

# 鶴見川感潮域におけるH-ADCPを用いた流量観測

## DISCHARGE OBSERVATION AT TSURUMI RIVER USING H-ADCP AUTO SCANNING SYSTEM

岡田将治<sup>1</sup>・森彰彦<sup>2</sup>・海野修司<sup>3</sup>・昆敏之<sup>4</sup>・山田正<sup>5</sup>

Shoji OKADA, Akihiko MORI, Shuji UNNO, Toshiyuki KON and Tadashi YAMADA

<sup>1</sup>正会員 博士(工) 高知工業高等専門学校 助教授 建設システム工学科(〒783-8508 高知県南国市物部乙200-1)

<sup>2</sup>学生会員 中央大学大学院 理工学研究科博士課程前期(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

<sup>3</sup>正会員 工学修士 愛知県建設部 河川課長(〒460-8501愛知県名古屋市中区三の丸3-1-2)

(前 国土交通省 関東地方整備局京浜河川工事事務所 所長)

<sup>4</sup>正会員 国土交通省 関東地方整備局京浜河川工事事務所 流域調整課長(〒230-0051 横浜市鶴見区鶴見中央2-18-1)

<sup>5</sup>フェロー 工学博士 中央大学 教授 理工学部土木工学科(〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

Recently, discharge observation method of high accuracy has been developed in river. In this paper, the accuracy of discharge observation method using H-ADCP (Horizontal type of Acoustic Doppler Current Profiler) auto scanning system was verified in tidal zone of Tsurumi River. Discharge observation by towing ADCP is also carried out to compare between two measuring techniques. As the result, it has been confirmed that H-ADCP method is practicable though the problem that discharge is not corresponding to ADCP method remains at falling tide period in usual flow condition. Moreover, it was clarified that the H-ADCP method was able to be measured by enough accuracy for the flood of  $300\text{--}400\text{m}^3/\text{sec}$ .

**Key Words:** Tidal River, Discharge measurement, Horizontal type of Acoustic Doppler Current Profilers (H-ADCP)

### 1. 序論

河川の流量, 特に洪水時のピーク流量は, 河川計画を行ううえで最も重要なデータである。従来, 棒浮子による流量観測法<sup>1)</sup>によって, 水位-流量の関係式が作成されてきたが, 近年, 河川の洪水流量観測の精度向上を目的として, 新しい観測機器の開発, 観測法の検討が盛んに行われている。これらの観測手法は, PIV画像解析による表面流速分布計測<sup>2), 3)</sup>, 電波流速計<sup>4)</sup>に代表される「非接触型」と鉛直方向の3成分流速分布が計測できるADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)に代表される「接触型」の2種類に分けられる。

ADCPを用いた洪水流量観測の先駆者として木下<sup>5)</sup>の貢献は大きく, いち早く測定精度の検定を行ってADCPによる流量観測法の有用性を示すとともに, 2001年9月に阿賀野川において無人ラジコンボートを用いた約 $1200\text{m}^3/\text{sec}$ の洪水流量観測に成功している。二瓶らは, 江戸川の洪水期間中にADCPを用いて測定した詳細な流速

分布データ<sup>6)</sup>と数値解析を組み合わせた流量推定法<sup>7)</sup>を提案している。福岡ら<sup>8)</sup>は, 洪水観測で得られた流量と密に計測された水位縦断分布の時間変化データに基づいて非定常二次元解析を行うことにより, 浮子による流量観測誤差や洪水流量を高精度に推算する手法を提案している。一方, 河川感潮域においては, 水位が潮汐の影響を受けるため, 水位と流量の一価性の関係が得られないことから, 洪水時だけでなく, 平水時においても流量推定が容易ではない。山口ら<sup>9)</sup>は, 縦断水面勾配と流量を関係付けた推定法を提案し, 西田ら<sup>10)</sup>, 横尾ら<sup>11)</sup>は河床にADCPを設置して測定した単位幅流量と曳航観測による流量, 単位幅流量と水位を関係付けた流量推定法を提案している。南ら<sup>12)</sup>は, 水平設置型のADCP (Horizontal Type of ADCP. 以後H-ADCPと記す)を上下移動, 回転させることにより, 河川の横断面内の流速分布を測定し, 連続的に河川流量観測システムを開発した。これにより, 表面流速や代表する測線上の流速値から流量を推算する方法ではなく, 短時間に, かつ連続的に断面内の流速分

