

壁乱流のせん断構造と瞬時レイノルズ応力

徳山高専 学 波多野 慎
 徳山高専 正 ○大成 博文
 徳山高専 正 佐賀 孝徳
 徳山高専 正 渡辺 勝利

1. はじめに

壁乱流の特徴は、それぞれの変動速度成分が壁からの距離に応じて互いに異なる「非等方性」にある。これは、乱流場の各点で変動速度勾配、すなわち、せん断の存在を示唆している。従来、このせん断特性については、流れ方向成分の考察に留まることが多く、2次元せん断構造については十分な解明がなされていない。ここで本研究では、PTVを用いて、流れ方向および鉛直方向のせん断構造を考察し、さらに、それらと瞬時レイノルズ応力の相互関係を考察した。

2. 流れの可視化法

開水路（長さ10m、幅60cm、深さ15cm）流れにおいて、DPTV縦断面可視化¹⁾を行った。この方法は、染料と粒子を同時に注入し、染料流脈と粒子流跡をそれぞれシャッター速度（1/15, 1/125秒）が異なるカメラで撮影する方法である。これによって、染料流脈の縦断面形象と速度ベクトルの相互関係の考察が可能となる。実験条件は、レイノルズ数3700、水深7.5cmである。照明には、厚さ3mmのハロゲンスリットを使用した。

3. DPIVの結果

図-1に、染料流脈と粒子流跡を同時可視化した一例を示す。(a)には、染料流脈形象が可視化され、壁近くで筋状に長く伸びたlow speed streakと壁から離れた領域における横渦形象が認められる。(b)には、粒子流跡が可視化されており、この流跡を読みとり、速度ベクトルに変換した。変動速度ベクトルは、瞬時速度ベクトルから、予めLDVで長時間計測した平均流速を引いて求められた。

図-2に、変動速度ベクトルを示す。また、図-3、4にそれより求めた流れ方向変動速度分布および鉛直方向変動速度分布を示す。変動速度ベクトル図からは、図-1(a)で示された横渦形象と対応する変動速度ベクトルや、その近くで壁に向かって下降するスweep運動が認められる。流れ方向の変動速度分布では、壁近

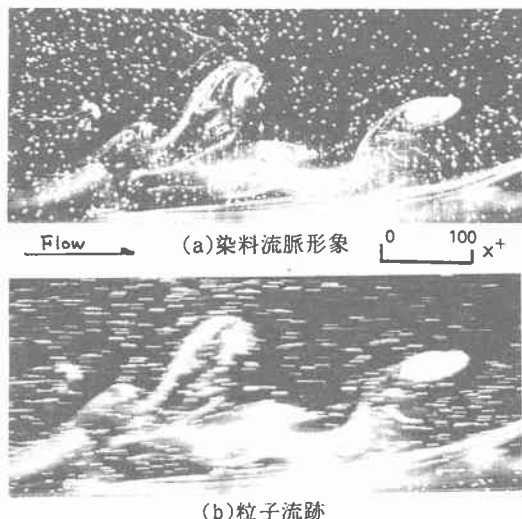


図-1 DPIVによる可視化写真

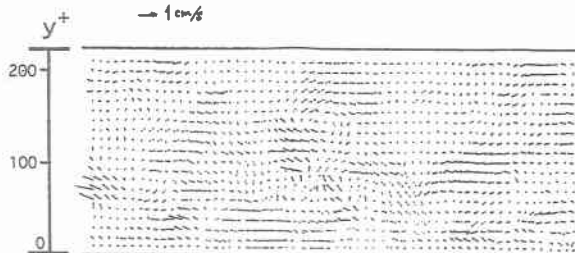
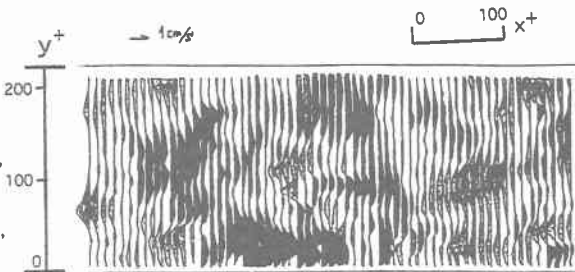


図-2 変動速度ベクトル

図-3 流れ方向変動速度分布 $u' > 0$

くで流れ方向に長く伸びた加速領域と減速領域が交互に形成されており、これらがlow speed streakの形成に重要な関係を有していると考えられる。また壁から離れた領域においても、加速、減速の領域が塊状に形成されている。ところが、鉛直方向の変動速度分布は、上昇および下降の分布が壁と垂直方向に長い領域として形成され、流れ方向変動速度分布とは顕著な相異を示している。

