

可視化法による乱れ発生機構に関する研究

京都大学工学部 正 員 中川博次
 京都大学工学部 正 員 祢津家久
 京都大学大学院 学生員 柳沢一正
 京都大学大学院 学生員 畠永晃宏

1. まえがき 乱れの発生機構に関する可視化的研究が近年進み、その結果低速渦の lift-up が乱れの発生に大きな役割を果たすことが明らかとなった。しかし lift-up の原因となる攪乱渦の挙動に関しては現在でも不明であり、本報はこの点を明らかにする手始めとして水素気泡法によって流下方向 x およびスパン方向 z の変動速度 u および w を定量的にとらえ、 u と w の相互関係を把握し、次に内部パラメータのみに依存すると言われている低速渦の間隔が外部パラメータで支配される縦縞等の大規模攪乱渦と何らかの関係をもつか否かを実験的に検討するものである。

2. 実験方法 実験水路は長さ 8.5 m、幅 29 cm の滑面開水路で水深は 6 cm とし、まず 1 mm 間隔に絶縁した白金線を水平に (z 方向) 張り、3~4 Hz のパルスを与え、21 列の水素気泡群を発生させ、連続撮影後、前報と同じ方法で解析して u, w を求めた。¹⁾ Re 数は 2700 で、白金線の高さは $y^* = 5, 10, 30, 50, 70$ の 5 通りに設置された。次に、縦縞を作る目的で、水路方向 (x 方向) に高さ 10 cm、幅 5 cm、厚さ 1 mm の流線形鉄板を設置して強制的に低速流を発生させ、 $y^* = 30$ での低速渦の間隔を測定した。 Re 数を 1500, 2800, 4500 の 3 通り、板間隔を $b/h = 4, 2, 1, 1/2, 1/3$ (b は板と板の間隔、 h は水深) の 5 通りそれぞれ変え、また白金線を縦縞発生板の下流端から下流 $\Delta x/h = 0, 1, 2$ の位置に設置し、それぞれの影響を検討した。

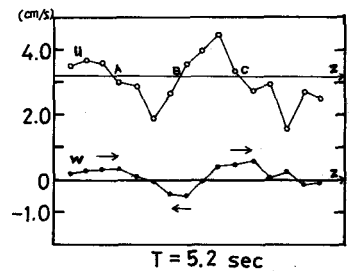


図-1 (u, w) の瞬間流速プロファイルの一列

3. 実験結果と考察 まず、 u, w を各コマごとにプロットし、その瞬間的挙動を検討した。図1はその一例であり、 u と w の位相が 90° 程度ずれる特性がかなり認められ、このことを明らかにする目的で、以下の条件付アンサンブル平均を行なった。すなわち、各瞬間コマごとに x 方向の変動値 u が零軸 $u=0$ をクロスしてから正になり、再びクロスするまでを高速部、負になる場合を低速部とする。例えば図1の A-B 間が低速部、B-C 間が高速部である。高速部および低速部の各間隔 ℓ を 10 等分し、この位置 z (ℓ の中央部を $z'=0$ とする) に相当する (u, w) を実測点の値から内挿で計算し、次にそれぞれアンサンブル平均を行なって高速部および低速部の平均的挙動 ($\bar{u}, \bar{w}$) を評価した。図2は $y^* = 10$ での結果であり、 $y^* = 5, 30$ でも同様の結果が

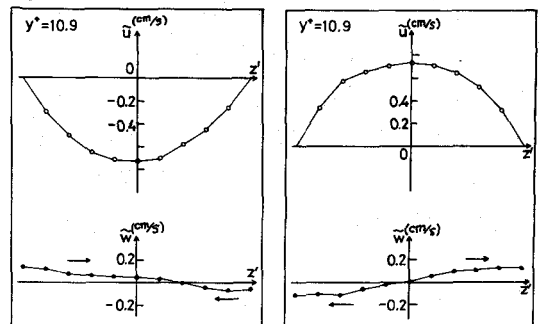


図-2 高速部および低速部のアンサンブル平均挙動 ($\bar{u}, \bar{w}$)

