

台形断面開水路流れにおける二次流の可視化

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
 新日本技術コンサルタント 正員 ○西田 雅

1.はじめに：開水路の乱流状態の流れでは、一様水路においても二次流が存在し、流速分布や壁面せん断力分布に大きく影響していることが多くの研究者により指摘されている。このような二次流は、その不安定さから、流速の点計測では捉えにくく、主流速や二次流速の分布形状から平均的な性格が推察されているに過ぎない。しかし著者は、平均流速分布に現われる二次流は、時間的、空間的な変動により本来の特性が失われており、実際の流体の挙動を捕らえるためには、可視化法を用い、面的な流速の計測を行なうことがもっとも有効であると考え。従来行なわれていた横断面内の流況の可視化法は、反射鏡等を流体内に挿入する方法によっており、これらが流れに対し及ぼす影響は全く無視できるものではなく、また、得られる画像も鮮明度の点で満足が行くものではなかった。本研究は、側壁が法勾配を持つ台形断面開水路を対象とし、これらの問題点を解消した手法により横断面の可視化を行ない、二次流と、それによって形成される二次流セルについて検討を行ったものである。以下に、その方法および結果について述べる。

2.実験装置および方法：本研究に用いた水路は、長さ13m、幅39cmの壁面アクリル製直線水路（図-1）であり、水路内に塩化ビニル製の側壁を敷設することにより、片側側壁が法勾配を持つ台形断面を得ている。

この水路の下流端を、図-2に示すようにガラス製の観察窓で閉じ、流水は側方に排出させることにより、下流側から流水内を通して上流の照明された横断面を観察できるようにした。照明はハロゲンランプによる厚み2cmのスリット光、トレーサには粒径0.45mm比重1.05のポリスチレン粒子を用いた。実験は、光源を台

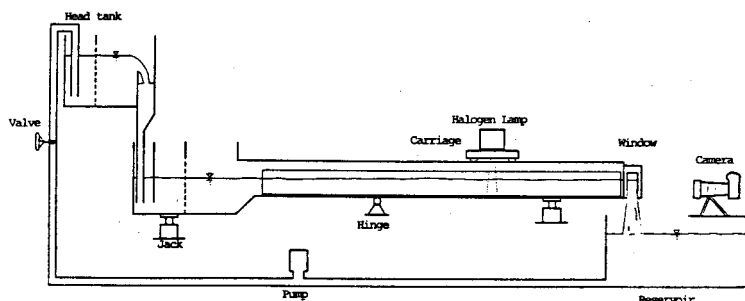


図-1 実験水路および装置

車に載せて、断面平均流速と等速度で流下方向に移動させ、照射断面が下流端から約2.5mの位置に来た時にスチルカメラで撮影をするという方法で行なった。また、カメラ前方に回転板シャッターを設置し、露光時間を細かく分割することにより、写真内のトレーサのパスラインの移動方向とおおよその速度が判別できるようにしている。水理条件は、路床勾配 $I_b=1/800$ において、水深 $H=4\text{cm}$ 、断面平均流速 $U_m=10\text{cm}$ で共通とし、側壁法勾配を鉛直から4割まで6段階に変え設定した。撮影条件は $F=8$ 、 $T=2\text{sec}$ で、ASA400フィルムを用いている。

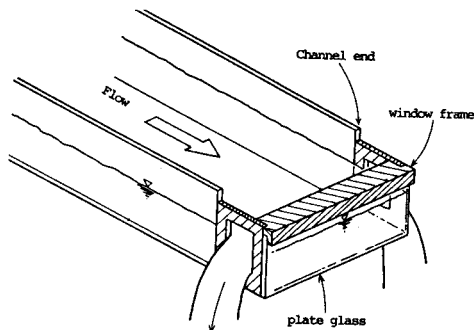


図-2 可視化用観察窓

Hirotake IMAMOTO, Taisuke ISHIGAKI, Masaru NISHIDA

3. 実験結果および考察：得られた写真およびそのトレース図の一例を、写真-1、図-3に示す。

これは側壁法勾配が1割のケースのものであり、流下方向に水深の5倍の距離を追跡しながらとらえた流体の挙動を表わしている。これらについて若干の説明を加える。隅角部では法尻上方の反時計回りのセルが顕著に見られる。これはその一部がコーナ方向に向かっていることから、コーナに向かった流れが壁面近傍で側壁沿いに向きを変え円形のセルをなしたと考えられる。またその水際側に時計回りの小型のセルが見られるが、これは先のセルから派生したものである。法尻から水深程度離れた路床付近に半水深規模の時計回りのセルが見られ、これもコーナに向かった流れと接していることから、その流れにより形成されたと考えられる。また $z/H=-2$ 付近に強い上昇流が見られ、その両側にもセルが発生しているのが分かる。このように二次流は渦的な運動いわゆる二次流セルとして現われるものが多い。そこで30枚の写真から、

