

II-233

段落下流部の乱流特性

広島大学工学部 正 ○川西 澄 K.Kawanisi

広島大学工学部 正 余越正一郎 S.Yokosi

1. はじめに 段落下流部の流れは複雑で著しい非定常性を示す。例えば、瞬間再付着位置は時間とともに大きく揺らぎ、再付着領域から間歇的に上昇流(Boil)が発生すること等が知られている。著しい非定常性を示す段落下流部の乱流構造を明らかにするためには、瞬間的な速度場を連続して測定する必要があるが、流速計を用いてそのような測定を行うことは今のところ不可能に近い。本研究は可視化と画像処理法を用いて段落下流部縦断面内の瞬間的な速度場を連続的に測定し、その非定常乱流特性を明らかにすることを目的として行ったものである。

2. 実験方法と画像処理¹⁾ 粒径約0.5mmのポリスチレン粒子をトレーサーとして段落下流部の水路中央縦断面を可視化し、瞬間的な速度場を連続して測定した。使用した水路は長さ30m、幅800mmの変勾配型水路で、測定部は側壁、水路床ともガラス製である。図-1に示すように、水路の整流板から15.2m下流に高さ(H_s)40mmの段落ちを設置し、厚さ約7mmのスリット光を水路中央部上下方向から照射した。座標系は段落ち部の水路床を原点とし、水路床に沿って流下方向を x 、流れに対して横断方向を y 、水路床に垂直上向きを z を正とした。測定断面は図-1に示す段落下流部の水路中央部における三つの縦断面である。

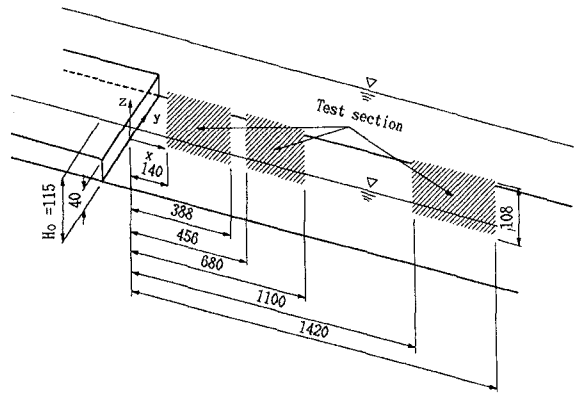


図-1 測定断面と座標系 (単位 mm)

ただし、これら三つの縦断面の撮影は同時ではない。ポリスチレン粒子の流跡はモータードライブ付きカメラ(露光時間31.4ms,撮影間隔317ms)で連続撮影し(37枚)、ASA3200まで増感現像した後、四号印画紙に焼き付けた。水理条件は流量25.0 l/s,水路勾配1/700,段落ち部における水深(H_0)と最大局所平均流速(U_0)はそれぞれ、115mmと400mm/sであり、段落ち部における流路拡大率 $H_0 / (H_0 - H_s)$ は1.54である。

流跡画像はイメージスキャナーで読み取り、流跡線を構成する画素の位置座標の集合に最小二乗法を適用して速度ベクトルを求め、8mm($H_s/5$)間隔の格子点における速度ベクトルを補間し、以下の数値処理を行った。

3. 結果 剝離泡には渦塊が放出されることによる非定常性のほかに、剝離泡全体にわたる大規模な非定常性が存在することが知られている²⁾。そこで、 $z/H_s = 0.1$ における主流方向流速の時空間コンターを示したものが図-2である。ただし、瞬間再付着位置の大規模変動をわかりやすくするため、平均時間0.634秒で時間方向に移動平均してある。なお、平均再付着距離(x_R/H_s)は約8, t は撮影開始からの経過時間である。太い実線で示したのが再付着位置で破線が負、実線が正の等値線を表している。図-2から、長周期の大規模な剝離泡の伸縮が起きていることがわかる。また、剝離泡が伸びる速度に比較して縮む速度が大きいことがわかる。

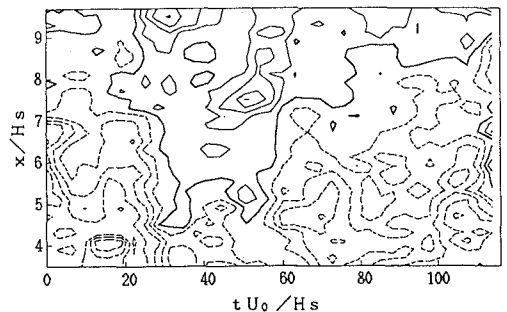


図-2 水路床近傍主流方向流速の時空間分布

前報³⁾ ($H_0 = 213\text{mm}$, $x_R/H_s = 6$)にくらべて水深が小さく、従って流路拡大率が大きいので、前報の結果よりも平均再付着距が長くなっており、大規模変動の変動幅も大きく、周期も長い。