布を計測して流量換算を行う流量観測手法の新しい展開を迎えた。しかしながら、現段階では測定機器の性能上、計測可能な川幅(600kHz:120m程度まで)や川幅に対する水深(600kHz:川幅100mに対して水深1.2m以上必要)に制約があること、わが国で設置されている箇所が少ないために、既存の観測法との精度比較等、定量的な評価が十分に行われていないのが現状である。超音波を用いた観測機器は、超音波の反射強度が水中の浮遊物質の種類や濃度によって大きく異なるという性質を持つことから、流れ場と同時に河床形状の計測が可能であり、浮遊砂濃度や水質諸量の推定への発展が期待される観測手法である。このような背景から、本研究では鶴見川感潮域における平水時および洪水時の流量観測精度の向上を目的として、鶴見川末吉橋地点(5.9km)で2003年1月から測定されているH-ADCPの横断面流速分布、流量データとADCP搭載ボートによる曳航観測結果を比較することにより、現行のH-ADCPによる流量観測法の精度評価を行った結果および観測精度向上に向けた今後の課題について報告する。

## 2. H-ADCP, 曳航式ADCPによる流量観測

### (1) 鶴見川末吉地点(5.9km)

鶴見川は、流域面積235 km<sup>2</sup>、流路延長42.5kmであり、河口から13.8kmの亀の子橋付近まで潮汐の影響を受けている。本研究で対象とするH-ADCPによる流量観測地点は、河口から5.9kmにある末吉橋直上流に位置している。H-ADCPは、現在わが国に6台(鶴見川3台と大橋川2台、境水道1台)設置されており、末吉橋地点は最も早い2003年1月から観測が行われている。

図-1に鶴見川の出水時(2003年10月13日)の各水位・流量観測所における水位の時系列を示す。鶴見川では降雨時に河川へ流出する時間が非常に短く、寺家橋地点(27.2km)で降った雨が2~3時間後に鶴見川の洪水流量観測地点である末吉橋(5.9km)まで到達している。そのため、流量観測地点に到着するまでに、あるいは観測準備をしている間にピーク流量を逃す可能性がある。したがって、このような降雨流出時間の短い河川には常時観測可能なシステムが有効となる。図-2にH-ADCPを設置している末吉橋(5.9km)付近の平面図を示す。末吉橋付近の河道平面形は、上流側で若干わん曲しているため、左岸は外岸に位置している。そのため、図-3に示す横断面形状では内岸側となる右岸側の河床が高くなっている。流量観測断面は単断面と考えることができ、堤間幅は約140m、低水路幅約100mで、河岸はコンクリート護岸である。

### (2) H-ADCPおよびADCPによる流速分布・流量観測

H-ADCPによる流速分布、流量観測は、2003年1月から

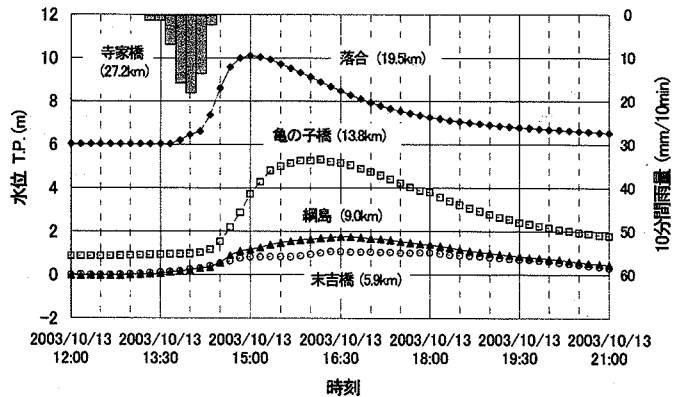


図-1 鶴見川出水時の各水位観測所における水位の時系列 (2003.10.13 12:00-21:00)

寺家橋(27.2km)の降雨量のピークから、1時間後に落合(19.5km)、2時間後に亀の子橋(13.8km)、2時間30分後に綱島(9.0km)、末吉橋(5.9km)でピーク水位が現れている。末吉橋の流量は15:10-17:10の間、400-420m<sup>3</sup>/secであった。

