

現地スケールの水衝部における ADCP を用いた三次元流れの計測

中央大学大学院 学生会員 ○奥石 大
 中央大学研究開発機構 正会員 内田 龍彦
 中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

1. 序論

堤防護岸沿いや構造物周辺において河岸浸食や河床洗掘対策を行うためには、外力となる流れ場を明らかにする必要がある。しかし、現地スケールの詳細な流速分布は計測することが困難である。この理由に、電磁流速計等の点計測タイプの流速計では水深方向に多点計測する労力が大きいこと、支持鋼が大きな流体力を受けるため計測自体が困難であることが挙げられる。そこで、著者らは ADCP を応用した水衝部における局所流の流速分布計測法を開発し、浅川現地観測結果より本計測法の精度を検証した¹⁾。本論文では、2011 年常願寺川現地実験へ本計測法を適用し、堤防護岸沿いに発生した水衝部における局所流の構造を把握する。

2. ADCP を用いた局所流計測法

ADCP は 4 つのトランスデューサーから超音波を発射し、水中の散乱体(微生物、懸濁物質)が反射した超音波のドップラーシフトを利用して 3 次元流速鉛直分布を測る多層流向流速計である²⁾。図-1 に ADCP 流速計測法の枠組みを示す(ここでは、y-z 平面のみ示すが、x-z 平面においても同様である)。通常の ADCP 流速計測では、流速値 $v(v_y, v_z)$ は、 $\theta=20^\circ$ で発射される各ビーム方向の流速値 v_1, v_2 を用いて、区間 L において流速を一定と仮定することで式(1)から計算される。

$$v_y = \frac{-v_1 + v_2}{2 \sin \theta}, \quad v_z = \frac{v_1 + v_2}{2 \cos \theta} \tag{1}$$

また、ADCP は内部に液面センサーを持ち、ADCP の傾きを計測し、補正している。ここで、区間 L は水深に比例し、1.0m 毎に約 0.7m の広がりを持つため ($\theta=20^\circ$)、局部的に流速が大きく変化する箇所や水深の深い箇所では流速一定の仮定が問題となる。そこで、本計測法では、観測期間において流れが定常であるとし、図-2 に示すように横断方向に連続的に計測されたビーム方向流速値 v_1, v_2 を個別に取得し、計測領域内においてそれぞれ空間的に補完し、再び重ね合わせることで任意の点の流速 $v(v_y, v_z)$ を計算する。周期的な流速変動が生じている箇所では、1 地点の計測時間を増やす、あるいは横断方向の測点数を細かく設定し、計測データを時空間的に平均する必要がある。なお、縦断方向流速 v_x については、横断方向・鉛直方向に比べ変化のスケールが小さいとし、通常の流速一定の仮定を用いて計算する。河床、壁面近傍等において 4 本のビームの内 1 本のデータが取得できない場合、残り 3 本のビームデータから流速が計算できる²⁾。通常の計測法では、4 方向へ広がるビームからエラーを含まない 3 ビームを用いて、ビームの広がる範囲で流速を一定として三次元流速を計算する。本計測法は縦断方向へは流速一定の仮定を用いるものの、 v_1, v_2 を補間して求めるため、縦横断方向に流速一定の仮定を用いる通常計測法に比べ、精度の向上が期待できる。

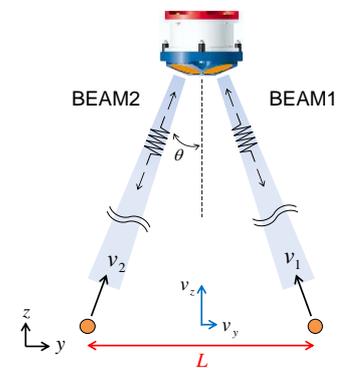


図-1 ADCP 流速計測法の枠組

3. 2011 年常願寺川現地実験概要

2011 年常願寺川現地実験は堤防護岸際の浸食・洗掘機構の解明と洗掘解析法の検討を目的として行われた。図-3 に水路全景を示す。実験水路は流路全長 170.0m、堤間幅 20.0m、縦断勾配 1/200 の中に幅 4.0m、深さ 1.0m の低水路を有する複断面蛇行水路である。低水路蛇行部には L 型擁壁護岸を上流の水衝部①、下流の水衝部②に設け、全 3 回の通水が行われた。本論文では、巨石を有する砂州を用いた河岸防護工により河床が変動しな

