

II-210 台形開水路流れにおける二次流セルの特性について

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
 新日本技術コンサルタント 正員 西田 雅

1. はじめに

開水路流れに見られる乱れの非一様性に起因する二次流については、従来多くの研究者により実験的あるいは理論的な検討が行われてきたが、二次流そのものを直接可視化したものはあまりない。本報告は、中立粒子トレーサを用いた横断面内の可視化法を用いて得られた結果をもとに、二次流により生じられる二次流セルの特性について検討したものである。

実験方法と可視化結果の一部は既報^{1), 2)}にて発表しており、二次流セルがほぼ円形であることが35mmスチルカメラで撮影された写真で明確に示されるとともに、その発生位置およびセルそのものが水路横断方向に揺らぐことを指摘した。また、法勾配の緩やかな台形開水路の流れでは、ある瞬間に発生した二次流セルがさらに新たなセルを誘起するという現象が観察されたことを報告した。ここでは、スチル写真より得られる二次流セルに関する情報を用い、セルの発生位置・大きさ・強さについて検討する。

2. 二次流セルの特性

写真-1および図-1は、横断面内の二次流の直接可視化例と各トレーサのパスラインをその移動方向(各粒子のパスラインは長短の組み合わせで写っており、短→長が移動方向)を判断してトレースした結果を示したものである。この写真は、水深4cm、断面平均流速10cm/sec($Re=3600, Fr=0.16$)の流れを対象に、断面平均流速と同じ速度で移動する約2cm幅のスリット光により照明された中立粒子の挙動を2秒間捉えたものであり、流下距離は水深の5倍に相当する。なお、いずれのケースについてもほぼ同様の水理条件における結果である。これらの結果より、横断面内の二次流は複雑な挙動を示すことが知れるが、その中に明確な円運動を示している部分の存在が見られる。これらが開水路流れに見られる水深規模の組織的な構造の本質を成すものと考え、以下、二次流セルと呼び、その特性について述べる。

図-2は、可視化結果において明瞭に二次流セルと認められるものについて、セルの外縁に円を当てはめた結果を26~49フレームのネガフィルムより読み取って一枚の図に重ね書きしたものである。図中、実線で示した円は時計回り(cw)の運動をしていたセルを示し、破線のものは反時計回り(ccw)のセルである。図に示すように6種類の断面形状を対象としており、各ケースにおける二次流セルの可視化結果をまとめると表-1のようになる。表には、セルの観察率 P (=観察枚数/撮影枚数)、回転方向ごとの観測数 N (+:cw、 -:ccw)、セル外縁長 $L/\pi D$ (観察円弧長/セル円周長)、セル径 D 、局所水深で無次元化したセル径 D/h 、無次元化セル外縁速度 V/U_m および基準化した循環 $\Gamma' = (\pi DV)/(\pi H \cdot 0.1U_m)$ 、 H :水深、 U_m :断面平均流速)の計測結果を示している。なお、二段表示の欄は上段が平均値、下段が標準偏差である。

表-1と図-2より、以下の特徴が指摘される: ①セルの観察率を見ると、長方形断面($\cot\theta=0$)の場合には50.7%と他のケースが70%以上の高率を示しているのに比べて低いものの、過半数以上の可視化結果で認められることより、二次流セルの存在が確認される。②セル外縁長の平均が30~40%であることと、流下

