

京都大学 学生員 ○秋本哲朗
 京都大学 学生員 野口和則
 京都大学 フェロー 榎津家久

1. はじめに

近年、河川や湖沼、海洋での流速の計測には超音波 3 次元流速計 ADV が広く用いられている¹⁾。しかし、ADV での流速の計測では常にランダムなスパイクノイズとドップラーノイズによる影響を受けるため、適切なノイズ処理が必要となる。本研究では Goring & Nikora²⁾ が提唱した Phase-space method を用いてノイズ処理を行い、得られたデータをスペクトル解析することによってどの程度精度が改善するかについて検討を行っている。また、ADV と画像解析 PIV を用いて水路横断方向の相関を求めている。

2. ノイズ処理手法および結果

Phase-space method とは、流速の時系列データ u_i とその一次導関数 Δu_i 、二次導関数 $\Delta^2 u_i$ を 3 つの平面 $u - \Delta u$, $\Delta u - \Delta^2 u$, $u - \Delta^2 u$ へプロットし、各データ列の標準偏差とデータ数から導かれる予測最大値を長軸半径、短軸半径とする楕円の内部に収まらなかった点をノイズと判定し除去する手法である。Phase-space method は次のステップで構成される。

1. ADV により計測されたデータ点列を u_i とし、一次導関数、二次導関数をそれぞれ $\Delta u_i = (u_{i+1} - u_{i-1})/2$, $\Delta^2 u_i = (\Delta u_{i+1} - \Delta u_{i-1})/2$ とする。
2. u_i , Δu_i , $\Delta^2 u_i$ の標準偏差, それぞれ σ_u , $\sigma_{\Delta u}$, $\sigma_{\Delta^2 u}$ とデータ数 n を用いてデータ列の予測最大値 $\sqrt{2 \ln n} \sigma$ を求める。
3. 楕円外のデータをノイズと判定し、除去する。
4. 除去した点の、前 11 点及び後 1 点のデータを用いたスプライン補間によってデータ列を補間する。
5. 補間後のデータ列に再び 1-3 のステップを適用し、楕円外に出るデータ点数に変化がなくなるまで処理を繰り返す。

ステップ 4 のスプライン補間に関しては、ノイズとして除去された点の前 11 点とノイズの直後の点 1 点を用いて新たにデータ列の 2 次導関数列を作り、その値をパラメータとして 3 次の補間曲線を作り出し、その曲線により求められた値を補間値とした。

図-1(a), (b)にそれぞれノイズ処理前、後の $u - \Delta u$ 平面へのプロット図を示す。横軸が u 、縦軸が Δu である。処理前に比べ楕円外へプロットされる点が減っており、データの改善が見られた。さらにこの楕円の算出には閾値を用いないため、普遍性が高いと考えられる。続いて

