

河川合流部における二次流構造と土砂流出特性

熊本大学大学院 学生員 森 高信
熊本大学工学部 正 員 大本照憲
熊本大学工学部 学生員 池田純一

1. はじめに

河川合流部の流れおよび土砂流送は、合流角を有する場合、遠心力を起因とするPrandtlの第一種二次流により、その定性的特徴が概ね明らかにされている⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。しかし、境界条件として最も単純な二河川平行合流については、鉛直方向に様な場と見なした二次元流れとして扱われる場合が多く、流れの三次元的構造について十分な検討は成されていない⁽⁵⁾。著者等⁽⁶⁾は、前報において同規模の二河川が等しい流速で平行に合流する流れ場では、安定した水深スケールの縦渦が観察され、隔壁延長線上で上昇流、隔壁から横断方向に水深スケール離れた位置で下降流となる渦配列を示すことを明らかにした。本研究では、同一の境界条件で本川と支川に流速差のある場合、鉛直渦が水深スケールの縦渦にどのような影響を及ぼし、また、その時の土砂流送はいかなる性状を示すかを明らかにするために実験的検討を行った。

2. 実験装置及び方法

実験水路は、長さ6m、幅25cm、高さ23.5cmの亚克力樹脂製の可変勾配水路である。隔壁として厚さ1mmのステンレス板が水路上流端より長さ2mにわたって水路中央に設置されている。まず、移動床実験では、河床材料として中央粒径 $d_{50}=0.94\text{mm}$ の均一に近い珪砂を用いた。河床形状は、珪砂を水路全域に互って厚さ3cmで一様に敷均し、表-1の実験条件で通水し、河床波が平衡状態に達したと見なされる時点で超音波測深器を用いて計測された。なお、表中の α は本川と支川の流速差を断面平均流速で正規化した値を示す。流速変動の計測については、前報に記した通りであり、実験条件を表-2に示す。

3. 実験結果

流砂特性：座標系は、隔壁の末端における河床位置を原点とし、主流方向にx軸、横断方向にy軸、鉛直上方にz軸を取る。写真-3および4は、各々、表-1のRunS4およびS5に対応した水理条件で通水し、240分経過した際の河床波の平面状況を示したものである。RunS1およびS2では、本川と支川の河床は動的平衡状態に近く、RunS3,S4およびS5では低速流域側に当たる支川の河床材料は静止状態にあり、高速流域側の本川河床は動的平衡に近い状態となっている。写真-3および4から、本川と支川の流速差を表す α の増加に従って、Sand Ridgeは流下に伴って低速側に若干移動していることが注目される。河床波をさらに詳細に見るため、縦断方向に対する河床高の横断分布の変化を図-2に示す。流速差の無いRunS1では、隔壁下流位置および隔壁から2倍の水深スケール離れた位置に3本のSand Ridgeが主流と平行に形成され、隔壁直下流部のSand Ridgeはその両側のSand Ridgeに比べて扁平であった。また、河床は $y=0$ に関してほぼ左右対称で、流下方向に相似形を保つことが認められた。流速差の有る場合には、河床は α の増加に伴ってそ

表-1 実験条件 (移動床)

	RunS1	RunS2	RunS3	RunS4	RunS5
流速差 α	0	0.125	0.25	0.5	1.0
水深 H(cm)	3.0	2.5	3.13	3.13	3.13
本川平均流速 $U_1(\text{cm/s})$		32.8	33.8	37.4	44.6
支川平均流速 $U_2(\text{cm/s})$		28.8	26.5	22.6	15.0
断面平均流速 $U_m(\text{cm/s})$	24.8	30.0	30.1	29.8	29.8
水路勾配 I	1/150	1/400	1/400	1/400	1/400
河床材料 $d_{50}(\text{mm})$	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94

表-2 実験条件 (固定床)

	滑 面			縦 横 粗 度			
	RunF1	RunF2	RunF3	RunF4	RunF5	RunF6	RunF7
流速差 α	0	0.5	1.0	0	0.25	0.5	1.0
水深 H(cm)	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13
本川平均流速 $U_1(\text{cm/s})$		12.62	15.00		11.58	12.75	15.39
支川平均流速 $U_2(\text{cm/s})$		7.50	4.93		9.02	7.57	5.16
断面平均流速 $U_m(\text{cm/s})$	10.1	9.98	10.10	10.1	10.25	10.08	10.19
水路勾配 I	1/500	1/500	1/500	1/500	1/500	1/500	1/500
フルード数 Fr	0.183	0.180	0.182	0.183	0.185	0.182	0.184
レイノルズ数 Re	2775	3124	3161	2775	3208	3155	3189

写真-1 河床波 (Run S4)

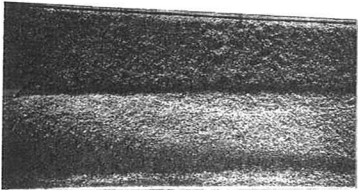
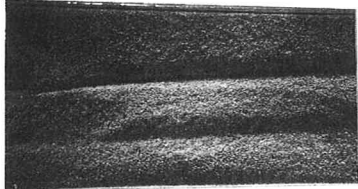


写真-2 河床波 (Run S5)



