

II-167 礫床河川における流れの構造に関する一考察

神戸大学工学部 正 員 瀬 良 昌 憲
(株)CSK 正 員 山 下 敏

1. まえがき 昨年まで著者らは流速の3方向同時測定可能な超音波流速計を用いて実河川における現地観測を実施し、測定結果を報告した¹⁾。本研究では、山地河川で多く見受けられる河床が礫で構成された地点における流速の現地測定を行い、このような河川での流れの構造について若干の考察を加える。

2. 測定方法 流速測定には3次元超音波流速計を用いた。本流速計についての詳しい説明は、紙面の都合上、文献2)に譲る。今回対象とした測定地点は主に山地河川に多く見られる礫で構成された河床を有する地点を選んだ。特に、今回測定を実施した地点は水深20～40cmで礫の直径が水深の半分ほどもある礫床の地点が多く、また、河道の平面形状を見ると、ほとんどの場合、左右どちらかに緩く湾曲している。座標系は測定点の座標原点を礫上面にとり、座標軸はuを流下方向、vを横断方向、wを鉛直方向にとる左手系とした。水理条件を表1にまとめて示す。表中の摩擦速度 U_* はレイノルズ応力の分布より求めた。

3. 測定結果とその考察

(1) 平均流速分布 各測定点における瞬間流速 u, v, w を時間平均した局所的な平均流速 U, V, W の鉛直線上の分布の一例を図1に示す。この図で V （横断方向成分、右岸向きを正）の分布に注目すると、河道の湾曲の方向によって分布形に相違があることが分かった。すなわち、右に湾曲する場合（Case 11）、河床から水面に向かうにつれてその値が正から負へと変化している。反対に左へ湾曲する場合、それと逆の傾向が見られる。前者の場合、このような分布形を示す理由として、玉井らの湾曲水路での実験結果³⁾でも示されているように U の軸に直角な断面内で流下方向に向かって反時計方向に回転するような2次流を伴う流れの構造となっていると考えられる。

(2) 乱れ強度分布 粗度係数の大きさによって以下の2つのグループ（Sグループ（ $n \leq 0.0224$ ）、Rグループ（ $n \geq 0.0397$ ））に便宜的に分けて考察する。S、Rグループそれぞれについて乱れ強度の鉛直線上の分布を図2に示す。Sグループの図を見ると、乱れ強度分布の形状は禰津の分布曲線⁴⁾と同様の形状を示している。ところが、Rグループの図を見ると、その分布形状は半水深より下方に向かって乱れ強度は大きくはならず逆に減少の傾向を示している。文献4)、5)にも指摘されているように河床の粗度係数が大きくなるほど河床近傍で乱れ強度が一様化され、 u' / U_* の大きさは顕著に減少し、 v' / U_* の分布形状に近づいていくと考えられる。

(3) レイノルズ応力 S、Rグループのレイノルズ応力 $-\overline{uw} / U_*^2$ の鉛直線上の分布を図3に示す。破線は $-\overline{uw} / U_*^2$ の分布の理論曲線を示す。Sグループのデータは理論曲線の周りに広く分布しているが、

表1. 水 理 条 件

河川名	CASE	水 深 h (cm)	流路幅 B (m)	B/h ($\times 10^2$)	水面 勾配	平均流速 U_m (cm/s)	摩擦速度 U_* (cm/s)	Re ($\times 10^4$)	Fr	粗度係数 (グループ分類)	河床・河道の状態
市 川	1	41.5	31.7	0.784	1/230	57.2	11.96	22.9	0.28	0.0551 (R)	直径10～30cmの礫、緩く左に湾曲。
千種川	2	36.0	32.1	0.892	1/590	49.6	4.48	19.4	0.25	0.0243 (R-S)	直径10～20cmの礫、ほぼ直線状
有野川	3	33.0	2.5	0.074	1/210	77.6	5.34	22.7	0.43	0.0163 (S)	直径5～10cmの礫
	4	32.0	3.1	0.096	1/130	49.2	10.73	14.4	0.28	0.0516 (R)	緩く左に湾曲
猪名川	5	32.0	14.0	0.438	1/540	54.7	9.29	14.9	0.31	0.0413 (R)	岩盤上に直径3cm程度の礫と1～3mmの砂
	6	33.0	14.9	0.452		49.0	7.93	13.4	0.27	0.0397 (R)	右に湾曲
加古川	7	37.0	35.7	0.965	1/1200	55.5	4.52	18.1	0.29	0.0216 (S)	直径5～20cmの礫、ほぼ直線状
篠山川	8	29.0	9.6	0.331	1/540	70.1	8.31	16.5	0.42	0.0288 (R-S)	直径2～10cmの礫
	9	32.0	8.0	0.251		68.9	8.37	18.4	0.39	0.0299 (R-S)	右に湾曲
加古川	10	33.0	67.9	2.06	1/1100	43.0	7.03	13.3	0.24	0.0422 (R)	直径10～20cmの礫と1～2mmの砂が混在
	11	34.5		1.97		51.7	4.63	16.9	0.28	0.0231 (R-S)	緩く右に湾曲
武庫川	12	34.0	16.0	0.470	1/280	62.6	5.64	18.4	0.34	0.0224 (S)	直径2～4cmの丸石と10cm前後の礫が混在
	13	39.0		0.409		69.9	7.44	23.9	0.36	0.0264 (R-S)	右に湾曲
下里川	14	22.1	12.2	0.552	—	19.5	1.11	3.81	0.13	0.0137 (S)	直径1～3mmの砂の中に1～2cmの石が散在
	15	27.0		0.451	—	20.0	1.22	4.74	0.12	0.0147 (S)	ごく緩く左に湾曲

