

## 開水路乱流の横断面せん断構造

徳山高専 正 ○佐賀孝徳

徳山高専 正 大成博文

徳山高専 正 渡辺勝利

中電技術コンサルタント 正 前田邦男

### 1. はじめに

開水路乱流の横断面形象には、壁縦渦、低速縞などの特徴的な組織構造の存在が知られており、これまでに、それらの特徴についての検討がなされてきた<sup>1)</sup>。その中で、それらの可視化形象と流速変動特性との相互関係が、LDVとの同時併用実験<sup>2)</sup>、水素気泡法と染料流脈法の併用実験<sup>3)</sup>において調べられたが、速度情報が限られた領域に限定されることから、十分な考察得るまでは至っていない。そこで、DPTVを用いて、横断面全体の速度情報から、組織構造と速度ベクトル、せん断構造について考察が行なわれた。

### 2. 実験装置および実験方法

実験には、長さ10m、幅60cm、深さ15cmの透明アクリル樹脂で作られた滑面開水路（水路勾配1/1000）が用いられた。図-1に示すように、この水路の上流端から約5.5m下流付近の水路中央において、横断面視による可視化実験を行った。トレーサーには、比重調整を行った蛍光染料水溶液（比重1.005）と微細粒子（平均粒径300 $\mu$ m、比重1.002～1.005）が使用された。スリット厚さは、2.0cmに設定され、上流側にのみ緑色のレーザースリットを挿入した。また、撮影には、SONY製のデジタルビデオカメラ（DCR-VX1000、総画素数41万画素 $\times$ 3）が用いられた。

実験条件は、水深 $H=7.5$ cm、レイノルズ数 $Re=4600$ 、摩擦速度 $u\tau=0.4$ cm/secである。

### 3. 実験結果

図-2にはDPTVにより得られた粒子と蛍光染料の横断面形象画像が示されている。図中の▲印は水路床を示し、撮影範囲は鉛直方向に4.3cm、横方向に6.6cmである。また、流れは画面の手前から奥方向へ流れており、白く光る点が微細粒子を示す。この画面より画面左側水路床付近にいくつかの壁縦渦の横断面形象が確認される。壁縦渦は、粘性底層に付根を持って、個々の渦が常に対で形成され、固有の3次元スケールと流れ方向傾斜角を持つヘアピン型の渦構造<sup>1)</sup>である。図中のS1は、壁縦渦の左の渦が特に強く発達し、さらに左側に揺動する形象が認められる。S2は、S1の左上部に形成され、その足の部分である付根が長く、水路床からかなり離れた位置まで発達した形象を示し、その右側の渦と、S1の渦によって下降流が形成されている。また、S2の足元には、S3の壁縦渦が形成されている。

図-3にはDPTVより得られた変動流速ベクトル図が示されている。この図は、1/30間隔の3枚の画像を積層化して得られた粒子の軌跡をもとに求められた。なお、図中には横断面画像の渦形象のトレース図が重ねられている。これより、S1の左側の時計回りの渦運動とS2の右側の時計回りの渦運動とそれらにより誘起されると考えられる下降流がほぼベクトル図と一致する。また、S2の付根に沿って、上昇流が形成されており、さらに、S3の渦運動とも一致する。これまで、壁縦渦により誘起される二次流れは、レーザー流速計による点計測との同時併用により局所的に対応することが明らかにされたが、これより流れ場全体で対応することが示された。

図-4には鉛直方向変動速度せん断分布図が示されており、渦形象のトレース図が重ねられている。内部せん断層の特徴を運動学的に調べることも、組織構造の研究上重要であることが、渦構造とともに指摘されており<sup>4)</sup>、渦度の構成要素としても、この特徴を考察することが重要である。図中の正で示される領域は右上がり、負で示される領域は右下がりのせん断を表わしている。この図より、正と負の高せん断領域は必ず対で存在し、垂直方向に縦長のせん断構造を形成させている。よって、 $z$ 方向に正負の対になっている高せん断領域が存在する場合、その境界領域で上昇流が形成されることを示している。S1の壁縦渦の左側の渦の上昇流が形成されている領域からその付根の領域までと、S2の付け根の上昇流の形成領域がそれに対応している。その間隔は、 $Z^+=100$ 程度であり、低速縞の平均間隔に等しいことは、注目すべき点である。また、S1とS2の間に形成される下降流の形成領域においても、その対応が顕著であ

