

河川感潮域における流量観測と短時間周期の流量変動特性に関する研究

中央大学大学院 学生員 河津 元
中央大学理工学部 正会員 山田 拓也

中央大学大学院 学生員 森 彰彦
中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1.はじめに：河川の流量は、治水・利水とともに河川環境を考慮した河川計画・管理を行う上で重要なデータである。このために流量、特に洪水時のピーク流量を正確かつ安全に測定する観測技術の開発、確立は重要である。また、河川感潮域では、水位が潮汐の影響を受けるためH-Q式が得られないことから、平水時においても正確な流量算出が容易ではない。本研究では、河川感潮域における流量観測法の精度向上、流況把握を目的とし、水平設置型ADCP(以後H-ADCPと記す)とともに現在最も精度の高い流量観測法とされるADCP搭載ボートを用いた集中観測を行った。また、1次元不定流の基本式を用いて感潮域における水理計算を行い、河道形状および潮汐変動が水位、流量に与える影響の把握を試みた。

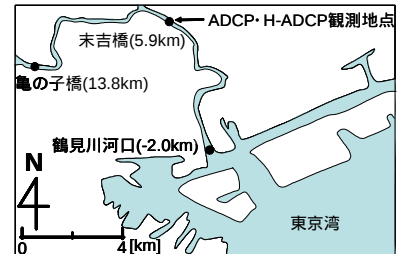


図-1 鶴見川概要図

2.観測概要：鶴見川(流域面積252km²、流路延長42.5km)は、河口から14.8km付近まで潮汐の影響を受けている。本研究で対象とするADCPと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(図-1)。

(1) H-ADCPによる流量観測

末吉橋直上流左岸に設置されているH-ADCPは2003年1月から計測を開始し、平水時、洪水時においても水位に応じて自動昇降回転して10分ごとの水位、流速分布および流量を出力する観測システムである。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や河床付近は不感帯となり流速データが得られないため、流量換算するときは計測できた最も近い層の流速値と同じ値を与えている。

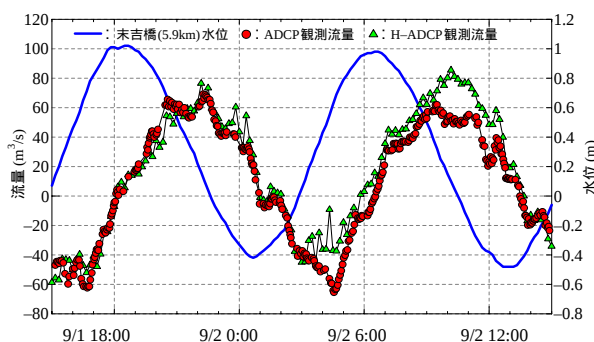
(2) ADCPによる流量観測

H-ADCP観測地点の上流約50mの断面においてADCP(Workhorse sentinel ADCP 1200kHz, RD社製)をボートに搭載し、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プランク0.2m、Bottom Tracking有効、High Rate Pingingモードに設定している。曳航観測では、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5分間隔の流速・流量データを得た。

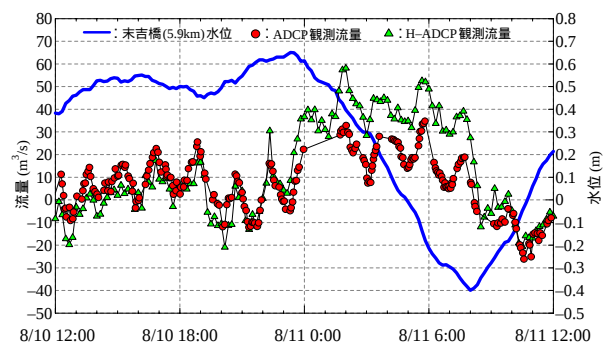
3.観測結果と考察：図-2の(a)および(b)に、大潮時と小潮時のADCP観測流量とH-ADCP観測流量および末吉橋地点における水位の時系列を示す。図-2(a)に示す大潮時においては、ADCPとH-ADCPで観測された流量は9月2日の4:30(干潮ピーク時)と10:30(満潮ピーク時)で若干値が異なる以外は、観測を通じてほぼ同じ値を示している。このことから大潮時においてはH-ADCPでADCPと同程度の精度で流量観測が可能であることが示された。図-2(b)に示す小潮時においてADCPとH-ADCPで観測された流量データを比較すると、水位変化の小さい8月10日12:00~8月11日0:00ではH-ADCP観測流量がADCP観測流量より約5m³/s小さい値をとり、下げ潮時には逆にH-ADCP観測流量がADCP観測流量に比べ10~20m³/s程度大きくなっている。しかし、観測を通じて流量の増減は両者とも同じ傾向を示してことから、小潮時においてもH-ADCPでADCPとほぼ同程度の精度で流量観測が可能であることが示された。小潮時観測期間中にADCP・H-ADCPともに約2時間の周期をもつ流量の変動が観測された。2003年にH-ADCPで観測された流量の時系列を見た結果、年間を通じて短時間周期の流量変動が確認された。大潮時にはこの流量変動は見られなかった。

