

II-173

段落ち流れの非定常特性

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

再付着をともなう剝離流の典型例である段落ち流れの構造は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領域の非定常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段落ち下流部の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ち下流部の水路中央縦断面を可視化し、瞬間的な速度場を測定した。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下流に波高(H_s)40mmの段落ちを設置し、厚さ約7mmのスリット光を水路の上下方向から照射した。座標系は段落ち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 $x=110\sim340$ mmである。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348ms)で連続撮影し(36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47.0 l/s, 水路勾配1/640, 段落ちから700mm上流における水深と最大平均流速(U_0)はそれぞれ、173mmと320mm/sである。

流跡画像(縮尺0.6)は分解能200×200PELの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た¹⁾。

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($H_s/5$)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 $x/H_s=3.4\sim8.0$, $y/H_s=0.1\sim4.1$ である。

3. 結果

図1に格子点速度ベクトルと瞬間動圧力の空間分布の一例を示す。ただし、瞬間動圧力は格子領域の中央点を0とした相対的な分布で、非定常二次元ナビエ・ストークス方程式に格子点速度を代入して求めたものである。離散渦法を用いた厚板前縁剝離流の計算結果²⁾からも予想されているように、壁面近傍の瞬間動圧力変動波形は剝離泡から流出する大きな渦構造に対応しており、渦構造の下で瞬間動圧力は低く、渦と渦の間で高くなっていることがわかる。このように、再付着領域の壁面圧力変動を発生させる一つの原因として、剝離泡から流出する渦塊が考えられる。

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³⁾。そこで、 $y/H_s=0.1$ における主流方向流速の時空間分布¹⁾を時間方向に移動平均して、瞬間再付着点位置の大規模

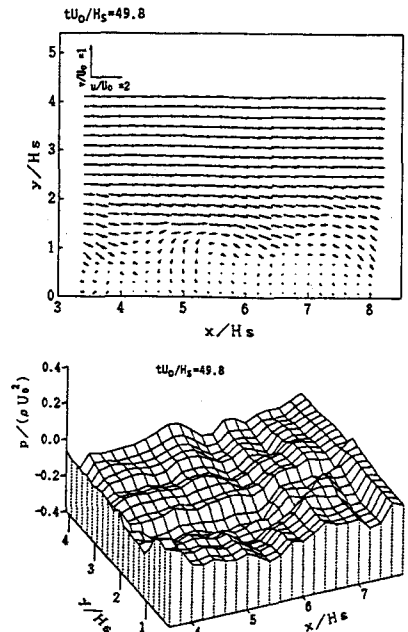


図1 格子点速度ベクトルと瞬間動圧力分布

変動を示したものが図2の上の図である。太い実線で示したのが瞬間再付着点位置で、移動平均の平均時間は1.38秒(Case A)と0.69秒(Case B)である。Case Bは段落ち上流にロッドを設置して主流乱れを導入したものであるが、ロッドを設置していないCase Aにくらべ段落ち高さ程度、平均再付着点位置は上流に移動している¹⁾。また、Case BはCase Aにくらべて瞬間再付着点距離の変動周期が短く、変動の振幅も小さくなっている。図2から、両ケースとも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。ここには示さないが、瞬間再付着点距離の変動スペクトルを求めたところ、ピーク周波数は $f H_s / U_0 = 0.021$ (Case A), 0.042 (Case B)であった(平均再付着点距離で無次元化するとそれぞれ $f x_R / U_0 = 0.13$ と 0.21)。(ただし、瞬間再付着点位置は複数存在する場合があるので、 x 方向に移動平均して得られる再付着点位置を瞬間再付着点位置と見做した。) 図の上部に — で示した区間は、正の鉛直方向乱れ速度領域が水深全体にわたって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2の下側の図は渦度 $-\omega = \partial U / \partial y - \partial V / \partial x$ の空間分布におけるピーク値の経時変化を示したものである。Case Aをみると、剝離泡が伸びつつある時に渦度は大きく、縮みつつある時渦度が小さくなっているのがわかる(Case Bではあまりはっきりしない)。渦度のピークが剝離剪断層中に存在することを考えると、剝離剪断層の強さが何らかの原因で変化することにより、剝離泡の大規模変動が発生すると考えられる。剝離剪断層の渦度が強くなることにより、剝離泡から放出される渦塊の循環も強くなり逆流域が拡大する。

図3は壁面近く($y/H_s=0.1$)における瞬間動圧力の x 方向変動の分散の経時変化を示したものである。図2と比較するとわかるように、剝離泡が縮んでいる時に壁面近くの瞬間動圧力の変動は最も大きく、剝離泡が伸びている時は小さい。このように、動圧力変動が最大となる時間は渦度のピーク値が最大になる時間とは一致しない。これは壁面動圧力変動にとって、剝離剪断層の渦度の強弱より、剝離剪断層が壁面に近づく影響の方が大きいためと考えられる。

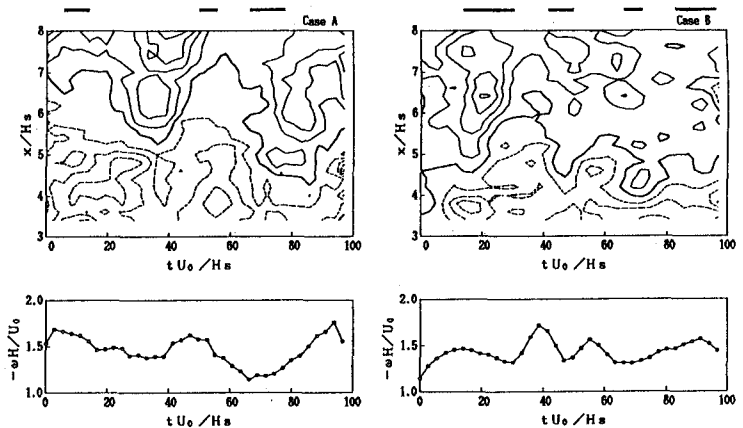


図2 壁面近傍主流方向流速の時空間分布と
渦度ピーク値の経時変化

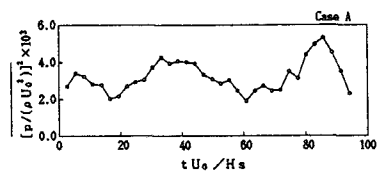


図3 壁面近傍動圧力変動の
分散の経時変化

参 考 文 献

- 1) 川西・余越：段落ち流れの組織構造，第33回水理講演会論文集，1989.
- 2) 有江・木谷・佐々木：うず点モデルによる剝離泡のシミュレーション，日本機械学会論文集，49巻441号，1983.
- 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.