

II-200

開水路側壁近傍の2次流と組織構造について

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 今本博健
 京都大学工学部 学生員 竹尾然生

側岸近傍の流れは、境界形状の影響が卓越しており、その構造が3次元的事であることは古くより知られている。しかしながら、3次元構造に関する知見は、平均速度場から得られるものと瞬間速度場から得られるものには差異がある。平均速度場からは速度計測法等から2次流に関する知見が得られており瞬間速度場からは流れの可視化法等から3次元的事挙動に関する知見が得られている。ここでは、平均化により検知されなくなる構造が存在することから、瞬間速度場での検討が重要であるという考え方に基づき、流れの可視化結果に基づいた検討を行う。なお、得られた結果より、3次元的事な挙動には、横断面内で渦の形態をなす流れと渦を形成しない流れが存在することより、前者を縦渦、後者をcross flow¹⁾と呼ぶこととする。本報では、長方形断面および台形断面開水路流れを対象として行った流れの可視化結果を用い、水深スケールの流体の3次元的事挙動、それらの挙動と側壁近傍の組織構造との関係について検討した結果を示す。

1. 長方形断面開水路流れにおける検討

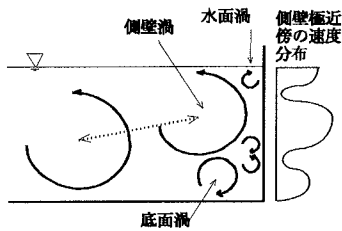
従来、側壁で生成される乱れ、その構造、および流れ全体に及ぼす影響などに関する研究は少ない。そこで、長方形断面開水路における側壁極近傍の乱流構造と底面極近傍の乱流構造を比較し、構造は同様であるがその時間スケールおよび空間スケールは異なっていて、側壁乱流のスケールの方が大きいことが知れた²⁾。

実験では、1本あるいは複数本の白金線を鉛直に設置し、それより発生する水素気泡が形成するタイムラインの挙動を、水路下流端に設置した観測窓から撮影する横断面可視化法および水路側壁より撮影する縦断面可視化法を用いた。なお、対象とした流れは、断面平均流速 10cm/s、水深 4cm の流れであり、勾配 $I_e=1/10,000$ 、 $Re=3000$ 、 $Fr=0.16$ である。可視化した断面は、長さ13m、幅39cmの直線水路の下流端より3mの位置である。

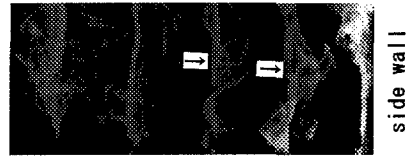
三宅³⁾により、十分に発達した乱流の壁面近傍には、粘性底層内に形成されるvortex sheetと、粘性底層の上方で低速渦近傍に形成される縦渦群が存在し、縦渦がvortex sheetを巻き込んで乱れエネルギーを得ながら発生・消滅を繰り返して乱れが維持される構造が存在することが指摘されている。これを、開水路流れに適用してみると、壁面極近傍および乱れの生成が活発な領域の構造が、三宅の指摘した構造に対応し、水深規模の運動は、それらの外側に存在する構造と考えられる。

従来の結果²⁾と水深規模の渦を形成する挙動の観測結果より、側壁近傍には3種の縦渦が存在し、間欠的に観察されることが知れた。それらを図-1に示すように、水面より、水面渦、側壁渦、底面渦と呼び、それぞれの特徴を述べると次のようである。水面渦のスケールは他の渦に比べて小さく、水深の3分の1程度であり、比較的安定した位置で観測される。側壁渦は、半水深～水深程度のスケールであり、その発生位置は側壁近傍から水深の2倍程度の範囲で横断方向に大きく揺らぐ。底面渦は、半水深程度のスケールであり比較的安定した位置で観察される。一方、図-2に示すように、側壁に向かう流れが存在し、側壁近傍（白金線位置は、側壁より 1.5mm、 $z^+=9$ ）まで影響を及ぼしている。この流れを、cross flowと呼ぶ。

