

流水が斜め上流からあたる場合の 橋梁ピア—後流域特性

—電波流速計の橋梁設置は上流?or下流—

HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF BRIDGEPIER-WAKE WITH SKEW FLOW FROM UPSTREAM

山口 高志¹・新里 邦生²・斉藤 秀晴³

Takayuki YAMAGUCHI, Kunio NIIZATO, Hideharu SAITO

¹名誉会員 工博 (株)東京建設コンサルタント(〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)

²(株)東建エンジニアリング(〒330-0841 さいたま市大宮区東町1丁目36-1)

³正会員 ph.D (株)東建エンジニアリング(〒330-0841 さいたま市大宮区東町1丁目36-1)

In the case of Bridgepier-Wake with skew flow from upstream;

- 1.the shape of the pier wake zone and cross sectional surface velocity distributions downstream(field observation),
 - 2.an example of a mammoth sand dune generated in a pier –wake zone(field observation),
- are introduced and discussed.

Key Words : Bridge pier wake.

1. はじめに (問題の背景)

洪水流量観測は、主に橋梁下流を利用して行う浮子による方法が、ほぼ70年にわたって実施されて来た。長きにわたって用いられて来ただけに、その問題点も多く指摘されて来た。

ここでそのすべてを議論するつもりはないが、その中でも問題とされているのが橋ピア—下流の後流域である。浮子は、橋上より下流側に投下されるが、後流域では当然浮子が滞留してしまうことが多いため、投下が除外されている。そのため、「浮子がピア—のせき上げにより増速された部分に投下されるため、観測流量が過大になる。」とする論者の意見(1)になっている。

長良川墨俣での空中写真を用いたカメロン法による橋下流全面流速分布の図では、浮子の助走距離60mに測定区間100mを加えた160mをこえて、後流域が伸びていた(1)。もちろん、河川が急流になるほど乱流拡散により後流域長は、減少する。

著者の一人は、この20年余にわたって、直轄河川20ヶ所あまりの電波流速計の設置とデータの解析に関わってきた(2)。目的は、困難を伴う洪水流量観測を、無人で非接触型で、オンラインで、しかも確実にデータを取得できるシステムが必要と思ったからである。そして電波流

速計の設置は、上述のように後流域を有する下流側を避けて、流速分布変化の少ない橋梁上流側を選び、実際に設置・実施されて来た。

ところで、最近の国交省の調査技術基準の改定に伴い、浮子法に伍して、非接触型法も採用されることになり、電波流速計もその代表選手に選ばれた。それに伴い下流案が浮上してきたようである。その主たる理由は、相対に新しい観測機器、鉛直方向流速分布計 (ADCP ; このあとADCPと略称) の観測が事実上、橋下流でのみ、実施可能だからである。詳述はさけるが、ADCPはボート等を用いて行うため、非接触はかなえられないが、鉛直方向流速分布および河床面が測定できるというスグレ者であるため、表面流速のみ測定の電波流速計測定値を流量に変換するのに有効なのである。当然のことながら、ADCPは人力によることの欠点、流速が4m/s超になると機器の安定が困難となり、測定不能となるなどの欠点を有する。

電波流速計の設置は、橋梁下流側の後流域をさけて上流側かは、これからの論点となると思われる。

ピア—後流域に関するもう一つの視点は、斜張橋などの採用に伴うピア—の巨大化である。確かに斜張橋になると、低水路内のピア—数は減少するが、ピア—の巨大化は避けられず、またそのピア—の後流域は大きなもの

になる。さらに、これに流れが斜めに当たると与えられるじょう乱規模は大きなものになる。

例えば、高水法線と低水法線が異なるような地点にピアアが、低水路内に設けられると、ピアア法線は高水法線に一致するように決められるため、洪水によっては大きなじょう乱を発生し続けることになる。

本論では、流水が斜め上流からピアアにあたった場合の水理の理解を深めるべく

- 2.ピアア下流流速分布の現地観測 1例
- 3.高水法線と低水路法線が異なる地点に設置された斜張橋ピアア下流の巨大砂州発生の実例を紹介する。

2. 信濃川小千谷 旭橋の場合 (2012年4月)

