平成23年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第68号

破堤を伴う高流速条件下における

電波式流速計及び ADCP の基礎的な計測特性

The basic characteristics of measurements with ADCP and Radio Current Meter under conditions of high velocity with levee breach

(独) 土木研究所寒地土木研究所

(Tatsuhiro Inagaki)	產弘	稲垣道	○正員
(Tomonori Shimada)	友典	島田力	正員
(Hiroshi Yokoyama)	洋	横山	正員
(Takaharu Kakinuma)	孝治	柿沼素	正員

北海道開発局帯広開発建設部

三宅 洋 (Hiroshi Miyake)

1. はじめに

河川の流量観測は河川の管理において重要な業務であるが, 作業環境は厳しく、雨天時や夜間ならびに流下物が生じる現場 での作業は危険を伴うものであり、観測機器に関しても、破損 や流失の恐れがある.近年、これらの課題に対応する新しい観 測機器1)が開発されているが、導入を検討する場合、それら がどれくらい厳しい条件下で正常に動作できるかが重要になる.

流水に触れることなく河川の表面流速を簡易に計測できる電 波式流速計は,安全確実な流量観測手法として実用性が高いと 考えられるが、基礎的な計測特性について記された文献が少な い. また, ADCP は河道断面内の流速分布を極めて詳細に把握 でき、浮子観測に比べて短時間に流量観測が出来るが、高流速 や流下物が生じる実河川におけるデータ取得面の課題について 議論されることが多い.

本稿は、2011年に実施した破堤を伴う極めて複雑で高流速 の条件下で実施した流量観測の結果から、電波式流速計及び ADCP の基礎的な計測特性を報告するものである.

2. 実験概要

(1) 千代田実験水路

千代田実験水路2)は十勝川中流部の現河道内に築造された 実物大水理実験施設であり、2007年より共用を開始し現在は 堤防の三次元越水破堤実験3)に使用されている.千代田実験 水路における破堤実験の様子を図-1 に示す. 図中央が河道で あり堤防を挟んで右岸側が氾濫域である.河道幅は 8mに設定 しており、河岸形状は左岸側が鋼矢板の直立であり右岸側は土 堤の2割勾配である.千代田実験水路の河床勾配は1/500 であ ることから、通常の流下条件で生じる流速は 2m/s~3m/s 程度 である.しかしながら、今回実施した 2 度の破堤実験(Case-A: 通水量約 70m³/s, Case-B: 同約 80m³/s) では水路内をほぼ満 水で流れる流水が水深のない氾濫域へ一気に流れ込むことで破 堤口へ向かう流水勾配が急になり、破堤口近傍では 6m/s を超 える高流速が発生する条件となった.破堤実験では氾濫流量を 記録するために破堤口の上下流で流量観測を実施しているが、 本稿では破堤に伴い非常に激しい流れが発生した上流側の観測 結果について報告する.

(2) 観測方法

観測機器の配置を図-2、図-3に示す. 電波式流速計は水路を



千代田実験水路 図-1

表-1 計測機器概要

ADCP	
機種名	RD Instruments社製 Workhorse
周波数・モード・層厚	1200kHz・12(ハイスピード)・10cm
GPS	NAVCOM社製 SF-2030M
電波式流速計	
機種名	横河電子機器社製 WJ-7661[RYUKAN]
計測原理	マイクロ波のドップラー効果
周波数	24.15GHz(特定小電力機器)

横断する人道橋の上から、 25 度の俯角のみを付けて 7m上流 (満水時)の表面流速を計測した. 電波式流速計の計測値と比較 するため、表面浮子(喫水深 0.1m)を流下させ表面流速を計 測した. 浮子観測は図-2 のように河道を 4 つの区分断面に分 割し、電波式流速計の計測地点が概ね中間になるように見通し 線を設定した. ADCP 観測は ADCP 本体, GPS, 測深器を観 測艇に搭載して水面に浮かべ、水面上を横断移動させることで 流水断面全体の流速分布と河床形状を得た. また破堤口付近の 流況を把握するために人道橋からロープで ADCP 船艇を係留 し、河道中心部に浮かべて定点観測を実施した. さらに Case-A では人道橋から ADCP をもう1 台曳航して横断観測を実施 した. なお昨年度までの観測において、3m/s 程度の流速でも 水面の波立ちにより観測が不可能になったことから4),今年 度の観測では、高流速に強いとされる最新型の船艇⁵⁾を使用 した. 計測機器の概要を表-1 に示す.



凶-4 加速計測和未\L:CASE-A, P:CA

3. 観測結果と考察

図-4 に手法別の流速計測値を示す. 電波式流速計は表面流 速であり5分間の移動平均により細かな上下振動を平滑化して いる. ADCP は観測した流量を流積で除して求めた断面平均流 速である. また, 図中の高水とは表面浮子流速に更正係数0.85 を適用して算出した流量を流積で除して求めた断面平均流速で ある. これら3者を比較すると, ADCP と高水はほぼ等しい流 速を観測し, 電波式流速計はやや大きめの流速を観測している が, この差は断面平均流速と表面流速の違いと考えられる.

また, Case-A の ADCP は,高流速部において P413 と P430 に差が見られる.流速の増加は破堤により生じていることから,流速は破堤口に近いほど大きく,破堤に伴い氾濫域側へ流出する水の落差が流速を加速させているものと考えられる.

3.1 電波式流速計

図-5,図-6 に電波式流速計と表面浮子の比較結果を示す. 上段には測線毎の時系列の表面流速を、中段には流速の横断分 布状況を、下段には ADCP で計測した鉛直流速分布を示した. また上段および中段の図には、ADCP で計測した河道中心部 (左岸矢板から 4m)の第1層流速(水深=0.3m流速)をプロ ットしている.

