# 高解像度 ADCP を用いた洪水時都市河川の流速・SS 鉛直構造に関する現地観測

東京理科大学院	土木工学専攻	学生員	飯田裕介
東京理科大学	土木工学科	正会員	二瓶泰雄
(株)ドーコン	河川部	正会員	佐藤慶太

#### 1.序論

河川や湖沼,内湾における水環境管理の重要な指標となる河川の汚濁負荷調査を行う時には,流量と汚濁 物質濃度(SS,栄養塩,有機物濃度等)をそれぞれ算定し,それらの積により汚濁物質フラックスとしてい る.このうち流量は,棒浮子観測により対象断面内における流速の横断・鉛直方向変化を加味して算出され るものの,棒浮子観測には様々な問題点が存在している.また,汚濁物質濃度に関しては,断面内変化が小 さいものとして,横断面内の一地点における観測結果を代表値とすることが多い.しかしながら,既存の浮 遊砂理論からも明らかなように,少なくとも,SSや栄養塩・有機物の懸濁態濃度は何らかの鉛直分布特性を 持つと考えられるものの,鉛直分布を考慮して汚濁負荷量を評価している研究例は無い.本研究では,都市 河川における汚濁負荷量の高精度評価を目指して,高解像度超音波ドップラー流速分布計(以下,HR-ADCP と呼ぶ)を用いた現地調査により,洪水時都市河川における流速・SSの鉛直構造や主流方向 SS フラックス, 底質の巻上げフラックスを明らかにする.この HR-ADCP は,水中にパルス上の超音波を発射し,その音波 のドップラー効果を利用して多層の流速を計測するとともに,浮遊粒子からの反射強度を利用して土砂濃度 を推定することができ,さらに最近では浅水流計測に適した高精度・高分解能計測が可能となっている<sup>1)</sup>.

## 2.現地観測の概要

現地観測は,千葉県柏市を流れる都市河川である大堀川下流部(呼塚橋)の低水路河床部にHR-ADCK RDI, WorkHorse ADCP Sentinel 1200kHz)を設置した.観測期間としては 2003/7/31~8/6と 9/19~29とし,前 者では 8/5に総雨量 102mm(時間最大雨量 73mm,降雨イベントA),後者では 9/20~22にかけて総雨量 102mm (時間最大雨量 7mm,降雨イベントB)の降雨に伴って明確な出水が観測された.このときの HR-ADCPの 計測モードとしては,鉛直分解能 2cm,層数 150,サンプリング間隔 5分とし,計測誤差の標準偏差は 2.42cm/s である.HR-ADCP と同時に,水位や濁度を各々自記式測器により連続的に計測した.また降雨イベント B では,表層水をバケツ採水し,そのサンプル水に対して SS や他の水質項目の分析を行った.

## 3.結果と考察

(1)流速鉛直構造:洪水時における流速鉛直構造の基本特性を調べるために,降雨イベントAにおける主流方向流速の鉛直分布に関する時間変化を図-1に示す.ここでは,洪水時における水位上昇・減少に合わせて図化の範囲も変化している.記録的な時間雨量に伴い,水位が約1時間で1.5mも上昇し,その後緩やかに減少しており,このイベントAは極めて非定常性が強い洪水流であった.流速値を見ると,水位ピーク

前に流速ピークが現れる,という洪水時都市河川におけ る典型的な流速変化とともに,その流速ピークとなる増 水期には表層流速よりも底層流速が早くなるという**流速** の上下逆転現象(同図中矢印)が生じている.この流速 逆転現象は,降雨イベントBにおいても,表・底層間の 速度差は小さいものの,生じていることが確認されてい る.この流速逆転現象の形成過程を把握するために,逆 転現象が生じていた増水期と生じていない減水期の横断 方向流速の鉛直分布を見たところ,増水期には表層は左 岸向き,底層は右岸向きとなっているのに対して,減水 期には全層で右岸向きの流れとなっており,横断方向流



キーワード:都市河川,高解像度 ADCP,汚濁負荷,洪水流,SS 連絡先:〒278-8510千葉県野田市山崎 2641土木工学科 Tel.04-7124-1501(内 4031)Fax.04-7123-9766 速が大きく変化していた.増水期において見られた左岸向きの表 層流れは,植生が繁茂する右岸側高水敷より低速流体塊を低水路 内に輸送するため,表層における主流方向速度は減少し,流速の 上下逆転現象が生じたものと推察される.

