

超音波ドップラー流速分布計測法を用いた河川の流れ構造の計測

Measurement of flow structure in a river by Ultrasonic Velocity Profiler (UVP)

北海道大学大学院 機械宇宙工学専攻
 北海道大学大学院 エネルギー環境システム専攻
 北海道大学大学院 エネルギー環境システム専攻
 北海道大学大学院 エネルギー環境システム専攻
 北海道大学大学院 エネルギー環境システム専攻

正員 吉田 静男 (Sizuo Yoshida)
 横山 馨 (Kaoru Yokoyama)
 大窪 智行 (Tomoyuki Ohkubo)
 小嶋 慎哉 (Shinnya Kojima)
 正員 武田 靖 (Yasushi Takeda)

1. 序論

河床変動や河道の侵食・変形といった現象は河川工学において重要なテーマであり、古くから研究が行われてきた。上記に代表されるような河川での物理現象を解明するためには境界付近の流速分布、乱流統計量の空間分布といった事項を調べる必要がある。しかしこれまでは計測器の問題から実測が困難であり、数値計算による研究が先行してきた。そのため近年では実験的解明の要望が強まっており ADCP¹⁾、PIV²⁾といった新しい計測技術が河川計測にも応用されるようになってきた。しかし前者は現状では空間分解能が大きく、詳細な流速分布を得ることは難しい。また後者は性質上河川内部の流速分布を得ることが困難という問題がある。

そこで本研究ではより詳細な流速の空間分布を計測するために、時空間の乱流構造の計測において多くの実績を持つ超音波ドップラー式流速分布計測法³⁾（以下 UVP）を用い、河川計測への応用の可能性について検討した。

2. UVP について

UVP では超音波トランスデューサから基本周波数 f_0 を持つ超音波パーストを流体中に発射し、流体中の粒子から反射されるエコーを同一のトランスデューサによって観測する。このとき反射波に生じる粒子の速度に依存したドップラー周波数を解析することにより流速を算出する計測法である。この解析を行うことにより計測線上の瞬時流速分布が得られる。なお計測できる流速成分は超音波ビーム方向成分である。

これまでに行った実験用開水路において計測精度検証について示す。精度検証は円管流の流量を基準値とし、開水路流速分布を流量に換算して比較することとした。図 1 は流量計測結果である。開水路流量は基準値と比較して 2～8% の誤差であり、これにより UVP による開水路流速の計測精度が確認できた⁴⁾。

3. 計測対象および計測条件

本研究では実際の小川の計測を行った。計測対象の小川の概略図を図 2 に示す。寸法は横幅が約 1.7m、平均水深が約 0.1m である。右岸水面に原点を取り、座標軸を図のように設定した。 $y=0 \sim 1.3\text{m}$ における河床は直径 20mm 程度の小石であり、 $y=1.3 \sim 1.7\text{m}$ では水草である。また $y=0.8 \sim 1.1\text{m}$ の上流部分には岩が置かれている。トランスデューサは上流側に傾けて設置し、計測は 0.1m 間隔で 17 点行った。使用したトランスデューサの基本周波数は 2MHz である。空間分解能の設定は 1.5mm であり、0.13s おきに連続 1024 回瞬時流速分布を計測した。計測した流速は x 方向成分 u に変換した。なお、川の上流の水位は安定しており、定常流を仮定して計測を行った。

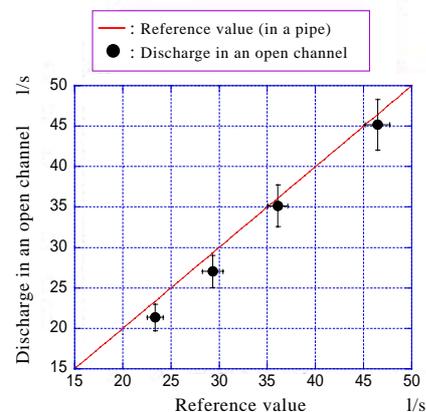


図 1 流量計測結果

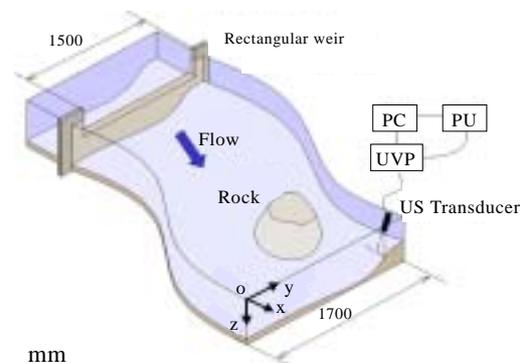


図 2 計測部概略図

キーワード：超音波ドップラー流速分布計測法、流速分布、乱流強度、時空間計測

連絡先：札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学工学研究科
 宇宙流体物理学分野 吉田 静男 Tel 011-706-6723

