

II-115 河川湾曲部における流れの特性について

神戸大学工学部 正 員 瀬 良 昌 憲

1. まえがき 我々は現在までに多くの実河川において現地測定を実施してきたが、それらの測定は河川直線部を対象として行われてきた。ところが、実際の測定地点は厳密には直線部と見なせる箇所はほとんどなくわずかに湾曲している。そこで、今回は河川の湾曲部に注目して現地測定を試みた。実験室開水路において湾曲部の流れの構造に関する研究は古くから数多く行われている。しかし、実際の河川の湾曲部における流速の測定結果はほとんど報告されていない。そこで、実河川の湾曲部における流れの特性について調べることを目的として、筆者らが従来より実河川の流速測定に用いてきた3次元超音波流速計¹⁾(エネンソニック製, Model SD-10)を使用して流速の現地測定を実施したので、その測定結果について報告する。

2. 測定方法 1991年10月～12月に図-1に示すような兵庫県下を流れる『武庫川』のJR福知山線新三田駅付近で測定を行った。その平面図を図-2に示す。河道は右に湾曲しており、両岸はコンクリートで護岸され、河床状態は直径2～4cmの小石と10cm程度の礫が混在している。測定期間中の降雨量が平年の雨量に比べ半分以下であったため、ほとんどの測定点で水深11～18cmとかなり浅く、所々で河床が露出していた。河川中央の曲率半径は260mで、水面勾配は約1/800である。測定地点の上流の河道は直線部であり、湾曲の開始点から湾曲角 $\theta = 8.5^\circ$ の断面B-1よりB-5までの5断面で、外岸から内側へ2.5mと5mの位置の計10点で測定を行った。なお、紙面の都合で示していないが、河床の横断面形状を見ると断面B-3～5では外岸から約10m内側付近で非常に浅くなっていた。座標系は測定点の座標原点を礫上面にとり、座標軸は各断面においてx軸を湾曲の接線方向(u成分, 流下方向を正)、y軸を横断方向(v成分, 右岸方向を正)、z軸を鉛直方向(w成分, 上向きを正)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_τ 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 断面B-3における局所的な平均流速 U , V , W の鉛直線上の分布の一例を図-3に示す。MU3の V の分布形状に注目すると、その値は河床で正、水面で負となっている。この V の分布形状から、 $y-z$ 平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次流が生じていることが推察される。この結果は実験室の湾曲水路で得られた2次流鉛直分布の結果²⁾と一致する。一方、同じ断面で内岸側のMU8の場合、 V の分布形状はMU3のそれと同様な分布形状を示しているが、その値はどの水深でも負の値を示している。すなわち、MU3に比べて外岸方向へ向かう流速成分が強いことを意味している。

(2) 横断面内の流速ベクトル 各横断面内の流速ベクトルを図-4に示す。全ての断面において外岸へ向かう流速ベクトルが確認された。断面B-3を見ると外岸付近で下降流が生じている様子がわかる。

(3) 乱れ強度分布 摩擦速度で無次元化した乱れ強度の鉛直線上の分布を図-5に示す。図中の曲線は欄津の乱れ強度分布式を示す。この図をB-1から順に見ていくと、湾曲の始まりのMU1では各成分の分布形状は欄津のそれと同様であるが、湾曲が進むにつれてMU3では U , V 成分の乱れ強度の大きさが同程度となり、水面側の乱れ強度の方が大きくなっている。石川らは湾曲水路での実験結果³⁾から2次流強度が湾曲角 30° 付近でピークをもったのち減少するということを指摘している。このことから、 $\theta = 22.7^\circ$ であるMU3の付近で2次流強度が高くなっているために特異な分布形状を呈したと思われる。

次に、乱れ強度の鉛直線上の分布を各流速成分毎に全データをまとめてみると図-6(a)のようになる。この図との比較のために河川直線部において得られた測定結果⁴⁾を(b)図に示す。なお、(b)図の場合、河床の粗度係数は $n=0.015\sim0.021$ であり、今回の測定地点の河床の粗度係数と同程度であった。(a), (b)両図を見比べると顕著な相違は見受けられない。この理由として、今回の測定地点が水深に対して曲率

半径が大き過ぎるために2次流による影響が強く現れていないことが考えられる。

参考文献 1) 瀬良・神田, 第32回水理講演会論文集, 1988. 2) 玉井信行ら, 土木学会論文報告集, No. 331, 1983. 3) 石川ら, 土木学会論文集, 第375号, 1986. 4) 瀬良: 水工学論文集, Vol. 35, 1991.

