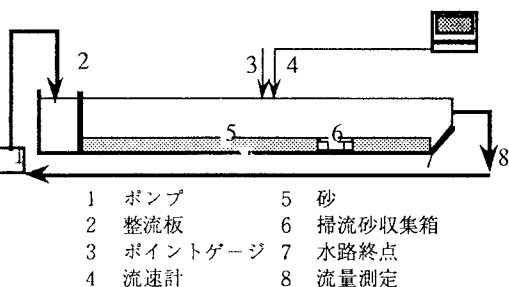


図1 実験水路

び給水流量を変化させて行う。流速の計測断面は上流から325cmのところであり、掃流砂量の計測断面は流速の計測断面から下流に50cmのところである。掃流砂量はy方向に等分割された箱に流砂を収集し、その時間および乾燥重量を計って求める。一方、移動床の流れと比較するため、固定床の実験では、移動床と同条件で敷き詰めたけい砂にセメントをかけ、固めたうえで行う。

流速の計測はSONTEC製の超音波ドップラー3D高精度流速計(ADV)を用いて行う。ADV流速計の基本性能を以下のように示す。流速計よりパルスが水中を伝わり、音波エネルギーの一部が、水中に浮遊する微細粒子によって、後方錯乱を起こす。流速計の3つのレシーバが、このサンプリングボリュームで発生するエコーを感知し、3成分の流速を算出する。又、

表1 実験条件

超音波周波数が10MHz、流速測定分解能が0.1mm/sec、計測範囲が $\pm 1\text{mm/sec} \sim \pm 2.5\text{mm/sec}$ 、計測周波数が0.1~25Hz範囲で人力設定可能となり、流速を計測すると同時に壁面までの距離を0.1mmまで測定できる。

実験条件を表1に示す。ここで、K3-4、KY3-4、K4-5、K5-3は固定床の実験である。

3. 実験結果と考察

掃流砂量の分布

図2は、実験K3-2で測定された水路断面での掃流砂量分布の--

No.	水深 h(cm)	平均流速 U(cm/s)	粒径 d(mm)	掃流砂量 qs(g/s/cm)	中央部掃流砂量 qsc(g/s/cm)	Re数	Fr数
K3-1	8.81	44.26	1.19	0.0022	0.0018	38993	0.476
K3-2	9.09	46.93	1.19	0.0445	0.0728	42659	0.497
K3-3	9.67	47.92	1.19	0.0074	0.0094	46339	0.492
K3-4	10.26	41.89	1.19	—	—	42979	0.418
KY3-1	10.27	29.17	0.84	0.0076	0.0171	29958	0.291
KY3-2	10.42	31.02	0.84	0.0049	0.0106	32323	0.307
KY3-3	10.19	35.28	0.84	0.0590	0.0946	35950	0.353
KY3-4	9.81	33.3	0.84	—	—	32667	0.340
K4-1	9.67	30.21	0.59	0.0029	0.0067	29213	0.310
K4-2	8.36	30.51	0.59	0.0018	0.0033	25506	0.337
K4-3	10.02	34.34	0.59	0.0120	0.0149	34409	0.347
K4-4	9.67	40.12	0.59	0.0965	0.0907	38796	0.412
K4-5	9.96	34.56	0.59	—	—	34422	0.350
K5-1	10.71	28.14	0.42	0.0005	0.0046	30138	0.275
K5-2	9.85	30.69	0.42	0.0031	0.0047	30230	0.312
K5-3	10.18	22.93	0.42	—	—	23343	0.230

例である。図より、壁面の影響のため、掃流砂量は両側に向かい減少し、中央部ではほぼ最大になることが分かる。中央を軸にほぼ対称の分布形は、本実験の流れが対称流であることを示している。表1の平均掃流砂量 q_s はその分布形の単位幅当たりの平均値であり、 q_{sc} は中央部の掃流砂量を示すものである。