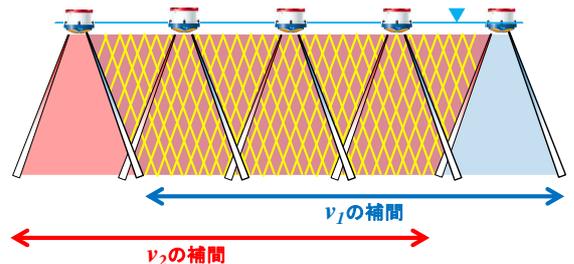


図-2 v_1, v_2 の補間

キーワード 水衝部 局所流 二次流 ADCP 護岸 現地実験

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31214 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1611

い条件である水衝部①において、
 通水 2 回目 (7.6m³/s) に実施され
 た局所流の流速計測を対象とする。
 図-4 に水衝部①の流速計測
 風景を示す。可動式のレールを設
 置し、図-5 に示す a~g 断面にお
 いて ADCP を用いて縦横断的に
 流速分布を計測した。また、ADCP 送受信面の水深と合わせて、水面
 から 0.4m 程度の区間が計測不能であった。これを補完するため、断
 面 c,e において電磁流速計を用いて水面から 0.15m 付近の計測も行っ
 ている。計測には RD Instruments 社製 Workhorse ADCP Rio Grande, JFE
 アドバンテック社製 2 軸電磁流向流速計 AEM213-D を用いた。

4. 常願寺川現地実験流速計測結果

図-5 に ADCP 本計測法による計測結果より底面流速ベクトル、
 電磁流速計計測結果より水面流速ベクトルを示す。底面流速は水深の
 70%の深さの流速とし、水面流速は水面から 0.15m の高さの電磁流速
 計の計測値を示している。断面 a~d にかけて、低水路内岸の底面流
 速が大きくなっている。通水前に掘削した法勾配 1:1.5 の断面形状は、
 内岸が削られ、断面 a(図-6 断面 a)ではおよそ 1:2 の緩やかな形状と
 なっている。断面 c,e において流速は水面付近では右岸側へ向かって
 いるが、底面付近では内岸へ向かっており、二次流が発生しているこ
 とが分かる。図-6 に断面 a, e, g における ADCP 本計測法による流速
 鉛直分布をコンターで主流(v_x)、ベクトルで二次流(v_y, v_z)を示す。河床
 形状は 2 回目通水後に 5m 間隔で測量された横断データを補間して作
 成したものをを用いている。主流速分布では断面 a では、低水路内岸側
 に主流が発生している。主流は断面 e では中央へと遷移し、断面 g
 において外岸の右岸際で生じ、底面付近も大きな流速となっている。こ
 れは、右岸の L 型擁壁護岸沿いに生じる二次流が、主流速の運動量を
 左岸水面付近から右岸底面付近へと運んだためと考えられる。水衝部
 ①では、巨石の大きな抵抗による水はね効果、根石による河床形状の
 安定により砂州が守られ、洗掘を防ぎ、断面形が維持されているもの
 の、抵抗の小さなコンクリート護岸周辺に流速が集中することで、大
 きな洗掘・浸食力を有する局所流場が形成されることが分かる。

5. 結論

本研究では ADCP を用いた河川水衝部における局所流の 3 次元流
 れを計測するため、ADCP の 4 本のビームを個別に取得し、時空間
 的に平均、補間し重ね合わせる計測法を開発した。2011 年常願寺川
 現地実験において、最大流速 2.5m/s の激しい流れに対し、本計測法
 を用いて堤防護岸際に生じる 3 次元局所流と河床洗掘機構を考察し
 した。

参考文献 1) 奥石大, 内田龍彦, 福岡捷二: ADCP を用いた河川水衝
 部における局所流計測法の開発, 土木学会関東支部, 第 39 回, pp. II
 66- II 67, 2012. 2) TELEDYNE RD Instruments: Acoustic
 Doppler Current Profiler Principles of Operation A Practical Primer,
 December, 2006.