信濃川そして魚野川の融雪出水は、経験的に4月10日頃にピークを迎えることが多い。今年もそれを狙って計測器のテストを兼ねて、現地調査を実施した。水位は、思ったほどではなかったが、左岸から数えて第3ピアアの後流域の拡がりの大きさにおどろき、電波流速計により表面流速横断分布を観測することにした。

観測時の水位は、 $H=44.5\text{m}$ (指定水位は $H=45.5\text{m}$, 小千谷量水標), 俯角 45° , 水面よりの器高 12m , (観測横断は橋より下流 12m となる), また測点は、欄干支柱間隔を利用して 1.5m おき, 範囲はピアア間主流から主流までの31点 (No.44~No.74), 1点あたり測定時間1分とした (図-1)。

なお他に、 $H=44.4\text{m}$ 時に行った横断観測 (測定時間20秒)があったので、比較のため、および第2ピアア後流域との比較のためを含めてこれも紹介する (図-2)。



図-1 表面流速横断分布 (橋下流12m, 計測時間1分)

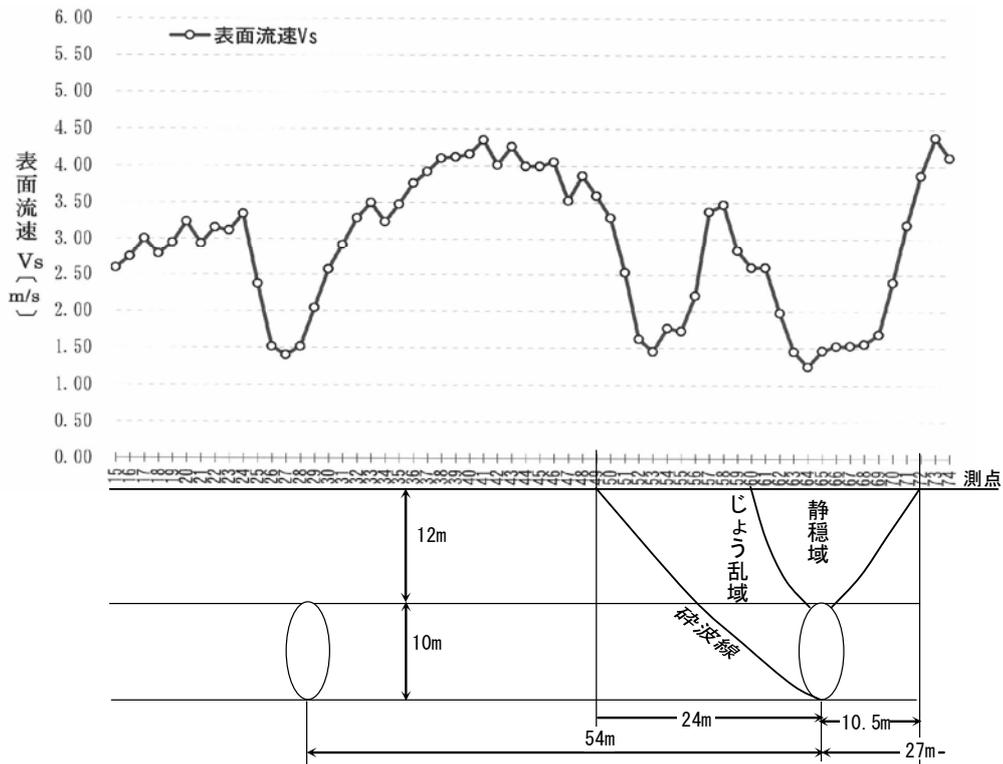


図-2 表面流速横断分布, ピアアを含む平面図

まず図-1の平均表面流速分布からは、ピア上流端と下流端にそれぞれピアがあるように見えるような二つの低流速の谷間、そして、ピアによるせき上げにともなう下降流が両側から集中したような中央の流束部分が認められる。乱れ強度については、後述する。

