

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
京都大学防災研究所	正 員	武藤 裕則
京都大学工学部	学生員	○竹尾 然生

乱流状態における開水路流れは3次元の挙動を示し、縦渦などの組織構造の存在が知られているが、水理学的特性を理解するためにはその構造についてさらに詳しく知る必要がある。本報告は、長方形断面開水路の側岸近傍流れを対象にした水素気泡法による可視化実験結果をもとに、頻繁に起こると思われる組織構造の一つをモデル化して説明したものである。

1 実験の概要

3次元の組織構造を瞬間速度場で捉えることを目的とし、下流端より3mの所で形成させた水素気泡のタイムラインを、水路の下流端と右岸側から、スチルカメラとVTRにより連続撮影した。白金線は図-1に示すように垂直に張った。特に側方からの可視化では、2台のスチルカメラを用いたシンクロ撮影の結果を実体視し、流れの3次元構造を捉えることとした。

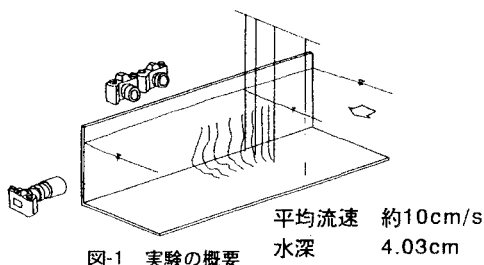


図-1 実験の概要

以下に実験方法及び得られた結果の概略を示す。

横断面流況可視化法：横断方向の流動を捉え水深スケールの挙動を検討するために、水素気泡法によって形成されるタイムラインを、下流端に設置したガラス製観測窓を兼ねた水位調節用の堰を通して撮影した。この撮影結果からは、横断方向の流れとそれにより形成される渦が観察された(図-2)。

図中の写真は連続撮影したもので、白金線は側岸(左側)から7mm、20mm、40mmの位置に図-1に示した通り垂直に設置しており、図中左の写真からは側岸から20mmの位置に設置した白金線より発生した水素気泡によるタイムラインの半水深付近に、側岸方向に向かう流れの存在が認められ、図中右の写真からはその流体塊によって7mmの位置のタイムラインの上部及び下部が、中央に向かって大きく周りこんでいるのが認められる。なお、側岸より7mmという位置は、摩擦速度 u_* と動粘性係数 ν で無次元化すると $Z^+ = \frac{u_* Z}{\nu} \approx 40$ となり、バッファ層の上部に相当する。

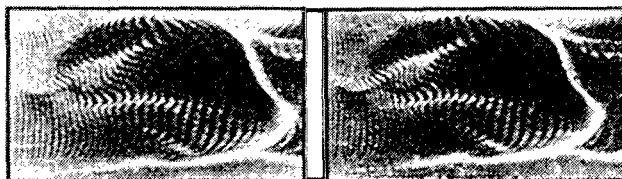


図-2 下流端からみた流況

縦断面流況可視化法：水素気泡によるタイムラインの変形状況を空間的に把握するために、水路側方から2台のスチルカメラを用いた同時撮影を行ない図-3を得た。この図においては白金線を、側岸から7mmの位置に一本設置した。流れの方向は左から右である。図中の縦に白く見えるのは横断面流況可視化法では確認しにくい渦である。図の中央付近は盛り上がっており、その上下は沈んでいる。このことは、前者においては流体が側岸に近づいており、後者では遠ざかっていることを示している。

以上の2方向からの観察により、3次元モデルを作りその構造の説明を試みた。

図-3 水路側方からみた流況



2 側岸近傍の3次元挙動

本実験により、瞬間的な速度場が得られ、横断方向の流れや組織構造全体が横断方向に動く「揺らぎ」及び渦構造が観察された。ここでは、それらが側岸近傍の流れの構造に及ぼす影響について3次元モデルを作り説明する。

横断面流況可視化結果により、図-4のようなモデルが考えられる。この図は、図-2をもとにしたもので、中央には側岸方向に流れる流体塊があり、その流れが側岸近傍の流体を水面方向や底面方向に押し出し、押し出された流体は水面や底面の境界条件によって大きく流体塊の後ろに回り込んでくることを示している。

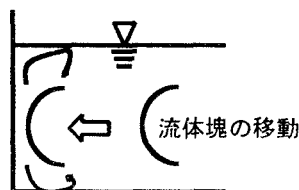


図-4 下流端からみたモデル

ここで、縦断面流況可視化結果によって得られる図-3に示すような水路側方から記録した写真を実体視した結果と、図-4に示した下流端からのモデルを3次元的に結合させた結果として図-5に示される側岸近傍の組織構造を提案する。

このモデルは側岸方向に向かう流体塊に起因する側岸近傍流れの構造を示したもののだが、渦管の回転方向を示す矢印の通り、回転方向が逆の渦も存在し、大変複雑な構造を有していることが知れる。

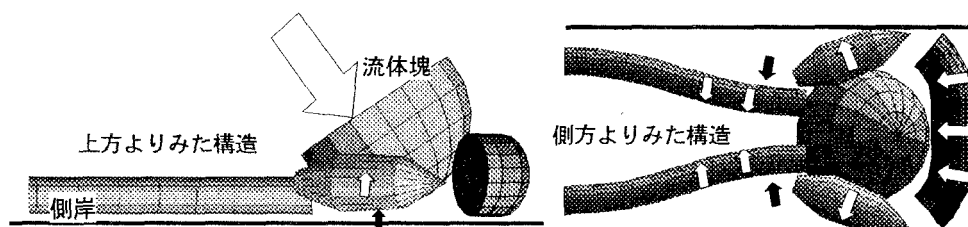


図-5 側岸近傍の3次元構造

これらの渦管を3種類に分けて考えていく。流体塊が側岸方向に動くとき、その動きによって流体塊とほぼ同じ横断面内にある流体は、水面方向や、底面方向に押し出されていく。この押し出されていく過程で流体は、噴流が固定壁に当たるときにみられるような回転を始めると考えられる。さらにこの流れは流体塊の通り抜けた後に回り込むことも考えられる。次に流体塊よりも下流側にある流体の場合であるが、この流体は先のものとは逆の方向に回転する。これは、流速が側岸付近のほうが水路中央よりも遅いため、下流側から側壁方向に回り込んでくるためだと考えられる。最後に、流体塊よりも上流側にある流体は、先に示した2つの渦とは成因等が異なっており、縦断方向に早い物体が通り抜けることによって生じるランチェスターの渦に似た形態になっていると考えられる。

以上は、限られた可視化結果に基づいて作成したモデルによる側岸近傍流れの3次元構造であり、その構造自体も多数あると考えられるうちの一つにすぎない。今後、渦のスケール強さなどの定量的な検討や、構造自体の起こりやすさ、その条件などを含めて詳細な検討が必要である。