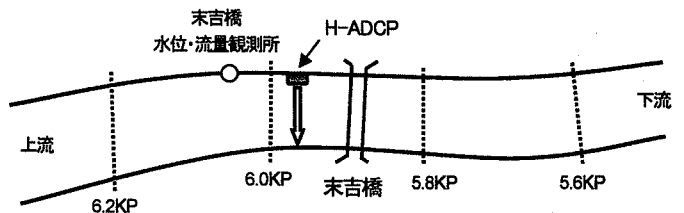


図-2 鶴見川末吉橋地点(5.9km)付近の平面図

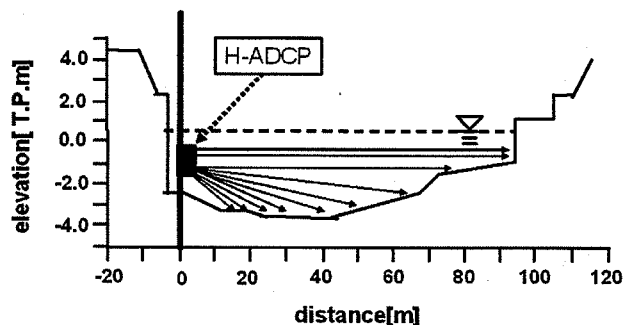
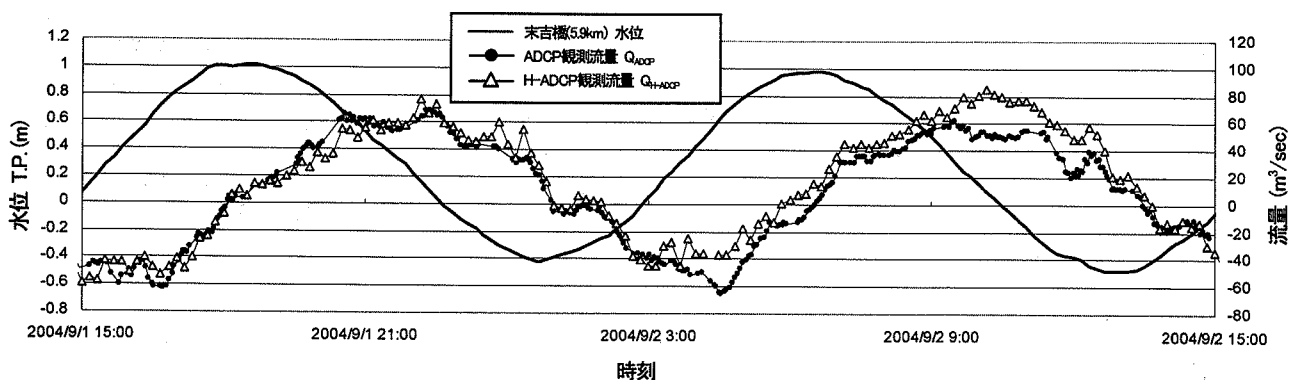


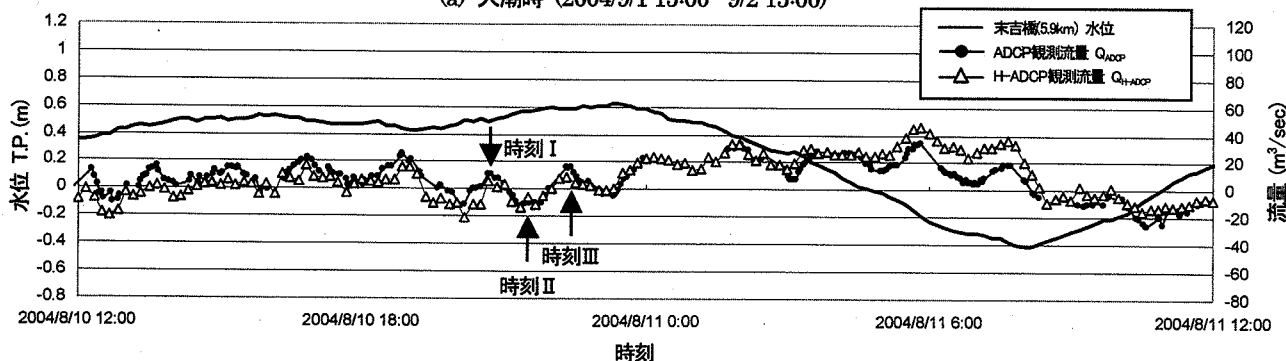
図-3 鶴見川末吉橋地点(5.9km)の横断面形状とH-ADCP流速計測線

水面下から0.5m間隔で水平方向に超音波を発射して計測を行いながら、T.P.=-1.34mで停止し、0-7°まで1°間隔で回転し、8本の測線上の流速を計測する。約7分間で断面内の流速分布を計測し、毎10分の流量を出力する。

