

自然河川流の乱流構造に関する現地計測

名古屋工業大学 学生員○神谷 昌文

名古屋工業大学

金田 雪雄

名古屋工業大学 正会員 富永 晃宏

名古屋工業大学

黒田 毅

1. まえがき 最近、電磁流速計の普及に伴って野外での乱流計測が盛んに行われるようになった。幅の狭い用水路における2次流構造を含めた3次元の乱流構造が、実験室の高精度の結果とほぼ相似であることが電磁流速計による計測から明らかになった¹⁾。また、これによって実験室では得難い条件における現地計測が乱流構造も含めて十分な精度で行えるようになった。著者らは、これまでに用水路湾曲部において計測を行ったが²⁾、今回は庄内川の湾曲部において横断面内の乱流計測を行ったものである。

2. 計測地点および方法 計測地点は、名古屋市北部を流れる庄内川の河口から32.2km地点であり、計測は平成4年9月8日及び9日に行った。計測地点付近の河道平面図を図-1に示す。計測は図に示したA断面とその13m下流のB断面で行った。河道は緩やかに湾曲しているが、当時は流量が少なく砂州が広く露出し、外岸側の幅15m~20mに水が流れている状態であった。断面形状は後のコンター図に示すようであり、A断面は水面幅B=19m、最大水深H=50cmで、B断面は水面幅B=17m、最大水深H=63cmで、アスペクト比B/HはAでは38、Bでは27である。流量はいずれも約4m³/sであり、平均流速はA断面が69cm/s、B断面が65cm/sであった。河床材料は、径2cm程度から15cm程度までの粗い礫が砂層の上を被いアーマーコートを形成していた。流速計は2成分と1成分の電磁流速計を組み合わせる流速の3成分の同時計測を行った。流速計は脚立に固定したボールに取り付けられ上下方向にスライドさせた。

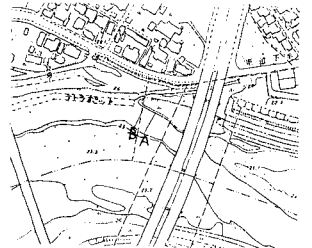


図1 計測地点平面図

3. 計測結果

(1)主流速分布 図-2に主流速Uのコンターを示す。A断面では等流速線は断面形状に沿った分布を示し、最大流速は外岸よりの最深部付近に現れている。したがって、湾曲部の流れ特性に応じた平衡な横断面形状を有していると考えられる。また、最深部では最大流速点が水面より下に現れている。次にB断面ではアスペクト比が少し小さくなり、中央部が深く掘れ込んだような形状に変化している。最大流速点の位置はA断面と同様外岸よりにあるが、 $z/H=5\sim7$ 付近にある強固な段差の影響を受けて若干内岸に寄っている。この段差上では流速分布が複雑に入り組んでいる。図-3は代表的な3点におけるUの鉛直分布であり、図中の点線は相当砂粒粗度 $k_s=15\text{cm}$ とし、適当な摩擦速度 U_* を仮定したときの粗面の対数則分布である。外岸寄りの $z=3, 5\text{m}$ では、底面近くで対数則に従うが、中央より内岸側では $z=8\text{m}$ のように対数則よりも急勾配となってしまう。したがって、勾配のみから摩擦速度を決定しようとする以上に大きな値となり、相当砂粒粗度も不自然に大きくなる。この付近では2次流の影響を受けているものと考えられる。

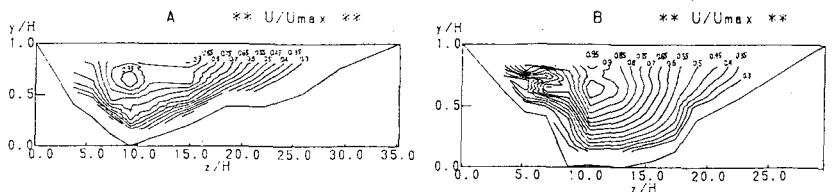


図2 主流速コンター

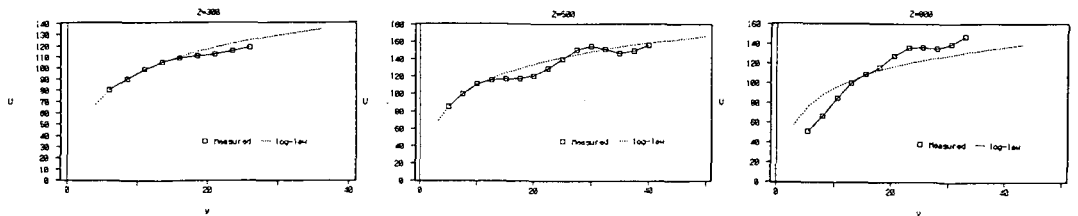
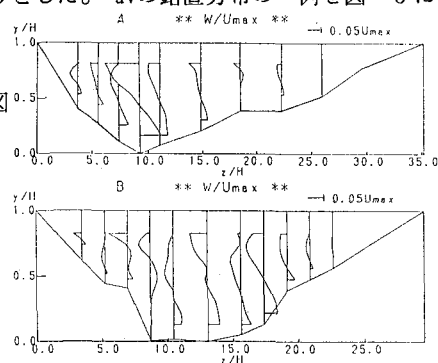
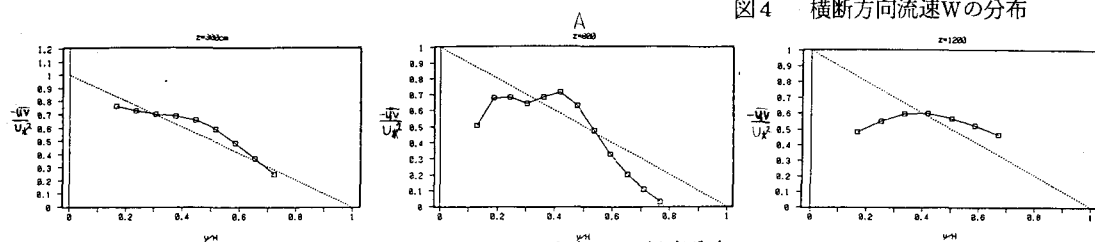


