

立命館大学大学院 学生員 ○山根祐樹
 立命館大学理工学部 J.C.Wells
 立命館大学理工学部 正会員 江頭進治
 立命館大学理工学部 正会員 中川博次

1.はじめに 乱流構造すなわち渦構造の研究分野においては、現象が捉えにくく、複雑なため、その詳細な構造については統一的な見解を見出すに至っていない。本研究は、滑面開水路乱流を対象として、染料による可視化手法を用いて縦渦の存在自体を明らかにし、その縦渦の構造について検討する。

2.実験方法と実験条件 長さ 8m、幅 50cm、高さ 40cm の可変勾配循環式直線水路を用いて、図 1 に示すような蛍光染料による可視化実験を行った。トレーサーにはフルオレセイン(比重 1.005)を使用した。注入装置については、目的に応じて2種類作製した。一つは上流から 5.5m 付近の底面中央(2mm×2mm)のダイ・インジェクション・スリットから流出させるもの(トレーサーは、流下とともに流体運動自身によって次々と巻き上げられるのを推測して縦渦の構造を明瞭化するためのもの)(図 2 参照)。もう一つは一つ目の装置を変え、上流から 5.7m 付近で直径 1mm の細管を用いて、高さ 10mm の位置から流出させるもの(バースティング現象を明瞭化しその現象を捉えるためのもの)(図 3 参照)。ライトシートは、スライドプロジェクターを用いて作った。光源を薄くて均一な厚さ(3mm)2 枚のシートに変換し、大成らの実験装置とは異なる横断方向に上流底面から 60 度のライトシートを2カ所(間隔 10cm)照射した。ビデオカメラおよびカメラを側面に設置し、鏡を用いることによって横断及び縦断面の映像を同時撮影した。なお、その鏡の設置にはライトシートの面に対して垂直にあたり、その鏡からの距離でシート面に現れる形象にはほとんど影響しないことは十分に確かめている。なお、アクリルボックスを使用することで水面での屈折を防いでいる。case1～case3 では図 3 の方法を用い、case2 および case4 では図 2 の方法を用いた。実験条件を表 1 に示す。ここに、 Q は流量、 h は水深、 U_m は断面平均流速、 U_* は摩擦速度、 T は温度、 $Re=U_m h/\nu$ 、 $Re_* = U_* h/\nu$ であり、 U_* の算定のみ実験データが得られなかったことから理論から求めた。

3.縦渦の構造

(1)バースティングの発生サイクルと頂点高さ

図 4 に示すように、トレーサーが河床から最も離れた点をバースティングの頂点高さとし、一つ(A)が通過し次の頂点(B)が来る時間をバースティングの発生サイクルとして扱っている。表 2 は、バースティングの頂点高さで発生サイクルの平均値および凍結性を仮定して算定されるバースティング間の平均間隔を示したものである。従来から認められているように、本実験においても、バースティングの発生サイクルは、レイノルズ数が大きくなれば短くなっている。図 5 は、発生サイクルを ν

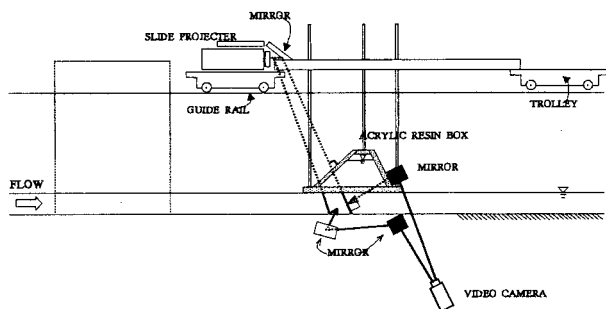


図 1 実験装置

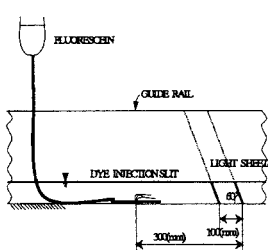


図 2 注入法①

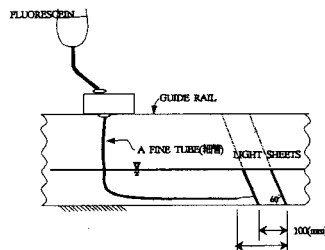


図 3 注入法②

表 1 実験条件

case	$Q(l/s)$	$h(cm)$	$U_m(cm/s)$	$U_*(cm/s)$	$T(^{\circ}C)$	Re	Re_*	注入法
1	2.42	10.0	4.84	0.30	9.1	3595	226	②
2	2.75	10.0	5.50	0.34	9.1	4085	252	①, ②
3	3.05	10.0	6.10	0.37	9.1	4530	276	②
4	2.33	10.0	4.66	0.28	15.0	4017	241	①

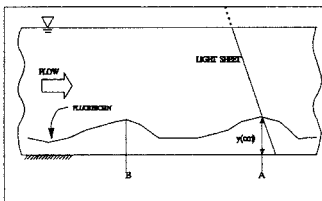


図 4 バースティングの概略図

表 2 Bursting の頂点高さ、発生サイクル、

case	頂点高さ (cm)	Bursting 間隔の平均値	
		サイクル (s)	間隔 (cm)
1	1.90	2.04	9.88
2	2.06	1.76	9.71
3	2.30	1.36	8.32