図-2 は u に関するスペクトル解析の図である。

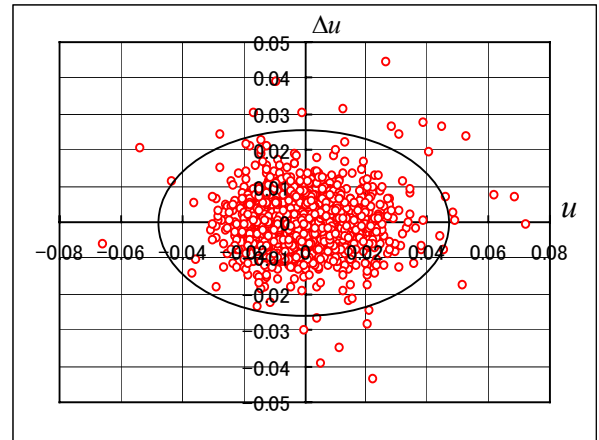


図-1(a) ノイズ処理前のサンプル

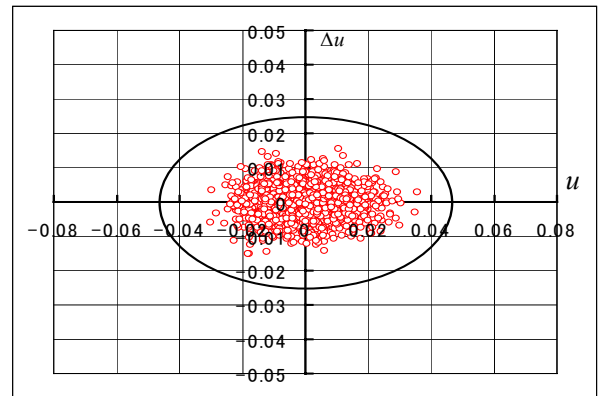


図-1(b) ノイズ処理後のサンプル

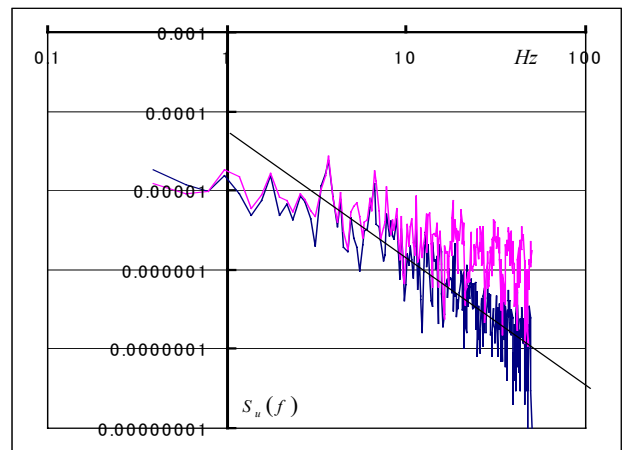


図-2 ノイズ処理前後のスペクトル分布

いる。図中の直線は-5/3 乗を示す直線である。高周波領域が低減し、データが改善されているのがわかり本手法の妥当性が示された。ここでは代表的な例として u のみを挙げたが、 v , w でも同様に改善が見られた。

表-1 水理条件および PIV-ADV 計測位置

	河床波波長 L_s (cm)	河床波高 h_s (cm)	平均流速 U_m (cm/s)	PIV計測位置 z/h	ADV計測位置 z/h	ADV計測高さ y/h_s	平均水深 h (cm)
CW30	30	1.5	30.0	0 (水路中央)	0~2 (水路中央の位置0から 横断方向へ0.25刻みに 9点計測)	0.33	6.0
						0.67	
CW15	15	0.75				0.67	3.0

3. 実験手法および水理条件

実験装置および計測装置の概要を図-3 に示し、水理条件を表-1 に示す。本実験で用いた水路は、長さ10m、幅40cmの循環式可変勾配型直線水路である。用いた河床波模型は、波高 $h_s=1.5$ cm、波長 $l_s=30$ cmと、波高 $h_s=0.75$ cm、波長 $l_s=15$ cmの二次元河床波である³⁾。計測区間は水路上流端から7m下流の地点に設定し、浮遊粒子の投入は計測地点から上流側3mの位置で行った。PIV画像計測は水路横に設置されたHigh Speed CMOSカメラによって行い、200Hzで30秒間1280×1024pixelの画像を記録した。ADV計測はPIV計測と同期させ、100Hzでサンプルを行った。PIVとADVの計測位置関係は表に示すとおりである。

