

平成21年3月31日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760339
 研究課題名(和文) レーザースキャニング3次元PIVの開発と高水敷氾濫流の組織乱流渦に関する研究
 研究課題名(英文) Development of 3-D laser scanning PIV system and study on coherent turbulence vortex in compound open-channel flows
 研究代表者
 山上 路生 (SANJYO MICHIO)
 京都大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：80362458

研究成果の概要：本研究は最大10層までスキャンできる多断層PIVシステムを開発し、高水敷氾濫流における組織渦の立体構造の解明を試みた。この多断層PIVシステムによって、蛇行複断面流れを対象に高精度室内乱流計測を行い、鉛直位置の異なる水平断面内の瞬間流速分布や組織渦の3次元構造を解明した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	0	2,400,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	240,000	3,440,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：高水敷氾濫流，スキャニングPIV，乱流計測，組織渦，3次元構造

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究代表者は、これまで低水路・高水敷せん断流の乱流構造の解明に取り込み、2次元あるいは3次元レーザー流速計を駆使して点計測を行い、断面内の主流速分布や2次流分布、乱れの非等方性とそれに伴う縦渦を解明してきたが、浅水流の組織渦、具体的にはせん断不安定性による水平組織渦の解明がさらに必要であると痛感した。すなわち、浅水せん断乱流の組織渦の3次元構造を解明し、各種の乱流輸送を予測・制御することが今後学術的に重要であるとの認識にいたり、本研究の全体構想を練り

上げた。

(2) このような浅水流の乱流構造に関する研究をレビューすると、現在最も不明な点の1つは、高水敷浅水流で発生する水平組織渦と低水路で発生する断面内2次流との相互作用がどのように行われているかである。水平組織渦の存在は、水面上に各種のトレーサーを散布して実験水路また実河川でも観測されているが、浅水流の内部(水面下)でこの渦がいかにか挙動しているかは不明な点が多く、PIVを用いて断片的に解明されつつあるのが現状である。しかし、通常のPIVは

ある固定位置での水平断面内の2次元流速分布しか得られず、渦の立体構造は不明のままである。そこでスキャニングPIVの開発に着手した次第である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、まったく新しい多断層PIVシステムを開発して、低水路・高水敷せん断流の水平組織渦の立体構造を解明することである。すなわち、レーザーライトシートを回転分光器で分光させて任意の鉛直位置からほぼ同時に水平面内を照射して、コンピュータ制御されたCCDカメラでスキャンする。この多断層にスキャンされた画像をPIVアルゴリズムで解析し、瞬時の流速ベクトルを得る手法である。これまで計測が困難であった高水敷・低水路ジョイントで発生する平面組織渦と2次流の相互作用を解明できる独自の研究であり、流れの3次元構造の全貌が明らかになるものと期待される。渦の発生・発達・崩壊機構と河道特性、また土砂輸送に及ぼす影響を解明できるから、その学術的意義は大きく、水工学の応用への価値も高いと考えている。

3. 研究の方法

(1) スキャニングPIVの開発

分光法にはいろいろあり、中でもペンタゴンミラーなどを回転させてスキャンする方法が精密機械工学等で用いられている。この場合、対象となる流れ場は比較的狭く、水理工学で対象とする流れ場には不向きと考えられる。本研究は、低水路・高水敷流れ場という比較的広い視野での可視化を可能にする必要があり、鉛直軸回りに回転するアームにプリズムミラーを付けた回転ミラー分光器を開発する(図-3.1)。1つのプリズムミラーを回転すると、レーザービームは水平面状に展開されてシート光になり、水路上方にCMOSカメラを設置すれば、可視化画像が得られる。プリズムミラーを同一高さ(同一のアーム)に2つペアで設置すれば、2時刻の画像が得られるから、2時刻PIV法によって瞬間流速ベクトルが解析される。

(2) 高水敷氾濫流への適用と組織渦の立体構造の解明

2層間の相関解析は、点計測であれば、レーザー流速計を2台用いて行うことができ、この手法はすでに研究代表者らによって行われている。本研究の目玉は、これまで不可能であった3層以上の同時計測を行うもので、本研究では最大10層の同時計測を試

みる。設計上の最大回転数は100Hzであり、層間の時間遅れは $0.01/10=0.001$ 秒であるが、高速度カメラの性能制限により、回転数をこれより落とす可能性があり、準同時計測になるかも知れない。多層間の時空間相関構造を固有直交展開(POD)を用いて卓越モードごとに現象を分析すれば、組織渦の立体構造が解明され、これまで計測が困難であった高水敷・低水路ジョイントで発生する平面組織渦と2次流の相互作用(図-3.2)がわかり、流れの3次元構造の全貌が明らかになるものと考えられる。

