

複断面開水路流れにおける斜昇流の特性について

京都大学防災研究所	正 員	今 本 博 健
京都大学防災研究所	正 員	石 垣 泰 輔
京 都 大 学 大 学 院	学 生 員	武 藤 裕 則
京 都 大 学 大 学 院	学 生 員	○ 福 本 幸 成

1. はじめに：複断面開水路流れでは、低水路内流れと高水敷上流れとの相互干渉により、流れの抵抗および高水敷の堆砂機構などに未解明な点が残されている。速度計測法および流れの可視化法を用いた従来の研究によれば、低水路内流れと高水敷上流れとの境界部に間欠的に発生する斜昇流（高水敷先端より低水路側水表面に向かって斜めに上昇する2次的な流れ）が、境界部の流れの3次元構造に支配的な素現象であることがわかっている。斜昇流は、長方形断面開水路流れの2次流よりも強いものであり、流速計を用いた点計測により得られる平均速度分布からも存在が確認されるが、発生の間欠性および流れの3次元性を特徴としているため、瞬間速度場の情報が得られる流れの可視化結果に、その特徴が顕著に表われる。本研究では、横断面内2次流直接可視化法を用いて斜昇流を横断面内において直接捉え、その特性を検討した。

2. 可視化法及びその解析法：斜昇流の3次元構造とその発生の周期を検討するために、横断面内2次流直接可視化法として中立粒子トレーサ法と水素気泡法を用いた。ここでは、水路下流端に設置した観測窓を通して、スリット状の光により照明された横断面内における中立粒子と水素気泡の挙動を、35mmスチルカメラおよびビデオカメラにより撮影する方法を用いた。なおビデオ画像の解析には、図-1に示されるような処理システムを用いた。すなわち、コマ送りが可能なビデオテーブルコーダの画像出力を、ビデオ画像処理プロセッサを介してパーソナルコンピュータのディスプレイ上に表示させ、グラフィック画面上のマウス機能を用いて座標の読み取りを行う方法である。

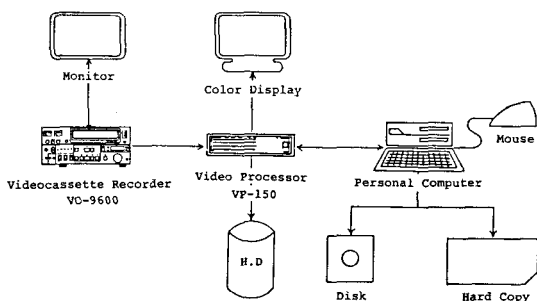


図-1 ビデオ画像処理システム

(1) 中立粒子トレーサ法：斜昇流の3次元構造を検討するために、スチルカメラを用いた撮影ではスリット光源を断面平均流速に等しい速度で移動させ、ビデオ撮影では光源を固定し、スリット光幅を低水路水深の約15倍として撮影した。図-2は横断面流況可視化写真とそのトレース結果であり、各トレーサのパスラインは、短一長一ブランクという単位から構成され、短一長に向かう方向がトレーサの移動方向を表わしている。これらの写真により複断面開水路流れにおいて斜昇流を横断面内で直接可視化し、その存在を確認した。また、従来の研究¹⁾から、高水敷先端



図-2 中立粒子トレーサ法による横断面流況可視化写真

の低・高水路境界面の両側に、斜昇流によって誘起される2次流セルと呼ばれる縦渦の存在が指摘されており、本研究では上記のビデオ画像処理システムを用いて、2次流セルの挙動について検討している。

(2) 水素気泡法：斜昇流の発生周期および、低・高水路境界部の流れの3次元構造を検討するために、固定断面内の流況の時間的な変動を水素気泡法によって撮影した。白金線は、斜昇流が誘起する2次流セルおよび横断方向の水の出入りを捉えやすくするために、水路床に沿って2cm 間隔で鉛直方向に設置した。可視化結果を観察すると、境界面の水素気泡のタイムラインが図-3のように4つのパターンで分類できることが確認できた。そこで、これら4つのパターンが表わしている境界部の流れが、時間的にどのように変化していくのかを調べるために、上記のビデオ画像処理システムを用いて解析した。そして更に、図-4のように4つのパターンの時間変化を示し、斜昇流の発生周期及び境界部流れの3次元構造について考察している。