$/U^2$ で無次元化したものである。これによれば、発生サイクルは、ほぼ同じ分布形を示しており、これはバースティングの発生サイクルには規則性があることを示す。この結果は、バースティング自体に規則性あるいは秩序性があることを示唆している。また、バースティングの頂点の高さを解析した結果、表2、図6に示すように、ここでは平均流速 U_m が大きくなれば、頂点高さは大きくなっている。

(2)縦渦の傾き

実験において、縦渦は底面に対して垂直に発生してくるものではなく傾き(角度)を持って発生することが確認された。図7に縦渦の高さと傾きの関係を示す。図示のように縦渦の傾きは、縦渦の高さが大きくなると小さくなる傾向が見られる。この傾きに関係する要因としては、違うスケールの大きさを持つ縦渦同士が影響しあうものであると考えられる。また、この実験で見られた縦渦は左右非対称な形で存在するように印象を受けた。

なお、写真1のように縦渦が傾きを持つと同時に、その発生は離散的であり変形は連続的でないかと考えられる。そして、この写真1のパターンとして X および Y のような字の形象で変形していると推察される。統計的なデータが得られていないことから、はっきりとは述べられないが映像からはこのようなパターンが多く見られることは明らかである。

4.おわりに

本研究では、滑面開水路で縦渦の形式を明らかにし、その縦渦の構造について検討した。これについては、大成らの実験結果と似たような結果が出たようである。今後、滑面開水路の流れだけでなく粗面の流れについても縦渦の構造を詳細に検討していきたい。

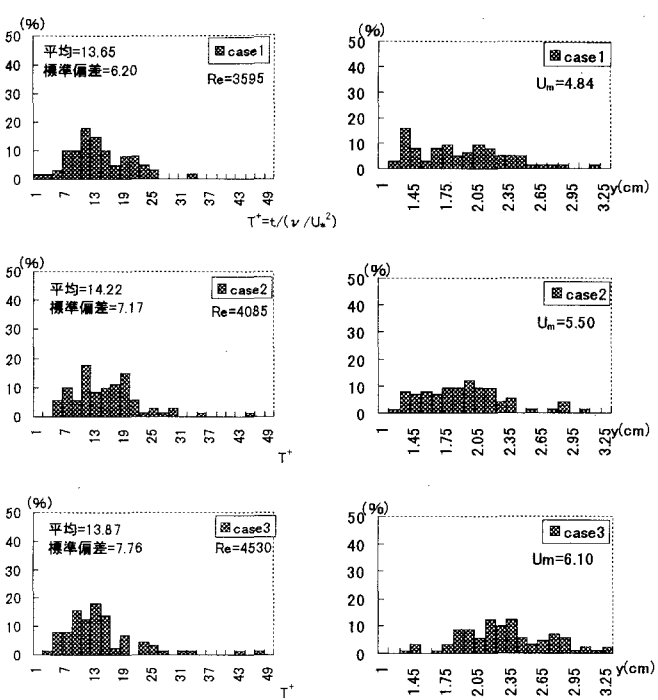


図5 Burstingの発生サイクルのヒストグラム

図6 Burstingの頂点高さのヒストグラム

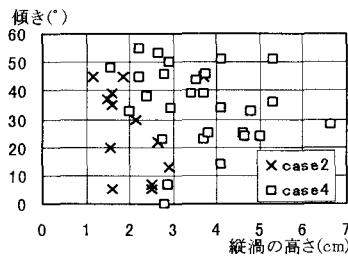


図7 縦渦の高さと傾き

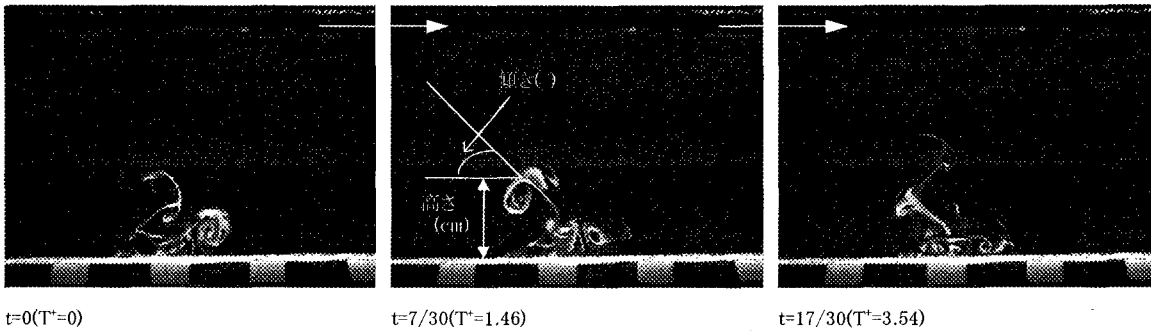


写真1

参考文献

1) 中川博次・瀬津家久・富永晃弘 :開水路流れにおける横断方向の渦構造と大規模乱流, 土木学会論文報告集, 第312号 pp.93~105, 1981, 2) 大成博文・佐賀孝徳・斉藤隆 :開水路乱流内層の縦渦構造, 土木学会論文集, 第363号 /II-4, pp.135~144, 1985