

## II - 207

## 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

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

ラフボロー大学 塩 野 耕 二

長方形断面開水路における側壁近傍の流れは3次元性が顕著であり、速度分布および壁面せん断力分布にその影響が見られる。この影響は、時間平均値として得られる2次流および可視化法で得られる渦構造に関する結果を用いて説明されている。底面の壁面せん断力分布が波状となることは2次流セルとの関係から説明されているが、側壁における分布と流れの構造については不明な点が残されている。本報告では、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も検討を加える。

**1. 平均壁面せん断力分布特性：** 開水路流れにおける壁面せん断力計測法は、Shear plate を用いた直接測定法、および Preston tube 等を用い、仮定した速度分布より壁面せん断力を算定する間接測定法に分類される。ここでは、速度計測結果およびプレストン管を用いて得られた分布および Naot-Rodiの代数応力モデル（N-Rモデル）を用いて計算された結果を用いる。水理条件を表1に示す。

図1は、2次流ベクトルの分布とそれに基づいて描いた2次流セルを示したものである<sup>1)</sup>。また、図2は壁面からの距離が0.3cmの位置における平均速度の潤辺に沿った分布を示したものである。これらの結果を比較してみると、底面における平均速度の波状分布は2次流セルの下降部および上昇部位置との対応で説明することが可能であり、下降部で速度が大きく、上昇部で速度が小さくなっている。一方、側壁における分布は半水深よりやや上方で最大値を示しており、水面側の2次流セルの側壁に向かう部分との対応が認められる。図3は、潤辺の法線方向の平均速度分布に対数則分布を仮定し、カルマン定数  $\kappa=0.41$  として算定した平均壁面せん断力の分布を示したものである（図中・点）。なお、図にはN-Rモデルを用いた計算結果（図中の実線）を併示している。図に示した結果は、速度計測結果より求めた平均壁面せん断力には若干のばらつきはあるものの、底面では波状、側壁では放物型の分布を示すことを示しており、前述した流れの3次元構造との関係を反映した結果となっている。また、代数応力モデルによる結果ともほぼ一致している。

つぎに、プレストン管を用いた計測結果をN-Rモデルによる計算結果とともに図4に示す（計測結果は図中・点）。図3に示した結果と同様に、底面で波状分布、側壁で放物型の分布形状を示している。また、併示した計算結果とは側壁近傍では良好な一致を示しているが、水路中央部では計測結果が若干大きな値となっている。なお、プレストン管としては外径3mmのピトー管を用いており、幅1mの直線水路中央に設置して検定した結果が Patel<sup>2)</sup>の検定曲線と良好に一致したことから、Patelの検定曲線を用いてせん断力を求めている。以上のように、いずれの方法によっても同様の平均壁面せん断力分布が得られることが知れるとともに、その分布は図1に示された2次流構造で説明されることが指摘された。

**2. 側壁近傍の速度変動特性：** 著者らは、図1に示した扁平な2次流セルは、横断面内で観察される縦渦が横断方向に揺らぐことより、回転方向が同じ縦渦群の外縁のみが時間平均値として検出されたものであることを指摘した<sup>2)</sup>。この渦構造の横断方向の揺らぎは側壁近傍の速度を変化させるため、壁面せん断力分布に影響すると考えられる。ここでは、側壁近傍で得られた速度変動の計測結果および水素気泡法で得られた側壁極近傍の速度分布の観察結果を用い、流れの構造について検討する。

表1 水理条件表

| Case        | B  | H   | Q    | I      | Re   | Fr   |
|-------------|----|-----|------|--------|------|------|
| B/H=5 (LDA) | 20 | 3.9 | 3.97 | 1/1480 | 9300 | 0.42 |
| B/H=10 (PT) | 40 | 4.0 | 3.12 | 1/680  | 9300 | 0.69 |

