# 超音波ドップラー流速分布測定法を用いた河川の流れ構造の測定

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

北海道大学大学院	機械科学専攻	正	員 吉田	静男	(Shizuo Yoshida)
北海道大学大学院	機械科学専攻		横山	韾	(Kaoru Yokoyama)
北海道大学大学院	機械科学専攻		大窪	智行	(Tomoyuki Ohkubo)
北海道大学大学院	機械科学専攻		小嶋	慎哉	(Shinya Kojima)
北海道大学大学院	機械科学専攻		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実験 的に解明するためにはより詳細な流れの情報,特に空間 構造を得ることが求められる.そのため近年では ADCP<sup>1)</sup>, PIV<sup>2)</sup>といった新しい測定技術が河川測定にも応用され 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である.

そこで本研究では、より詳細な時空間の流れ構造を測 定する技法として開発された超音波ドップラー式流速分 布測定法(以下 UVP)を用い、河川測定への応用の可能 性について検討した.

## 2. UVPの基本原理<sup>3)</sup>



図1にUVPの基本原理の概念図を示す.超音波トラン スデューサから基本周波数 f<sub>0</sub>を持つ超音波パルスを流 体中に発射し,流体中から反射されるエコーを同一のト ランスデューサでとらえる.

超音波パルスの往復時間から測定点の位置を決定し、 その点におけるエコーのドップラー信号より速度を算出 する.測定点を複数にすることにより,測定線上の速度分 布が同時に得られる.得られるのは速度1成分の速度分 布であり,順流・逆流が判別できる.この作業を1/fprf周期 で繰り返すことによって時系列での測定ができる.

時間分解能は数十から数百ミリ秒程度である.空間分 解能は1mm程度から設定することができ,ADCPと比較 して非常に小さい.また測定線を複数本にすることによ り,その交点で速度ベクトルが得られ,流動場全体をベク トル量として測定(マッピング)することもできる.

#### 表1に最大測定距離と最大測定流速の関係を示す.

表1 最大測定距離と最大測定速度の関係

$f_0(MHz)$	最大測定距離(mm)	最大測定流速(mm/s)
0.5	100	5264
	6000	91
1	100	2632
	3000	91
2	100	1316
	1500	91

\*水に対する値

## 3. 実験室開水路での測定

#### 3.1 実験水路及び測定条件

図 2 に実験用開水路の概略を示す.オーバーフロータ ンクによって定常流を実現しており,流量は手動のバル ブによって調節する.水路には上流側にタンク,下流側に 堰が設けられており,水路幅は 620mm である.測定位置 は堰から上流側に 2700mm の位置であり,水路中央に対 して対称流であることを仮定し,壁面から中央までの 30 点で測定を行った.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 3.8mm,時間分 解能は 0.17s であり,連続 512 プロファイルの平均を取っ た.今回は同一流量において底面に何もない場合,上流側 にブロックがある場合の 2 ケースについての測定例を示 す.図 3 にブロック寸法・設置図を示す.



# 図3 ブロック寸法・設置図

## 3.2 測定結果

図 4 に各々の場合の水路中央における鉛直方向流速分 布を示す.縦軸が速度,横軸がトランスデューサからの距 離でドットがその位置での平均流速,バーが流速の標準 偏差を示している. グラフ左端がトランスデューサ先端 であり,速度が0となる位置が底面である.UVPではトラ ンスデューサに向かってくる速度成分を負で検知する. 本実験ではトランスデューサを上流側に傾けて設置して おり,そのため速度が負で検出されている.ブロックがあ る場合の分布では途中で流速の符号が反転しているが, これはブロックによってトランスデューサに対する流れ の向きが逆転したことを意味する.

このような流速分布を各点で測定することによって図 5 に示すような水路横断面での流れ方向流速分布が得ら れる.図は左がブロックなし,右が上流にブロックがある 場合である.縦軸が水深,横軸が壁からの距離で壁面から 水路中央までの領域を表している.速度の大きさはカラ ープロットによって示されている.この図から底面がフ ラットな状態の場合は断面でほぼ一様な流速であること が解る.一方ブロックがある場合,どの領域で逆流となっ ているかを一目で把握することができる.



図4 水路中央平均流速分布(左:ブロックなし)



図5 水路横断面流速分布(左:ブロックなし)

## 4. 実際の小川での測定



図6 小川測定部と底面水草領域

## 4.1 測定対象および測定条件

次に実際の小川での測定を行った.測定対象の小川の 写真を図 6 に示す.寸法は横幅が約 1.7m,水深が約 0.1m である.写真左側から約 1.3m では河床は直径 20mm 程度 の小石であり,右端から約 0.4m は水草である.また測定 地点上流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,測定は 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,時間分解能は 0.13s であり, 連続 1024 プロファイルの平均を取った.なお,川の上流に 設けた堰の値を観測したところ流量は安定しており,定 常流に近い流れであると言える.

### 4.2 測定結果

実験室開水路とは違った実際の川での特徴的な構造の 測定結果を示す.図 7 に底面が小石の場合と水草の場合 における時系列流速分布を示す.縦軸はトランスデュー サからの距離,横軸は測定開始からの時間である.また流 速はカラープロットによって示される.流速の向きは実 験室の場合と同じく負の速度が順流を示している.小石 の場合を見ると速度が0となる位置が時間的に変化して いないことがわかる.すなわち測定中に河床の変動がほ とんどないと言える.一方底面が水草の場合は速度が 0 となる位置が大きく変動している.これは流れによる水 草の変動を捕えていると解釈することができる.次に図8 に横断面流速分布を示す.縦軸がトランスデューサから の距離、横軸が横断方向位置である、流速は順流が正とな るように符合を入れ替えている.また図の曲線はポール により測定した水深である.横断位置 0.9m 付近で逆流と なっているのは、この位置が岩の後流部分であり巻き込 みの流れを測定しているためである.このように断面流 速分布から河川のどの領域で流速が速いのかという情報 が容易に得られ、流れ構造の理解に非常に有効である.



#### 5. 結論

UVP は速度 1 成分であれば効率的かつ詳細に流速分 布の測定を行うことができる.また,時空間測定が可能な ことから単に流速分布にとどまらず様々な流れ構造の理 解に有用であり,河川測定においてもその応用範囲は非 常に広いと考えられる.

#### 参考文献

 1)喜澤・井出:河川流量観測における新測定法の提案に 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測定の 試み,水工学論文集,Vol.38, pp.733-738,1994
3)Met-flow: UVP Monitor-Model UVP-XW, User's guide,pp.2.1-3.15,2000