計測を開始し、平水時、洪水時においても水位に応じた同様な自動制御を行っている。T.P. 4.7m(堤防高)を機械原点として、水面下から0.5m間隔で水平方向に観測を行いながら下降し、最下点(T.P. -1.34m)で停止した後、0~7°の角度を1°間隔で回転して計8本の放射測線上の流速を計測する。約7分間で断面内の流速分布を計測し、毎10分の水位、流速分布および流量を出力する。H-ADCPの諸元は出力600kHz、測定層数30、測定層厚3.0m、Firstプランク1.0mである。水面下1.0mは不感帯となり、



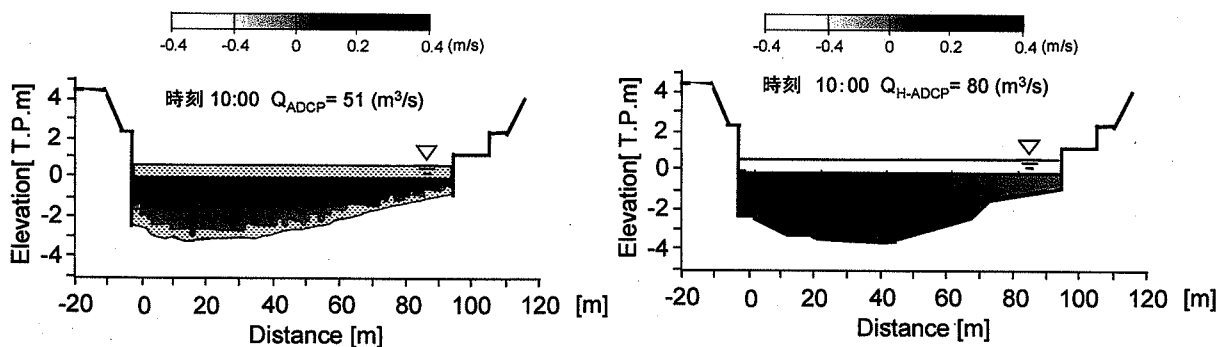
(a) 大潮時 (2004/9/1 15:00 - 9/2 15:00)



(b) 小潮時 (2004/8/10 12:00 - 8/11 12:00)

図-4 H-ADCPおよび曳航型ADCPによる観測流量の時系列

上げ潮・下げ潮最大時付近ではH-ADCP流量がADCP流量よりも大きく観測される傾向を示すものの、その他の時間帯では曳航型ADCP、H-ADCPともにはほぼ同じ流量と変動を示しており、H-ADCP観測は曳航式ADCPとほぼ同等の精度で流量観測が可能である。



(a) 曳航式ADCP

(b) H-ADCP

図-5 H-ADCPおよび曳航型ADCPで観測された流速分布

両者の流量差は、下層部における流速値がH-ADCPの方が大きくなっているためである。  
※ハッチ部は不感帯であるが、流量算出にはH-ADCPと同様の補完法を用いている。

流速データが得られないため、流量換算する場合には、計測ができた最上層の流速値と同じ値を用いている。また、H-ADCPによる観測データと既存観測法の比較を行うために、ADCP(Workhorse Sentinel ADCP 1200kHz, RD社製)をボートで搭載し、平水時の小潮時(2004年8月10-11日)と大潮時(2004年9月1-2日)にH-ADCP流速・流量観測断面の上流側約50mの断面において、24時間連続の曳航観測を行った。ADCPの計測条件は、層数30、層厚0.25m、

First ブランク 0.2m, Bottom Trackingを有効, High Rate Pingingモードに設定した。曳航観測は、H-ADCPの観測データと比較できるように、10分間隔(ボート速度約0.8m/s)で同じ断面を往復した。洪水時には曳航観測を行っていないため、2003年8月15日出水( $Q=653\text{m}^3/\text{sec}$ )において、末吉橋から浮子による流量観測を行っており、その観測結果と比較した。

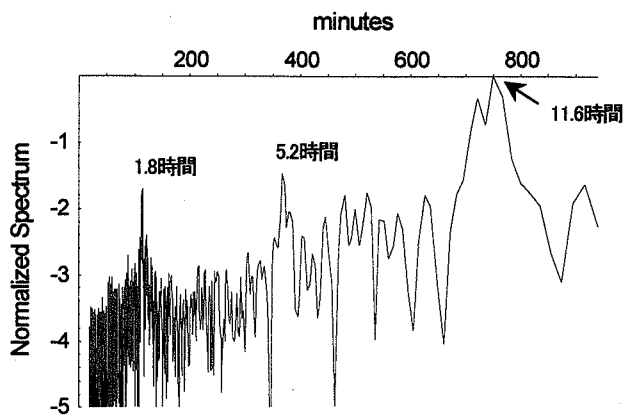


図-6 鶴見川末吉橋地点における観測流量変動周期のスペクトル解析結果 (2003年2月)