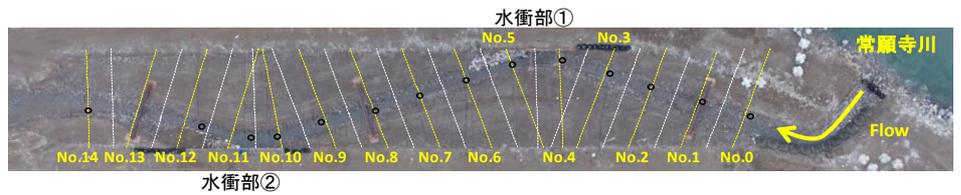


図-3 常願寺川現地実験水路全景

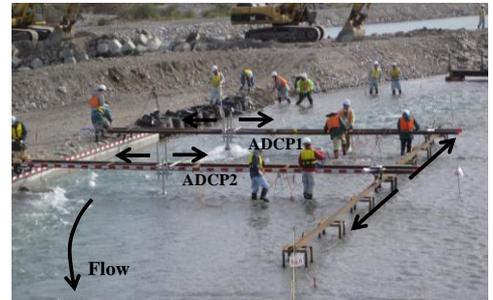


図-4 水衝部①流速計測風景

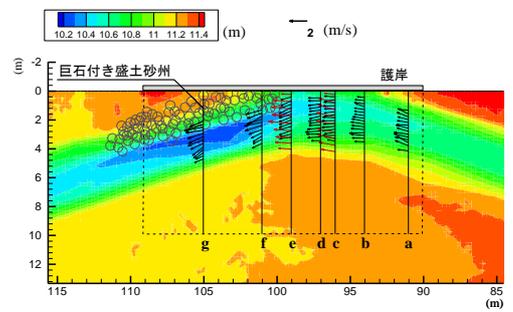


図-5 水衝部①水面(赤),底面(黒)流速

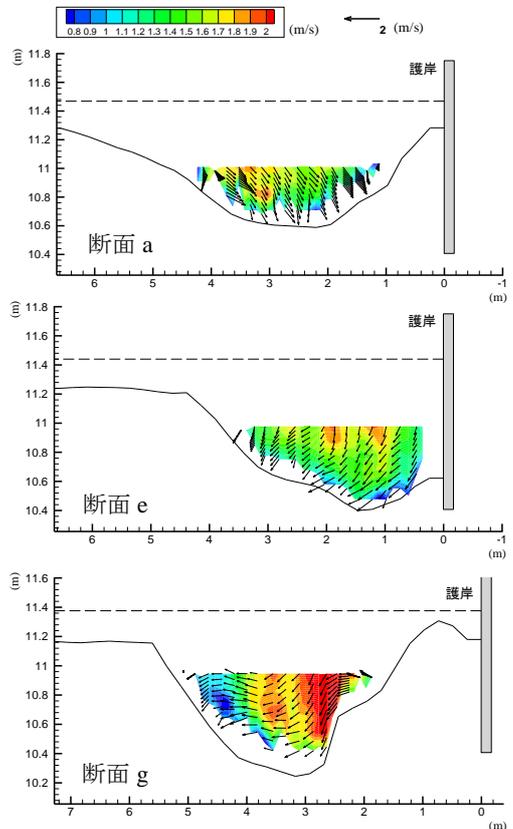


図-6 水衝部①流速分布