次いで図-2、この図には第2ピアの後流域との比較を含めて、平面図を併記してある。まず図-2右側の流速分布図は、水位の差が10cmと小さいこともあって、図-1とほとんど差はない。

両図を見ながら、橋から下流12m地点での、後流域中について、数字をひろってみると、ピアから右側の巾(65~72) $7 \times 1.5 = 10.5\text{m}$ 、左側の巾(49~65) $16 \times 1.5 = 24\text{m}$ 、全巾約35m、これはピア巾4m(推定)ピア長10mに比して、異常に大きい巾といえる。また、左側の巾(24m)は、ピアのスパン54mに対して40%に達している。

他に図-2左側のほぼ直進流を受けたと思われる第2ピア後流域巾(24~32) $8 \times 1.5 = 12\text{m}$ と比べても、第3ピアの後流域の巾の大きさが際立つ。



写真-1 ピア後流域全体



写真-2 ピア直下

後流域の状況について、視覚的な理解を深めるべく、写真を3葉紹介する。写真-1は橋上左から全容を、写真-2は、ピアを含めた直下の状態を示す。写真中にも記してあるが、ピア下流静穏域や、やや静穏域(中央流速域)、碎波線(写真-1)、ピア、手前の湧昇流?(写真-2)が認められる。

写真-3は、下流左側からの後流域の遠写である。



写真-3 下流左岸域からの遠写



図-3 鉛直方向流速+表面流速, 横断分布図

参考までに、乱流強度 (V_s の標準偏差) (図-1), ほか受信データの微弱ではあるが V_z 成分のようなもの (図-3) を示した。後者の方が想定したような変化を示し、乱流強度は、高速域 (主流) でも上昇した部分があった。

流れがピアーに斜めに入射すると、下流に意外に広く影響が拡がることを紹介した。上流からの流れは河道内の条件によって、当然のことながら、変幻自在であり留意しておかねばならないことであろう。

流量観測への影響について考察してみると、浮子法の場合は、助走距離 (60m) などがあり、急流河川などでは相対に影響が少ないと思われるが、やはり浮子が滞留する危険性は残る。電波流速計の場合には、ほぼ電波の照射が行われる範囲に相当するため、例えばH- V_s 関係

にも異常となって現れたり、代表性に疑義を生じる可能性もあろう。

本章は単に、一観測例の紹介にすぎないが、電波流速計による下流観測への一つの警鐘としてご覧いただきたい。

3. 利根川A地点の場合 (2001年9月洪水)

ここでは1つの長時間出水により、ピアー後流域に巨大砂州が出現した例について、生じた現象の説明から先に入っていこう。

まず図-4、付近平面図である。中央にスパンの短い



図-4 利根川A地点付近平面図



写真-4 A地点下流より 2002.10

旧橋，並んでスパンの大きい新橋（斜張橋，当時ピアのみ），その下流に実線の枠取り（中州，現況河岸など）は，付近出張所長さんが出水後地形を記入されたものである．実際に著者の一人も，現地踏査してこれを確認しており，加えて旧橋上流右岸も破線で示すように削られていた．

あらためて本図を見て，右岸高水敷の40～50m後退と，ピア後流域下流域の長さ500m巾約100mの巨大砂州の発生におどろかされる．

視覚的な理解を深めるため，1年後の同地点の斜め写真を紹介しておく（写真-4）．砂州全体の形状から見て，上流右岸沿いを流れた主流が，下流では直進するとともに，右岸から左岸へ越えたイメージも強い．また，ピア直下流の砂州形状も特徴的である．

どのような要因が働いて，上述のような結果が起きたについて，順次ふれていこう．

まず，出水であるが図-5に示すように，2001年9月10日～9月12日（H13）までのピークが24時間におよぶ長時間出水であったこと，そしてその流量（6,000～7,000m³/s）が図-6の横断図に示すように，ちょうど低水路バンクフルに相当するものであったことがわかる．

あらためて図-4などを見ながら考えると，上流左岸方向から流入した水流は，右岸高水敷を削りながら低水路法線方向に流下，新橋地点では高水法線と平行に設置されたピア（6m×30m）にもはねられ，新橋下流でも右岸高水敷を削りながら流下したものと考えられる．