このような剥離泡の大規模な伸縮は段落下流部の流れに大きな影響を与えていると考えられる。図-3は瞬間レイノルズ応力鉛直分布の経時変化を示したものである。ただし、図-2と同様、平均時間長0.634秒で移動平均してある。図-3の最上図は平均再付着位置におけるものであるが、図-2とくらべるとわかるように、剥離泡が縮む際に大きなレイノルズ応力が発生しており、剥離泡が伸びつつある時には大きなレイノルズ応力は見られないことがわかる。なお、剥離泡が縮んでいる時、水路床近傍にレイノルズ応力のピークがみられるが、これは水路床に向かう高速下降流によるものである。図-3の下側の二つの図は、より下流におけるレイノルズ応力分布であるが、平均再付着位置におけるものと同様、大きなレイノルズ応力が間欠的に発生しており、発生周期は剥離泡の大規模な伸縮周期と同程度である。

図-4は下流側の二つの縦断面における移動平均後の流れ関数 $\psi/(U_0 \cdot H_s)$ の等値線(流線)を示したものである。ただし、等値線の間隔は0.1である。図-3のレイノルズ応力と同様、流線分布も剥離泡の伸縮にともないゆっくり変動する。上側の図がレイノルズ応力が大きい時、下側の図が小さい時の流線分布である。流線の間隔はレイノルズ応力が小さい時間より大きい時の方が広く、低速になっていることがわかる。

参考文献

- 1) 川西・余越
水工学論文集,
34巻, 1990.
- 2) 有江・木谷
流体力学の進歩
境界層, 丸善,
pp.139-195,
1984.
- 3) 川西・余越
44回年講, 1989.

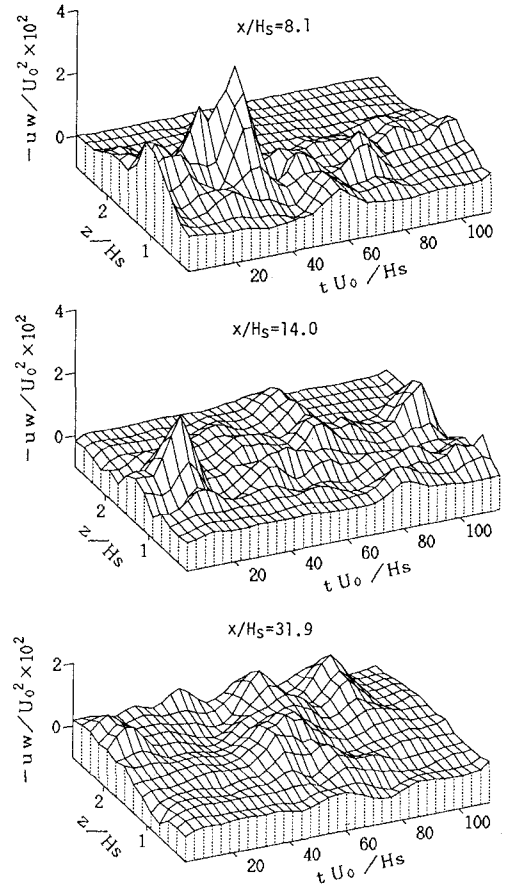


図-3 レイノルズ応力鉛直分布の経時変化

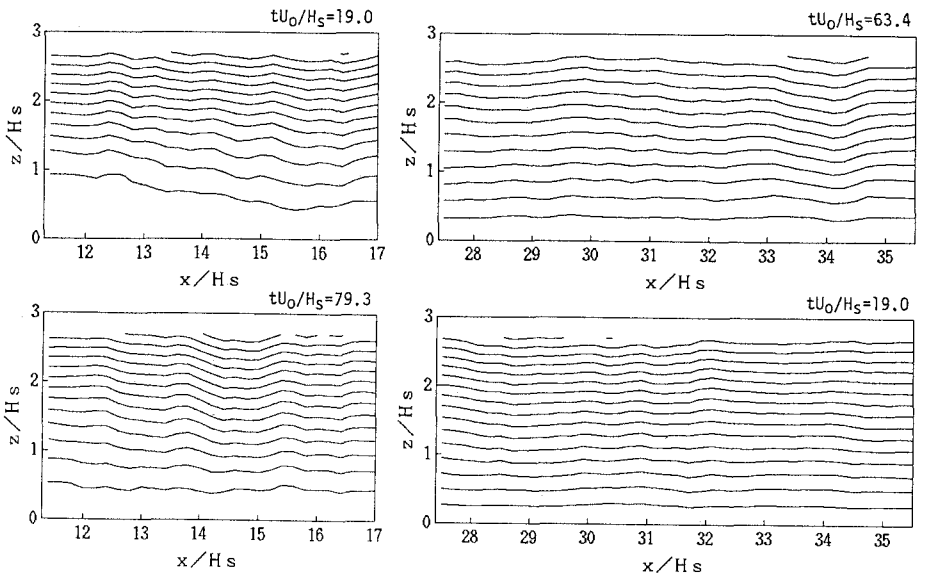


図-4 再付着領域下流部の流線分布