変動周期で卓越しているのは、1.8時間、5.2時間、11.6時間である。他の月に関しても同様にスペクトル解析を行った結果、約12時間と約2時間の卓越した周期が見られている。

### 3. 平水時における流量観測

2004年8月、9月の小潮時と大潮時にボート曳航型 ADCP と H-ADCP による24時間集中観測を行った。末吉橋地点における平水時の水位変動幅は、小潮時に1m程度、大潮時に2m程度である。また、この地点の潮汐の影響による水位と流量の位相の遅れ時間は、約3.5時間である。

図-4に集中観測時の末吉橋地点水位と ADCP と H-ADCP の観測流量の時系列を示す。図-4(a)大潮時においては、H-ADCP と ADCP で観測した流量8月11日4:30 (干潮ピーク) と10:30 (満潮ピーク) で若干値が異なるものの、観測を通じてほぼ同じ値を示していることから、高い精度で観測可能であることを示している。

図-4(b)小潮時においても大潮時の場合と同様に下げ潮最大時にH-ADCPの観測流量がADCPの観測流量に対して10~20m<sup>3</sup>/sec程度大きくなっている。図-5に示す図-4(a)の10:00における曳航式ADCPとH-ADCPによる流速分布を比較すると、下層部の流速測定値の違いに起因していることがわかる。しかし、流量の時間変動(変動周期約2時間)をADCPと同様に観測できていることから、曳航式ADCP観測によるキャリブレーションを行って、計測方法を修正することにより、さらに測定精度の高い流量観測が可能となる。

図-4(b)小潮時において、H-ADCPとADCPの両計測機器で観測された周期約2時間の流量の振動については、以下に考察した。H-ADCPで観測された流量の時系列から卓越している周期を調べるために降雨が少ない2003年2月の流量データを用いてスペクトル解析を行った。その結果、図-6に示すように卓越周期は11.6時間、5.2時間、1.8時間であった。同様に降雨の少ない他の月の流量データについてもスペクトル解析を行った結果、約12時間と約2時間の卓越した周期が確認された。前者は潮位

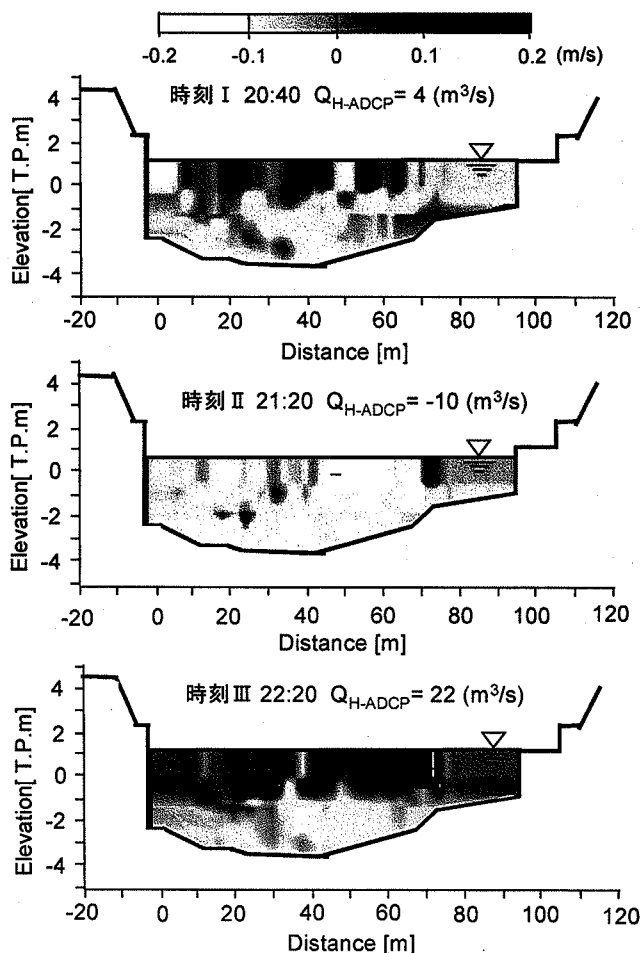


図-7 鶴見川末吉橋地点におけるH-ADCP観測による流速コンター

図中の時刻Ⅰ、Ⅱ、Ⅲは図-4に対応している。黒色が順流を示し、白が逆流を示す。時刻Ⅰ：水面から1.2mまでの上層では順流が、それよりも下層では逆流が生じている。時刻Ⅱ：約30分後、一部を除き断面全域で逆流となる。時刻Ⅲ：さらに1時間後、一部を除き断面全域で順流となっている。

