

非接触型電波式流速計の流水断面積付与に関する一考察

(独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○稲垣 達弘 島田 友典 横山 洋
国土交通省北海道開発局 三宅 洋

1. はじめに

流量観測業務の効率化に対するニーズの高まりに応え、省力かつ安全性に優れる非接触型電波式流速計(以下、電波式流速)による無人流量モニタリングが可能となっている¹⁾。電波式流速計は秒単位からの流速計測が可能であり、得られる連続流速に流水断面積を付与することで連続的な流量ハイドロの作成が可能である。但し、河床形状のリアルタイム計測は非常に困難なことから、通常は出水前または出水後の河道横断データより算出した流水断面積を付与する手法が用いられる。自然河川では出水中に河床変動等が生じ、出水前後で横断形状が大きく異なることがある。出水前と後で異なる2つの横断データが存在する場合、出水初期には前横断を、出水後期には後横断を適用することで、より正確な流量の評価が可能になると考えられる。また、前横断から後横断へ移行する過程における時系列的な断面変化量を推定することが出来れば、現実に近い流水断面積の再現が可能になると考えられる。

本研究は、電波式流速計から得られる連続流速から、限界摩擦速度を超過する摩擦速度の時系列的な分布状況を調べ、それを基に流量算出に付与する流水断面積を前横断から後横断へ滑らかに切り替える手法について考察を行った。

2. 計測の概要

本研究には、2009年6月30日に千代田実験水路で実施した縦断堤破堤実験²⁾における電波式流速計と ADCP の計測データを使用した。実験時間は通水の開始から右岸堤の破堤を経て通水を終了するまでの約4時間である。なお実験の詳細については文献²⁾を参照されたい。流量観測は破堤開始箇所の上流80mの地点で行い、電波式流速計は水路左岸側の上空から流心部の表面流速を計測し、流水断面積の算出に必要な水位データは電波水位計を用いて計測した。ADCPはワイヤで小型艇を曳航し断面流速分布と河床高を同時計測した。観測地点の河道形状は、河床幅4m、法勾配2割であり、左岸側の法面だけがコンクリート護岸で保護されている。計測機器の概要及び計測状況を表-1、図-1に示す。

表-1 計測機器概要

| | |
|--------|----------------------------|
| ADCP | |
| 機種名 | RD Instruments社製 Workhorse |
| 周波数 | 1200kHz |
| GPS | NAVCOM社製 SF-2030M |
| モード・層厚 | 12(ハイスピード)・10cm |
| 電波式流速計 | |
| 機種名 | 横河電子機器社製 WJ-661[ryukan] |
| 周波数 | 24.15GHz |

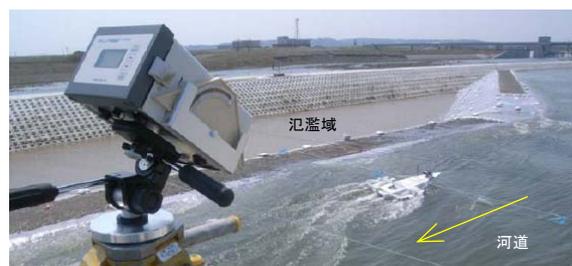


図-1 観測実施状況(手前に電波式流速計, 奥は ADCP)

3. 通水による横断形状の変化

実験による通水の結果、観測地点の横断形状は図-2のように通水前後で大きく変化した。断面変化は主に河道の右岸法面にあたる破堤実験用の土堤の侵食とそれに伴う河床への土砂堆積として生じており、表-2に示すとおり、ピーク水位を観測した時刻における流水断面積は、通水前横断を適用した場合は22.20m²なのに対して通水後横断では24.67m²となり+11.2%の面積差が生じる。よって、同時刻の流速2.90m/sを乗じて流量を算出すると、通水前横断では63.83m³/s、通水後横断では70.99m³/sとなり、同様に+11.2%の差が生じることとなる。

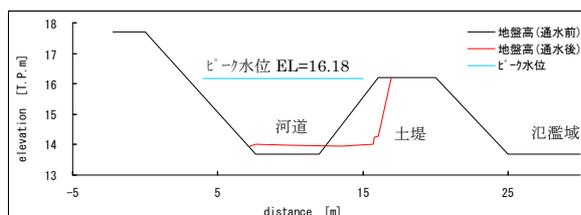


図-2 通水前後の横断図

キーワード 電波式流速計, 千代田実験水路, 掃流力, 限界摩擦速度

連絡先 〒085-0014 釧路市末広町10丁目1-6 大同生命釧路ビル4階 TEL(0154)61-5000

表-2 ピーク水位時刻における流水断面面積および千代田実験水路の水理パラメータ

| 流速 V[m/s] | 通水前断面 面積[m ²] | 通水後断面 面積[m ²] | 前_流量 Q[m ³ /s] | 後_流量 Q[m ³ /s] | 変化率[%] | 河床勾配 I _b | 粗度係数 n | 河床粒径 d ₅₀ [mm] | 水中土粒子 密度 s |
|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------|------------------------|-----------|------------------------------|---------------|
| 2.90 | 22.20 | 24.67 | 63.83 | 70.99 | + 11.22 | 1/500 | 0.024 | 20.7 | 1.63 |

流速：ピーク水位観測時刻(10時35分)における実測値，通水前後断面面積：通水前後横断面から求めた流水断面面積，前後流量：流速に通水前後断面面積を乗じ算出した流量，変化率：流水断面面積及び流量の変化量，河床勾配：千代田実験水路の計画河床勾配，粗度係数・河床粒径・水中土粒子密度：2007年～2008年における千代田実験水路の平均実測値

このように，流量算出において適切な流水断面面積の付与は非常に重要だが，ADCP や測深器を用いる有人観測以外の方法では流水中の地盤高の把握は難しい．ここでは，電波式流速計による無人流量モニタリングを想定し，通水前後横断，連続流速，自記水位データを用いて河床変動を引き起こす物理的な力の発生状況を基に，前横断が後横断へ徐々に変化する過程を横断形状ではなく，あくまでも流水断面面積として時系列的に再現することを試みる．

4. 摩擦速度分布に基づく断面変化状況の推定

横断形状の変化は流速の増加に伴い掃流力が増し，河床や河岸を形成する土粒子の移動により生じたものと推測される．土粒子の移動は摩擦速度が限界摩擦速度を超過している時に発生し，移動量はその強さに依存すると仮定すれば，それらの数値から断面変化が生じた時間帯と変化量が推定できる．摩擦速度 $[u_*]$ 及び限界摩擦速度 $[u_{*c}]$ は式(1)，(2)により求める．

$$u_* = \sqrt{gRI} , \quad u_{*c} = \sqrt{0.05sgd} , \quad I_e = \left(\frac{nV}{\frac{2}{h^3}} \right)^2 \quad (1), (2), (3)$$

計算に用いるパラメータは表-2 に示す千代田実験水路の実測値とした．また摩擦速度の計算に付与する流水勾配は，河床勾配または水面勾配を用いることもできるが，連続流速が得られる電波式流速計の特性を利用して，式(3)によりエネルギー勾配 $[I_e]$ を算出し用いることとした．図-3 に，摩擦速度と限界摩擦速度の計算結果を示す．摩擦速度が限界摩擦速度を超過した時間帯と摩擦速度の強さが分かる．摩擦速度が限界摩擦速度を超過した時刻に断面変化が始まり，限界摩擦速度を下回る時刻に全ての断面変化が終わると仮定し，超過量の累計を前後の流水断面面積に加重配分して推定流水断面面積を計算した．

計算結果を図-4 に示す．本手法で推定した推定流水断面面積は，通水の初期には前横断を使用しており，摩擦速度の増加に応じて徐々に後横断へと変化していく．この軌跡は ADCP による流水断面面積の実測値とほぼ一致した．ADCP 流水断面面積に対する差の平均値は，通水前横断が-7.3%，通水後横断は+5.2%であり，今回提案する推定手法では-1.2%となった．なお，限界摩擦速度の算出に右岸側土堤の盛土材料粒径を与えても，計算結果にほとんど変化は見られなかった．

5. まとめ

電波式流速計の連続流速データから求めた摩擦速度を用いて河道断面の変化時期を推定し，通水前後の流水断面面積を滑らかに切り替えることで，実測の値に近い時系列的な流水断面面積を再現することができた．ただし，本手法は前横断から後横断への時間的な変化過程を推定したに過ぎず，実現象では掃流力が卓越する時間帯に大規模な洗掘が生じ，掃流力の減衰と共に埋め戻しが行われることがあり，通水前後の横断だけでは正確な流水断面の把握には限界があるので注意が必要である．

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.
- 2) 島田友典・平井康幸・辻珠希：千代田実験水路における越水破堤実験，土木学会水工学論文集，第 54 巻，pp.811-816，2010.

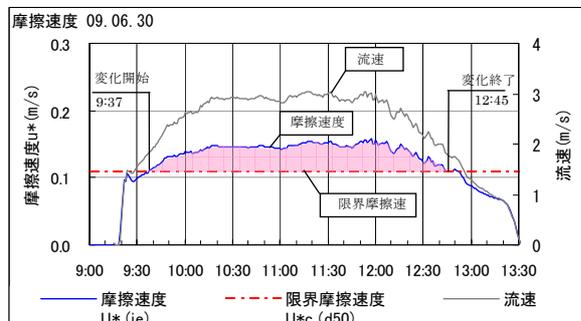


図-3 摩擦速度の時系列分布

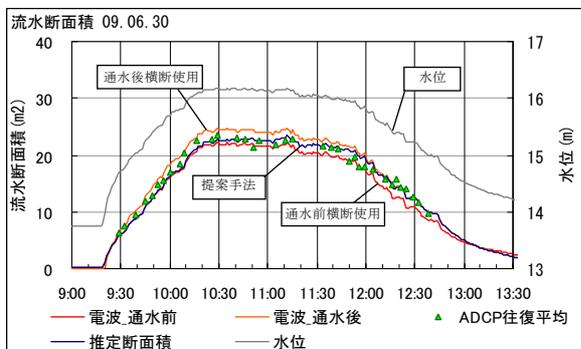


図-4 流水断面面積の時系列変化