

出水時江戸川における橋脚上流側の流況・洗掘状況に関する現地計測

東京理科大学 学生会員 ○廣次 義崇, 井上 隆

東京理科大学 正会員 柏田 仁・二瓶 泰雄

1. はじめに

豪雨災害の頻発化と共に、河川橋梁被害も増大している。豪雨時橋梁被害の多くは、橋脚周辺の局所洗掘による橋脚の沈下・転倒が要因である¹⁾。このような局所洗掘の実態を捉える上では、一般的に実施されている洪水前後の河床計測や横断測量のみでは不十分である。これは一般に、洪水中は流速が大きく洗掘が進行するが、洪水減水期や洪水後には流速が低下し、土砂堆積や埋め戻しが進み、洪水後の観測で最も深掘れした状態を把握できていない。そのため、洪水中における橋脚周辺の洗掘発達過程を把握することは極めて重要である。

このため、洪水中でも河床高や、密接に関係する流動構造を計測することが求められる。この計測に適した手法として、著者らは、ADCP 登載ラジコンボートと位置同定手法に基づく流速・河床変動モニタリング手法を開発した(廣次ら²⁾、以下、前報と称す)。前報では、平水時の江戸川野田橋の橋脚を対象に流況・洗掘状況を計測し、本システムの基本性能を検証したが、出水時観測への適用が課題であった。本論文では、本システムを用いて、出水時江戸川の橋脚周辺の流動・洗掘状況調査を実施したので、その結果を報告する。ここでは、まず、①ADCP における出水時の流速計測精度を検証し、②一定程度の計測精度を有するデータを用いて、洪水時における三次元流動構造の一端や橋脚前面の局所洗掘状況に関する観測結果を示す。

2. 現地観測方法

(1)本システムの概要: 本システムの全体像は、流速鉛直分布・河床変動計測用の ADCP と、その位置制御用ラジコンボート、ADCP 位置計測、から構成される(図-1)。ラジコンボートの左右にスラスターを取り付けている。システムの詳細は前報を参照されたい。

(2)現地観測概要: 本システムを用いて、江戸川・野田橋(河口より 39.5km 地点)左岸側から2つ目の橋脚周辺における流速・河床変動観測を行った(図-2)。観測期間は、2022 年台風 15 号(Talas)による洪水(野田橋のピーク水位 7.38Y.P.m, ピーク流量 790m³/s)を対象とし、図-3に示すように、出水のピーク時に2回(①2022/9/25 11:25-12:25, ②同日 14:40-15:40)、減水期に一回(③9/26 13:40-15:00)の計3回実施した。各観測開始時の水位は①, ②, ③で各々7.35, 7.26, 6.17Y.P.mであった。本システムでは流速 1.8m/s までしか静止できなかったため、それ以上の流速が発生した本出水観測中にラジコンボートの制御は橋脚前面の一部のエリアしかできなかった。そのため、ラジコンボートが流されるたびに、再度水面にラジコンボートを設置する、という作業を繰り返し、橋脚周辺のデータを多く取得した。そのため、1回の計測時間が約60分に達した。また比較用として、出水前後に相当する平水時観測を2022/7/12(3.42Y.P.m)と同年10/11(4.26Y.P.m)に行った。観測結果は流下方向X(正:下流向き)、横断方向Y(正:右岸向き)で整理する(原点:橋脚上流端)。