そこで、変動速度勾配を図-5, 6に示す。この変動速度勾配は、せん断を意味する。図-5の流れ方向せん断図では、壁からやや流れ方向に傾斜して（傾斜角度は、約20度前後）形成されている正負の高せん断領域が認められる。この傾斜した正負の高せん断領域は、壁と鉛直方向に交互に重なる特徴を有しており、これを「流れ方向せん断構造」と呼ぶ。壁近くの正の高せん断領域が、図-1(a)に可視化されている壁近くのlow speed streakの縦断面形象とほぼ一致することが注目される。

一方、図-6の鉛直方向せん断においては、上述の流れ方向せん断特性とまったく異なる特徴が明らかである。すなわち、鉛直方向の高せん断領域は、上流方向（左側）にやや傾いて（傾斜角度は約70度前後）、しかも鉛直方向に長く形成されている。この場合も、正負の領域が流れ方向に、流れ方向せん断特性と同じく交互に形成されている。しかし、流れ方向せん断値については、壁近くでその絶対値の大きい領域が形成されているのに対し、鉛直方向せん断においては、その絶対値に、壁近くと離れた領域とで顕著な相異は存在していない。なお、流れ方向の高せん断領域と鉛直方向の高せん断領域が、それぞれ直交して形成されていることが注目される。

図-7には、瞬時レイノルズ応力分布が示されている。注目すべきは、壁から離れた領域での2つの高レイノルズ応力領域が形成されていることである。この領域は、変動速度ベクトル図との対比から、スweep型（象限区分法における4象限に相当）の速度成分によって形成されている。また、上述の高せん断領域との関係では、この高レイノルズ応力領域が、流れ方向および鉛直方向ともに、その正負の高せん断領域で挟まれる領域に形成されていることが興味深い。

参考文献

- 1) 渡辺勝利他：水工学論文集，37，1993。

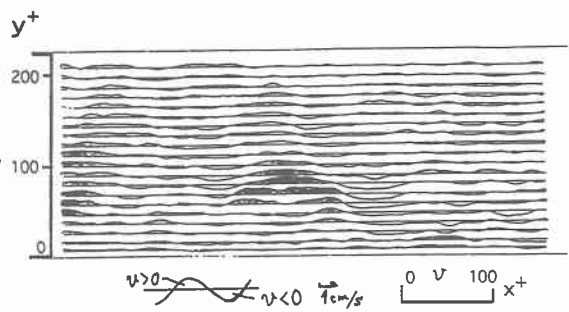


図-4 鉛直方向変動速度分布

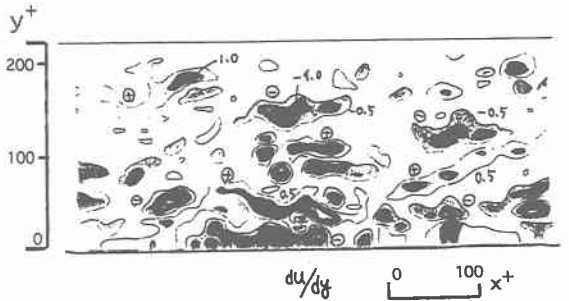


図-5 流れ方向変動速度勾配分布

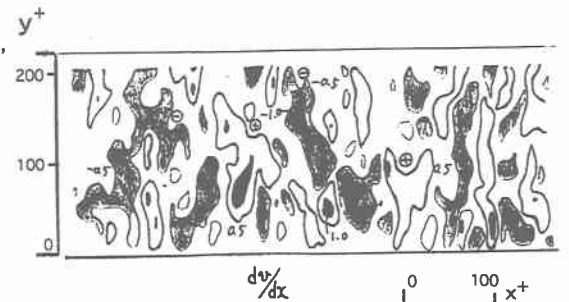


図-6 鉛直方向変動速度勾配分布

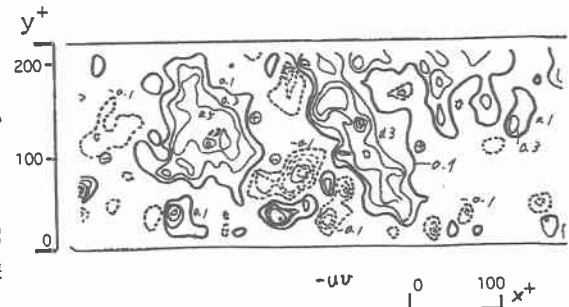


図-7 瞬時レイノルズ応力分布