変動が約12時間程度であることより、潮汐の影響によるものと考えられる。後者については、図-5(b)で見られた流量の振動とほぼ同周期であるため、さらに詳しく見るために、9月1日20:40~22:20におけるH-ADCPで観測した流速分布を図-7に示す。図より、谷部の時刻Ⅰでは上層で10~15cm/sec程度で順流方向に流れ、下層では逆流が見られる。山部となる時刻Ⅱでは、水面付近の一部の部分を除き全断面で逆流になっている。その1時間後の時刻Ⅲ(谷部)では、横断面の中心の一部を除き順流となっている。清水ら<sup>13)</sup>は利根川の感潮域において同様な流量の短周期変動を確認しており、鶴見川感潮域においても小潮時に観測された約2時間の流量の周期変動は、セイシュのような現象と考えられる。

### 4. 洪水時における流量観測

図-8に2003年1月からの観測開始以来、末吉橋地点に

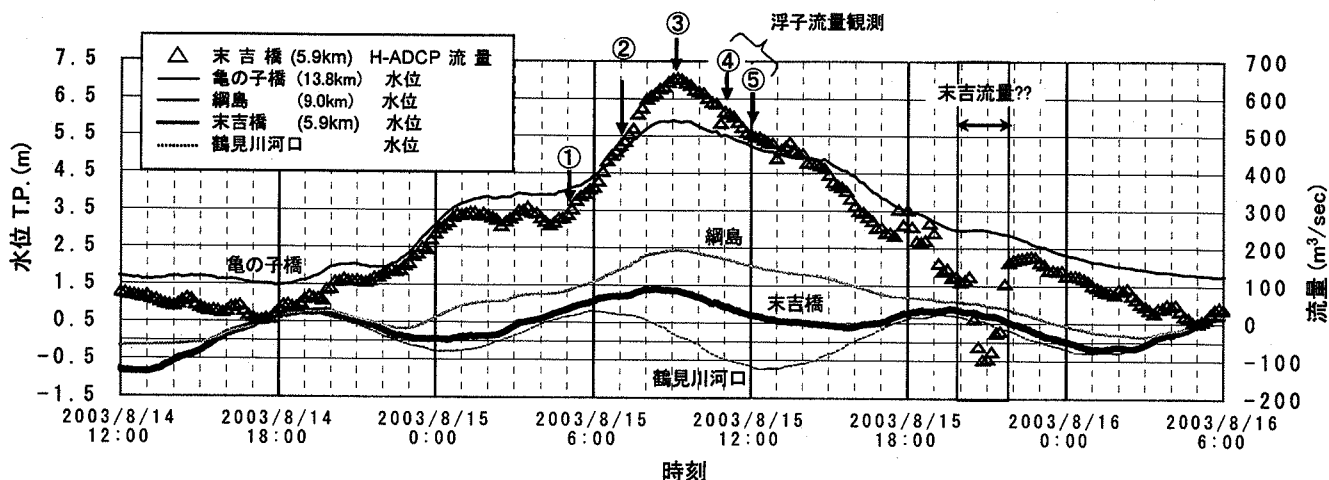


図-8 洪水時におけるH-ADCP観測流量と各水位観測所の水位の時系列 (2003年  
8月14日12:00-8月16日12:00)