得られた。高速部と低速部での $\bar{u}$ はほぼ同程度の大きさであり、 $z'=0$ の位置で生じる最大平均歪み速度 $\bar{u}$ ($z'=0$) は平均流速の約20% に達し、Nachasらの観測結果とほぼ一致した。²⁾ 注目すべき点は、 $\bar{u}$ に対応する $\bar{v}$ の挙動であり、図2から明らかなように z 方向の流れ $\bar{v}$ は高速部では、 $z'=0$ から分離し、低速部では集中するような挙動を示している。このような特性は $y^+=5$ および $y^+=30$ の位置でも認められ、壁面の拘束条件を考えると、高速部には下降流 ($v < 0$)、低速部には上昇流 ($v > 0$) が存在するという従来の観測結果と矛盾せず、図3のような単純化された渦モデル (hair-pin 渦モデル) の妥当性が示唆される。しかし、 y^+ が 50, 70 と増加するに従って、図2で示された $\bar{u}$ と $\bar{v}$ との位相関係はより不明瞭となったが、これが図3の hair-pin 渦の頂部 (a-d) に対応する逆位相特性に遷移するものであるかは把握できなかった。 $y^+ \leq 30$ では bursting 現象が明瞭に出現するが、 y^+ が増加するとこの現象は弱まり、また前報の結果によれば、³⁾ 高速・低速縞の平均間隔 λ^+ も増加して自由水面で存在する縦縞間隔 $2R_* = 320$ に近づくから、 $y^+ > 30$ での hair-pin 渦の挙動はずっと複雑であると予想される。

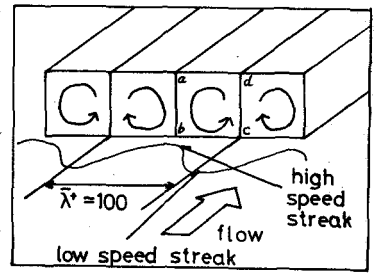


図-3 渦モデル

次に、上述のように $y^+ \leq 30$ で示唆された hair-pin 渦が外部パラメータで支配される縦縞や boil 現象と何らかの関連をもちかどうかを検討する目的で、水深規模の低速部を強制的に発生させて、bursting 現象 ($y^+ \approx 30$ の特性に対応させる) での高速・低速縞の間隔 λ^+ に及ぼす影響を調べた。攪乱板間の距離 b と水深 h との各組合せに対し、 $b^+ \equiv bU_* / \nu > 200$ では外部攪乱の λ^+ に及ぼす影響はほとんどなく、 λ^+ の平均はほぼ100で対数正規分布によく従うという前報の結果が再確認された。しかし $b^+ < 200$ では外部攪乱の影響が現われ、その1例を頻度分布として示したものが図4(a)(b)(c)である。攪乱後の直下 ($x/h = 0$) では当然 $\lambda = b$ に低速部が現われるが、流下距離 x の増加と共に、この低速部は bursting 本来の高速・低速縞に埋没され、bursting 運動の x 方向空間スケール $\lambda x = (2 \sim 3)$ 程度³⁾ 流下すれば、もはや上流の外部攪乱の影響はほとんど見られず (図4(c))、再び正規対数分布に良好に従った。 $b^+ < 100$ では bursting 運動自体が外部攪乱板に直接拘束されるから、その影響は大きかったが、やはり $x \gg \lambda x$ 程度流下すれば、その影響は消滅し、本実験に関する限り、高速・低速縞間隔の内部パラメータ依存性は非常に小さいものと考えられる。

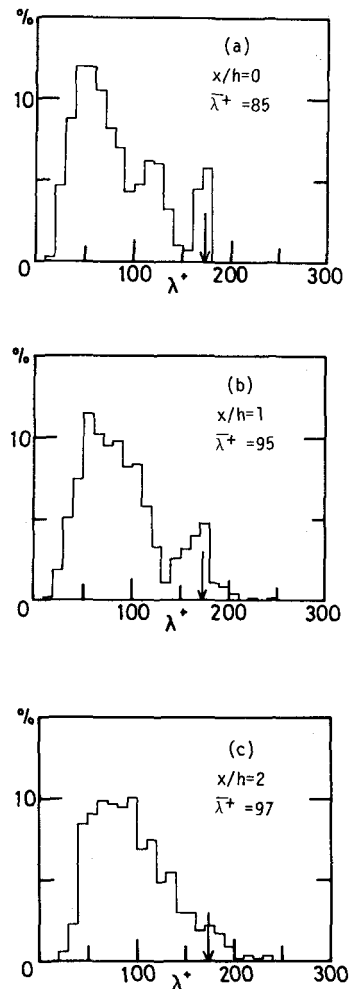


図-4 外部攪乱が λ^+ に及ぼす影響
($R_* \equiv U_* h / \nu = 170$)
($b/h = 1$)

- <参考文献> 1) 中川ら, 関西支部年講, 1976, II-31
2) Nachasら, JMF vol 61, 1973
3) 杉津ら, 年講, 1977, II-147