

II-353

幅の狭い実スケールの開水路流れの乱流計測

名古屋工業大学 正員 富永 晃宏
群馬大学工学部 正員 小葉竹重機
玉野総合コンサルタント 望月 知洋

1. まえがき 著者らは様々な断面形状を有する直線開水路流れの三次元乱流構造を、ホットフィルム流速計およびレーザー・ドップラー流速計を用いた計測によって明らかにしてきた。幅の狭い開水路における最大流速位置の降下現象は、もともと実河川で観測されたものであるが、これが実験室規模の流れでも発生し、その原因となる二次流構造が明らかにされた。実験水路と実河川ではレイノルズ数 Re が大きく異なるが、通常、 Re が限界値より十分大きければ Re が異なっても流れの構造は相似であると考えられている。しかし、乱れの発生機構について考えるとその特性スケールに両者で大きなギャップがあり、相似性について検討の余地が残されている¹⁾。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^{1), 2), 3)}。本研究は、比較的幅の狭い開水路を対象とし、三次元乱流構造の野外計測結果と実験室における結果との比較を行ったものである。

2. 計測水路および方法 計測地点は、群馬県北橋村真壁の群馬用水において、真壁水路橋および真壁第四開水路である。真壁水路橋は長方形断面で長さ100mで鉄製である。真壁第四開水路は台形断面でコンクリート製であり、直線区間は約200mである。それぞれの横断面図を図-1に示す。水路橋にはほとんど堆積物はなく、第四開水路では若干土砂が堆積していた。また、水理条件を比較する実験水路のものとともに表-1に示す。流速計は $\Phi=7\text{mm}$ の2成分電磁流速計（東京計測製SF-3012、SFT-200-07）を用い、水路橋では π ロー向きを変えて2回計測することにより、 (U, V) および (U, W) 成分を、第四開水路では (U, V) 成分のみを計測した。支柱として鉄製アングルを水路底から鉛直に支持し、これに直接 π ローを固定して計測した。計測時間は3分間でデータレコーダーに記録した後、サンプリング周波数25Hzで4100個のデータを得た。

3. 計測結果とその考察 図-2に平均主流速 U の等値線を実験水路の結果^{4), 5)}とともに示す。長方形では、実験水路と同様に最大流速位置が $y/h=0.7$ 付近に現れ、等値線は側壁に向かって突出した分布となる。このことから開水路流の特徴である水面縦渦が存在していることがわかる。ただし、水路橋では隅角部が角を落とされているためか、この付近の等値線形状は異なっている。一方、台形では実験水路において最大流

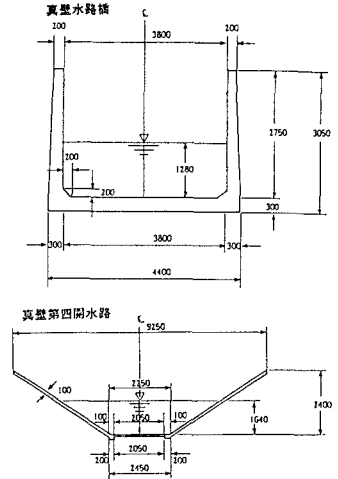


図-1 水路断面図

表-1 水理条件

ケース	水深 h (m)	水面幅 T (m)	アスペクト比 Ar	平均流速 U_m (m/s)	フルード数 Fr	レイノルズ数 $Re(=hU_m/\nu)$
真壁水路橋	1.28	3.18	2.5	0.82	0.23	1.0×10^6
真壁第四開水路	1.64	7.03	4.3	0.42	0.11	7.0×10^5
SH20(矩形)	0.20	0.40	2.0	0.19	0.18	3.8×10^4
TS23(台形)	0.07	0.40	5.6	0.38	0.47	2.3×10^4

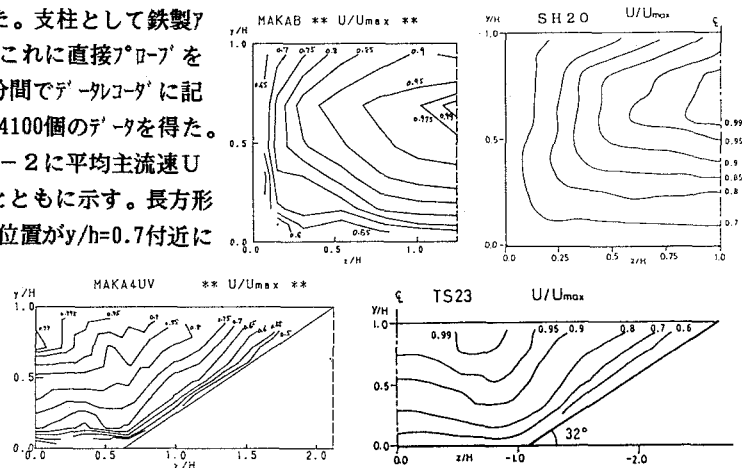


図-2 等流速線図

速位置の降下が見られず二次流構造の変化が指摘されたが、野外計測結果もこれを支持するものである。図-3に台形の場合のレイルス' 応力 $-\overline{uv}$ の等値線を示す。側壁上の水面近傍において若干異なるがその他は実験室での結果とほぼ同様であるといえる。