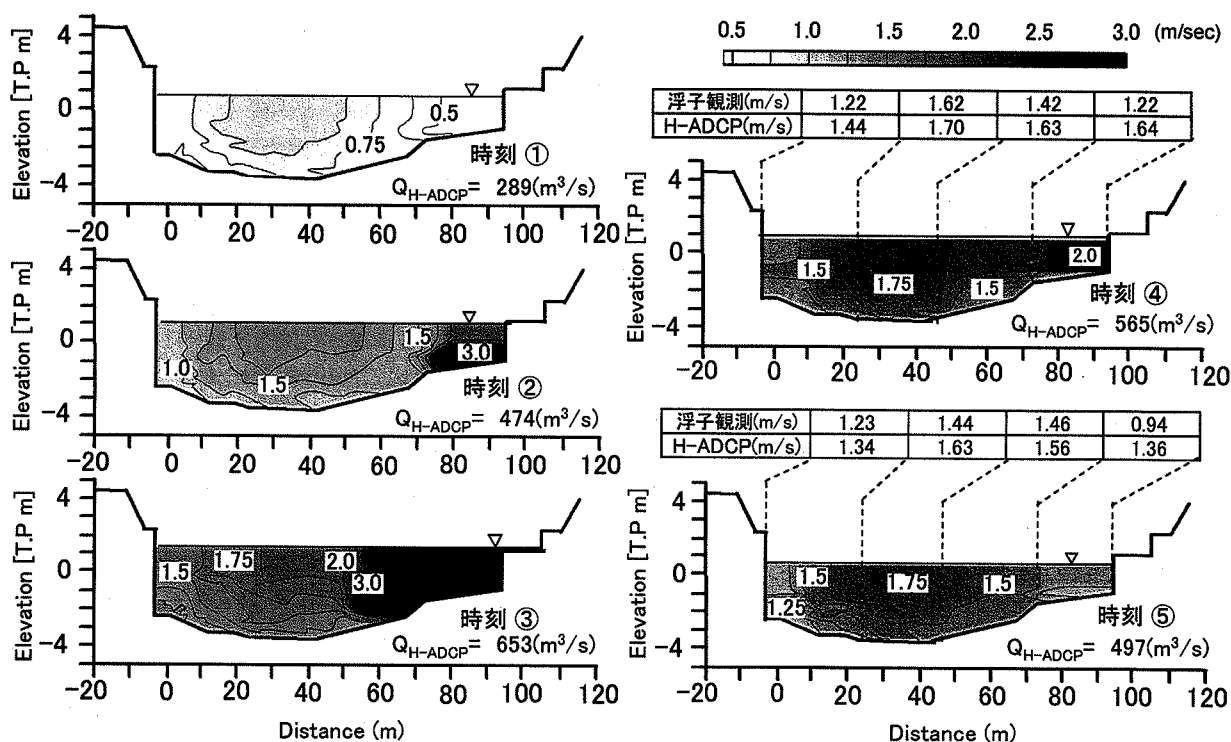


図-9 H-ADCPで観測したピーク流量前後の流速コンターと浮子観測による平均流速の比較

時刻①～⑤は、図-8のハイドログラフの時刻に対応する。水位・流量がピークに近い時刻②、③では、H-ADCP対岸の右岸において3m/secを超える高流速の箇所が現れている。また、浮子観測による流速とH-ADCPで観測した各区間の平均流速を比較すると、右岸の高流速区間を除けば浮子観測による流速が5-20%小さい値をとっている。

において最大流量 (2003年8月15日11:00  $Q_{H-ADCP} = 653m^3/sec$ ) が観測された8月15日前後のH-ADCP観測流量と各水位観測所の水位の時系列を示す。この期間は前線が日本の南に停滞し、8月13日18時から15時24時までの累積雨量は、横浜で267mmを記録した。末吉橋地点の流量は、8月14日18:00(満潮時)において、ほぼ0m³/secであったが、亀の子橋の水位上昇により流量が徐々に増加している。しかし、下げ潮期に入り、水位は逆に下降している。その後、末吉橋流量は、時刻③のピークまで亀の子橋の水位

上昇と同様な上昇傾向を示す。時刻③において、亀の子橋、網島、末吉橋の水位および末吉観測流量が最大 ( $653m^3/sec$ ) となった。この時刻の末吉橋水位は、ピーク流量が600m³/sec以上まで増加したにもかかわらず、8月14日18:00の満潮時と比べ、0.7m程度上昇した程度であった。時刻③の流量ハイドログラフの下降期では、は亀の子橋、網島の水位が下降するが、末吉橋では潮汐の影響を受けて、流量は減少するにもかかわらず、水位は上昇している。このように、河川感潮域においては、上

流からの流量と下流からの潮汐の影響が重なり合うことにより、複雑な流況を呈している。

図-9にH-ADCPで観測したピーク流量時刻前後(時刻①-⑤)における流速コンターと浮子観測による平均流速の比較を示す。断面平均流速が1m/secを超える時刻②では、H-ADCPを設置した対岸の右岸近傍に3m/secを超える高流速区間が現れ、時刻③のピーク流量時には、その高流速区間が断面内の約1/3で観測されている。この高流速区間の観測例は、この出水特有なものではなく、他の出水例においても洪水ハイドログラフの上昇期にH-ADCP観測流量が約300-400m<sup>3</sup>/sec(断面平均流速約1m/sec)を超える時間帯から右岸側で確認されている。これらは流速の増大によって巻き上げられた浮遊砂がH-ADCPのトランスデューサー(超音波の送受波器)に当たる(擦る)ことによってノイズが発生し、機器から遠い対岸側から戻ってくる信号を正確に受信できなくなることが原因と考えられる。現在は、次の洪水期に向けて浮遊砂が直接本体に当たらないような対策を講じている。

