

河床波上流れの非定常構造

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

河床波上の流れは一般に剝離、再付着をともない、その構造はかなり複雑で著しい非定常性を示す。例えば、瞬間再付着点の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。しかしながら、従来行なわれてきた実験的研究は点計測がほとんどであるため、剝離泡内部や再付着後の非平衡乱流境界層の構造は未だ明らかにされていない。本研究は可視化と画像処理法を用いて縦断面内の瞬間的な速度場を連続的に測定し、砂堆モデル上流れの非定常構造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

砂堆モデル上の瞬間的な速度場を測定するために、ポリスチレン粒子(粒径約0.5mm)をトレーサーとして水路中央部の縦断面を可視化した。使用した水路は長さ30m、幅800mmの可変勾配型水路で、測定部は側壁、水路床ともガラス製である。水路の整流板から15.2m下流に波長800mm、波高(H_c)40mmの亚克力製の砂堆モデルを3つ設置し、厚さ約7mmのスリット光を水路の上下方向から照射した。座標系は上流から2つめのクレスト部の水路床を原点とし、流下方向(x)、鉛直上向き(y)を正とした。解析の対象とした可視化範囲は $x=0\sim 350$ mmであるが、スリット光の幅の制限から $x=0\sim 200$ mmと $x=150\sim 350$ mmの2断面に分けてそれぞれ36枚ずつ連続撮影した。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62.6ms、撮影間隔345ms)で連続撮影し、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31.5ℓ/s、水路勾配1/640、クレスト部における水深と最大平均流速(U_{max})はそれぞれ、140mmと370mm/sである。

流跡画像(縮尺0.6)を分解能 200×200 PELのイメージスキャナーで読み取り、画像の平滑化を目的とした膨張、収縮処理を行った後、流跡画素にラベル付けし、雑音と思われる微小連結成分を除去した。以上の前処理を施した後、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流跡線の傾きを求めた。流跡線の長さは流跡線の面積を平均幅で除して求め、これから平均幅分の長さを差し引いて速度ベクトルの長さとした¹⁾。速度ベクトルの方向は、主流方向流速を正と仮定して求めた速度ベクトルを、CRT(画素数 1024×768)上に表示して、流跡写真を見ながら対話処理によって決定した。こうして求めたランダムな位置における速度ベクトルから、8mm($H_c/5$)間隔の格子点における速度ベクトルを補間により求め、以下の数値処理を行った。なお、補間範囲は $x/H_c=0\sim 4.4$ 、 $y/H_c=0.1\sim 3.3$ と $x/H_c=3.6\sim 8.6$ 、 $y/H_c=0.1\sim 3.3$ である。

3. 結果

図1に剝離泡内部における格子点速度ベクトルの例を示す。左側の図($t U_{max}/H_c=1.38$)が瞬間再付着距離が短い場合、右側の図($t U_{max}/H_c=6.90$)が長い場合の例である。剝離泡内部にみられる渦巻き構造の循環は瞬間再付着距離が短い場合の方が強く、剝離剪断層への連行量も大きいことが想像される。また、瞬間再付着距離が長くなると剝離泡内部には弱いながら複数の渦構造がみられる。なお、36枚の連続写真から求めた平均再付着距離は $x_R/H_c=5.5$ 程度である。

図2は再付着領域における格子点速度ベクトルの一例である。平均再付着点付近から水深全体にわたって強い上昇流がみられ、いわゆるBoilが発生しているのがわかる。このような水深全体にわたる上昇流の平均発生周期は U_{max} と波高(H_c)で無次元化した場合、約27.5である。 U_{max} と水深で無次元化すると、約7.8となり、Jackson²⁾がまとめている河川におけるBoilの平均発生周期にはほぼ等しい。

剝離泡の大規模な伸縮特性をみるために、砂堆表面近傍の主流方向流速の時空間分布を時間方向に移動平

均(平均長1.38秒)したものを図3に示す。太い実線で示したのが瞬間再付着位置である。図3から剝離泡が伸びる速度に比較して縮む速度が大きい傾向のあることがわかる。図3の上部に矢印で示した区間は再付着領域でBoilが観測された時間であるが、剝離泡の大規模な伸縮との間にはっきりした相関は見られない。図4は瞬間再付着距離の変動のスペクトルをMEM法で求めた結果を示したものである。