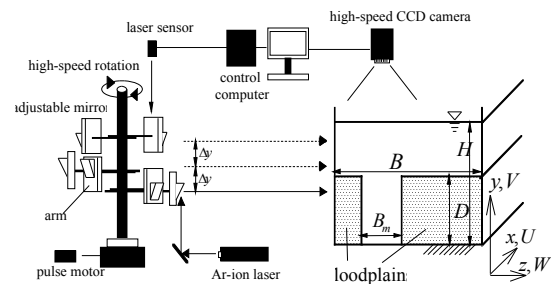


図-3.1: スキャニングPIVシステム

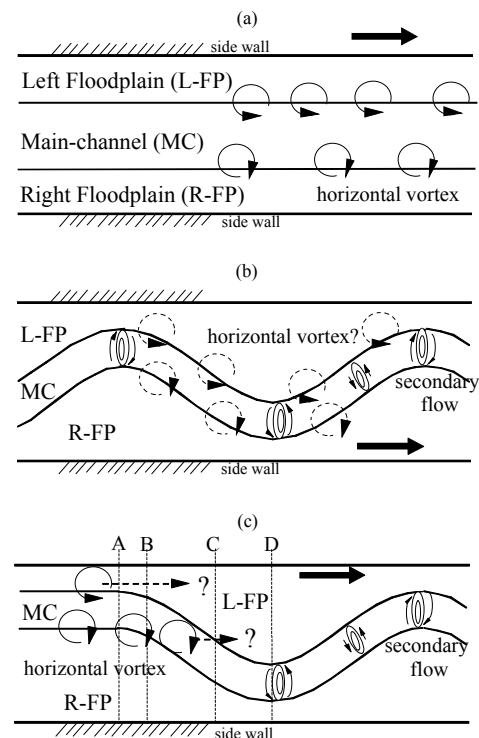


図-3.2: 複断面河道の組織渦構造のイメージ

4. 研究成果

実河川には多くの蛇行部や湾曲部が存在するから、高水敷高さ以上に増水する洪水河川の土砂輸送特性を考えるためには、蛇行複断面流れにおける水理特性を知っておく必要がある。特に組織水平渦は物質や運動量輸送を大きく支配するからその構造は十分に解明しなければならない。しかしながら既往研究のほとんどが時間平均流速場や抵抗則に注目しており、この種の流れにおける瞬間流速分布や水平渦構造に関する知見はあまり得られていないのが現状である。このような水平渦の運動を実験的に捉えるためには流れ場全体を同時撮影する可視化計測データを用いることが有効である。そこで連続蛇行部を有する複断面流れを対象にレーザー光源と高速度CMOSカメラから構成されるPIVシステムによって、流速および水深を系統的に変化させて複断面蛇行流れにおける流速分布の特性と組織水平渦構造の発生特性を明らかにした。

得られた主要な結論は以下のとおりである。

- (1) 蛇行する低水路流れと直進する高水敷上流れのクロス部では正負の流速シアが発生する。これによって逆回転の2つの水平渦が観察される。これらの渦寿命は直線複断面流れで観察される水平渦に比べて短い。
- (2) 連続式を2次元データに適用することで横断面2次流ベクトルの分布を得た。高水敷流れによって低水路内部に大規模な2次流が発生することが確認でき、本PIV計測によっても既往研究の知見を確認できた。
- (3) 数学的手法に基く渦判定法により蛇行複断面流れにおける水平渦の抽出を試みた。これにより水平渦分布や発生確率を定量評価できた。
- (4) かぶり水深および流量が大きなケースほど流速シアが大きくなり、クロス部での水平渦の発生が顕著となることがわかった。(図-4.1)
- (5) 以上の流れの特性から図-4.2のような水平組織渦およびこれと2次流との関係を示す概念モデルを提案した。

