

台形断面開水路流れの乱流構造について

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 〇西田 雅

1. はじめに：開水路における乱流状態の流れは直線水路においても3次元的であり、側壁近傍ではその3次元的挙動が顕著となる。本研究は、側壁が法勾配を有する台形開水路を対象とし、横断面内の流速計測および流れの可視化の結果から、側壁近傍の流れの構造を長方形断面の場合と比較し、その特性について実験的に考察したものである。本実験に用いた水路は長さ5.9m、路床幅20cmのガラス製直線水路であり、右岸側壁は任意の法勾配に設定可能である。側壁法勾配は、側壁と水平面のなす角 θ を用いて $\cot\theta$ で表す。流速計測には1成分レーザ・ドップラー流速計を用い、測点間隔は4～5mmピッチとした。流れの可視化は、中立粒子（直径約0.45mmのポリスチレン粒子）を用いたトレーサ法であり、レーザ・ライト・シートを照明に用いた。照明装置およびカメラを台車上にセットし水平断面（ $y/H=0.1, 0.5, 0.9$ ）および縦断面（ $z/H=0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$ ）の流況を移動撮影した。なお、移動速度は断面平均流速とした。流速計測・流況観察ともに $\cot\theta=0, 0.5, 1.0, 2.0$ の4ケースについて行ない、その水理条件を表-1に示す。

2. 流速分布特性：図-1に各ケースにおける流下方向平均流速分布を示す。ここで共通に見られる特徴として、隅角凹部への等速度線のひずみが指摘される。これは、隅角凹部に向かう2次流の存在により高速流体が輸送される

表-1 水理条件表

ためであると考えられる。 $\cot\theta=0$ のケースに着（U1～4：流速計測、V1～4：可視化）

目すると、側壁近傍において水面に近づくにつれ等速度線が水路中央方向に傾いている。これは側壁沿いに上昇する流れが水面付近で水路中央方向に向きを変え移動していることを示している。しかしこの等速度線の傾きは側壁の勾配の増大につれて小さくなり、 $\cot\theta=2.0$ のケースでは、逆に側壁方向への傾きとなっている。これは隅角凹部の境界形状の変化により隅角部近傍の縦渦の構造が変化する結果として、流況が異なっていることを示している。

	$\cot\theta$	H(cm)	Q(l/s)	Re	Fr	U_f (cm/s)
Case U1	0.0	4.01	2.055	7700	0.48	1.396
Case U2	0.5	4.02	3.797	13000	0.84	2.592
Case U3	1.0	4.03	3.730	12500	0.79	2.464
Case U4	2.0	4.01	3.744	11000	0.73	2.296
Case V1	0.0	3.98	1.478	6100	0.30	2.350
Case V2	0.5	3.99	1.668	5900	0.37	1.500
Case V3	1.0	4.05	1.844	6200	0.39	1.781
Case V4	2.0	4.00	1.991	6000	0.39	1.845