ピア本来の後流域は，これほど巨大とは考えにくく，たまたま右岸等を削った砂が，補給源の役割を果たし，長時間の出水ともあいまって巨大砂州の出現になったものと考えられる．

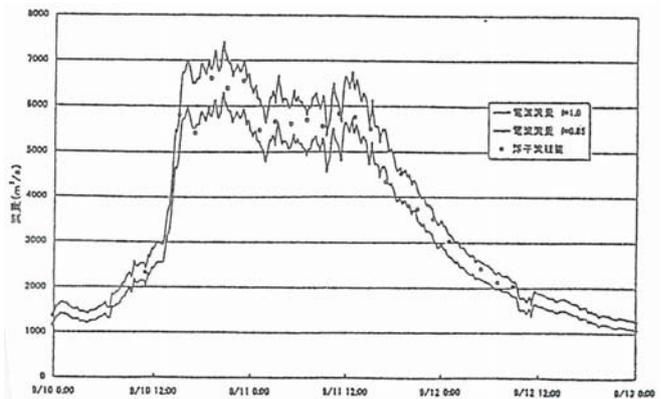


図-5 流量ハイドログラフ (A地点, 01.9.10～13)

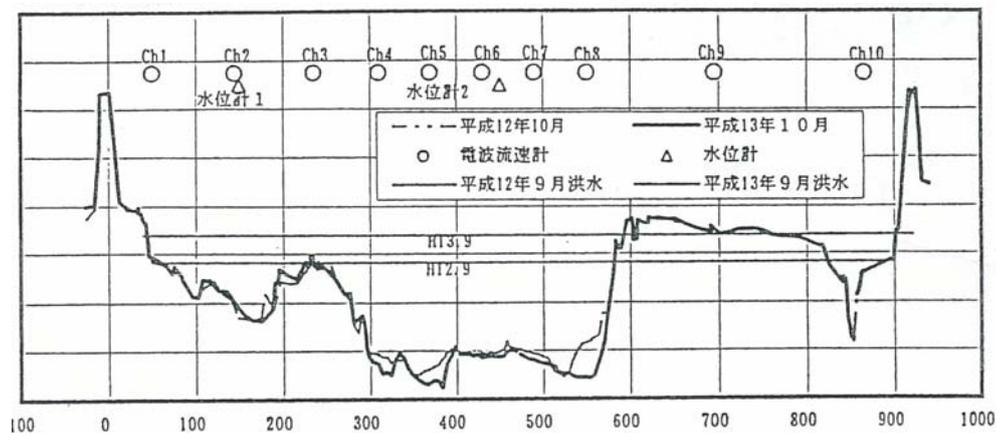


図-6 旧橋上流15mの横断図と最高水位（付電波流速計配置）

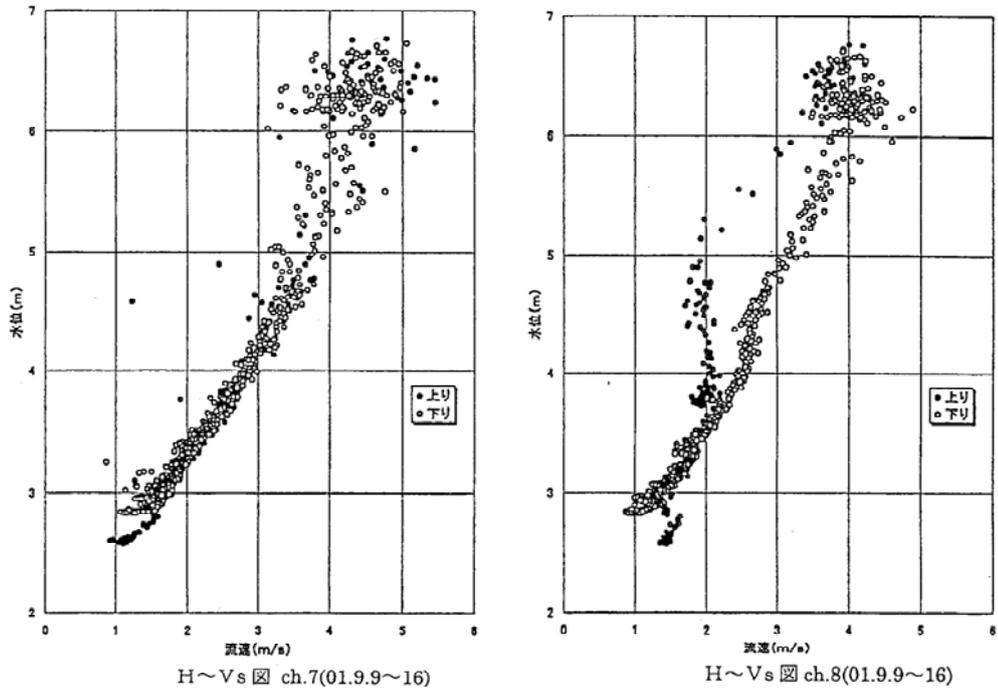


図-7 電波流速計 H~Vs図

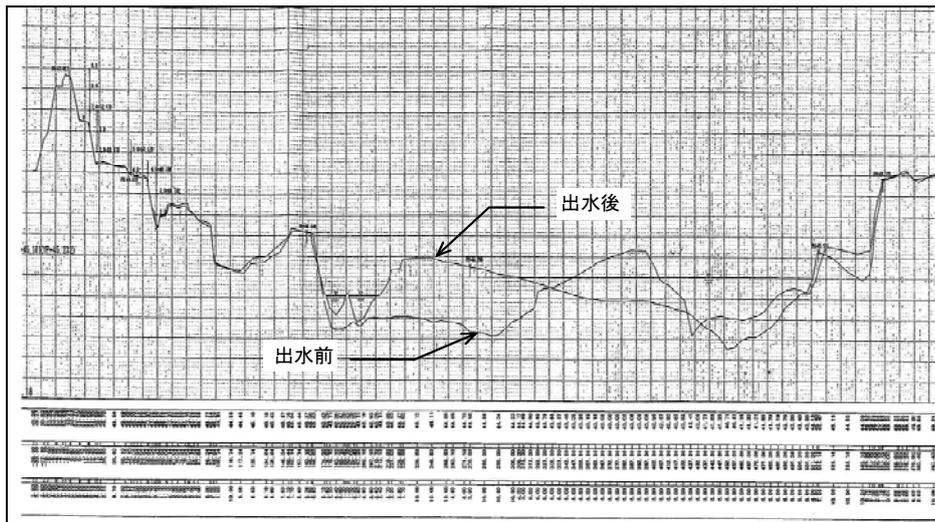


図-8 横断変化図 (高水第一断面, 09.7出水前後)

なお、参考までに当時旧橋には、10基の電波流速計が設置されており、観測を行っていた。例示するch.7は、低水路右岸広いスパンのところ、ch.8は狭スパン一番目に設置されていたが(図-7)、最大流速は、それぞれ5m/s、4.5m/s、またch.8は立ち上りと、低減時の形状は時計まわりのループ、つまり河床低下を示していた。

繰り返しになるが、長時間にわたる低水路一杯の流れ、低水路法線の方向とピア一法線の不一致、補給砂源の存在など、多くの要因が重なって、巨大砂州が発生したといえるのだろう。

このピア一後流域の砂州消長について興味があったので、その後もときおり、訪れていた(旧橋の撤去に伴い電波流速計は栗橋に移設)。

まず2007(H19)は、栗橋で $Q_{MAX}=10,000\text{m}^3/\text{s}$ 規模の出水があり、橋直下の左岸への流路は埋塞、右岸主流化が進行した。H19出水前後の横断(高水第一断面)を図-8に示す。

その後、2009年、2012年と訪れていたが、今回事務所を訪れ、2011年10月(H23)の斜め写真(写真-5)を見て、その変化におどろいた。写真-4と見比べていただくとわかるが、利根川本川の直進傾向が進行し、中央スパン上流左岸の砂州の相当部分が流失し、中央ピア一法線ともほぼ一致する新しい低水路が形成されていた。ピア一の後にはけしつぶのような後流域砂州がある。