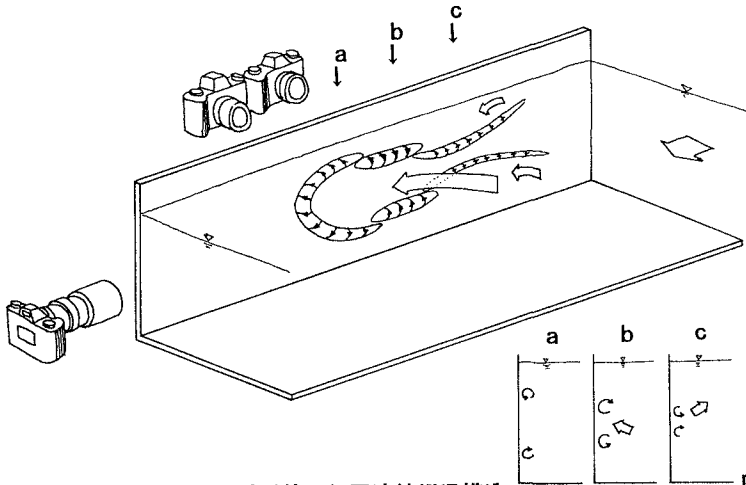
ここに示した縦渦あるいは cross flow が側壁近傍の構造に及ぼす影響を検討するため、図-3に示すように、水路側方に2台のカメラを設置し、水素気泡列を実体視して3次元構造を可視化した。その一例が、図-4に示す連続写真であり、側壁渦あるいは cross flow が側壁近傍に近づいた時の流れを示している（撮影間隔は約0.4秒、白金線は側壁より 7mm、 $z^+=40$ の位置であり、バフ層上部に位置する）。その



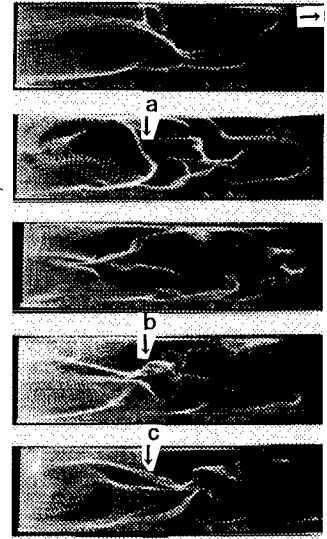
図一 側壁近傍の縦渦



図二 側壁近傍の cross flow



図三 側壁近傍の相互連結縦渦構造



図四 側壁近傍の3次元的挙動 (side view)

構造は、両図に示すように、a、b、cの3種の渦管部分に分けられ、互いに回転方向が異なるものの互いに連結した構造となっている。aの部分は、側壁に向かう流れに押し出されて前方に回転しつつ、局所的な速度の差により馬蹄形状を呈する。bは、側壁に衝突した流れが上下に広がる際に形成する強い渦管であり、側壁より離れて発達し、水深規模の縦渦を形成する。cは、bにより上下に押しのけられた流体を補うように形成される渦管であり、水面と底面近傍に形成される低速部に連なっていく。

2. 台形断面開水路流れにおける検討

側壁が直立ではなく傾いた場合には、隅角部近傍の流体の3次元的挙動が活発となる。3種の渦の存在は変わらないが、水面渦のスケールが大きくなる。また、側壁渦と底面渦も活発となり、横断面内の流況でも観測される。傾斜が緩やかになるにつれて、縦渦の横断方向の揺らぎが大きくなる。階段護岸の場合には、複断面流れの境界部と同様に隅角凸部に生ずる斜昇流とそれにより誘起される縦渦が形成される。同様の渦は各段の凸部で生じるが、形成される渦のスケールと局所的水深が近い場合に強い渦が形成される。これらの渦と、側岸近傍に存在する3種の渦が干渉し、断面形状の影響も重なって複雑な挙動を示す。

近年、河川では親水性・景観・環境を考慮した種々の護岸形状が採用されている。本来、護岸は、洪水を安全に流下させるための重要な治水施設の一つであるが、その形状は流れに影響を及ぼしている。したがって、種々の護岸形状と流れの構造の関係を検討しておく必要がある。その基礎として、直立護岸（長方形断面水路）、階段護岸および傾斜護岸（台形断面）近傍の流れを対象に、流れの3次元構造の解明を進めることが今後の課題である。

参考文献：1)Bradshaw, Ann.Rev.JFM,19,1987. 2)Ishigaki,Imamoto,Shiono:26th IAHR,Vol.1,1995. 3)三宅、ながれ
14、日本流体力学会誌、1995。