

徳山高専 正員 大成博文・佐賀孝徳・山本恭子 山口大学 斎藤 隆

1. はじめに

従来の乱流観は乱雑で不規則なものであるとされていたが、最近の乱流研究の大きな柱のひとつとして秩序構造 (coherent structure) を見出す課題が指摘されている¹⁾。本論は、秩序構造のなかでも最も重要な挙動のひとつとされ、しかも未解明点の多い内層内の縦渦 (streamwise vortex) を可視化し、その構造を検討したものである。内層内の秩序構造が縦渦的挙動を示すという指摘は、Kline²⁾、Kim³⁾、Blackwelder⁴⁾、Brookley⁵⁾などによってなされているが、いずれも渦の詳細な構造を考察するに至っていない。本研究に用いた手法は、レーザースリット法と称されるものであり⁶⁾、トレーサーに蛍光染料を用いて従来にない鮮明な縦渦構造が可視化された。

2. 実験方法

実験水路および装置の説明は文献¹⁾にあり省略する。レーザースリットは、Fig.1に示すように、2Wのアルゴンレーザービームをプリズムに通過させることによってつくられた。トレーサーにはフルオレセインナトリウム水溶液 (比重1.005) が用いられ、200cc程度が上流で一度にビーカーで注入された。トレーサーは流下とともに路床壁面に滞留し、流体運動自身によって巻きあげられ、スリット面を通過していった。撮影はトレーサー注入直後の影響がなくなるのを待って鏡を通して行われた。鏡の位置はスリット面に影響ないところまで下げられた。

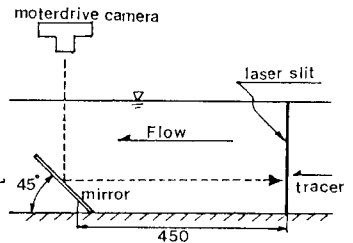


Fig.1 Laser slit flow visualization system

3. 縦渦構造

Fig.2 (a)~(d) はモータードライブカメラで連続的に縦渦を撮影した一例である。写真上端に水表面 (◇印)、下端には路床壁面 (◆印) が存在する。撮影が鏡の反射を通して行われたことから左右が反転するため、写真は上流の水の中より観察したとすればよい。流れ場の条件は、 $Re = 3660$ ($Re = U_{max}H/\nu$)、 $U_{max} = 5.53 \text{ cm/s}$ 、 $H = 6.62 \text{ cm}$ 、 $U_c = 0.29 \text{ cm/s}$ である。この場合 U_c はレーザー流速計で平均流速分布を計測し、対数則が成立つ勾配より逆算して求めた。また、水深 (外層スケール) と内層スケールの相互関係は $H = 191 \nu/U_c$ となる。従って、この流れ場では内層と外層の境界がほぼ半水深の位置に存在している。さて、ここでは内層内の縦渦の挙動を中心に考察する。Fig.2 (a)~(d) には多数の縦渦が可視化されている。それらの定性的な特徴を次に列挙する。