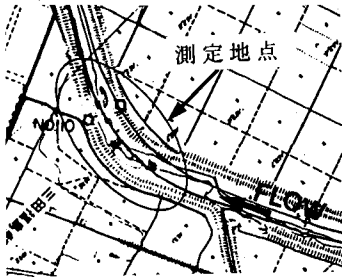


図-1 測定地点(武庫川)

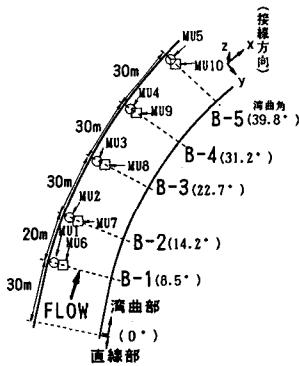


図-2 平面図

表-1 水理条件

CASE	水深 H(cm)	流路幅 B(m)	B/H	平均流速 U_m (cm/s)	摩擦速度 U_τ (cm/s)	Re ($\times 10^4$)	Fr	湾曲 角(θ)
MU1	23.0	28.0	122	36.9	3.98	6.82	0.25	8.5°
MU2	11.0	28.0	255	17.0	0.77	1.54	0.16	14.2°
MU3	18.0	28.2	157	22.3	2.15	3.32	0.17	22.7°
MU4	12.0	28.0	233	25.9	1.40	2.57	0.24	31.2°
MU5	18.0	28.6	159	34.6	1.12	4.61	0.26	39.8°
MU6	18.0	28.0	156	30.5	3.18	4.41	0.23	8.5°
MU7	26.5	28.0	106	44.8	2.53	9.30	0.28	14.2°
MU8	17.0	28.2	166	24.9	2.54	3.50	0.19	22.7°
MU9	16.0	28.0	175	32.8	2.55	4.33	0.26	31.2°
MU10	15.0	28.6	159	14.8	1.08	1.79	0.12	39.8°

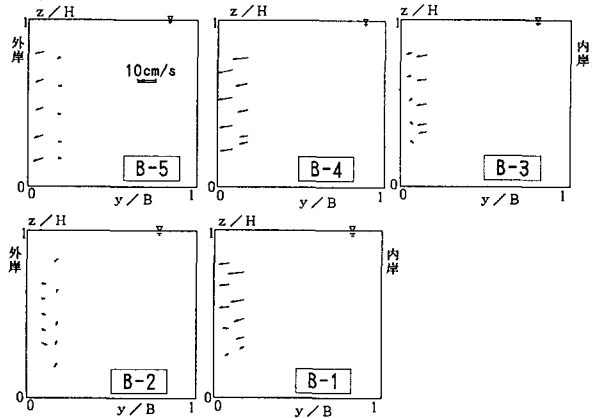


図-4 横断面($y-z$ 平面)内の流速ベクトル

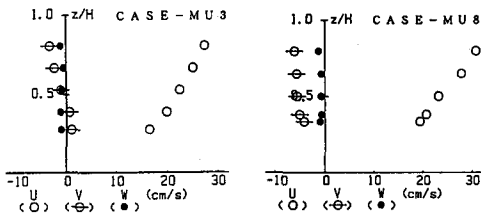


図-3 流速分布

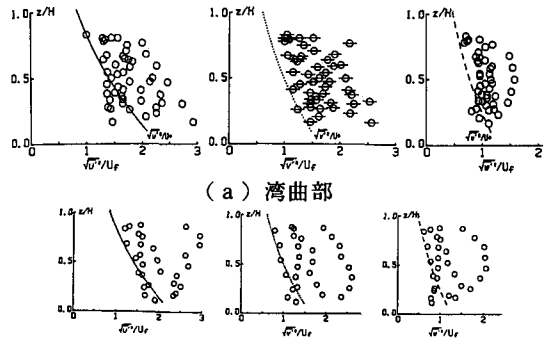


図-6 各成分毎の乱れ強度分布

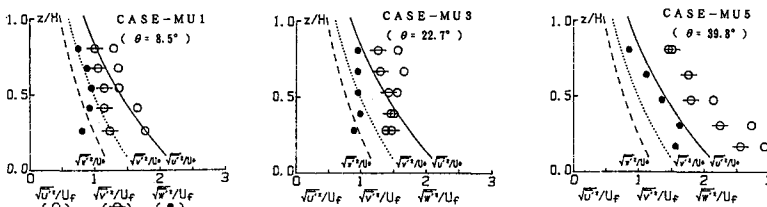


図-5 乱れ強度分布