

開水路乱流の壁面近傍の組織構造の水平分布特性

徳山高専 学生会員 ○小川 俊樹
徳山高専 正会員 佐賀 孝徳
徳山高専 正会員 渡辺 勝利

1. はじめに

壁面近傍の乱流構造には、Kline らによるバースティング現象を初めとして、様々な組織構造が内在することが知られている¹⁾。また、乱れエネルギーの形成機構としても注目をされてきた。特に、壁乱流において摩擦抵抗に関わる粘性低層、バッファ層内の組織構造を明らかにすることは組織構造の解明に重要な意味をもつと考えられる。これまで開水路乱流を用いて、壁面近傍の組織構造である「壁縦渦」構造の存在を明らかにし、その特徴や従来のバースティング現象、低速縞との関わり、流速変動との相互関係を明らかにした²⁻⁶⁾。

本研究では、これまで明らかなでない滑面開水路乱流の粘性低層およびその近傍の組織構造の水平分布特性を究明することを目的とし、その組織構造の特徴と流速変動特性について考察を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験装置には、図-1に示す水路床勾配 1/1000、長さ 10m、幅 60cm、高さ 15cm の透明アクリル樹脂製の滑面開水路を用いた。上流端には整流用のハニカム、下流端には水深調節用の堰を設置している。表-1に実験条件を示す。壁面からの高さの違いに伴う組織構造の水平分布特性と流速分布特性を調べるため、水平断面視 (CaseA) を行い、断層撮影にハロゲンスリット光 (スライドプロジェクター 1kw、厚さ 2mm) を用い、トレーサには蛍光染料、撮影にはデジタルビデオカメラ (SONY HDR - FX1) を用いた。また、水深方向の平均流速分布を調べて摩擦速度を求めるため縦断面視 (CaseB) を行った。x 軸は流れ方向、y 軸は高さ方向、z 軸は水路幅方向を表している。実験により得られた可

視化形象のデジタル画像を流体解析ソフト「FlowPIV」
「Time im」 ((株)ライブラリ)に取り込み、速度情報の抽出と可視化画像の積層化等を行った。

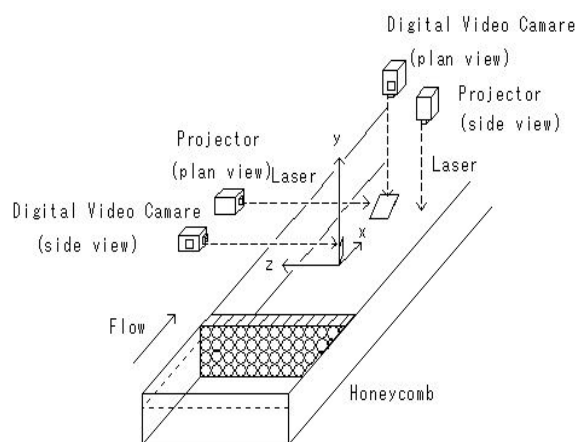


図-1 実験装置

表-1 実験条件

Case	h (cm)	u (cm/s)	u_* (cm/s)	Re ($u h / \nu$)
A	11	5.1	0.21	3320
B				

3. 実験結果および考察

図-2は、粘性低層内における高さごとに1ピクセルの幅の画像を切り出し、1/30秒ずつ連続して30秒間(900枚の画像)積層化した時系列可視化形象である。また、図-3は、粘性低層内における低速縞の間隔(z^+)をヒストグラムで表したものである。縦軸は測定総数Nで無次元化した頻度、横軸(z^+)は低速縞の間隔の距離(z^+)を表している。 $y^+=2$ の高さにおいては、低速流体と高速流体の領域が流れ方向に交互形成されるstreak構造が確認できる。特に時間的に横断方向に大きな変動がないことが

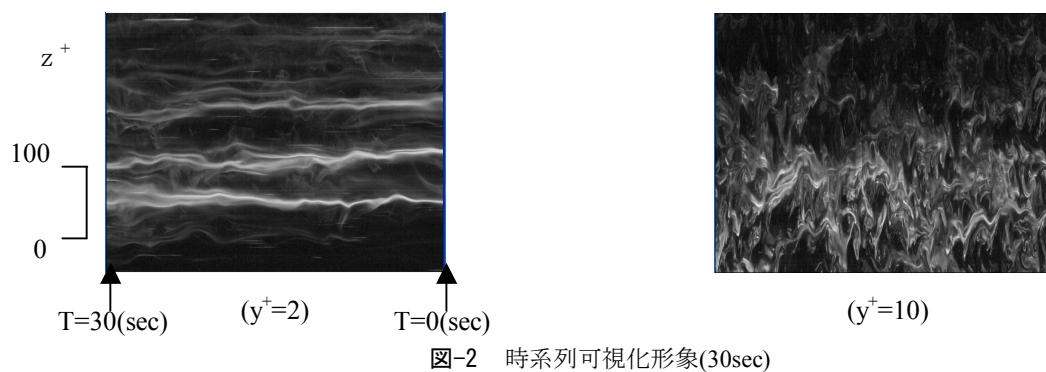


図-2 時系列可視化形象(30sec)

