

PIV 手法を用いた河床波上の流れの三次元測定

広島大学大学院 学生会員 ○山本健介
 広島大学大学院 正会員 渡邊明英
 東京建設コンサルタント 正会員 見上哲章

1. 序論

現在、流量の測定には一般的に浮子観測が用いられている。浮子観測は適用条件が広い利点を有するが、更正係数の妥当性、測線の代表性、河床変動による評価誤差などの問題点もある。一方、浮子測定を補うことができ、広域で瞬間的に流速測定が可能な PIV(Particle Image Velocimetry)の利用が考えられている¹⁾。PIV は実河川においても空間的に多量の流速を得ることができるが、得られる水理量は表面流速と水面形のみであり、内部の流速場は未知である。表面の情報から内部の流況が推測可能になれば流量算定の精度向上が見込める。本研究は、このような狙いの基に、河床波を有する流れ場を対象とし、PIV およびレーザ流速計(LDV)を用いて表面と平均流速との関係について実験的に検討する。

2. 実験方法

図1に実験水路を示す。水路に図2に示す河床波が縦断的に12mの区間、連続的に設置されている。砂堆の波長と波高は、平均水深を8.7cmとして図2に示す様に決定される²⁾。等流の流れ場を対象として、流速と水位を図1に示す斜線領域で1波長分測定する。水理条件は表1に示す通りである。水位はポイントゲージとレベルを用いて計測され、縦断鉛直面内の流速はPIV およびLDVを用いて測定される。レーザ光は図3に示すように、水面から縦断鉛直面内に照射されている。まず、PIVによる測定結果とLDVの計測値を比較し、PIVの精度並びに断面内部の流れについて検討する。

3. PIV と LDV 測定による精度検証と河床波上流れの特性

図4に河床波上の流速ベクトルを示す。水面や底面付近の境界部を除き、PIV と LDV による水平流速成分 u はほぼ一致している。境界付近において精度が低下する原因は、トレーサ粒子を正確に識別できていないためと考えられる。すなわち、水面付近では水位の変動やそれに伴う光の乱反射の影響を受け、河床近傍においては流体の混合が激しくなり、トレーサ粒子の位置が正確に判断できなくなったためと考えられる。

河床波1波長についてPIVおよびLDVによる流速分布から得られる流量と四角堰により求めら

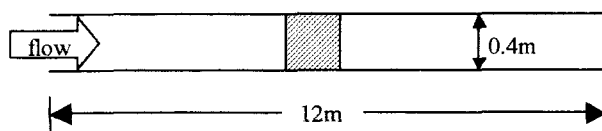


図1 実験水路平面図

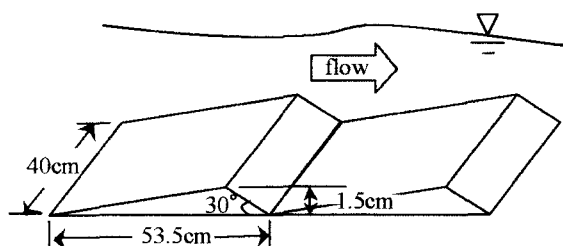


図2 河床波の諸元

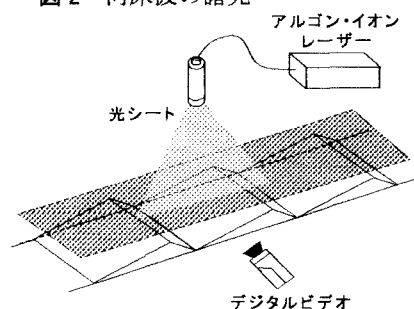


図3 PIV 測定法

表1 水理条件

流量(m^3/s)	0.0096
平均水深(cm)	8.7
河床勾配	1/1170
水面勾配	1/1140
フルード数	0.30

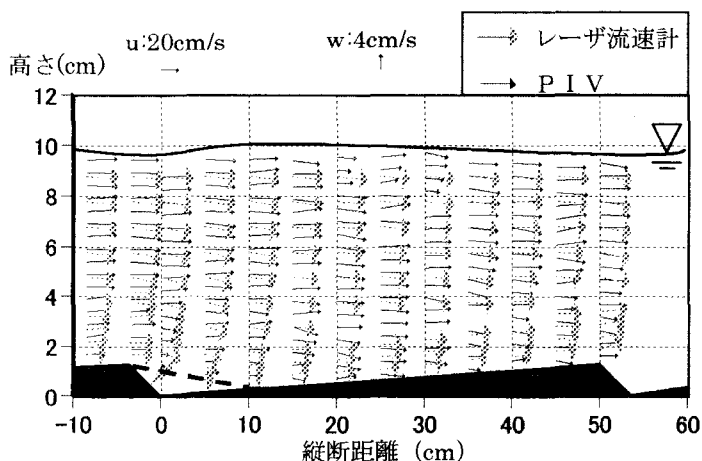


図4 PIV およびレーザ流速計による河床波上の流れ

れる流量を比較し、図5に示す。個々の流速ベクトルではばらつきが見られたが、これによるとPIVとLDVの1波長分平均した流量は共に、四角堰の結果に対して5%以内の誤差となっていることが分かる。したがって、PIVはLDVによる流速と平均的に同程度である。次に、内部の情報をここで得られた平均流速で代表させ、それと表面流速および水面形との関係を検討する。