図3 主流速鉛直分布

(2) 2次流の構造 図-4に横断方向流速 W の鉛直分布を示す。A断面では湾曲部特有の単一セルの2次流が明確に認められる。このような断面における2次流はいくつかの現地計測で得られている^{3), 4)}。 W の値は最深部で最大となり、最大主流速 U_{max} の約9%に達する。B断面でも全体としてはA断面と同様の2次流が認められるが、外岸の段差の影響を受けてこの付近で歪まされている。また W の最大値は U_{max} の5%程度になっている。

(3) 底面せん断応力分布 上述のように対数則から摩擦速度を評価するのは困難であるため、レイノルズ応力 $-\overline{uv}$ の底面での外挿値から摩擦速度を求める方法を適用しようとした。 $-\overline{uv}$ の鉛直分布の一例を図-5に示す。中央より内岸側で特に2次元流れの直線分布からかけ離れた分布を示し、この方法も適用が困難である。そこで、図-3に示した対数則に用いた摩擦速度から得られるせん断応力を τ_u 、図-5の $-\overline{uv}$ の直線回帰から得られるせん断応力を τ_R として比較したのが図-6である。図にはこの平均値から逆算されたエネルギー勾配 I を用いた $\tau_o = \rho g h I$ も示している。 τ_u と τ_R の潤辺平均値はほぼ同オーダーとなったが、特に両側岸付近で両者の値の差が大きくなる。横断方向の運動量輸送がない場合のせん断応力 τ と比較すると τ_u は外岸で $\tau_u > \tau$ 、内岸で $\tau_u < \tau$ となる。これは2次流による運動量輸送効果を意味していると思われる。

図4 横断方向流速 W の分布図5 レイノルズ応力 $-\overline{uv}$ の鉛直分布

(4) 乱れ強度分布 図-7は乱れ強度 u' のコンターである。A断面では最深部から中央付近にかけて、乱れの大きな領域が底面より少し離れたところに存在する。この平均摩擦速度で無次元化された値の大きさはほぼ2次元の普遍分布の値と一致している。一方、B断面では、外岸の段差付近を中心にして乱れの大きな領域がある。A断面の乱れの大きな領域が下流のB断面では外岸に移動して押しつけられたような分布となっている。この領域の u' の大きさはA断面に比べて大きく、複断面のような段差の影響が現れたものと見ることができる。

4. あとがき 比較的粗い礫河床の浅い河川流湾曲部の乱流構造を計測した。このようなアスペクト比の大きな流れでも湾曲部の2次流の存在が確認された。この場合、対数則にあまり従わない領域があり、またレイノルズ応力も直線分布からかなりのズレを示した。また、外岸の形状の異なる2断面での計測から、流れ構造が外岸の段差によってかなり変化することが示された。

<参考文献> 1) 富永ら：土木学会第46回年講、1991 2) 富永：第24回乱流シンポジウム講演論文集、1992 3) Rozovskii, I. L. : Academy Science of the USSR, 1957 4) Bathurst, J. C. et al. : J. Hydraulics Div., ASCE, vol. 105, No. 10, 1979

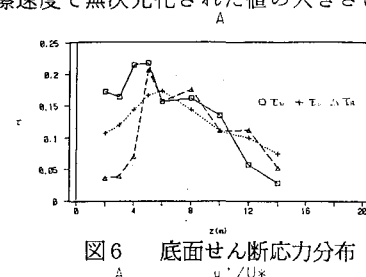
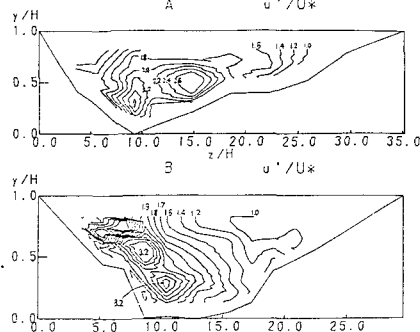


図6 底面せん断応力分布

図7 乱れ強度 u' のコンター