

第II部門

連続蛇行部を有する洪水乱流の組織乱流構造について

京都大学
京都大学
京都大学

正会員 ○山上 路生
学生員 Hoang Quang
フェロー 瀬津 家久

1. はじめに

洪水時の蛇行河川は複雑な3次元構造をもつため、その乱流構造は未解明な点が多いとともに土砂の洗掘・堆積や輸送の理論的予測が困難である。特に氾濫蛇行流における組織的な水平渦構造についてはその存在の有無も含めて国内外においてほとんど解明が進んでいないのが現状である。もし水平渦が存在すれば、2次流と連動して低水路内部と高水敷領域の運動量や物質交換を支配し、土砂輸送や堆積プロセスは大きな影響を受けるであろう。このような組織乱流構造を捉えるためには従来のポイント計測では難しいため、本研究では高速度カメラによるPIVシステムを用いた、連続複断面蛇行流れの低水路内部から水面までの全水深領域を対象にした可視化乱流計測を行い、その基礎水理特性や組織構造の解明を試みた。

2. 実験方法と水理条件

表-1 水理条件

U_m (cm/s)	B_m (cm)	D (cm)	H (cm)	H/D	s	y_L/D
13.5	8.0	4.0	5.8	1.45	1.22	0.125
						0.25
						0.375
						0.5
						0.625
						0.75
						0.875
						1.125
						1.25
						1.3
						1.375

図-1(a)および(b)に計測装置および実験水路を示す。実験は全長10m、全幅 $B=40\text{cm}$ の可変勾配型総ガラス製の水路で行われた。湾曲アクリル部材と木材を用いて高水敷を作成し蛇行複断面水路とした。水路上流端から波長50cmの蛇行模型を合計10波長分設置した。低水路形状はサインカーブであり、蛇行度 s (=蛇行長さ/波長)は1.22とした。低水路幅 B_m は8cmであり、高水敷高さ D は半値の4cmとした。水路側方から2Wの連続YAGレーザーライトシート(LLS)を照射し、水路上方に設置した高速度CMOSカメラで撮影した。計測対象は上流から8番目に位置する蛇行領域の上流側の半波長領域とした(図-1(b))。計測領域は $40\text{cm}\times 40\text{cm}$ の長方形領域である。計測部の蛇行模型の側壁は透明アクリル部材で製作し、低水路内部にも十分なLLSが照射できるように工夫した。これにより低水路内部も含めた全水深領域における水平面のPIV計測が可能となった。また図に示すように、流下方向、鉛直方向および横断方向にそれぞれ x 軸、 y 軸および z 軸をとる。計測領域の上流側に対応する蛇行部の頂点に x 軸の原点を、水路底面に y 軸の原点を、水路の左岸側壁に z 軸の原点をそれぞれとった。それぞれの軸に対応する瞬間流速を $\tilde{u}$ 、 $\tilde{v}$ および $\tilde{w}$ 、時間平均流速を U 、 V および W 、乱れ成分を u 、 v および w とする。表-1は水理条件を示す。本実験では1ケースの流れを対象に、低水路内部も含む合計11の水平面を可視化計測した。表中の U_m は蛇行頂点部における断面平均主流速、 H は低水路底面までの水深、 y_L はLLSの照射高さである。水路上方からの撮影のために本実験ケースは水面波が生じない水理条件とした。直線の片側複断面流れではかぶり水深が $H/D<1.5$ の条件で単列の水平組織渦が発生することがわかっており¹⁾、本研究でもこれを参考にして水深を決定した。

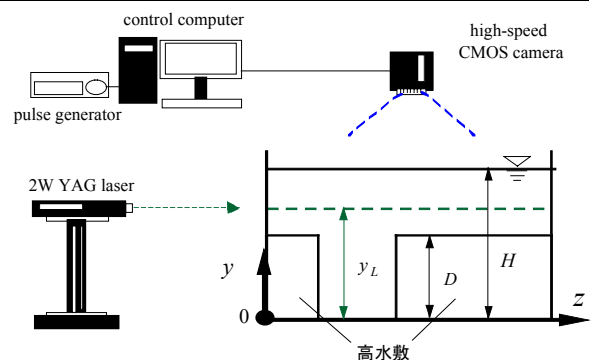


図-1(a) PIV計測装置

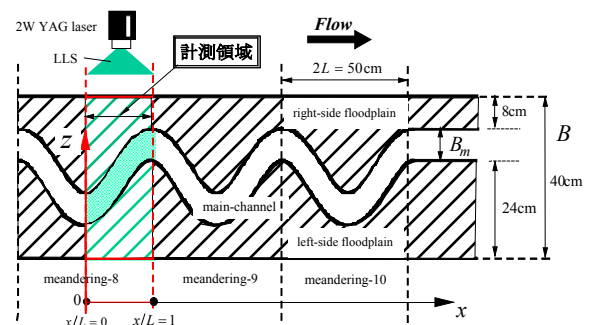


図-1(b) 実験水路(平面図)