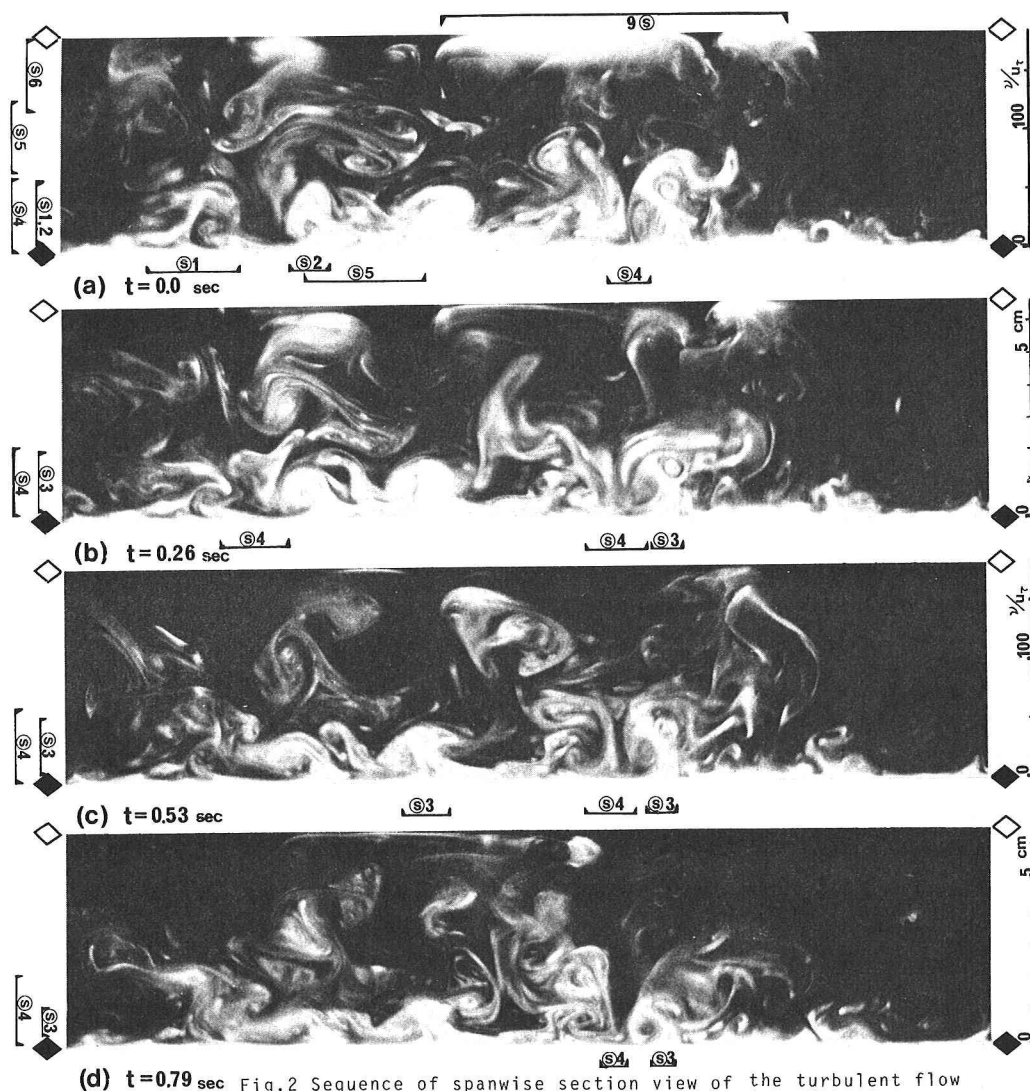
(1) 縦渦はほとんどの場合対で形成される。(①1, 2)

(2) 縦渦対となすそれぞれの渦の強さは常に異なる。そのことが縦渦対の不安定性を形成し、常に相対的に渦の強さか大きい方へと揺れる。

(3) 縦渦対の形成は壁面近く、とくにバッファ層 ($7.10 \leq y^+ \leq 30$) 内に常に多く見られる。壁近くの縦渦対は壁面に付着するかのようにはね直に形成されていて、渦対の根本では剥離を伴った上昇流が誘起されている。また、渦対の外側では渦によって下降流が誘起され、隣同士の渦によってその下降流がさらに強められている。(③3: 剥離を伴う上昇流を誘起する渦対, ③4: 渦の相互作用で誘起された下降流)

(4) 壁近くに発生した縦渦対は壁面から遠ざかるにつれて発達するが、単独の渦対がそのまゝ水表面近くまで達する現象は見あたらない。壁面近くから発達する渦管は流れ方向にほぼ一定の角度で傾斜して流下する。そのことは、画面の初めに常に背の高い縦渦対が現われ、だんだんと低くなって写ることから明らかである。

(5) 壁近くの縦渦対のスケールは小さく、外層内では相対的に大規模化する。しかし、水深規模の縦渦が単独で形成される場合は観察されなかった。(⑤5: 大規模渦対の典型)



(d) $t = 0.79$ sec Fig.2 Sequence of spanwise section view of the turbulent flow

◇: water surface, ◆: wall surface

Fig.2 (a)について、写真とネガの両方と比較しながら詳細なトレーサのトレースを行った一例がFig.3であり、そのうち縦渦のみを描いたのがFig.4である。この両トレースからも前述の縦渦の特徴のいくつかが一層明瞭である。

4. おわりに

レーザースリット法による横断面可視化によって内層内の縦渦の特徴を明らかにした。この方法で高速撮影を行い、可視化された渦を一枚毎に連ねてゆくと三次元構造が明らかとなる、そのデータは紙数の関係で省略した。外層内の大規模構造(Fig.2(d), Fig.3.4における⑥が代表例)についても今後考察を深めてゆく予定である。



Fig.3 Sketch of the figure 2(a)

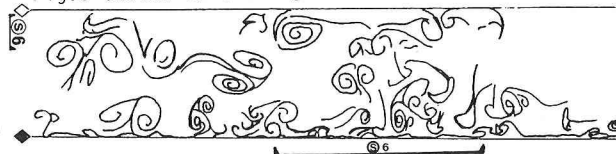


Fig.4 Sketch of the streamwise vortices

参考文献

- 1) 佐藤: 数理解析, 4(1980) 2) Kline: J.F.H., 30 (1967) 3) Kim: J.F.H., 50, (1971) 4) Blackwelder: J.F.H., 76 (1976) 5) Brodkey: J.F.H., 13 (1974) 6) 大成他: 流れの可視化, 3, 10 (1983) 7) 大成他: 水理講演会論文集, No.27 (1983)