河床波を有する流れではクレストから剥離が生じ、その内部では逆流が発生している。そのため、図4に示す様に剥離流線を河床底面と見なし、平均流速の算定を行った。その平均流速と表面流速、水深および水面勾配の縦断的な変化を図6に示す。(a)、(b)より、PIVはLDVの計測値に対して1割程度の誤差を含む場合もあるが、ほぼ同程度である。表面流速の平均流速への更正係数は、縦断平均するとPIV、LDVでそれぞれ0.88, 0.84となり、誤差は4%程度である。また、更正係数は加速域で大きくなり、再付着点付近の減速域では小さくなる。これは、境界層が再付着点付近から急激に発達し加速域ではそれが薄くなるためだと考えられる。連続条件より平均流速は、水深と縦断的に逆位相となっている。(c)からは、平均流速は水面勾配が逆勾配となる区間では減速され、順勾配となる区間では加速されており、河床波上でこれを繰り返していることが分かる。以上より、表面流速および水面形の縦断的な変化が、平均流速および水深の縦断的な変化に関係していることが示された。

4. 結論

PIVにより算出される水平流速成分 u は、LDVの計測値に対して水面や河床付近を除く領域で概ね一致する。境界付近では粒子を特定することが困難なため、ばらつきの傾向を示す。しかし、縦断的に平均した流量を比較するとPIVとLDVとの差異は2%程度となる。正確な相関サイズや探査領域の選定を行うことで、PIV測定法の測定精度および利用性は高まると考えられる。

河床波のクレストより剥離が生じており、その剥離流線を流れ場の底面と見なすと、それにより得られる縦断的な平均流速は、表面流速、水深および水面勾配と縦断的に関係を持つ事が示された。本研究の最終的な狙いは、水面形と表面流速の縦断変化から流量を推定することである。今後は得られた関係を基に平均流速と流速分布の関係を定量的に明らかにし、表面情報から流速分布の推定法について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 深見和彦ら：非接触型流速計測法の開発，土木技術資料 Vol.45 No.2, pp36-45, 2003
- 2) 土木学会：水理公式集[平成11年版]，pp.181-184, 1999

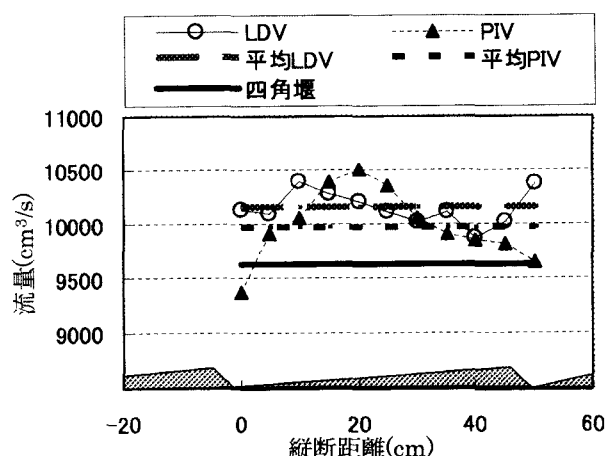


図5 PIVとレーザ流速計による流量測定結果

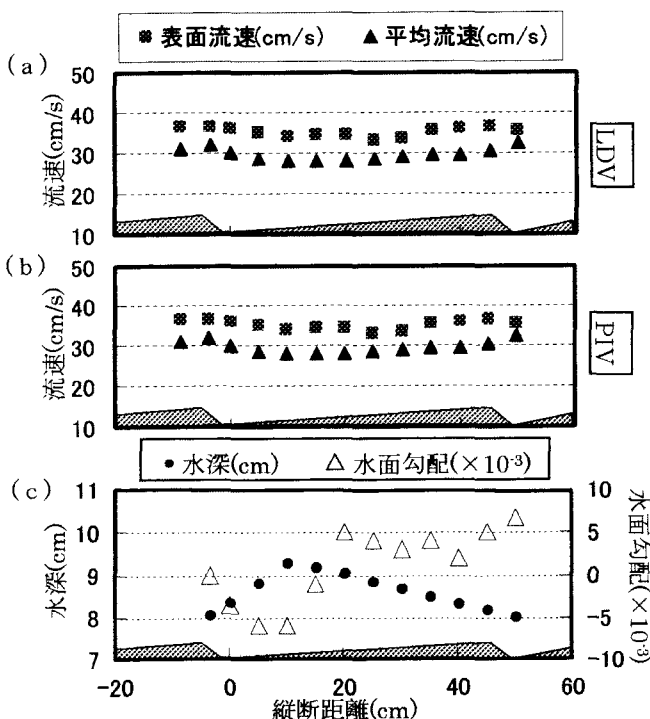


図6 水面勾配・表面流速・平均流速・水深の縦断変化
(a):レーザ流速計, (b):PIV