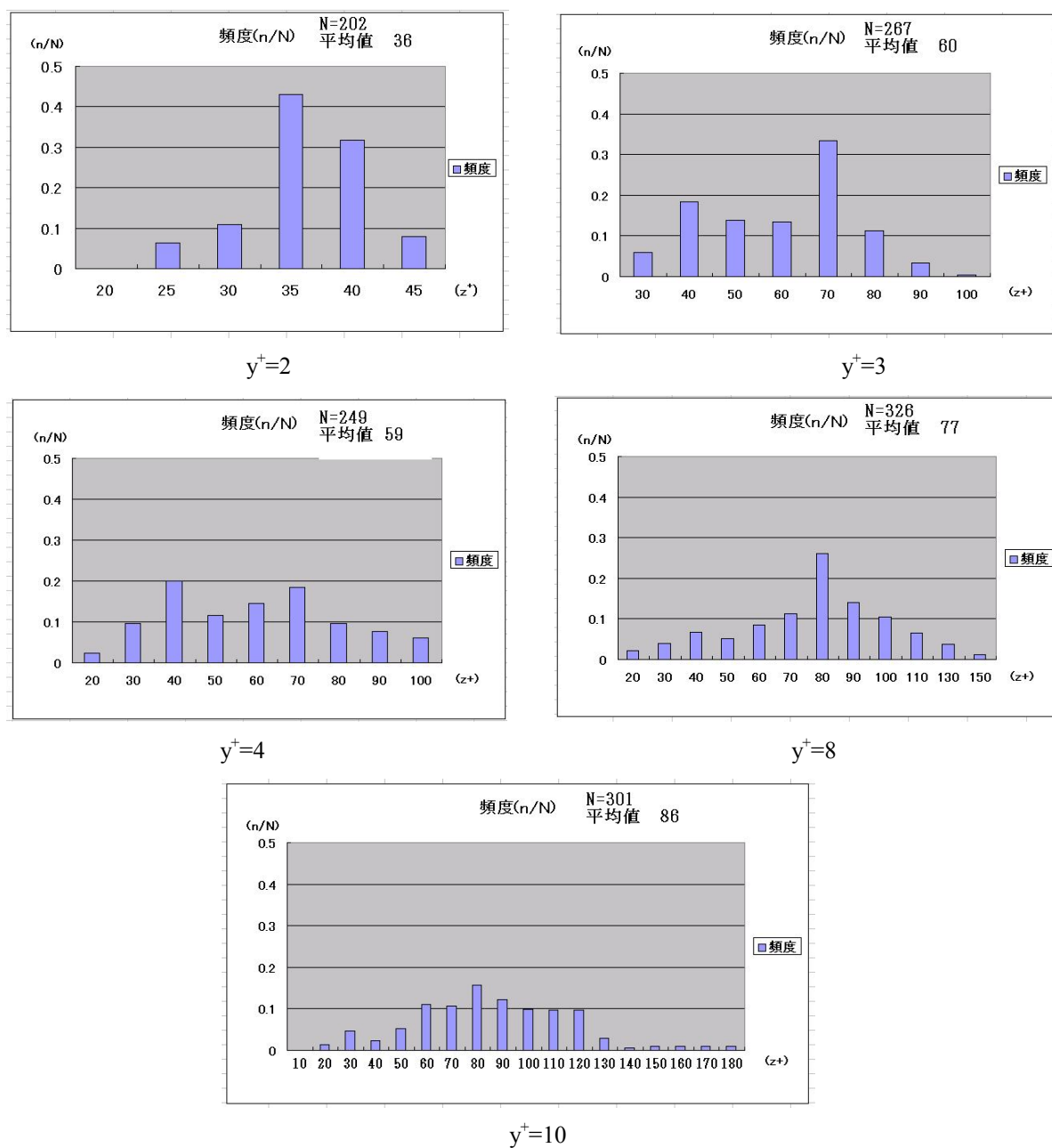


図-3 低速縞間隔 z^+ のヒストグラム

示されている．またヒストグラムより，最頻値 $z^+=40$ ，
 平均値36であり，また $z^+=25\sim45$ の範囲にあり，図-2
 の時系列の特徴と同じくあまり変化しない． $y^+=3$ では，
 その特徴が大きく変化し，最頻値 $z^+=70$ であり，次の
 最頻値は $z^+=40$ であり，二つのピークを持つ分布特性
 となる．また平均値は $z^+=60$ であり， $z^+=30\sim100$ とそ
 の値の範囲も広がる．さらに， $y^+=4$ では，最頻値 $z^+=40$ ，