現われた二次流セルの外縁をなぞる円を求め、これらを重ね描いたものが図-4である。ここで実線の円は時計回り、破線の円は反時計回りの運動を示している。ここに現れている二次流セルの特徴を述べると以下のようである。側壁近傍に現われるセルは、側壁と路床のなす角の二等分線によって分けられる。この二等分線から側壁側には反時計回り、路床側には路床に接する時計回りのセルが多く見られる。これは隅角部での二次流が、コーナに向かう流れに大きく支配されていることを表わすものである。すなわちコーナに向かった二次流は壁面近くで向きを変え、側壁沿いに上昇して反時計回りのセルとなるか、あるいは路床沿いに回り込み時計回りのセルとなる。これらのセルは閉じた運動ではなく、分岐して他の渦を生成したり、あるいは近接のセルと接して、より安定な対をなす。水路中央部では水深規模のセルが多く発生するが、側壁に近いものほどこれらの隅角部でのセルの影響を受け、発生位置、回転方向が安定化すると考えられる。

以上のような検討の結果から、台形断面開水路流れの側壁近傍の二次流セル構造は図-5に示されるようなモデルにより代表的に表わされたと考える。隅角部においてはコーナに向かう流れと側壁の存在がセルの発生に関して支配的な影響を及ぼすことにより、比較的安定なセルの配列が見られ、またこれらのセルはそのまわりの流況に影響して、別のセルを発生したり、セルの安定化に貢献していることが分かった。

4. おわりに：本研究は開水路流れの二次流を直接可視化することにより、側壁近傍の二次流セルの存在やその配列を明らかにした。これらの結果は著者が他の実験手法により推測した結果¹⁾と一致するものであり、またその指摘の妥当性を裏付けるものとなっている。

〈参考文献〉1) 今本、石垣、西田：関西支部年講演演概要集，Ⅱ-13，1987。

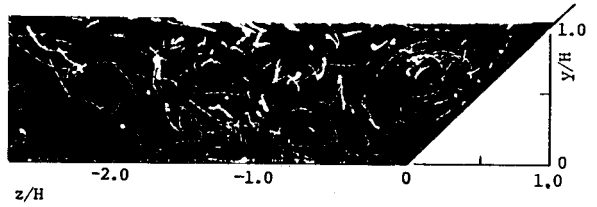


写真-1 横断面内の流況

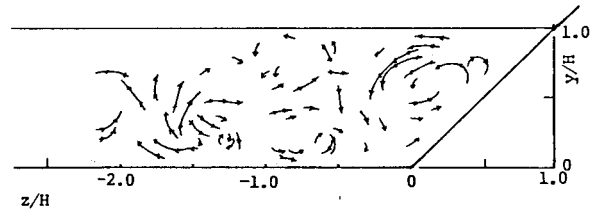


図-3 写真のトレース図

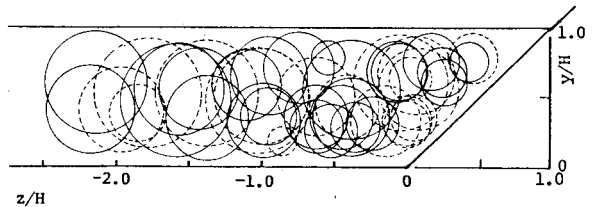


図-4 観察された二次流セル

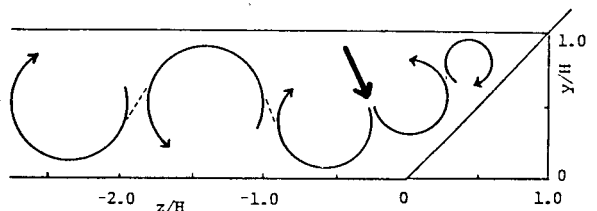


図-5 二次流セルの配列モデル