

II-319

開水路側壁近傍の壁面せん断力分布と流れの3次元構造について（第2報）

京都大学防災研究所 正員 石垣 泰輔

京都大学防災研究所 正員 今本 博健

1. はじめに： 既報^{1,2)}では、長方形断面開水路における側壁近傍の流れを対象とし、側壁近傍の平均壁面せん断力分布の計測結果および代数応力モデルによる計算結果を用いて平均値の分布特性について検討するとともに、速度計測結果および流れの可視化結果を用いて壁面せん断力分布と流れの3次元構造との関係について検討した。その結果、側壁近傍に存在する3つの2次流セルで壁面せん断力の分布特性が説明されること、水素気泡法を用いて計測された側壁極近傍の速度分布に2つの低速部が安定して存在すること、側壁面近傍でもバースティング現象が観察されるが、その発生周期は従来の結果よりも長いこと、などの点が指摘された。本報告では、速度変動と壁面せん断力の同時計測結果より流れの構造を検討するとともに、VITA法を用いてバースティング周期を定量的に検討した結果を示す。なお、ここに示す結果は、水路幅 $B=20\text{cm}$ 、水深 $H=4\text{cm}$ 、流量 $Q=1.99\text{ l/s}$ 、 $Re=8800$ 、 $Fr=0.4$ の水理条件におけるものである。

2. 流速と壁面せん断力の同時計測結果による検討： 既報^{1,2)}にて、側壁近傍においては図1に示すような2次流セルが存在し、従来の研究で指摘されているように壁面せん断力分布や速度分布形状に影響を与えていることを確認した。ここでは、2次流セルを図に示すように水面セル、側壁セル、底面セルと呼び、速度と壁面せん断力の同時計測結果を用いて両者の関係を検討する。なお実験では、あらかじめ広幅水路の中央で検定した幅5mm、長さ7mm（センサー部分は $2.54\text{mm} \times 1.54\text{mm}$ ）、厚さ0.1mm（計測時はステンレス板に取り付け総厚0.5mm）のフィルムセンサーで壁面せん断力を、LDVで流れ方向と鉛直方向の速度2成分(u, v)を上流側5mm、壁面より5mmの位置で同時計測した。図2は、フィルムセンサーによる計測結果と乱流モデル(Naot-Rodi Model)による計算結果を比較したものであり、両者がほぼ一致していることから計測結果の妥当性が伺える。図3は、図中にした各点の流下方向流速とせん断力、および鉛直方向流速とせん断力の相互相関係数である。AおよびB点は、既報において側壁極近傍の可視化結果で低速部が安定して観察された位置であり、図1の側壁セルで側壁から離れる位置と側壁に向かう位置に相当し、C点は底面セルで底面に向かう位置に相当する。またD点は水路中央である。CおよびD点の結果より高速流体が壁面に向かうときに大きなせん断力が作用することが知れる。この点を考慮すると、A点では側壁セルの上昇部に伴って輸送される高速流体が大きなせん断力を作用させること、B点では u と v の相関がほぼ0であることから側壁に鉛直に向かう流れが大きなせん断力の要因であること、などの2次流構造と壁面せん断力との関係が指摘される。

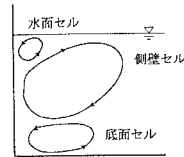


図1 側壁近傍の2次流セル

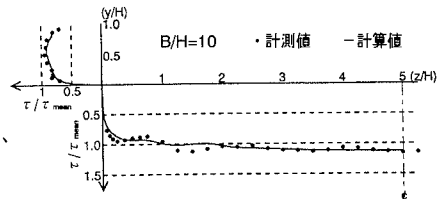


図2 平均壁面せん断力分布

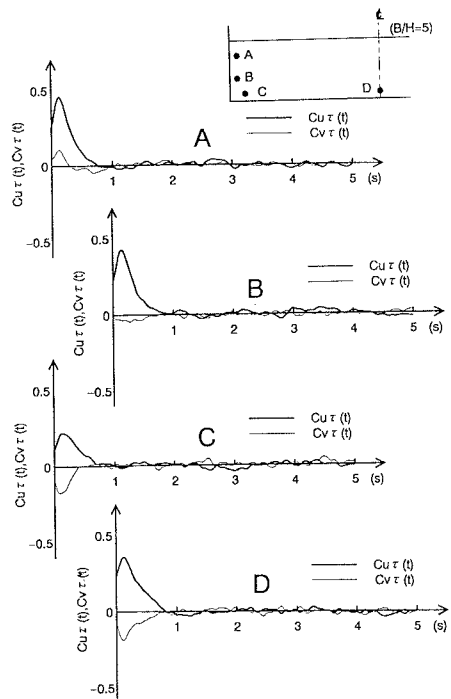


図3 壁面せん断力と速度の相互相関

3. VITA 法によるbursting周期の検討:

VITA法(Variable-interval time-averaging technique)は、流下方向流速 U に着目し、可動区間 T_m (sec)内で次式に表わすVITA varianceの算定値が定数 k および標準偏差 u' で与えられるしきい値 $k \cdot u'^2$ を上回る点の変動波形を抽出する方法である³⁾。これらの抽出された波形をアンサンブル平均し、組織構造の検討に用いようとするものである。

$$\text{var}(t, T_m) = \frac{1}{T_m} \int_{t-T_m/2}^{t+T_m/2} u'^2(s) ds - \left\{ \frac{1}{T} \int_{t-T_m/2}^{t+T_m/2} u(s) ds \right\}^2$$