次の最頻値は $z^+=70$ の，二つのピークを持つ分布特性
 を持っており $y^+=3$ と同様の傾向を有している． $y^+=8$
 では，最頻値が $z^+=80$ をピークとした分布であり，平
 均値は77，範囲は $z^+=20\sim150$ である． $y^+=10$ では，最
 頻値が $z^+=80$ をピークとした分布 $y^+=8$ と同様な傾向を
 有している，平均値は86，範囲はほとんどが $z^+=20\sim$
 130の範囲であるが，140～180のものも含んでいる．

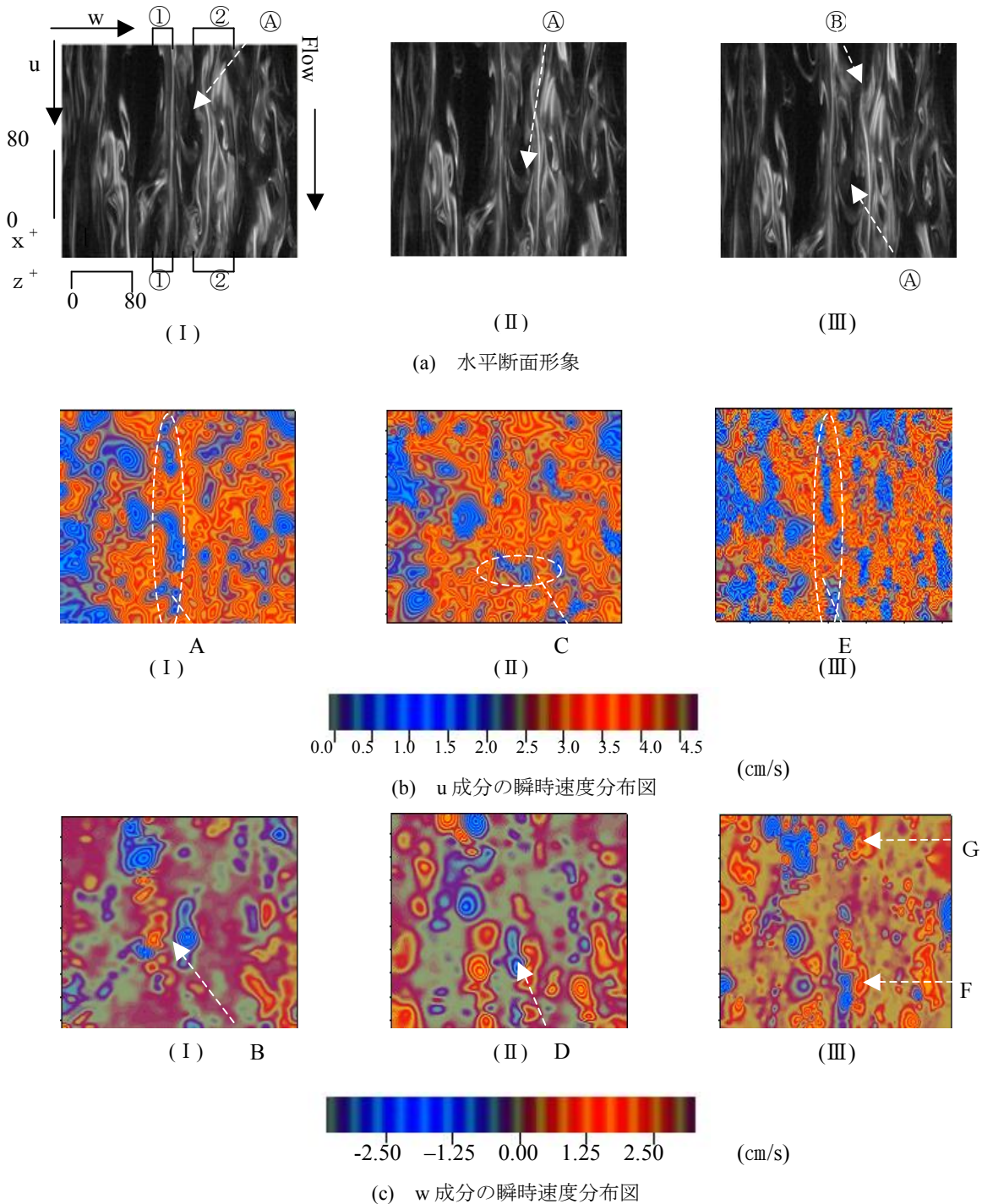


図-4 可視化形象に対応した瞬時流速分布(u, w成分； $y^+=10$)