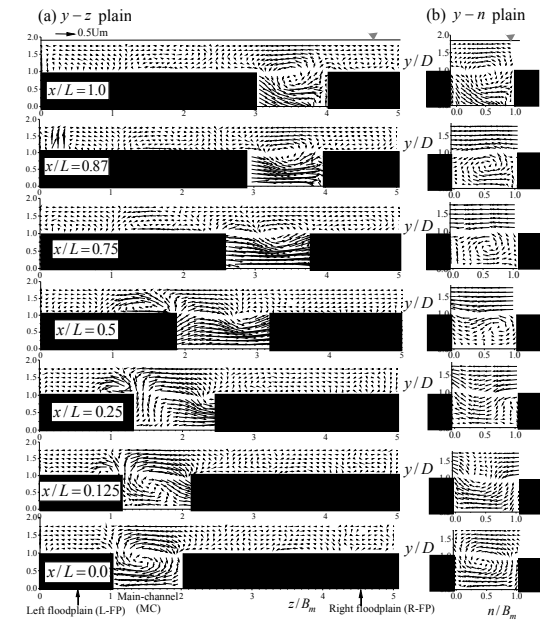


図-4.1：2次流のベクトル分布

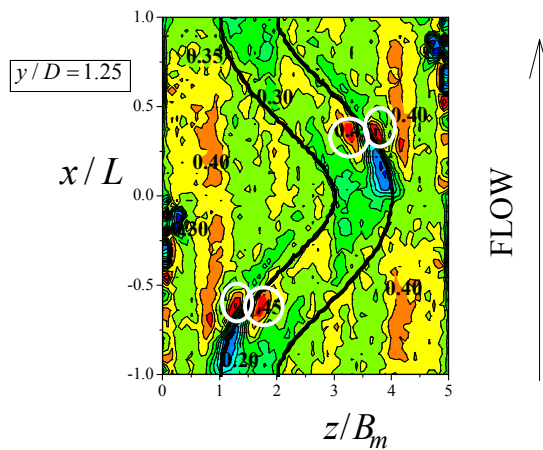


図-4.2：水平渦発生確率のコンター

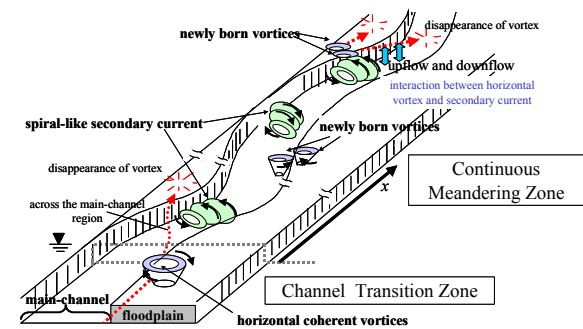


図-4.3：複断面蛇行流れにおける組織渦の概念モデル

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

以下6件は全て査読審査付論文

1) Sanjou, M. and Nezu, I. : Turbulence structure and coherent motion in meandering compound open-channel flows, *Journal of Hydraulic Research*, 2009, 印刷中

2) Sanjou, M. and Nezu, I. : PIV Measurements in Meandering Compound Open-channel Flows, *Proc. of Riverflow2008*, Izmir, pp.573-581, 2008.

3) Sanjou, M. and Nezu, I. : Numerical study of three dimensional turbulence structure in meandering compound open-channel flows, *Proc. of 2nd International Symposium on Shallow flows*, HongKong, CD-ROM, 2008.

4) 山上路生・Hong Quang・禰津家久 : 複断面蛇行水路の水平渦構造に関する実験的研究, 応用力学論文集, Vol.10, pp.881-890, 2007.

5) Sanjou, M. and Nezu, I. : Coherent Structure in Bubbly Turbulent Flows induced by Falling water, *Proc. of 5th international symposium of environmental hydraulics*, Arizona, CD-ROM, 2007.

6) Sanjou, M., Nezu, I. and Okamoto, T. : 3-D Large Eddy Simulation of Open-channel Flows with Vegetated Canopies, *Proc. of 32th IAHR Conference*, Venice, CD-ROM, 2007.

[学会発表] (計5件)

すべて代表者本人が口頭発表したもののリスト

1) Numerical study of three dimensional turbulence structure in meandering compound open-channel flows, *International Symposium on Shallow flows*, 2008年12月13日, ホンコン科学技術大学.

2) PIV Measurements in Meandering Compound Open-channel Flows, *Riverflow2008*, 2008年9月3日, トルコ・イズミール

3) Coherent Structure in Bubbly Turbulent Flows induced by Falling water, *5th international symposium of environmental hydraulics*, Arizona, 2007年12月10日, アリゾナ州立大学

4) 複断面蛇行水路の水平渦構造に関する実験的研究, 第10回応用力学シンポジウム, 2007年9月5日, 広島国際会議場.

5) 3-D Large Eddy Simulation of Open-channel Flows with Vegetated Canopies, 第32回 *IAHR Conference*, 2007年7月4日, ベニス.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山上 路生 (SANJYO MICHIO)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号 : 80362458

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし