

広島大学 学生会員 ○石川 和彦
 広島大学 正会員 川西 澄
 広島大学 正会員 Mahdi Razaz

1.はじめに

河川計画，河川環境を考える上で河川流量は極めて重要な水文量の一つであるため，確実に正確かつ安全な連続測定を行うことは喫緊の課題である。

現在の河川の流量の連続観測方法の一つとして H-Q 法がある．この方法の長所として，観測が容易であること，テレメータを用いて自動連続観測を行う事が可能であることが挙げられる．欠点としては，流量を水位のみの関数として扱っているため，定常性が無い状況下では誤差が大きくなること，元となる観測データの精度が高くないこと¹⁾，曲線の作成に1年以上必要となることが挙げられる．他の連続観測手法として，H-ADCP を用いる方法²⁾が存在するが，低水や広幅河川，濁水に対する適応性の問題が指摘されている．川西らは河川音響トモグラフィシステム(Fluvial Acoustic Tomography System, 以下 FATS と呼ぶ)を用いて浅く水深変化の大きい感潮域において流量の長期観測を行い，連続測定が可能であることが確かめている^{3,4)}．そこで本研究では FATS を用いて従来の方法では困難な浅い礫床河川において連続観測を行い，低水から出水における流量観測への適応性とその観測精度を検証すること，また濁度計を共に設置して，濁質による音波の減衰を検討することを目的とする．

2.観測方法

観測は2011年10月31日から12月13日の44日間行った．**図-1**に観測地の概略を示す．FATSの連続観測を**図**に示すように尾関山水位・流量観測所より約1.5 km 下流地点にて行った．上流左岸(St.1)と下流右岸(St.2)に中心周波数 25 kHz の広帯域トランスデューサーを設置，両トランスデューサーから10次M系列で位相変調を行った超音波パルス波をGPS原子時計に同期して1分間隔で同時双方向に発振した．音波は球面状に発振され河川横断面を覆うように伝播する．

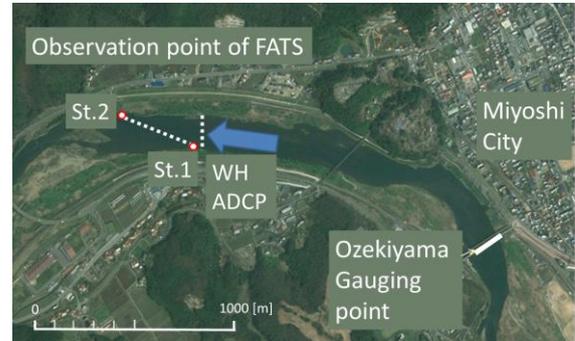


図-1 観測地概略

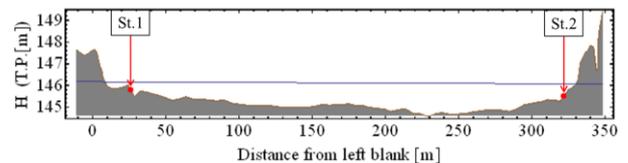


図-2 音響局間の河床形状

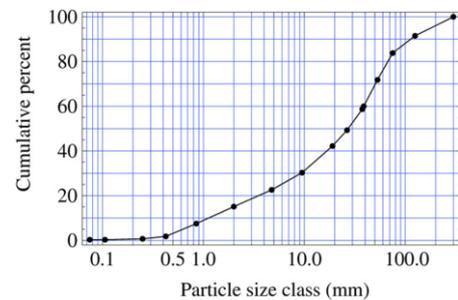


図-3 河床材料の粒度分布

上流側と下流側の音波の到達時間を計測し，その差より音響局間の断面平均流速を求めた．

また，Onset社の水位ロガーを兩岸の音響局付近に設置して水位を10分間隔で計測した．また，濁度はALEC電子社製TPMクロロテックを左岸音響局付近に固定し5分間隔で計測した．

図-2に河床形状を示す．本観測期間における平均水深は1m程度であるが，これに対して計測区間距離は295.9 m と水深に対して非常に長くなっている．

図-3に河床材料の粒度分布を示す． D_{50} は30 mm， D_{90} は105 mm と粒径が大きく，粘土，シルトといっ

た細粒成分はほとんど存在していない。流量の検証データとして図-1 での白の破線部において Work-horse Monitor ADCP を曳航、横断したデータと月に 3 回程度行われている尾関山水位観測所の流観データを用いた。

3. 観測結果

(1) FATS による流量の連続測定結果

2011 年 10 月 31 日から 12 月 14 日における流量の時系列を図-4 (a) に示す。

図-4 中において ADCP より得られた流量を緑点、尾関山の流観データを青点で示す。本観測期間における平均流量は $40 \text{ m}^3/\text{s}$ である。また、11 月 20 日と 12 月 4 日において出水が発生しており、出水時の FATS の最大流量は $195.6 \text{ m}^3/\text{s}$ である。図-4(b) に FATS より得られた流量と比較流量の相関図を示す。赤点は 2011 年 1 月 21 日に Stream Pro ADCP を用いて観測した流量と FATS の流量を比較したものである。FATS より得られた流量と各手法で得られた流量はよく一致している。これらの残差流量の二乗平均平方根は $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、十分な観測精度を持っていると言える。

図-4 (c), (d) に FATS より得られた流量と 2010 年の H-Q 式より算出した流量の残差と残差率を示す。流量の平均残差率が 24 % であるのに対し、最大残差率は 89 % と大きい。

10 月 31 日から 11 月 18 日に流量の残差率が大きい値を示しており、他期間での平均残差率が 11% 程度あるのに対して期間中の平均残差率は 41 % 程度と約 4 倍になっている事が分かる。この原因として期間内の平均流量は約 $25 \text{ m}^3/\text{s}$ と低水状態であり、このような状況下では河床形状による影響が大きくなることが考えられる。H-Q 式は作成に 1 年以上必要とすることから、河床形状の変化を考慮することが出来ないため誤差が生じたものと考えられる。

(2) 音波の減衰と濁度との相関

2011 年 11 月 16 日から 12 月 4 日にかけて音響局左岸にて濁度計を設置し、FATS と併せて観測を行った。

図-5 (a) に設置期間中の濁度と SN 比を示す。FATS は設置期間において常に SN 比を 11 dB 以上確保して

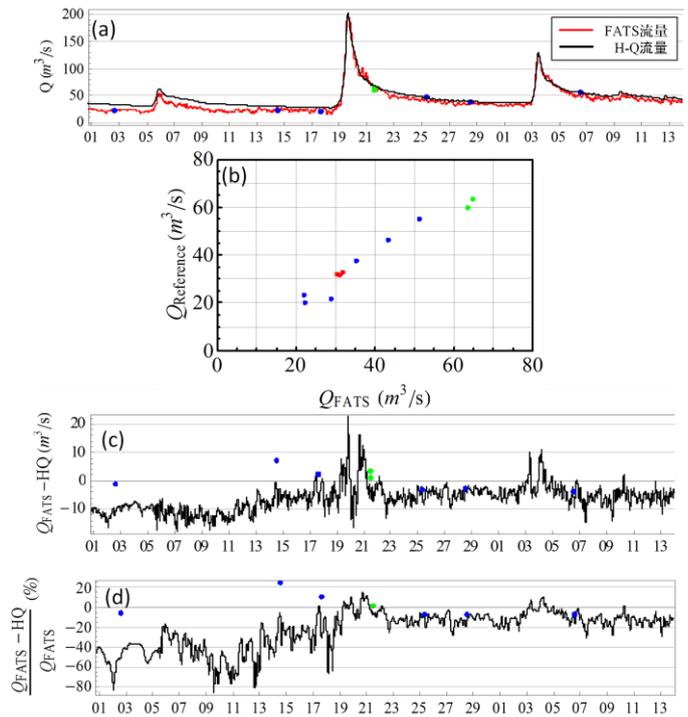


図-4 (a) FATS(赤線)と H-Q 式(黒線)流量の経日変化, (b) FATS と比較流量の相関図, (c) FATS 流量と H-Q 式流量の残差と (d) FATS 流量と H-Q 式流量の残差率の経日変化

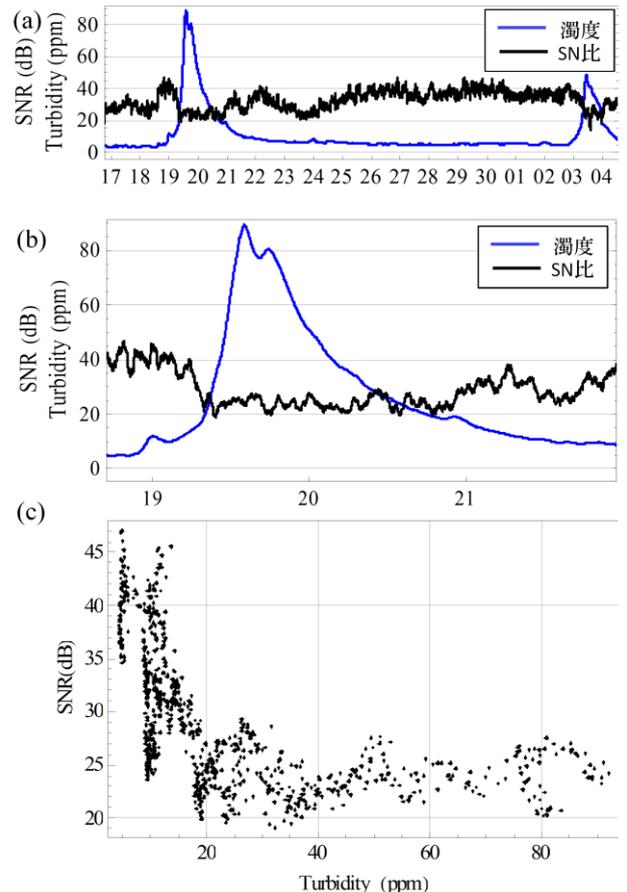


図-5 (a), (b) 濁度(青線)と SN 比(黒線)の経日変化, (c) 濁度と SN 比の相関

おり、安定してデータを取得することが可能であった。建設コンサルタントの方々にここに記して謝意を表します。

図-5 (b)に出水期間中の濁度と SN 比を、図-5 (c)に濁度と SN 比の相関を示す。出水期間の初期において、濁度の上昇と共に SN 比が低下している事が明瞭に分かる。しかしながら、濁度が 20 程度以上において信号比の減衰量が一定になっている。音波強度が減衰する要因として、浮遊砂の濃度とともに粒径の変化や水深の変化による影響が考えられ、川岸付近の濁度だけでは、音波の減衰は説明できない。

4. 結論

浅い礫床河川流量に対する河川音響トモグラフィシステム(FATS)の低水から出水における適応性を確認するため、広島県三次市を流れる江の川において44日間、1分間隔でFATS流量の連続観測を行った。また、流量の観測精度の検証のため Workhorse Monitor ADCP を用いて流量の観測を行った。

従来の方法では困難であった平均水深 0.6 m 程度の低水から約 195 m³/s の出水まで連続して流量の観測を行うことが可能であった。

FATS より得られた流量と ADCP、尾関山流観データ、Stream Pro ADCP との流量の残差の二乗平均平方根は 3.3 m³/s であり、FATS は流量を正確に観測することが可能であった。H-Q 式は低水において流量を過大評価しており、これは作成に1年以上かかることから河床形状の変化を考慮出来ない点より生じたと考えられた。

出水時において濁度の上昇と共に音波の減衰が見られたが濁度の影響は限定的であった。

以上のように、浅い礫床河川においても FATS は優れた性能を発揮することが確認された。

今後は出水時の濁水による音波の減衰量の推定、トランスデューサーを4箇所を設置し、音線を交差させることで流向を計測することに、より高精度な流量観測が可能になると考えられる。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費基盤(B) (課題番号：23360214, 研究代表者：川西 澄) および JST 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム A-STEP(課題番号：AS231Z02130A, 研究代表者：川西 澄)の補助を受けて実施したものである。また、現地観測にご協力いただいた斉藤一正建設専門官と荒谷

参考文献:

- 1) 原田 靖生,二瓶 泰雄,酒井 雄弘,木水 啓:浮子観測の洪水流量計測精度に関する基礎的検討,水工学論文集,第51巻, pp. 2007
- 2) 二瓶 泰雄、木水 啓: H-ADCP 観測と河川流計算を融合した新しい河川流量モニタリングシステムの構築,土木学会論文集 B, Vol. 63 No.4, pp. 295-310,2007
- 3) 川西 澄,M. Razaz,渡辺 聡,金子 新:次世代超音波流速計による感潮域の流量と水温・塩分の連続モニタリング,水工学論文集,Vol.53, pp.1015-1020, 2009
- 4) 川西澄, Razaz, M. , 渡辺 聡, 金子 新, 阿部 徹:次世代超音波流速計による感潮河川流量の長期連続モニタリング,河川技術論文集, Vol.15, pp.489-494,2009