ここで、電波式流速計及び ADCP の横断的な計測位置は河

道の中心(左岸矢板から 4m)であり,電波式流速計の照射位置 に対応する表面浮子は概ね測線2となる.また縦断的な計測位 置は,水位変動により変化するが,人道橋からの水平距離で満 水時が 7m,無水時では 15m である.電波式流速計から発射 される電波は半値角 12 度で拡がるため,照射面の幅は計測距 離に応じて約 1.5m~3.0m程度となり,電波流速計の流速は照 射面内の平均流速となる.

Case-A では、電波式流速計に対して測線 2 の表面浮子は全体的に概ね1割程度大きな流速を計測した.また、流速が急激に増加した後半では浮子との差が広がっている. Case-B では流速 3m/s 程度まで電波式流速計と表面浮子は良く一致するが、それ以降は浮子の流速が電波式流速計に比べ顕著に大きくなっている.表面浮子と電波式流速計の流速が合わない原因について、計測方法に着目すると、電波はマイクロ波の照射点における流速であるのに対し、浮子は流下距離 20mの区間平均流速であることの違いがある.そこで、図-7 に示す水位縦断形の時系列的な変化状況を観察すると、Case-A では流速が増加を始めている 11 時 07 分以降、Case-B も同じく流速が増加を始めている 11 時 12 分以降の水位勾配が、流速増加の前と比べ顕著に急になっていることが分かる.この急勾配の流れが流速を加速させ、浮子の流下区間内においても破堤口へ近づくほど流速が速いことが伺える.

平成23年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第68号



図-5 CASE-A 流速分布図(上:時系列, 横断分布, 下:鉛直分布)



図-6 CASE-B 流速分布図(上:時系列, 横断分布, 下:鉛直分布)





図-8 ADCP 横断観測状況(CASE-A P413)

次に ADCP 第1層流速と比較すると、電波式流速計の流速 は若干小さいが、ADCP 流速の鉛直分布は必ずしも表層付近の 流速が最も速い訳ではなく、鉛直流速のカーブの延長線上に電 波式流速計の表面流速を置いてもさほど不自然では無いように 見える.以上のことから、図-5、図-6 に見られる表面浮子と電 波式流速計における流速の乖離は、浮子流下区間内でも破堤口 に近づくほど流速が加速していることで、浮子による区間流速 と電波式流速計の点流速に差が生じたこと、及び破堤に伴う水 位低下により電波式流速計の流速計測位置が上流側へ移動した ことが相乗的に働いたことが原因と推測される.

3.2 ADCP

ADCP 横断観測に成功した最大流速は, Case-A の P413 で 3.6m/s, 同 P430 で 4.9m/s であった. また Case-B の P498 では 4.3m/s であった. しかし CASE-A では 11 時 30 分以降に河道 内に三角波を伴う激しい波立ちが発生(図-8) し, ADCP の横 断移動が危険になったため観測を中止した. また, Case-B で は 11 時 40 分から 12 時 20 分にかけて横断観測を行ったものの, ADCP の計測値は異常値または欠測となった.

ADCP 定点観測では、破堤口付近の時系列的な鉛直流速分布 と河床高の変化状況を記録することに成功した. 図-9 に示す 流速分布を見ると、破堤開始以降に急速に流速が増加し、全断 面的に 6m/s 程度の激しい流れが継続して流下している様子が 確認できる.

4. おわりに

今回の観測から得られた、電波式流速計と ADCP の計測特 性に関する知見を以下に要約する.

1. 今回実施した電波式流速計と表面浮子による表面流速の 比較では、中程度の流速までは概ね良く一致したが、高

流速では電波式流速計に比べ表面浮子が大きな流速を計 測した.この流速の乖離は電波式流速計の過小評価では なく,破堤に伴う水面勾配の変化が流れを加速させ,破 堤口に近づくほど速い流れが生じたことと,破堤による 水位低下の結果,電波式流速計の電波照射位置が上流側 へ移動した事が相乗的に働いた結果と推測された.

 今回の観測では従前に無い高流速が発生した.破堤に伴う複雑な流れにより三角波が発生し、安全のため観測を 中断した時間帯があるものの、ADCP 横断観測では最高
4.9m/s、定点観測では 6m/s 程度の高流速時におけるデー タ取得に成功した.

参考文献

- 1) 稲垣達弘・島田友典・横山洋・石谷隆始:近年における流 量観測技術の高度化について~関連論文のレビュー,寒地 土木研究所月報第691号, pp21-33, 2010.
- 千代田新水路の概要及び千代田実験水路,国土交通省北海 道開発局帯広開発建設部,

http://www.ob.hkd.mlit.go.jp/hp/riveroffice/chiyoda/index.html

- 3) 島田友典・横山洋・平井康幸・三宅洋:千代田実験水路に おける氾濫域を含む越水破堤実験,土木学会水工学論文集, 第55巻,pp841-864,2011.
- 4) 稲垣達弘・島田友典・横山洋・三宅洋:十勝川千代田実験 水路における各手法別の流量観測,河川技術論文集,第17 巻,pp41-46,2011.
- 5) 萬矢敦啓・岡田将治・橘田隆史・深見和彦:日本における ADCPを用いた高水流量観測手法,水文・水資源学会研究 グループ「河川流量観測高精度化研究会」編:河川流量観 測の新時代第2巻, pp34-41, 2011.