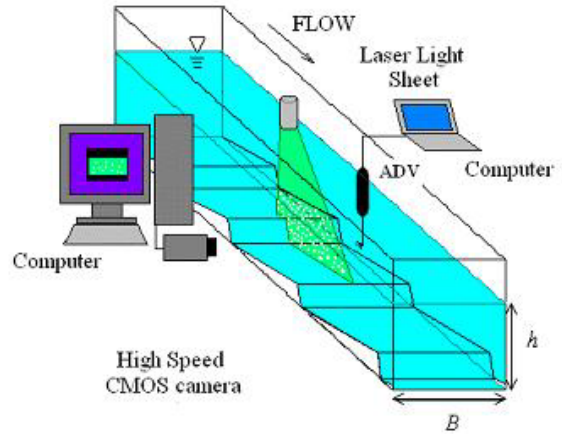


図-3 実験水路および計測装置

4. 実験結果および考察

図-4 に河床波底面からの無次元高さごとの横断方向の相関を示した。横軸は水路横断方向である。なお、図中の一部データ(PIV x-z plane)は、野口ら(2009)⁴⁾のデータを再解析したものである。水路中央から離れると相関値は一度負のピークをとり、その後正值の2次ピークをもった。これらのピーク位置は再付着点の流下方向への変動やボイル渦の横断方向サイズに起因するものであり、それらの規模が底面からの高さ y/h_s によって異なることを意味している。特に、再付着点付近の底面近傍領域では、 $z/h=0.25$ だけ横断方向に離れた領域に $z/h=0.0$ の流れと逆位相の流れを持ち、 $z/h=0.5$ だけ横断方向に離れた領域には $z/h=0.0$ と同じ位相の流れが存在した。一方で水面付近では2次ピークの発生位置が $z/h=2.0$ 付近と、ほぼ水深の2倍の規模である。以上より底面付近の流れの規模が組織渦の移流とともに徐々に発達する可能性が示唆された。

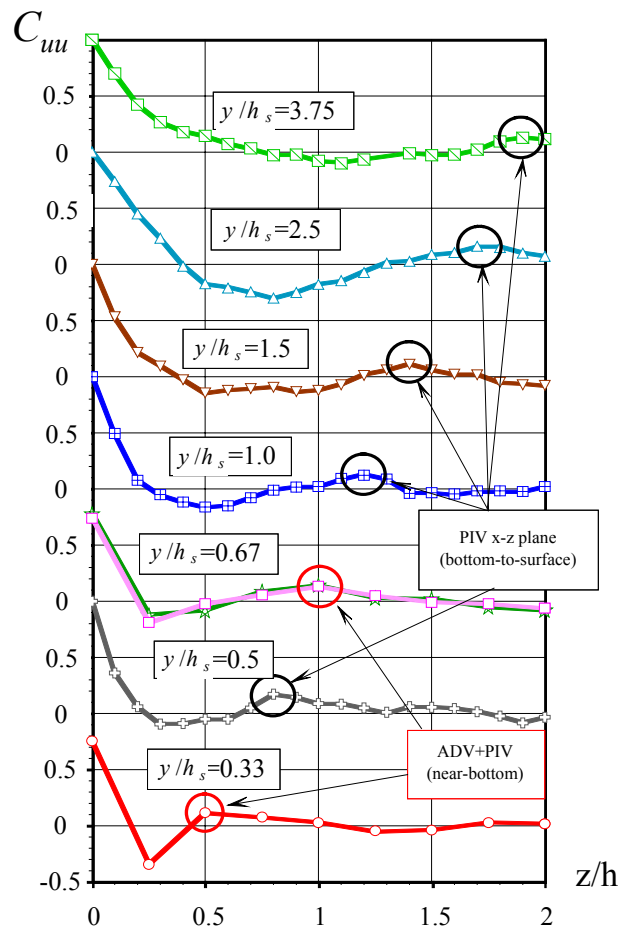


図-4 水路横断方向相関の2次ピーク

5. おわりに

本研究は、PIVとADVの同時計測により河床波流れの横断方向特性を考察したものである。河床形状が生成されるには粒子の存在が必須であるため、浮遊砂流れにおいて定量的に評価することを今後の課題としたい。

参考文献

- 1) Kawanisi, K., and Yokosi, S., Characteristics of suspended sediment and turbulence in a tidal boundary layer, Contin. Shelf Res., vol.36, pp.69-75, 1997.
- 2) Goring, D.G., and Nikora, V.I., Despiking acoustic dopplerverlocimeter data, J. Hydraul. Eng., vol.128, pp.117-126, 2002.
- 3) Yalin, M. S., 1977. Mechanics of Sediment Transport, Pergamon Press.
- 4) 野口和則, 瀬津家久, 山上路生: 砂堆流れの瞬間構造とボイル渦に追従する粒子挙動に関する研究, 応用力学論文集, vol.12, pp.797-804, 2009.