H-ADCPで観測された流量の変動周期の中で、卓越周期を求め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-3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、図-3と同様に約12時間と約2時間の卓越周期が確認された。前者は、潮汐の影響によるものである。後者は図-2(b)の小潮時で見られた流量変動とほぼ同じ周期である。

図-4に、鶴見川河口(-2.0km)における水位の時系列(2004年10月9日~10日)を示す。末吉橋地点で観測された短時間周期の流量変動とほぼ同様な短時間周期の水位変動が、鶴見川河口においても確認された。この水位変動は、東京湾の他の潮位観測所において



(a) 大潮時 (2004/8/10 12:00-8/11 12:00)



(b) 小潮時 (2004/8/10 12:00-8/11 12:00)

図-2 H-ADCPおよびADCPによる観測流量の時系列

キーワード：ADCP H-ADCP 流量観測 感潮域

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL03(3817)1805, FAX03(3817)1803, gen@civil.chuo-u.ac.jp

も観測されている。この期間中、非常に強い台風22号が、東京湾を北東方向に横断した。この台風の影響によって海面が変動し、東京湾に約2時間の周期を持つセイシュのような現象が起こったと考えられる。よって、東京湾には図-4で確認されたような約2時間の固有周期を持つ水位変動が生じていると考えられ、その水位変動の影響により末吉橋地点において短時間の流量変動が起こっていると考えられる。

4. 数値計算：河道特性および潮汐変化が水位、流量変動に与える影響を把握するため、鶴見川を河道に沿って直線河川とみなし、1次元不定流計算を行い、短時間周期の流量変動について考察した。

(1) 計算方法・条件

計算に用いた基礎方程式は、次式で与える1次元不定流の基本式(サン・ヴナン式)(1)および連続式(2)である。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (1) \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2)$$

ここに、 $g(\text{m/s}^2)$ ：重力加速度、 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ ：流量、 $q(\text{m}^2/\text{s})$ ：側方流入流量、 $h(\text{m})$ ：水位、 $A(\text{m}^2)$ ：通水断面面積、 $R(\text{m})$ ：径深、 $n(\text{s/m}^{1/3})$ ：Manningの粗度係数、 α ：エネルギー補正係数(1.0)である。計算条件としては、河床勾配1/2500、Manningの粗度係数0.03s/m^{1/3}、河道長40kmを与えた。河道形状としては、河道幅一定の単断面河道、急拡部を有する単断面河道、狭窄部を有する単断面河道の3種類とし、河道幅100m与えた。急拡部は、下流端から5km地点に位置しており、河道幅としては300mを与えた。狭窄部は、急拡部と同様に下流端から5km地点に位置しており、その区間は上流方向に300mである。狭窄部河道幅としては20mを与えた。境界条件としては、上流端にはH-ADCP観測流量から平水時の平均流量である50m³/sを一定流量として与え、下流端には潮汐変動として鶴見川河口部の平均水深である3mに振幅0.5m、周期12、6、2時間の正弦関数を与えた。

(2) 計算結果

図-5、図-6、図-7にH-ADCP観測地点と同距離である下流端から6km地点における各河道の水位と流量の時系列を示す。下流端水位の周期を短くすると最大水位、最小水位、平均水位は各河道形状によらず大きくなるとともに、流量の振幅も各河道形状によらず大きくなる。

狭窄部を有する単断面河道と他の河道の水位および流量を比較すると、狭窄部を有する単断面河道の水位、流量の振幅は同周期における他の河道の水位、流量の振幅より小さくなる。

下流端から6km地点における水位および流量の変動周期は、下流端に与えた潮汐変化の周期と同じであり、本計算では小潮時に観測された短時間周期の流量変動は確認できなかった。