この事は低速縞の間隔の最頻値が80, 平均値は100とする文献¹⁾と粘性低層外端領域ではほぼ一致する。また, 本研究室で水素気泡を用いた流れの可視化により明らかにされた結果²⁾とは, より小さな最頻値 $z^+=40$ で一致する。しかしながら, 今後更に検討する必要がある。

図-4 は, $y^+=10$ における時系列水平断面形象(a), PIVを用いて計算した u 成分(b), w 成分の瞬時流速分布(c)である。図-4(a)(I)において, 低速縞①では, u 成分の速度分布(b)の低速領域 (図中 A)に対応している。また, w 成分の速度分布(c)の図中の領域 B の特徴は, 左右より流体の集中する分布特性を示している。この領域の可視化形象は, 低速縞①を中心に左右より流体が集中しており, その特徴と一致する。特に右側については, sweep④(図-4(a)(I))の先端の流体運動に対応している。また, この事は壁縦渦の付根に相当する低速縞方向への誘起速度の特徴として, 壁縦渦の組織構造と流速変動に関する研究⁵⁾とも一致して興味深い。図-4(II)において, sweep④における速度分布の特徴を考察する。sweep 現象に伴い u 成分の速度分布は高速化されるが, その下流側では低速領域が形成されている(図中 C)。この現象は, 一連の bursting 現象に関する研究⁸⁾でも指摘されており, それに対応する。更に, w 成分の速度分布の図(c)では, sweep④の先端領域で左右に広がる流体運動を示す分布(図中 D)を示している。また, 図中 D の左側では正の分布を示しており, 図-4(I)の低速縞①上での流体の集中現象と同様の現象が認められる。図-4(III)において, sweep④, sweep⑤の形成が認められるが, u 成分の速度分布(b)の低速領域 (図中 E) は, 低速縞①に対応する。また, w 成分の速度分布の図(c)では, sweep④, sweep⑤の先端領域では, 左右に広がる流体運動を示す分布(図中 F, G)を示している。図-4(c)(I)の図中 B と同様の速度分布が認められる。

4.おわりに

滑面開水路乱流の壁面近傍の組織構造と流速変動について, 水平断面視の可視化とPIVから考察を行った。以下に, 主要な結論を示す。

1. 粘性低層内の低速縞の空間分布の特徴を明らかにした。壁面から離れるに従い, その横断方向変動性は増加し, その間隔においても粘性低層外端では $z^+=80$ 程度の最頻値となるが, より壁面近い領域ではそれより小さな $z^+=40$ で最頻値となる。
2. 粘性低層外端における水平断面可視化の連続的形象より, 低速縞の間に高速流体の侵入であるsweep現象が観察され, 組織構造に伴う流体運動と固有の瞬時速度分布の関係が明らかにされた。

参考文献

- 1) Cantwell,B.J.:Organized motion in turbulent flow, *Annu.Rev.Fluid Mech.*,Vol.13,pp.437-515,1981.
- 2) 大成博文,佐賀孝徳,斎藤隆:壁面領域内乱流構造の立体的可視化,土木学会論文集,第345号/II-4,pp.63-71,1984.
- 3) 大成博文,佐賀孝徳,斎藤隆:開水路乱流内層の渦構造,土木学会論文集,第363号/II-4,pp.135-144,1985.
- 4) 佐賀孝徳,大成博文,渡辺勝利,斎藤隆:開水路乱流内層の渦構造と流速波形の相互関係,土木学会論文集,第393号/II-9,pp.131-140,1988.
- 5) Takanori,SAGA,T.OHNARI,K.WATANABE,T.SAITOU: Coherent structure and secondary flow in turbulent open channel flow, *FLUCOME'94*,Vol1,pp361-366,1994.
- 6) 大成博文,渡辺勝利,佐賀孝徳,斎藤隆,波多野慎:壁乱流の縦断面せん断構造,土木学会論文集,第593号/II-43,pp. 31-40,1998.
- 7) 佐賀孝徳,大成博文,渡辺勝利,杉本博幸:開水路乱流側壁領域の組織構造と二次流れの形成機構,土木学会論文集,第677号/II-55,pp.33-41,2001.
- 8) Offen,G.R.,S.J.Kline: A proposed model of the bursting process in turbulent boundary layers, *J. Fluid Mech.*, Vol.70, pp209-228, 1975.