ここに t はデータの始めの $t=0$ とした時間であり、 s は T_m 区間の始めを $s=0$ とした時間である。また、 $\text{var} > k \cdot u'^2$ となる区間の中点を $\tau=0$ とし、アンサンブル平均波形を求めた。本研究においては水路中央部と側壁近傍の時間スケールの違いを確認するため、Komoriら⁴⁾が用いた $k=0.4$ 、 $T^*(=T_m U_*^2/\nu) \approx 45$ という一定条件で解析を行った。図4は、サンプリング周波数200Hz、102400個のデータから求められたバースティング周期である。図中○は、 $\text{var} > k \cdot u'^2$ となるすべての生起データを用いたもの(All)、□は $du/dt > 0$ (Positive)、◇は $du/dt < 0$ (Negative)の条件を考慮したものであり、実線は従来の研究による次式、

$$T_b = (1.5 \sim 3.0) H/U$$

一点鎖線は今本ら⁵⁾による実験結果より推定される次式

$$T_b = (0.115 \pm 0.03) H/U_*$$

を表わしている。図より、All、Positive、Negativeのいずれも水路中央から側壁付近に近づくにしたがい、バース

ティング周期は大きな値となる。Allの場合、中央よりの点で従来の研究成果に当てはまる結果を示しているが、側壁よりの底面および側壁近傍では、従来の研究の2倍近い値を示している。この結果から既報で示した可視化結果と同様に側壁におけるバースティング周期が、底面におけるものに比して長いものとなっていることが確認できる。また、従来の研究は水路幅の大きい水路の中央部におけるバースティングに関するものであり、側壁付近のような三次元性の強い場には適用できないことがわかる。図5は、図に示した点におけるpositive($du/dt > 0$)のアンサンブル平均波形を示したものである。各点の波形にはほとんど差異は見られず、バースティングを示す速度変動が、底面と側壁で同様のものであることが知れる。以上の結果より、側壁においても底面と同様にバースティングが発生するが、その発生周期が異なることが指摘される。

4. おわりに:

以上の結果より、2次流構造と壁面せん断力の関係がより明確に示されるとともに、側壁での乱れ生成の時間スケールが底面側よりも長いことが定量的に示された。このことは、側壁で形成される乱流構造の空間スケールが底面側の乱流構造のスケールである水深よりも大きく、側壁乱流がより大きなスケールの乱れを形成することを示唆している。なお、詳細な検討は今後の課題としたい。

参考文献: 1) 石垣・今本・塩野: 第49回年講、II-207、2) 石垣・今本・塩野: 水工論文集、第39巻、1995。

3) Blackwelder & Kaplan, J.F.M., 76, 1976. 4) Komori etc., J.F.M., 203, 1989。

5) Imamoto etc., 17th IAHR, A14, 1977。

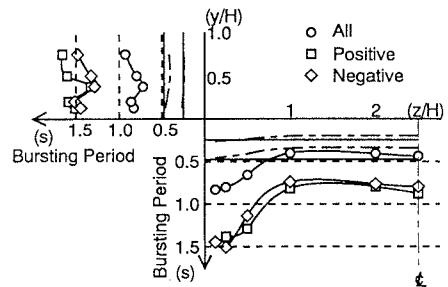


図4 バースティング周期の分布

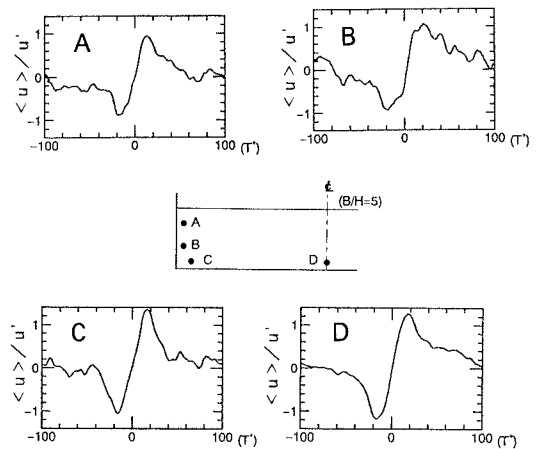


図5 アンサンブル平均波形(VITA法)