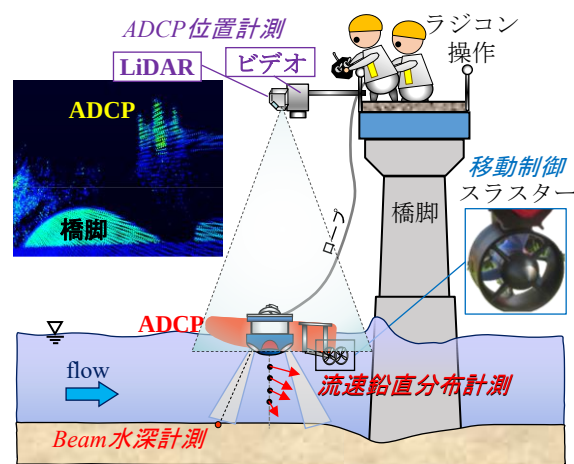


図-1 本計測システムの全体像

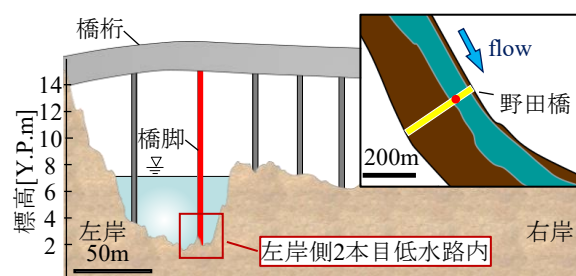


図-2 観測サイトの概要(江戸川・野田橋)

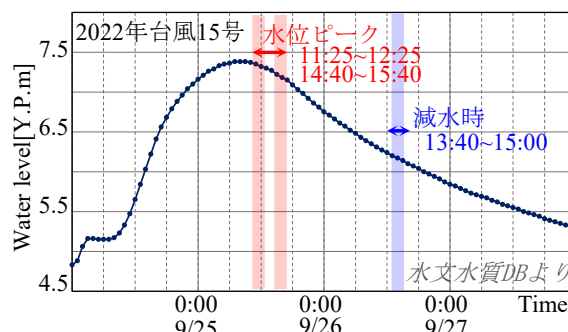


図-3 江戸川野田橋の水位ハイドログラフと出水観測期間(2022年)

キーワード 出水, 河川橋梁, 橋脚, 3次元流動構造, 局所洗掘, ADCP

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 TEL04-7124-1501 (内線 4065)

3. 結果と考察

(1) ADCP の流速誤差： ADCP は 4 本のビーム方向流速から合成された 3 次元流速の鉛直分布を計測しており、これは「ADCP からの各ビーム上の水中散乱体の速度が同一である」という前提条件に基づく。ただし、橋脚周辺の底面近傍のように流れ場の局所性が大きい場合には、この仮定の妥当性を検討すべきであり、ADCP の流速誤差に注意を要する。そこで、ADCP 計測値により出力される Error Velocity を調べた結果を図-4 に示す。ADCP では、2 本ずつのビーム流速により、2 つの鉛直方向流速が得られており、その 2 つの鉛直流速の差が Error Velocity である。ここでは、出水時と平水時での全計測値に対する Error Velocity の頻度・割合分布（同図(a)）と、横断方向位置に対する散布図（同図(b)）を図示する。同図(a)より、Error Velocity の大半は出水時・平水時共に 0.3m/s 未満となっており、全般的には 0.5m/s 以上の大きな誤差を含むデータ数の割合は小さい。平水時と出水時を比べると、Error Velocity が大きい部分の割合は、出水時の方が平水時よりも大きくなっており、水深が大きい出水時の方が流速誤差は大きい。また、Error Velocity の横断分布（同図(b)）より、橋脚中心 (Y=0) 付近では大きな Error Velocity となり、流速誤差に橋脚影響が確認された。以上を鑑み、本報では Error Velocity 0.5m/s を閾値とし、それ以上のデータは除去し、次節の流速データを解析した。

(2) 三次元流動構造： 本手法により計測された三次元流動構造のうち、橋脚前面における縦断面の流速ベクトル及び横断面の二次流ベクトルを図-5 に示す。ここで縦断面は $-0.5 \leq Y \leq 0.5\text{m}$ 、横断面は $0 \leq X \leq 1\text{m}$ の範囲において、各断面の 20cm メッシュ毎の流速平均値を算出し、主流方向流速コンターと合わせて図示する。なお、主流方向流速コンターは一部欠測部分を内挿している。これより、まず、縦断面分布としては、水表面付近では、主流方向流速は橋脚に近づくと共に減速するという一般的な流況が見られる。水深 4m 以深では流速が大きく減少し、橋脚前面での局所洗掘形状に沿った結果となっている。また、水深 2 - 4m 付近では水表面付近よりも流速が大きく、かつ、橋脚に近づいても表層付近ほど流速の減少は見られない。それに対して、横断面の流動構造を見ると、水表面付近では、橋脚中央から横断方向に発散する一般的な流れが見られるが、水深 3m 以深では逆に収束する二次流が形成されている。これに合わせて主流方向流速は水表面よりも底層付近において大きくなっている。このような表・底層で異なる二次流構造や主流方向流速分布は、出水時の別の期間でも観測されていたが、このような複雑な流動構造の形成要因は、本システムの計測誤差も含めて今後検討する。