Rグループのデータは半水深より下方でその値は明らかに減少していることがわかる．文献5）で指摘されているように流れの構造が河床の粗度自身に強く影響される領域の存在が乱れ強度分布と同様にレイノルズ応力の分布特性に大きく影響を与えていると考えられる．

（4）4象限法による瞬間レイノルズ応力特性 条件付き抽出法のひとつである4象限法を用いて乱流中の組織的構造を探ることを試みる．まず，しきい値 H を変化させた場合を考えると，4象限法により求められる各事象の $-u'w'$ に対する寄与率 C_i ($i=1,2,3,4,5$)およびhole事象の時間占有率 T_5 について，Case 1の例を図4に示す．両図でejection事象 C_2 (●印)，sweep事象 C_4 (○印)に注目すると，自由水面付近と河床付近では C_2 と C_4 の大小関係が逆転している．つまり，河床付近ではejection事象の寄与に比べsweep事象の寄与の方が大きくなることを示している．次に， $H=0$ の場合の各事象の大小関係を図5に示す．全水深にわたって $C_2 > C_4$ なる関係を持つ滑面乱流の場合と異なり，河床に近づくにつれてsweep事象の寄与が増大し，ejection事象の寄与より大きくなることが分かった．

4．結 語 本報告は実河川の測定結果であるので水理条件が測定地点でかなり異なりデータのばらつきも大きい，実河川，特に，礫床河川での流れの構造がある程度把握できたと思われる．末筆ながら，本研究を行うにあたり適切な御助言を賜った神戸大学工学部，筧 源亮 教授・神田 徹 教授に感謝の意を表します．

参考文献 1) 神田・瀬良，土木学会第44回年講，1989．2) 瀬良・神田，第32回水理講演会論文集，pp.353-358，1988．3) 玉井信行 他，土木学会論文報告集，No.331，pp.83-94，1983．4) 橋津家久，土木学会論文報告集，No.261，1977．5) 中川博次 他，第33回水理講演会論文集，pp.487-492，1989．

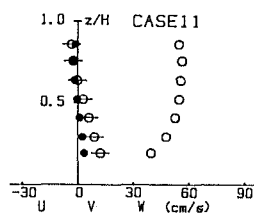
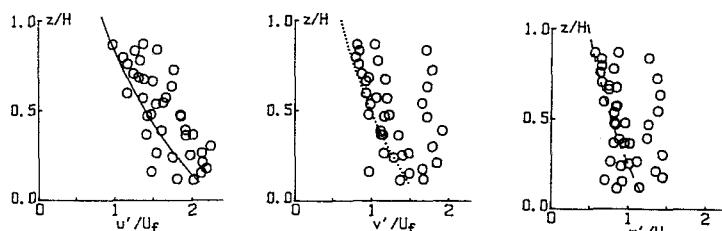


図1．平均流速分布



(a) Sグループ

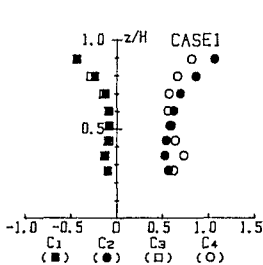
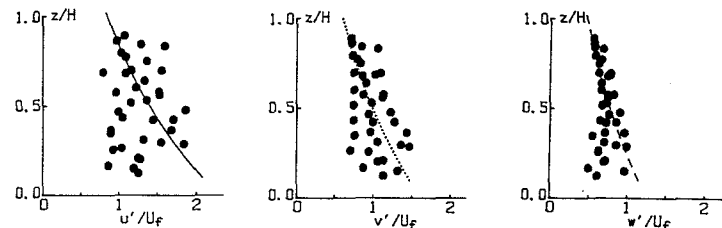
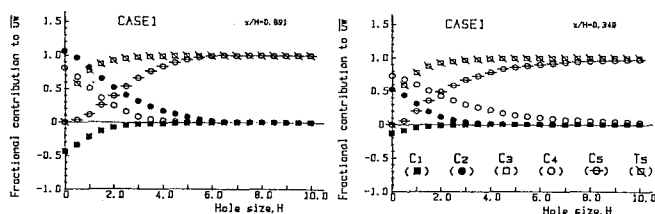


図5．寄与率 ($H=0$)



(b) Rグループ

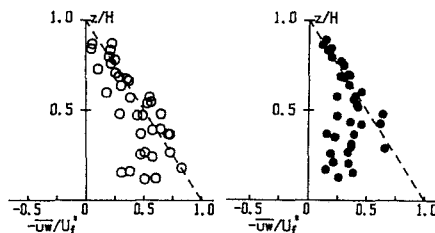
図2．乱れ強度分布



(a) 水面付近 ($z/H=0.891$)

(b) 河床付近 ($z/H=0.349$)

図4．各事象の寄与率



(a) Sグループ

(b) Rグループ

図3．レイノルズ応力