3. 主要な結論：主な結論を以下に列举する。

1) 図-2に示すように高水敷先端より水面に向かって斜昇流が横断面内で直接可視化、確認された。
 2) 斜昇流により誘起される2次流セルの存在が、中立粒子のビデオ画像解析によって確認された。
 3) 図-4より、斜昇流の発生周期は約1秒強であって、これは境界部付近の流速と高水敷水深によって規定される時間スケールの約4倍であり、斜昇流が水面に到達してできる表面渦の間隔より推定された2～4倍²⁾に近い結果が得られた。
 4) 境界部の流れの3次元構造は、いくつかの流れのパターンの周期的な変動であることが水素気泡法のタイムラインの時系列変化(図-4)より確認される。すなわち、高水敷上の流体が低水路流れへ連行されるに伴って斜昇流(Dパターン)が発生し、流体の低水路内への移動が促進される。次にその反作用として高水敷へ乗上げる流れ(Bパターン)が発生し、その流れは高水敷上へ幅方向に大きなスケールを持つ渦を形成して、高水敷から低水路への流れ(Aパターン)形成する。このようなD→B→Aなる流れの変化が境界部の流れの3次元構造に大きな影響を与えている。

参考文献：1) 今本ら：33回水講, p. 517-522. 2) 今本ら：京大防災研年報第28号B-2, p. 487-498.

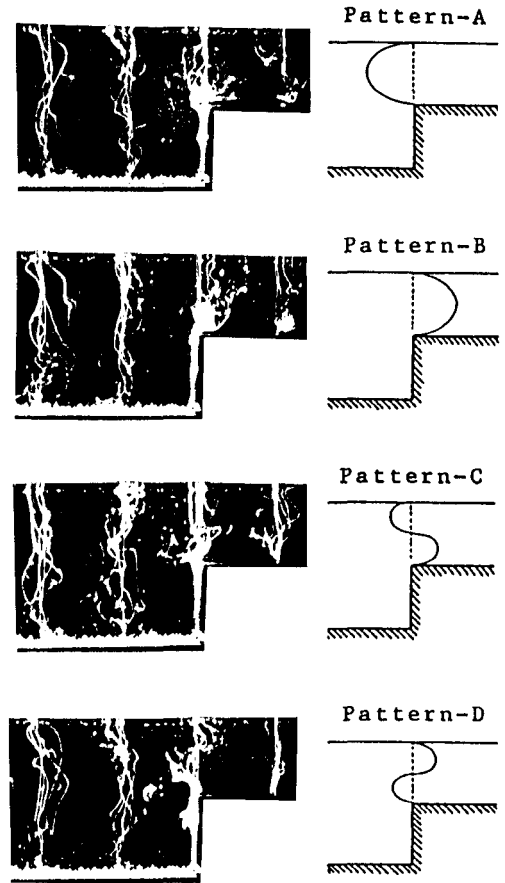


図-3 水素気泡による境界部の可視化例

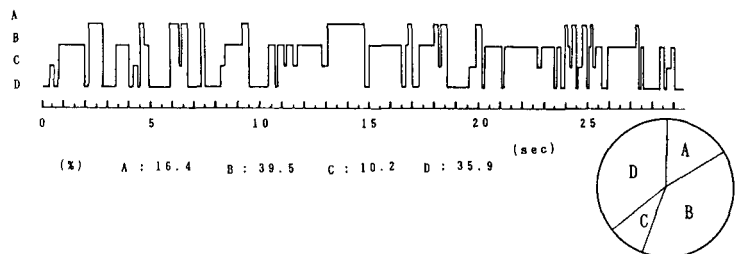


図-4 境界部における流れのパターンの時間変化