なお、今後の推移を見まもっていきたい。

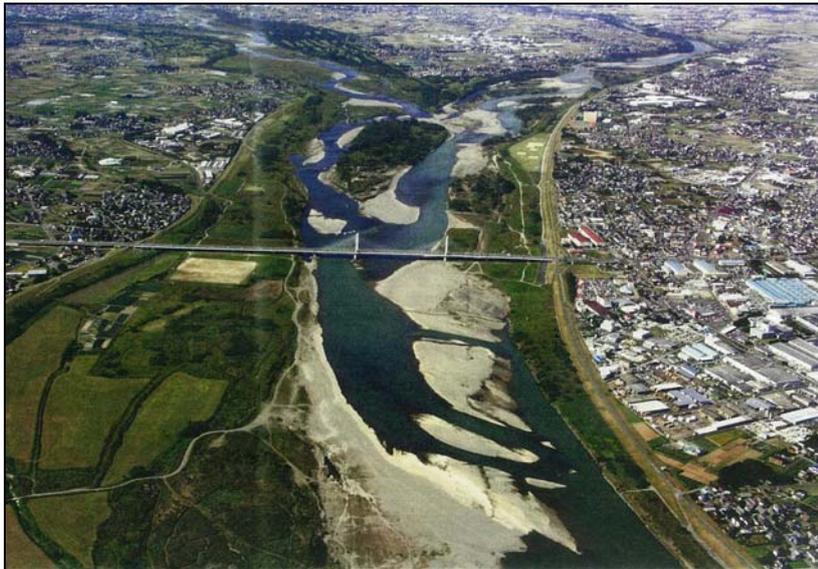


写真-5 A地点下流より 2011.10

4. まとめ

内容評価としては、起った現象の紹介にすぎないかもしれないが、2.の小千谷のケースでは、ピアーから相当はなれたところでも後流域になりうることを知ったし、電波流速計が通常橋下流10~20mの範囲を回っていることを考え合わせると、下流側でも測定する際のその配置決定の困難さを知らせてくれる。当面、流速分布変化の少ない橋上流側測定方式を支持せざるをえない。

3.については、これから多く見られる可能性の高い巨大ピアーの設置に関して、十分な配慮が必要なことを教えてくれる。というのも、低水法線と高水法線がことなるところはいくらでもあるから。

ある元道路屋さんが、著者の一人にしてくれた。「河川は土木の本流、その流れに棹さず鉄道・道路の橋脚は、乱流の源」と。

なお、この調査は1地点10年間追跡する楽しみも、同時に教えてくれた。

発展：A地点の低水路計画の検討が始まるという。どう考えるかを考えているうちに、面白いことに気が付いた。

「移動床模型実験」、それは3.で触れた巨大砂州の再現実験である。例えばこの砂州、高さ1mとして $500\text{m} \times 100\text{m} \times (1/2) = 2万5千\text{m}^3$ の砂州形成の再現が、今の模型実験技術でどの程度できるのか、興味あるトライではないだろうか。もちろん再現できるまでやる。

そして、再現できたとして、次の課題がもしピアーがなかったらどうなったかも、面白い。これを実施するには、相当の予算がかかる。例えば模型縮尺1/80を想定しても、模型製作だけで1,000万円超であるから。しかし実現したいことではある。

謝辞：国交省利根川上流および信濃川河川事務所から、種々情報の提供を受けた。また瀬尾尚子さん（東京建設コンサルタント）には、論文作成の、現地観測とデータ整理では中沢嘉一君（東建エンジニアリング）の手を患わせた。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 木下良作：航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題、土木学会論文集、No.345、P.1~19、1991。
- 2) 山口高志：洪水流速および流量観測—その1—、および—その2— 水文水資源学会誌 Vol.15、No.6（2002）およびVol.16、No.4（2003）など。

(2012. 8. 31受付)