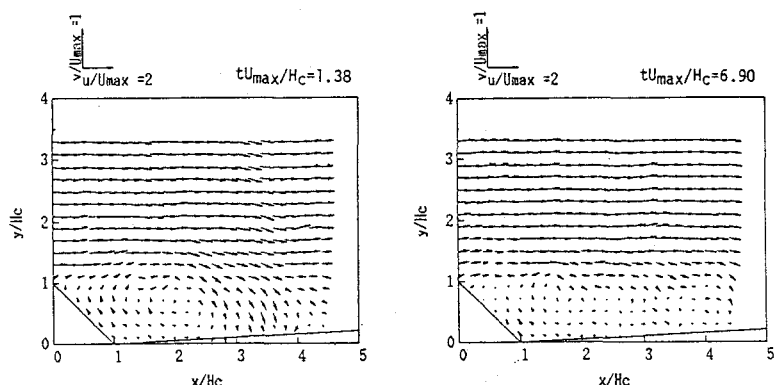


図1 剝離泡内部の格子点速度ベクトル

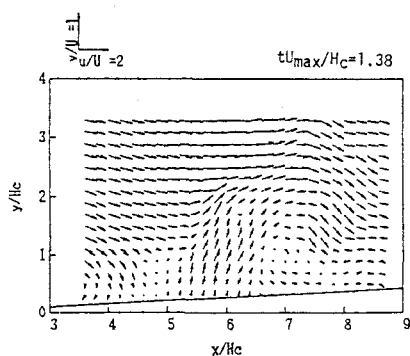


図2 再付着領域の格子点速度ベクトル

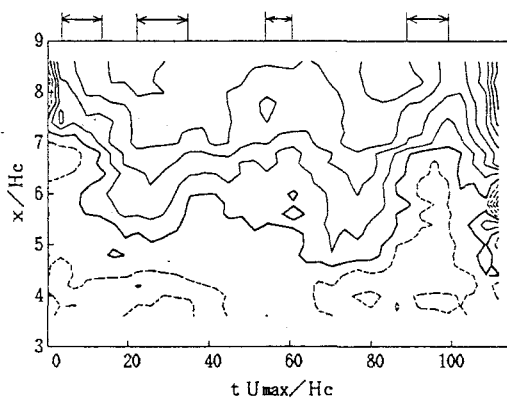


図3 壁面近傍主流方向流速の時空間分布

ただし、剝離泡から流出した大規模渦の下方では主流方向流速が小さく、しばしば逆流となるため、瞬間再付着点は複数存在する場合がある。そこで砂堆表面近傍の主流方向流速を x 方向に移動平均することによって得られる再付着点距離を瞬間再付着点距離とみなしている。スペクトルには $fH_c/U_{\max}=0.02$ ($f x_R/U_{\max}=0.11$) と $fH_c/U_{\max}=0.083$ ($f x_R/U_{\max}=0.46$) 付近に2つのピークが認められるが、これら2つのピークはそれぞれ、大規模な剝離泡の伸縮と剝離泡から流出する大きな渦塊の放出周波数に対応しているものと考えられる。これらのピーク周波数は、厚板前縁の剝離泡において得られている値 ($f x_R/U_{\max}=0.2$ と $f x_R/U_{\max}=0.6$ 程度)³⁾ よりやや小さい。

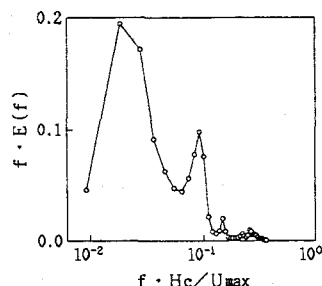


図4 瞬間再付着距離の変動スペクトル

参 考 文 献

- 1) 近江：流れの可視化, Vol.6, No.20, 1986.
- 2) Jackson, R.G.: J. Fluid Mech., Vol.77, 1976.
- 3) 有江・木谷：流体力学の進歩 境界層 (剝離流れ), 丸善, pp.139-195, 1984.