4 計測結果

計測結果の一例として $y=0.4$ における平均流速分布を図4に示す。横軸は z 、縦軸は u である。グラフは各点がその位置における平均流速を、エラーバーが流速の標準偏差を示している。流速が負であるのは、UVP ではトランスデューサに近く向きの流れが負として計測されるためである。グラフの特徴として $z=0.1$ 付近で流速が0となっていることが挙げられる。スケールにより計測した水深が 0.095m であったことから、この位置は河床であることがわかる。次に河床による流れの時間変動の違いについて考察を行った。図5,6に河床の異なる2箇所 $y=0.4$, $y=1.4$ における時系列流速分布を示す。グラフ横軸は計測開始からの時間、縦軸は z である。また流速はカラープロット

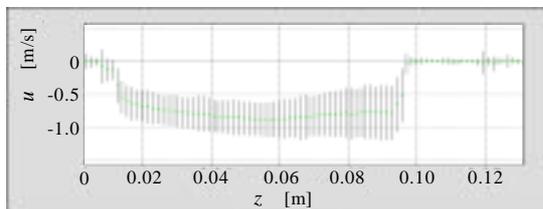


図4 $y=0.4$ での平均流速分布

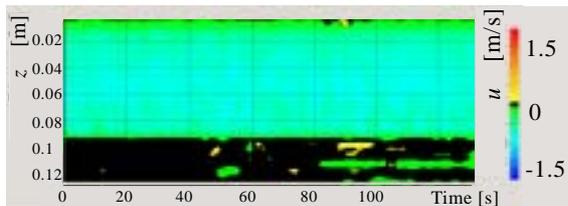


図5 $y=0.4$ での時空間流速分布（河床：小石）

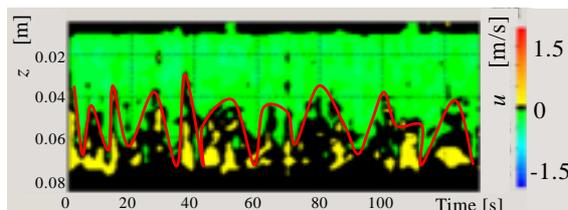


図6 $y=1.4$ での時空間流速分布（河床：水草）

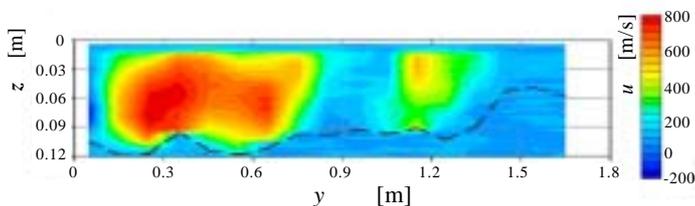


図7 yz 断面流速分布

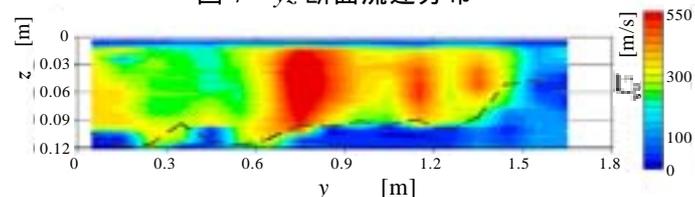


図8 yz 断面乱流強度分布

トによって示される $y=0.4$ の場合では速度が0となる位置 ($y=0.09$ 付近) が時間的に変化していないことがわかる。このような分布となるのは小石が動かず、固定河床となっているためである。一方 $y=1.4$ での場合は速度が0となる位置（図中の曲線部）が大きく変動している。この速度が0となる位置は水草の変動に一致するものであると考えられ、UVP はこのような界面の変動観測への応用も期待できる。

図7,8はそれぞれ yz 断面流速分布、 yz 断面乱流強度分布である。流速は順流が正となるように符合を入れ替えている。また図中の破線はスケールにより計測した水深である。流速分布を見ると $y=0.8 \sim 1.1$ の領域は岩の後流であるため u が小さくなっている。さらに岩によって縮流が生じるため、その領域を挟むようにして流速の大きい部分が存在している。乱流強度分布では岩の両端にあたる領域において大きな値を取っている。これらの分布は円柱周りの流れの計測結果⁵⁾でも見られる現象であり、岩周りの流れの計測結果として妥当な結果であるといえる。

今回の対象は小規模な小川であったが、UVP が様々な角度から河川の流れ構造の理解を可能とする有効な手法であることが確認できた。

5. 結論

UVP は効率的かつ詳細に流速分布の計測を行うことができる。また流速分布のみならず乱流統計量の解析なども可能であり、河川の物理現象の実験的検証に有効な手法である。したがって、河川計測において今後の応用・発展が期待される。

参考文献

- 1) 喜澤・井出：河川流量観測における新計測法の提案について、河川技術論文集, Vol.7, pp.251-256, 2001
- 2) 藤田・河村：ビデオ画像解析による河川表面流計測の試み、水工学論文集, Vol.38, pp.733-738, 1994
- 3) Takeda, Y: *Instantaneous Velocity Profile Measurement by Ultrasonic Doppler Method*, JSME International Journal, pp.8-16, 1995
- 4) Yokoyama, K, et al: *Flow Measurement in an Open Channel by UVP*, 4th International Symposium on Ultrasonic Doppler Method, pp. 55-58, 2004
- 5) Zdravkovich, M.M : *FLOW AROUND CIRCULAR CYLINDERS*, OXFORD SCIENCE PUBLICATIONS, pp.46-55, pp124-142, 1997