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による詳細な観測データを比較することにより、H-ADCPの計測精度を検証した。その結果、平水時においては小潮、大潮時ともに曳航型ADCPとほぼ同じ精度で流量観測が可能であることが示された。また、本研究で行った1次元不定流の基本式を用いた数値計算からは、H-ADCPで観測された短時間周期の流量変動は確認されなかった。そして、水位および流量の変動周期は河道特性の影響を受けず、下流端水位の周期によって決まることがわかった。

参考文献：1) 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。2) 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、11-227、2001。3) 水文観測(平成14年度版)、全日本建設技術協会

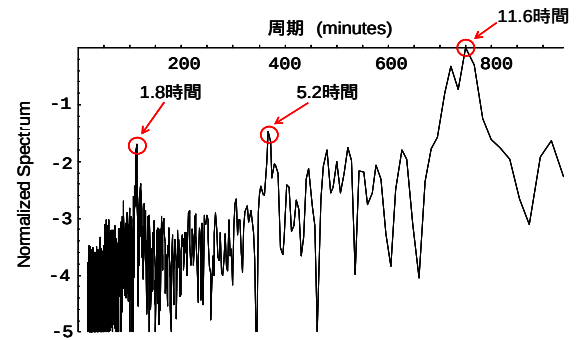


図-3 鶴見川末吉橋地点におけるH-ADCP観測流量のスペクトル解析結果(2003年2月)

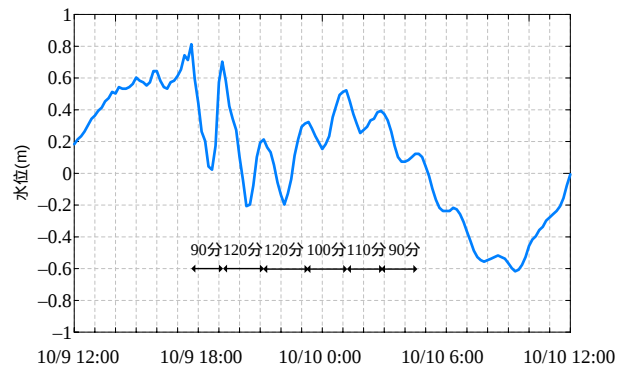


図-4 鶴見川河口(-2km)の水位の時系列(2004/10/9 12:00-10/10 12:00)

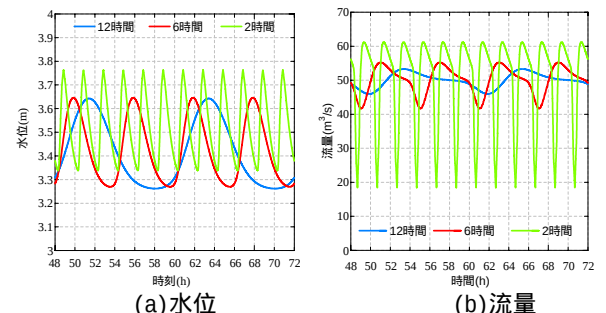


図-5 河道幅一定の単断面河道の水位と流量の時系列(下流端から6km地点)

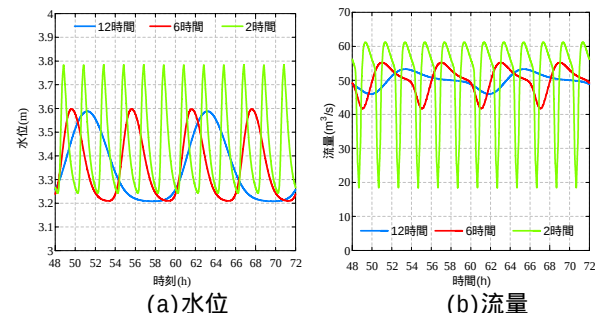


図-6 急拡部を有する単断面河道の水位と流量の時系列(下流端から6km地点)

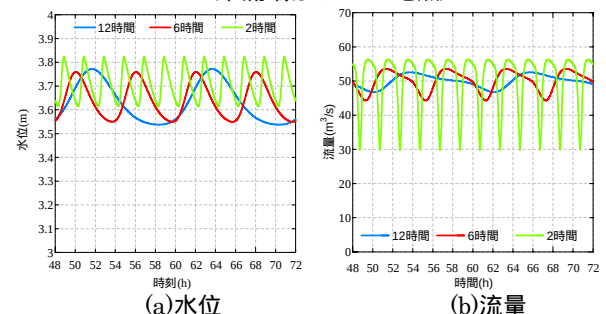


図-7 狭窄部を有する単断面河道の水位と流量の時系列(下流端から6km地点)