PT:Preston tube, B:cm, H:cm, Q:l/s

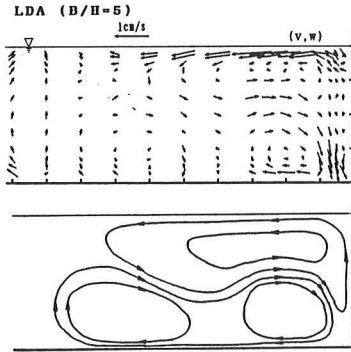


図1 2次流ベクトルと2次流セル

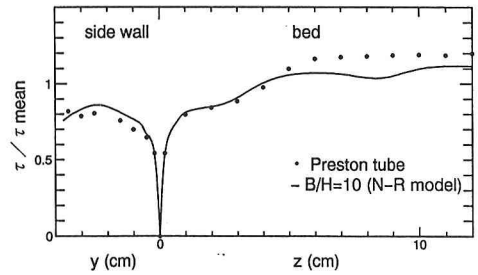


図4 平均壁面せん断力分布（プレストン管法）

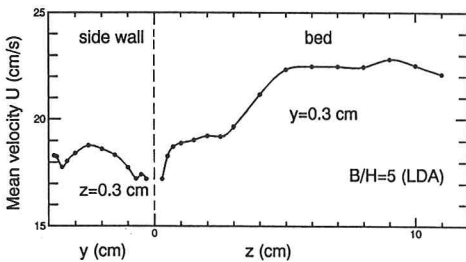


図2 潤辺に沿った平均速度分布

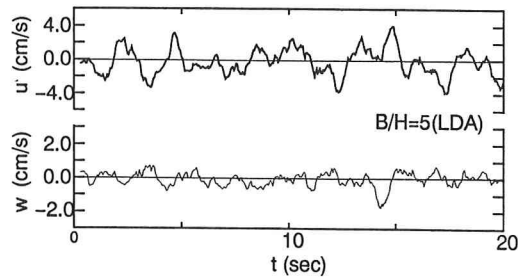


図5 壁面近傍の速度変動 ( $z=0.3\text{ cm}$ ,  $y=2.0\text{ cm}$ , 流れ方向成分:  $u$ 、横断方向成分:  $w$ )

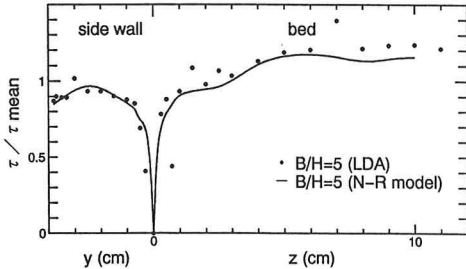


図3 平均壁面せん断力分布（速度計測法）

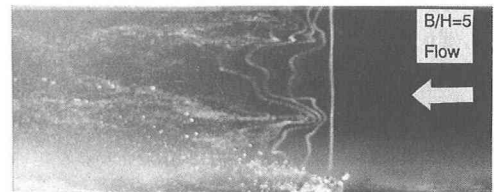


写真1 側壁近傍におけるタイムライン ( $z=0.075\text{ cm}$ ,  $z^*=10.5$ )

図5は、側壁から  $0.3\text{ cm}$ の半水深 ( $y=2.0\text{ cm}$ ) の点における流れ方向および横断方向の乱れ速度  $u$  および  $w$  の変動波形を20秒間について示したものである。なお、 $w$ は側壁に向かう方向を負としている。また、図に示した波形は、サンプリング周波数  $20\text{ Hz}$  で得られた計測結果に  $0.5\text{ sec}$  の移動平均操作を行なって平滑化したものである。図より、いずれの速度成分についても低周波の変動が認められる。また、そのそれぞれの平均速度は、 $U=18.63\text{ cm/s}$ 、 $W=0.03\text{ cm/s}$ 、 $r.m.s$  は  $u'=2.88\text{ cm/s}$ 、および  $w'=1.20\text{ cm/s}$  であり、変動幅も大きなものとなっている。写真1は、図5と同じ水理条件の下で、側壁より  $0.075\text{ cm}$  の位置 ( $z^*=10.5$ ) に設置した直径  $0.05\text{ mm}$ の白金線より発生させた水素気泡が形成するタイムラインを側方より撮影したものであり、低速部と高速部の存在が明確に認められる。これらの低速部は発生・消滅を繰り返し、その周期は図5に示した低周波の変動と同程度であった。以上のように、側壁近傍の速度には低周波の変動が見られ、その要因として前述した渦構造の揺らぎが考えられるが、詳細については今後の検討が必要である。

参考文献: Imamoto, H., Isigaki, T. & Shiono, K., Proc. of 25th IAHR, Vol. I, pp. 73-80, 1993.

Patel, V. C., J. Fluid Mech., Vol. 23, pp. 185-208, 1965.