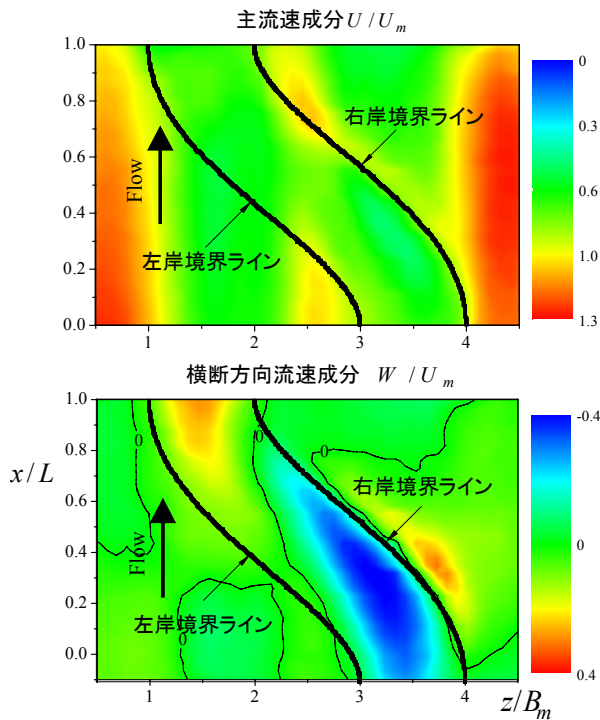


図-2 時間平均流速の水平面コンター

3. 結果と考察

図-2 は $y/D = 1.25$ における時間平均流速 U および W の水平面分布を示す。 U については高水敷上に高速分布がみられるが、これは低水路領域に比べて形状抵抗が小さいためである。また蛇行低水路流と直進高水敷流のクロス部 ($x/L = 0.5$) において低水路領域は低速域となり、蛇行形状の影響が現れることがわかる。低水路領域の W については蛇行の形状変化に対応して上流側 ($0 < x/L < 0.5$) で負、下流側 ($0.5 < x/L < 1.0$) で正となる。注目すべき点はクロス部 ($x/L = 0.5$) で正負の分布が観察されることである。本結果からこの領域では流れが低水路形状に沿うものと右岸高水敷に乗り上げるものに分岐することがわかる。

図-3 は低周波変動のレイノルズ応力 $-\overline{uw}/U_m^2$ の $y/D = 1.25$ における水平面分布を示す。 $x/L = 0.4$ 付近のクロス領域の右岸境界ラインを境に正負の卓越領域が観察される。正值分布域においては反時計回りの、負値分布域においては時計回りの渦がそれぞれ発生することがわかる。これらの渦構造は流速シアによって発生するものと考えられるが、直線複断面水路で観察される水平渦とは異なり、流下方向への持続性が小さく、発生・移流・消滅のサイクルが局所的に存在することがわかった。

図-4 は、図-3 で示したレイノルズ応力の分布において、正值のピーク位置を固定基準点とした時空間相関関数のコンター C_{ww} を $\tau = 0$ および $0.33s$ について示したものである。 C_{ww} のピーク位置は時間経過とともに流下方向に輸送される。これは図-3 で考察した反時計回りの水平渦の輸送を意味しており、水平渦は横断流速の影響を受けて直流下せず、蛇行形状に沿うように移流することがわかる。

4. おわりに

本研究は連続かぶり蛇行流を対象に高速度 PIV 計測を行い、その組織乱流構造の実験的解明を試みた。レイノルズ応力の分布と時空間相関特性から蛇行複断面流れに特有の組織水平渦が存在することがわかった。

参考文献

- 1) 瀬津家久・鬼束幸樹・相良幸輝・池谷和哉：かぶり水深の変化が複断面開水路流れの組織渦に及ぼす影響に関する研究，土木学会論文集，No.649/II-51，pp.1-15，2000.

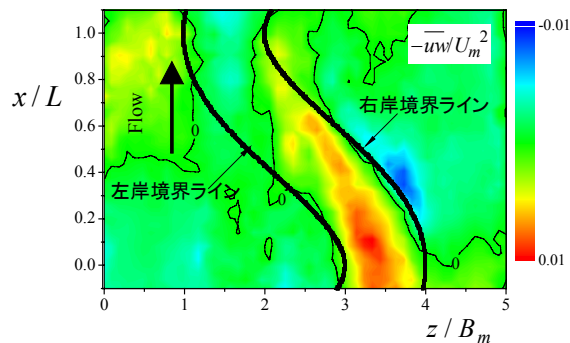


図-3 レイノルズ応力の水平面コンター

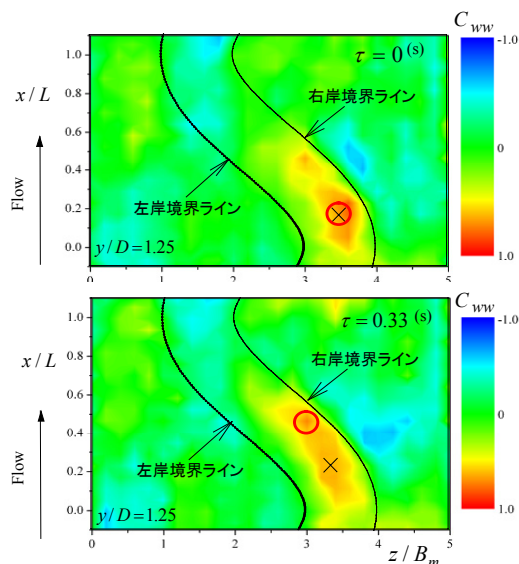


図-4 時空間相関係数の分布