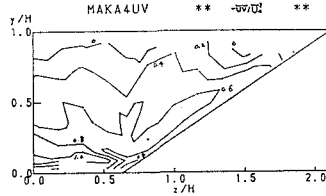


図-3 レイルス' 応力 $-\overline{uv}$ の等値線

台形水路の底面上では図-4のようにレイルス' 応力 $-\overline{uv}$ がほぼ三角形分布をすることから摩擦速度 U_τ が評価された。この U_τ を用いて無次元化した乱れ強度 u'/U_τ 、 v'/U_τ の鉛直分布を図-5に示す。図中の曲線はNezu & Rodi⁶⁾の普遍分布式である。実測値は、 v' が底面近くで若干小さな値となるが、全体としてこれにほぼ従っている。

次に、この U_τ を用いて U^+ を y^+ に対してプロットしたのが図-6である。 U^+ はほぼ直線分布するが、その傾きからカルマン定数 κ を逆算すると $\kappa=0.28$ 程度となり、通常の $\kappa=0.41$ とは大きく異なってしまった。これは U_τ が過小評価されたことによるのか、実際に κ が変化するのか、今のところ断定はできない。

図-7に流速 $\bar{u}$ のスペクトルを示す。0.2Hz~1.0Hzにかけて $-5/3$ 乗則に従う慣性小領域の存在が認められる。3Hz以上ではノイズが大きくなる。底面近傍では低周波数側にピークが認められ、組織構造の存在を示唆している。次に、瞬間レイルス' 応力の4象限からの寄与率を図-8に示す。底面近傍では、2象限(ejection)と4象限(sweep)の寄与率がほぼ等しく、粗面流れの特性に一致する。今回計測した水路は相対粗度の比較的小さい流れではあるが、水理学的には粗面に属しているためと思われる。粗度要素の流れに及ぼす影響という点では両者は大きく異なるが、同様の傾向を示すことは興味深い。

最後に、本研究を遂行するに当たり、水資源開発公団・群馬用水管理事務所の皆様にご協力を頂いたことを記して謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 橋津ら: 水工学論文集, 第35巻, 1991、2) 瀬良、神田: 第32回水理講演会論文集, 1988、3) 辻本ら: 水工学論文集, 第35巻, 1991、4) 富永、江崎: 土木学会論文集, 357, 1985、5) 富永ら: 土木学会論文集, 381, 1987、6) Nezu & Rodi: J. Hydraulic Eng., ASCE, vol. 112-5, 1986

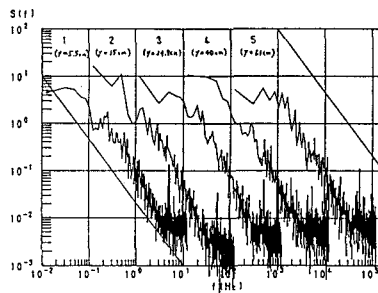


図-7 スペクトル分布

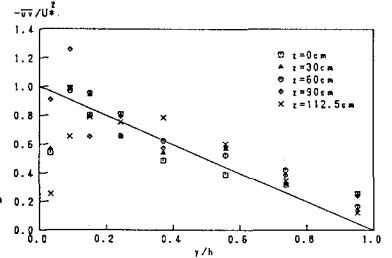
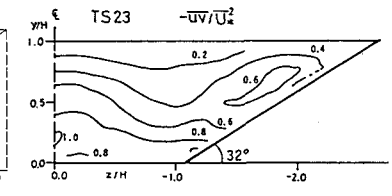


図-4 レイルス' 応力 $-\overline{uv}$ の鉛直分布

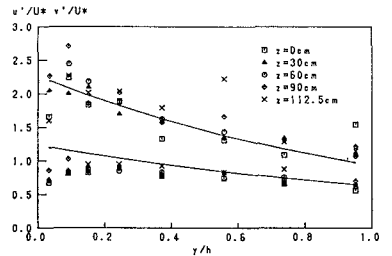


図-5 乱れ強度分布

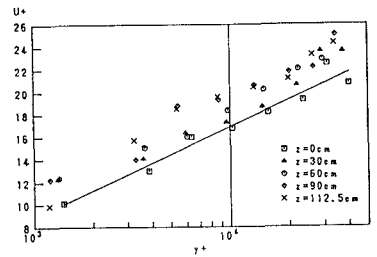


図-6 平均流速分布

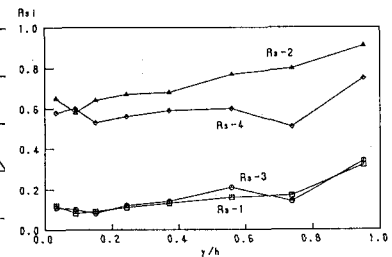


図-8 レイルス' 応力の各象限からの寄与率