時刻④、⑤においてはH-ADCP観測断面より約50m下流の末吉橋上から浮子観測が行われており、H-ADCP流量と各区間の平均流速を比較することができる。浮子は水深に応じて吃水1m, 2m, 4mのものを使用し、更正係数はそれぞれ0.91, 0.94, 0.96である。浮子流下速度は末吉橋下流の50m区間を流下しに要した時間から求めている。両者を比較した結果、右岸の高流速区間を除けば、浮子観測による流速が5-20%程度小さい値をとっている。

鶴見川末吉橋地点は、H-ADCPおよび浮子による流量観測断面だけでなく、河川管理用カメラを用いた非接触型の画像解析による表面流速解析も行うことができ、各種流量観測手法の総合的な検討が可能である。次の洪水期には曳航式ADCPによる連続観測を行うとともに、他の観測手法と併せて流量観測精度の検討を行う予定である。

## 5. 結論

鶴見川感潮域の末吉橋地点(5.9km)において、2003年1月から流速、流量観測が行われているH-ADCPデータと曳航型ADCPによる集中観測によって得られた詳細な観測データを比較することにより、H-ADCPを用いた本観測システムの測定精度の現状と課題を示した。

- (1) H-ADCPを用いた現行の流量観測法は、河川感潮域の平水時において流量の正負が変化する時間帯を除けば曳航型ADCPによる観測法と同等の精度を有している。両者のキャリブレーションを行い、計測方法を修正することにより、さらに精度の高い計測が期待できる。
- (2) 小潮時に鶴見川末吉橋地点において、約2時間周期

の流量変動をH-ADCPおよびADCP観測から確認し、流量変動のスペクトル解析結果からもこの現象が年間を通じて生じていることを示した。

- (3) H-ADCPによる現行の流量観測法では断面平均流速が1m/sec程度(流量で300-400m<sup>3</sup>/sec程度)までの出水に対しては測定可能であるが、それ以上の流量に対しては、対岸近傍の流速が測定できなくなるという課題が残った。

謝辞：H-ADCPの観測データ処理にあたって、日本ミクニヤ(株)にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 水文観測(平成16年度版)、全日本建設技術協会
- 2) 藤田一郎、河村三郎：ビデオ画像解析による河川表面流速の試み、水工学論文集、第38巻、pp. 733-738, 1994.
- 3) 藤田一郎、竹原幸生、綾史郎、酒井信行、玉井昌宏、高野保英、宮本仁志：ITV施設を利用した河川流の画像計測、河川技術論文集、第8巻、pp. 459-464, 2002.
- 4) 山口高志、新里邦生：電波流速計による洪水流量観測、土木学会論文集、No. 497/II-28, pp. 41-50, 1994.
- 5) 木下良作：ADCPと無人ラジコンボートで観測される洪水流量とその流れの構造について、農業土木学会平成15年度応用水理研究部会特別講演録、2003.
- 6) 佐藤慶太、二瓶泰雄、木水啓、飯田祐介：洪水流観測への高解像度超音波ドップラー流速分布計の適用～江戸川を例にして～、水工学論文集、第48巻、pp. 763-768, 2004.
- 7) 木水啓、二瓶泰雄、佐藤慶太：現地観測と数値解析を組み合わせた河川流速・流量推定法の提案、木学会第59回年次学術講演会、II-298, 2004.
- 8) 福岡捷二、渡邊明英、原俊彦、秋山正人：水面形の時間変化と非定常に次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯流量の高精度推算、土木学会論文集No. 761/II-67, pp. 45-56, 2004.
- 9) 山口高志、三浦一字、吉川勝秀：水面勾配計による感潮河川の流量観測、土木学会第37回年次学術講演会II-358, pp. 715-716, 1982.
- 10) 西田修三、中辻啓二：暖混合河川における流量と塩分輸送量の算定、水工学論文集、第43巻、pp. 869-874, 1999.
- 11) 横尾啓介、中津川誠、羽山早織、大熊正信：超音波式流速計の連続観測に基づく流量推定手法-河川感潮域を対象として-、河川技術論文集、第10巻、pp. 369-374, 2004.
- 12) 大東秀光、上坂薫、南修平、劉炳義、橋田隆史：H-ADCPを用いた河川流量観測システムの開発と現地試験観測結果について、土木学会第56回年次学術講演会、II-227, 2001.
- 13) 清水健司、石川忠晴：利根川感潮域に発生するセイシュについて、水工学論文集、第49巻、2005.

(2005. 4. 7 受付)