る。

図-5 には横断方向変動速度せん断分布図が示されている。この分布図の特徴の1つとして注目すべきことは、前述した鉛直方向変動速度せん断 ( $dv/dz$  値) のせん断構造とは逆に、高せん断層が横方向に連なる構造を示していることである。また、この図からも  $dv/dz$  の場合と同様に、正と負の高せん断領域は必ず対で交互に存在していることが確認できる。壁面から正、負と対になっている高せん断層領域の境界部分では、右方向の流れを形成させる。逆に負、正の場合は、左方向の流れを形成させている。

S1の壁縦渦の左側の渦の下端に正負の境界が、またその上端に負正の境界が見事に対応し、その渦の二次流れの向きに一致している。S2においても、右側の渦の上端が、正負の境界に、S3の左側の渦の下端では、正負の境界にそれぞれ対応し、それらは、縦渦形象より誘起されると思われる二次流れの方向に一致する。

#### 参考文献

- 1) 大成 博文・佐賀 孝徳・斎藤 隆, 土木学会論文集, 363/II-4, 1985.
- 2) 佐賀 孝徳・大成 博文・渡辺 勝利・斎藤 隆, 土木学会論文集, 393/II-9, 1988.
- 3) SAGA, T., H. OHNARI, K. WATANABE, T. SAITOU, FLUCOME'94, 1994.
- 4) ROBINSON, S. K., Annu. Rev. Fluid Mech., 1991.

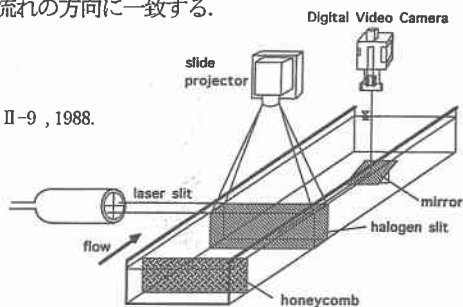


図-1 実験装置概略

2 cm/sec →

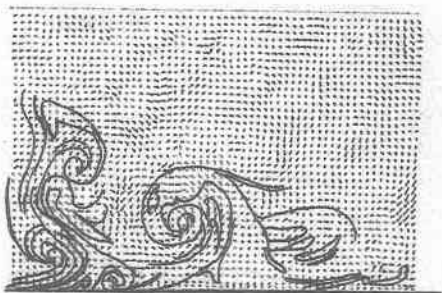


図-3 変動流速ベクトル図

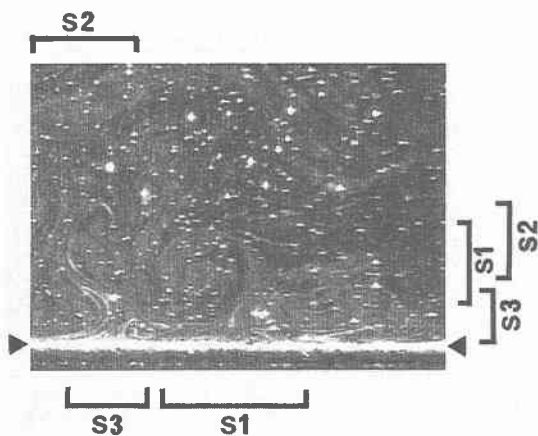


図-2 横断面形象画像

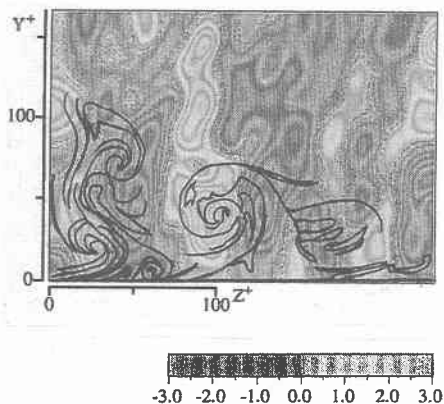


図-4 鉛直方向変動速度せん断分布

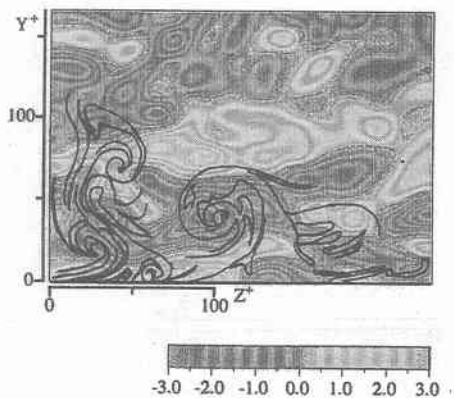


図-5 横断方向変動速度せん断分布