$$Re=U_m R/\nu \quad Fr=U_m/\sqrt{gR} \quad U_f=\sqrt{gRI_e}$$

3. 流況特性： $\cot\theta=0, 2.0$ の2ケースにおける水面付近の流況を図-2に示す。これは可

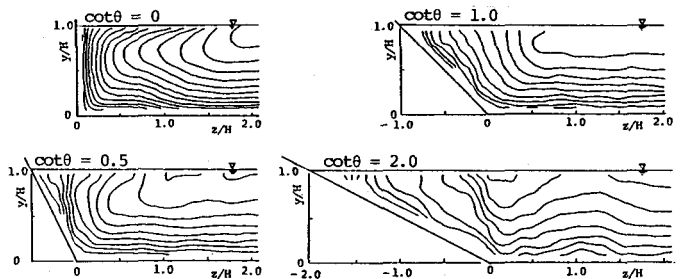


図-1 平均流速分布

Hirotake IMAMOTO, Taisuke ISHIGAKI, Masaru NISHIDA

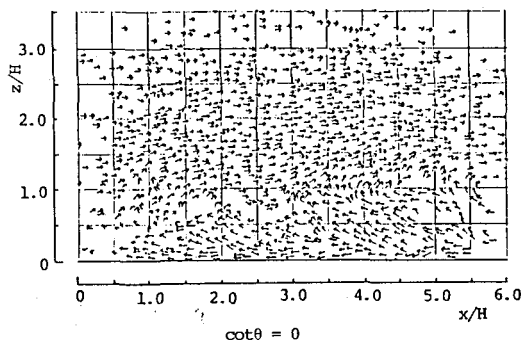


図-2 水面付近の流況

視化結果の写真のネガフィルムより粒子のパスラインをトレースした図である。なお座標系は路床端を原点に鉛直方向に y 軸、横断方向に z 軸をとり、流下方向を x 軸としている。

$\cot\theta = 0$ のケースで注目すべき点は、 $z/H = 0.25$ 付近で側壁方向と水路中央方向に分かれる流れが見られること、 $z/H = 0.5 \sim 1.0$ に流体の上昇・発散によると思われる空白部が存在すること、 $z/H = 1.5$ 付近に粒子の集中が見られることなどである。この断面は水面近傍であることより、粒子の集まる場所では下降流、発散する場所では上昇流の存在が流体の連続性から推定される。また、 $\cot\theta = 2.0$ のケースでは、 $z/H = -0.5 \sim 0$ における粒子の分散、 $0 \sim 0.5$ における集中、 1.0 付近における発散などが注目される。つぎに、 $z/H = 0$ における縦断面流況を図-3に示す。図より、 $\cot\theta = 0$ では、全体的にゆるやかな上昇流がみられ、水面付近に小規模の下降流があらわれている。また $\cot\theta = 2.0$ では、速い下降流が間欠的に発生し、周囲の流体を巻き込んでいるのがわかる。以上のように、各断面にあらわれている流況の特性をとらえ、それらを総合して横断面内での流体の挙動を推定したものが図-4である。隅角凹部に向かう2次流に誘起される側壁近傍の縦渦はこのようであり、側壁が勾配をもつ場合、境界形状の変化により縦渦の発生位置およびスケールが変化することを表している。

4. おわりに：開水路流れの側壁近傍では、図-4に示すように、隅角凹部に向かう2次流に起因した縦渦が発生し、側壁が勾配をもつ場合、縦渦の配列は変わらないが、それぞれの渦の発生位置およびスケールが変化することがわかった。

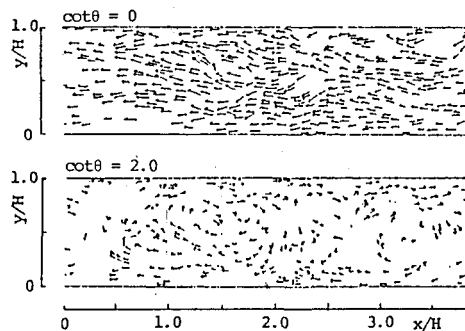
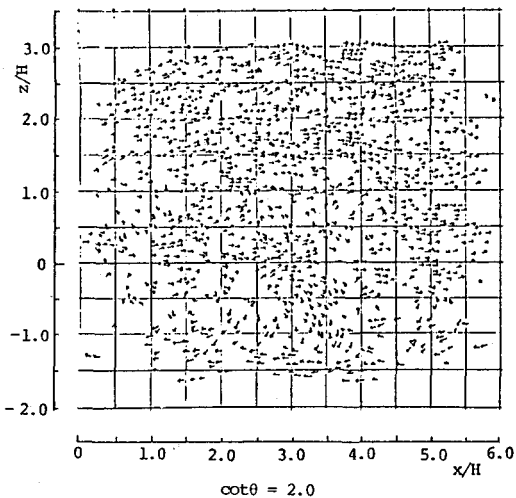


図-3 縦断面流況

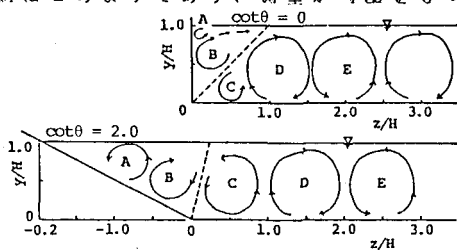


図-4 横断面内の縦渦構造