(2) SS 及び主流方向 SS フラックスの鉛直分布: HR-ADCP に よる反射強度と採水により得られた SS に対する相関関係を用い て,ここでは降雨イベントBを対象として SS の鉛直分布を推定 する.4つの流量ピークが見られた降雨イベントB(図-2)の 中で,特徴的な SS 分布となっていた期間 中の SS 鉛直分布を図 -3(a)に示す.これを見ると,減水期には底層の SS が表層の SSより大きいという一般的な浮遊砂濃度分布となるのに対して, 増水期にはその関係が逆になっており,SSに関しても流速と同様 な上下逆転現象が現れた.同図(b)は,同じ降雨イベントBに おける主流方向 SS フラックスの鉛直分布を示す.ここで反射強 度より推定された SS の鉛直分布を指数関数近似し,その近似曲 線で表される SS 値を用いて SS フラックスを算出している.これ より,前述している流速や SS 鉛直構造の結果を反映して,主流 方向 SS フラックスの鉛直分布形が増水期と減水期で大きく変化 している.以上の結果より,都市河川において SS や懸濁態水質 濃度の負荷量を正確に評価するには,流速のみならず汚濁物質濃 度の鉛直分布特性を考慮することの重要性が示唆された.

(3)底質の巻上げフラックス:前節で示した SS 鉛直分布より 得られる底質の巻上げフラックス P<sub>k</sub> と水深平均流速 U<sub>m</sub>の相関図 を図-4に示す.巻上げフラックス P<sub>k</sub> は,指数近似された SS 分 布の底面上での値と土粒子の沈降速度の積より求められ,ここで は降雨イベントBにおける期間 , について表示されている. また図中には,二瓶ら<sup>2)</sup>により提案された巻上げ試験方法に基づ いて得られた,同観測地点における降雨イベント前後(9/19,22) での巻上げフラックス P<sub>k</sub> も示されている.これより,HR-ADCP により得られた巻上げフラックスは,期間 の増水期には巻上げ 試験の降雨前(9/19)での値に近く,時間経過とともに巻上げ試 験による降雨後(9/22)の結果に近づいている.また,期間 で は増水期の方が減水期よりも大きい,という P<sub>k</sub>のループとなるの に対して,期間 では明確なループは見られない.これは,河床





における易浮遊性堆積物の大部分が期間 の増水期において河床より巻き上げられたために,流速と巻上げ フラックスの関係が降雨イベント中に変化したことを示唆している.このような観測結果は,降雨イベント 前後において巻上げフラックスが減少する,という巻上げ装置により得られた結果<sup>2</sup>)を裏付けている.

### 4.結論

高解像度 ADCP を用いて洪水時都市河川における洪水流・土砂輸送観測を行った結果,増水期に流速や SSの上下逆転現象が生じたこと,この結果を反映して,主流方向 SS フラックスの鉛直構造が増水期と減水 期では明確に変化していることが示された.さらに,底質の巻上げフラックスを求めた結果,洪水流中に巻 上げフラックスの流速依存性が変化する,という巻上げ試験で見られた様子を捉えることに成功した.

参考文献:1)佐藤,二瓶,木水,飯田:水工学論文集,Vol.48,pp.763-768,2004.2)二瓶,山﨑,西村,丸山:水工学論文集,Vol.48,pp.1447-1452,2004.