平均流速の分布

図3は同一けい砂の移動床上流れと固定床上流れの平均流速分布の比較である。図より、水面近くでは移動床と固定床の流速分布はほぼ同じになるが、河床付近では、固定床に比べ、移動床上流れの平均流速は大きくなり、その変化は掃流砂量の増加を伴って、大きくなる傾向が見られる。これは、移動床上流れは掃流砂層の存在により境界条件が変わり、流体と河床の摩擦抵抗の機構が変化し、より流れやすくなるためと考えられる¹⁾。

乱れ強度の分布

図4は同一けい砂の移動床上流れと固定床上流れの乱れ強度分布の比較である。図から、掃流砂層の存在により、流れの乱れ強度は、掃流砂量が増すとともに増加することが分かる。図5は掃流砂量の値が近い条件でけい砂の粒径の違いによる移動床上流れの乱れ強度の変化を比べたものである。図より、移動床上流れでは、掃流砂層による乱れ強度の変化は大きな粒径ほど大きく増加することが分かる。

3. むすび

本文は平坦な河床の移動床上流れの実験の結果に基づいて、掃流砂層による流れの乱流構造の変化を検討したが、不明な点が多く残っている。今後さらに実験データを積み重ねて移動床流れの乱流構造を詳細に検討する予定である。

参考文献：

- 1) 楊・平野・羽田野：平坦な移動床流れの抵抗則、水工学論文集、第39巻、pp.483-488,1995,2

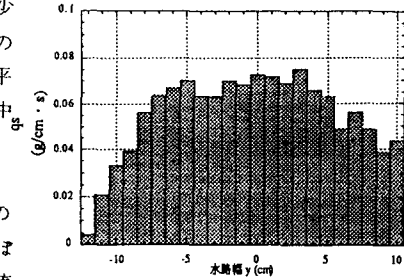


図2 掃流砂量分布の一例
(K3-2, $d=1.19$, $q_s=0.0445$)

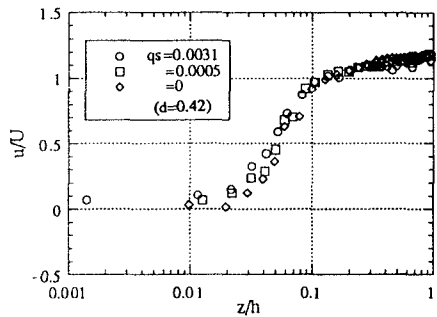


図3 平均流速の分布

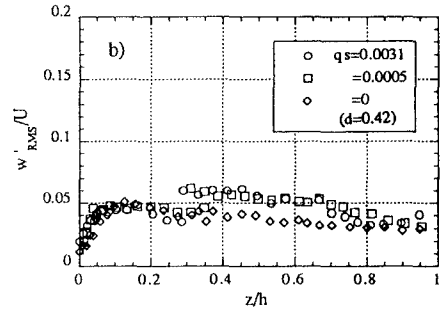
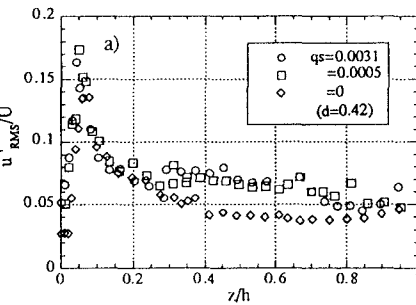


図4 乱れ強度の分布

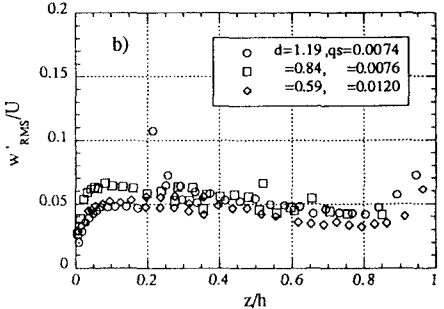
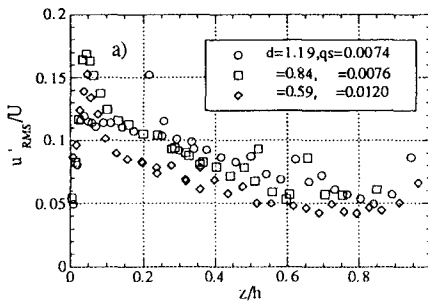


図5 乱れ強度の分布