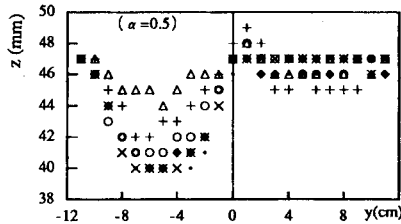


図-1 河床波形状 (Run S4)

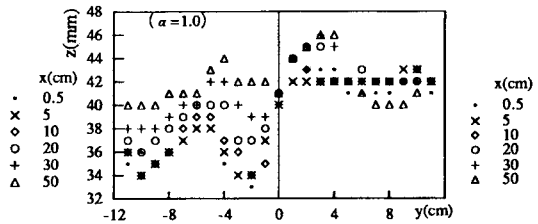


図-2 河床波形状 (Run S5)

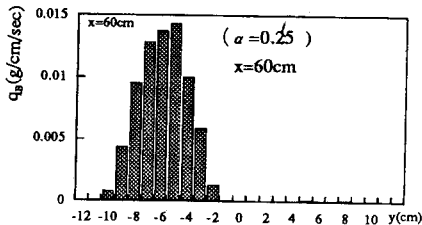


図-3 掃流砂量の横断分布 (Run S4)

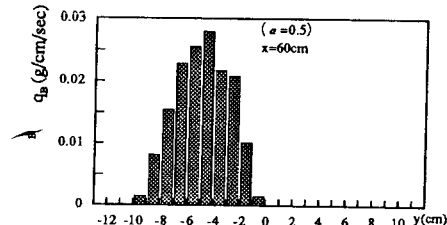


図-4 掃流砂量の横断分布 (Run S5)

$\alpha=0.5$ および 1.0 では隔壁下流位置のSand Ridgeは静的平衡河床高よりも高くなっている。これは、 α の増加と共に二次流が強まり、その結果、河床材料が低速側に流送されたことが考えられる。図-3および4は、流速差 α に対する掃流砂量の横断分布の変化を示す。図より明らかなように、掃流砂量は河床形状に規定されSand Troughで多くSand Ridgeで少ない。また、その極大位置は、 $\alpha=0.25$ では本川中央部の $y=6.5$ cmに、 $\alpha=0.5$ では $y=4.5$ cmに当る。写真-1および図-2の河床波形状から $\alpha=0.5$ においては流心部が低速側に若干シフトしたためであることが予想される。

流れ特性：本川と支川に流速差のないRun F1およびRun F4においては、 $y/H=0$ および ± 2 の近傍で上昇流、また $y/H=\pm 1$ の近傍で下降流となる水深スケールの縦渦列が観察され、その位置は大きく変化しない。本川と支川に流速差のある場合には、共通して水路中央部における上昇流位置が流下と共に低速側領域にシフトし、その偏倚量は α の増加と共に大きくなる。このことは、河床波および掃流砂量の横断分布とも対応している。 $\alpha=1.0$ の滑面の場合には、図-5から低速領域の $y/H=1$ 近傍において斜め上昇流および高速領域の $y/H=1$ 近傍において斜め下降流となる一つの縦渦が見出され、その空間スケールは鉛直方向には水深、横断方向には2倍の水深を有する扁平な形状であり、これまでの合流部で見いだされた縦渦列とは大きく異なる。同様の縦渦パターンは $\alpha=1.0$ のRun F7においても観察され、本川と支川の流速差が大きい場合には本川の縦渦が支川の縦渦を吸収し、その空間スケールを拡大したことが予想される。また、写真-2に見られるSand RidgeとSand Troughの位置は、各々、図-5に示された上昇流と下降流の位置に符合していることから、この扁平な縦渦によって河床波が形成されたことが考えられる。

参考文献 1) Mosley, M.P.: J. Geol., Vol.84, pp.535-562, 1976 2) Best, J.L.: Sedimentology, Vol.35, pp.481-498, 1988 3) Roy, A.G. and Normand Bergeron: Geomorphology, Vol.3, pp.99-112, 1990 4) 岸 力 編：自然災害特別研究成果報告書、昭和62年度文部省科学研究費、1988 5) 祐津家久、中川博次、室屋浩幸、松本利典：土木学会論文集、第387号/II-8, pp.153-162, 1987 6) 大本照憲、平野宗夫、天野光歩、松尾 誠：水工学論文集、第36巻, pp.373-378, 1992

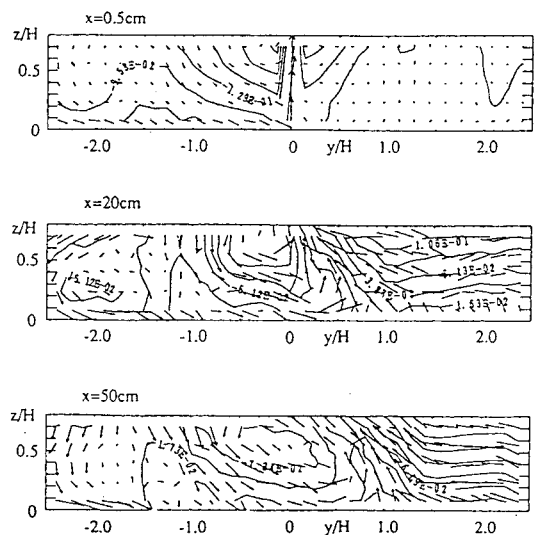


図-5 二次流ベクトルと流れ関数の等値線 (Run F3)