(3) 出水時の局所洗掘状況： 出水時における橋脚前面の局所洗掘状況を見るために、平常時・出水時における河床高縦断分布を図-6 に示す。これより、出水前の平常時と比べると、出水ピーク期 (①, ②) では深掘れが 30 cm ほど進行した (図中矢印)。また、出水後の平常時では、ほぼ出水前の状況に戻り、埋め戻しが見られた。ただし、出水中の減水期 (③) では平常時の埋め戻し以上の河床高となっており、局所洗掘だけでなく上流側からの河床変動の影響を受けている可能性が示唆され、今後の観測データの蓄積が必要となる。

参考文献： 1) 佐溝昌彦:国士舘大学応用システム工学専攻学位論文, pp.1-27, 2014, 2)廣次, 井上, 柏田, 二瓶:土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.78, pp.619-624, 2022.

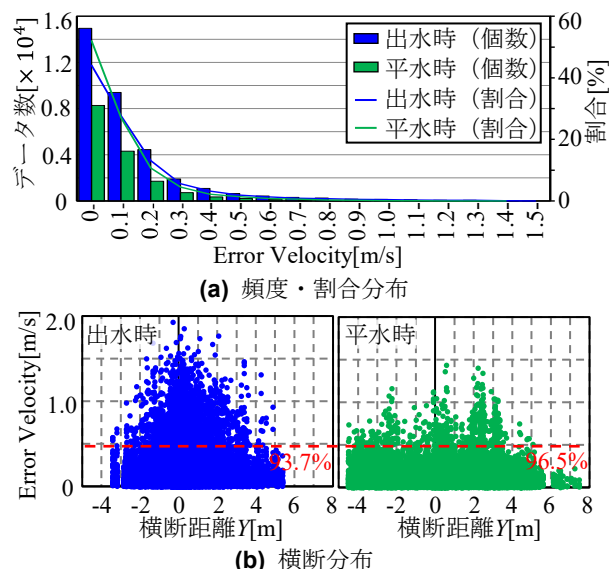


図-4 Error Velocity による流速計測誤差評価

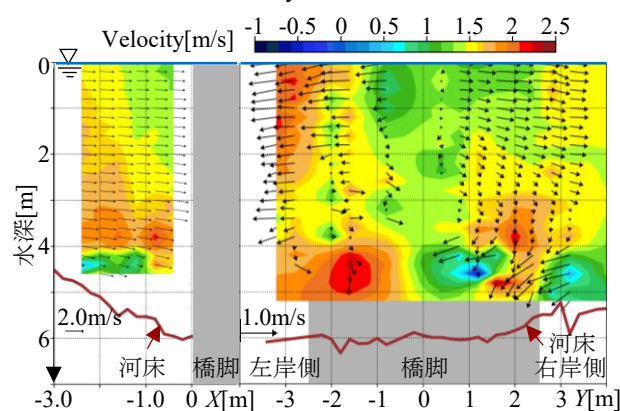


図-5 橋脚前面の流速ベクトルと主流方向流速コンター (出水時①)

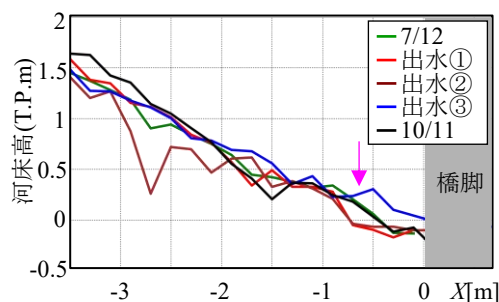


図-6 橋脚前面における河床高縦断分布の推移