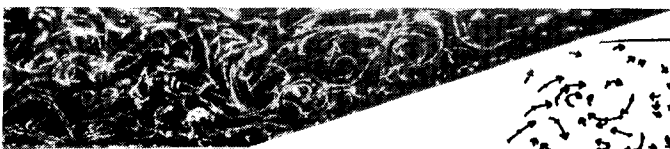


写真-1 横断面流況可視化例

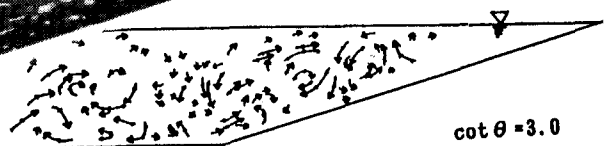


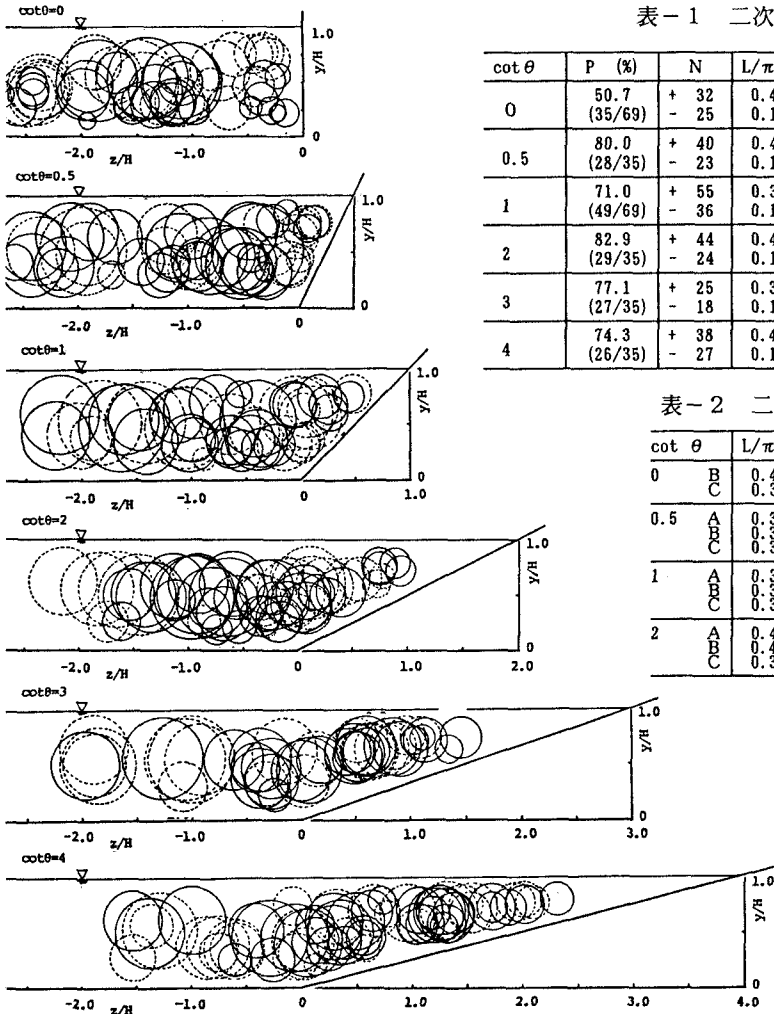
図-1 パスラインのトレース結果

表－1 二次流セルの特性

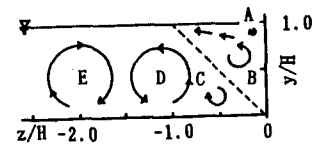
$\cot \theta$	P (%)	N	$L/\pi D$	D	D/h	V/U_m	Γ'
0	50.7 (35/69)	+ 32 - 25	0.42 0.17	1.59 0.58	0.40 0.15	0.13 0.03	0.51 0.26
0.5	80.0 (28/35)	+ 40 - 23	0.40 0.15	1.75 0.58	0.44 0.15	0.09 0.02	0.40 0.17
1	71.0 (49/69)	+ 55 - 36	0.32 0.14	2.16 0.64	0.56 0.14	0.11 0.02	0.57 0.21
2	82.9 (29/35)	+ 44 - 24	0.42 0.15	1.79 0.61	0.49 0.14	0.10 0.03	0.43 0.22
3	77.1 (27/35)	+ 25 - 18	0.30 0.15	2.01 0.50	0.58 0.12	0.12 0.03	0.60 0.19
4	74.3 (26/35)	+ 38 - 27	0.40 0.16	1.72 0.48	0.54 0.14	0.13 0.03	0.58 0.23

表－2 二次流セルの特性（グループ別）

$\cot \theta$		$L/\pi D$	D	D/h	V/U_m	Γ'
0	B	0.41	1.37	0.34	0.12	0.46
	C	0.373	1.00	0.25	0.11	0.28
0.5	A	0.38	1.10	0.37	0.10	0.27
	B	0.38	1.38	0.36	0.08	0.28
	C	0.39	1.79	0.47	0.08	0.42
1	A	0.34	1.35	0.49	0.10	0.35
	B	0.35	2.03	0.52	0.11	0.52
	C	0.31	2.09	0.52	0.10	0.55
2	A	0.42	1.12	0.50	0.09	0.24
	B	0.42	1.58	0.44	0.09	0.35
	C	0.39	1.89	0.49	0.10	0.48



図－2 観察された二次流セル



図－3 二次流セルの模式図

方向に水深の5倍の範囲が可視化されていることを考慮すると、水深の10倍のオーダーで1回転するものと推定される。③図－2において、時計回りのセル（実線）と反時計回りのセル（破線）を区別して見ると、いくつかのクラスターに分類することが出来る。これらは図－3に示すようなA～Eのセルに相当するものであり、それぞれのグループに属するセルの位置は横断方向に分布している。分布範囲の外側を包絡した線は、速度計測により得られた二次流ベクトルの包絡線で示される扁平なセルと類似しており、計測結果から二次流セルを推定する場合にはこの点に注意する必要があることが指摘される。しかしながら、セルをグループに分類出来るのは側壁勾配が2割 ($\cot \theta = 2$) のケースまでであり、さらに勾配の緩やかなケースにおいては困難となる。これは、隅角部の影響による二次流セルの安定化が側壁勾配が2割程度までであることを示している。④図に見られるように、セルの大きさは半水深以上と以下の2グループに分けられるが、平均的には表に示すように半水深程度である。⑤セルの外縁の速度は断面平均流速の10%前後であり、セルの強さを表す循環は断面形状による差異は小さく同程度の値を示している。

図－3に示したA～Cのセルの特性をまとめると表－2のようになり、Aセルのスケールが側壁勾配の変化に伴って大きくなっていくこと、BセルとCセルの特性が類似していること等が知れる。

<参考文献> 1) 今本・石垣：33回水講，1989. 2) 今本・石垣・西田：関西支部年講，II-11、1989.