

# H~Vs (地点表面流速) 関係の変化から 水理現象を読みとる

ANALYSES BETWEEN H~Vs (SURFACE VELOCITY) RELATION CHANGE  
AND FLOW CONDITION CHANGE IN THE RIVER CROSS SECTION.

山口 高志<sup>1</sup>・中島 洋一<sup>2</sup>  
Takayuki YAMAGUCHI, Yoichi NAKAJIMA

<sup>1</sup>正会員 工博 (株)環境モニタリング研究所 (〒170-0005 東京都豊島区南大塚3-10-10)

<sup>2</sup>(株)横河電子機器 (〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-23-13)

Since the first flood discharge observatory station using Radio current meters was installed in one of the river in Japan in 1990, 20years has passed, comparison between flood discharges by floats and Radio current meters have long been done. In parallel with the works, analyses between change of H (water level) ~Vs (point surface velocity by Radio current meter) relation and change of flow condition (e.g. bed level change and /or bed roughness change) during flood, have been studied.

Several examples analysed are introduced for the cases of bed roughness decrease, bed level degradation, and dune movement down stream in this paper.

**Key Words :** Radio current meter, surface velocity (Vs), H~Vs relation

## 1. はじめに

電波流速計が、はじめて魚野川(信濃川水系)の堀の内に5基設置されて、はや20年が経ち、現在までにおよそ20ヶ所に達している<sup>1)</sup>。水面に非接触であることによるデータ取得の確実性、および電波流速計が測定した流量が浮子による流量と相関性が高いことから、表面流速しかとれないデメリットを押えて、洪水流量観測方法として、優位に立ち<sup>2)</sup>、現在国交省によって、換算係数fに関する現地調査等が進められている。なお、アメリカでも遅れること15年、電波流速計が使われ始めた。加えて河床高測定の試みも行われている<sup>3)</sup>。

一方、電波流速計が、出水中10分毎に表面流速ではあるが、データを取得するということが、流速のヒドログラフが作れるということであり、これは画期的なことであった。これまでは、ヒドログラフを作れるのは水位のみで、流速は浮子観測で最大でも15点程度(とりわけ人力によるため、出水初期はデータが少ない)であったものが、たち上がりから低減部まで連続的に取得できるようになったことになる。例えば、水位(H)と表面流速(Vs)の関係(以後H-Vs関係と略称)を作ってみれば、出水の上りと下りでほんとうに反時計回りのループを示すのか、次の出水で同じ経路をたどるのかなど、

興味はつきないことになる。加えて、電波流速計は一断面に数台設置されるわけであるから、個々の地点でのいろいろな水流の変化(例えば河床や粗度の変化)にも対応して、変化することがあることも付け加えておかねばなるまい。始めての設置から20年といいながら、洪水まちの20年ではあったが、種々の特徴をもったH-Vs関係の変化例が蓄積されてきた。

以下、電波流速計による洪水流量観測のバイプロダクトとして、2. これまでの結果の紹介<sup>4)</sup>、3. H-Vs関係に対する水面勾配の影響の除去(利根川栗橋)、4. 低水路内砂州移動に伴うH-Vs関係の変化(吉野川阿波中央橋)、の順で紹介し、最後に今後の方向についても言及したい。

## 2. これまで読み取れた水理現象

### (1) 安定河道(魚野川 堀の内 根小屋橋)

本邦初の設置ヶ所の魚野川根小屋橋(堀の内)は、北陸地整が推奨したほどの安定河道で、河床材料も径が20~30cmの礫がしきつめられたようなところで、1/300程度の急流河川であることもあって、設置4地点ともH-V関係は長い期間にわたって変化しなかった(例示略)。

笑い話になるが、筆者としては、これだけ変化しなければ、設置する必要がないのでは？と心配したことを記憶している。

(2) H-Vsのループ (代表的に利根川 栗橋 利根川橋)

電波流速計が、相対的に急流に強いことから、主として河川上流部に設置されてきたが、最近相対に下流の利根川栗橋にも設置され、明瞭なループの観測例も見られることとなった(図-3.1 参照)。

通常、H-Vs図ではループは反時計回りなので、これを順ループと呼び、時計回りループを逆ループと呼ぶことにする。

(3) 河床低下・側岸浸食 (利根川 前橋 平成大橋, 利根川 八斗島 阪東大橋, 吉野川 阿波中央橋, 姫川 山本水管橋など)

河床低下および後述粗度低下は、通常、H-Vs関係のVs増(横軸Vsの場合、右へシフト)、あるいはひと出水での顕著な河床低下は逆ループとなって現れる。

a) 利根川前橋平成大橋の場合は、1,000m<sup>3</sup>/s規模の出水が、3月、4月、5月、6月と連続し、出水毎にH-Vs関係がほぼ $\Delta V_s=15\text{cm/s}$ ずつ右へシフトした。

原因を調査したところ、前年11月より直上流国道橋の増強のためのピア新設工事で仮水路を高水敷に設けたため、土砂が流出し、その堆積物が流下したためと推測された。

b) 利根川八斗島阪東大橋の場合は、低水路最右岸の地点のH-Vsに2出水つづけて逆ループが観測され、横断図上40mの河岸後退が見られた。原因は、低水路に平行でない新設ピアの水はねと判断された(図-2.1)。

c) 姫川山本水管橋の場合は、相隣る2地点で、順ループと逆ループが観測された。山本地点は、扇状地の要のようなところで、流れが一点に集中すると流速大、流砂量大となり、それが下流に堆積すると、流速減、流路変更という現象を起こしたと思われる。興味深いので、流速ハイドログラフをお示ししよう(図-2.2)。

図中のch.3(青色)とch.4(緑色)であるが、ピークを境にVsの急変が見られる。わずかながら、ch.5とch.6の間にもその傾向は認められる。

d) 阿波中央橋の場合は、H16年左岸高水敷上で4つの出水中、前2つの出水で明確な逆ループを観測し、河床低下も観測された(図-2.3, 横断図は後出図-4.3)。

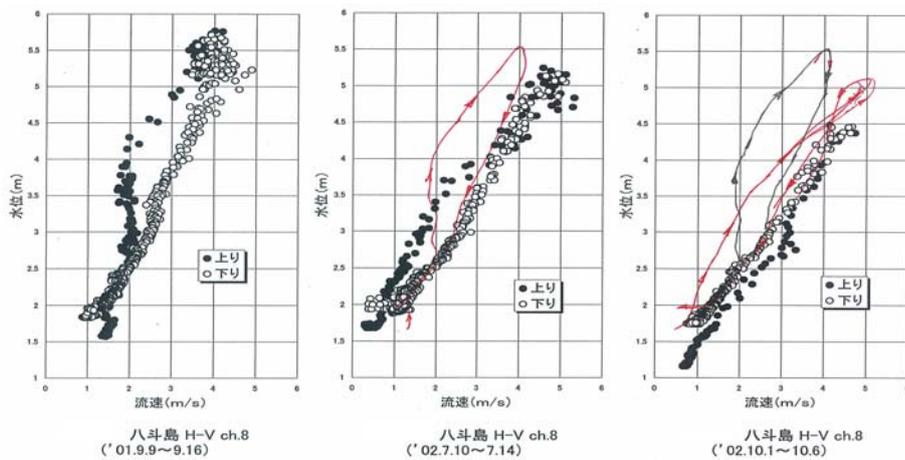


図-2.1 H~Vs八斗島

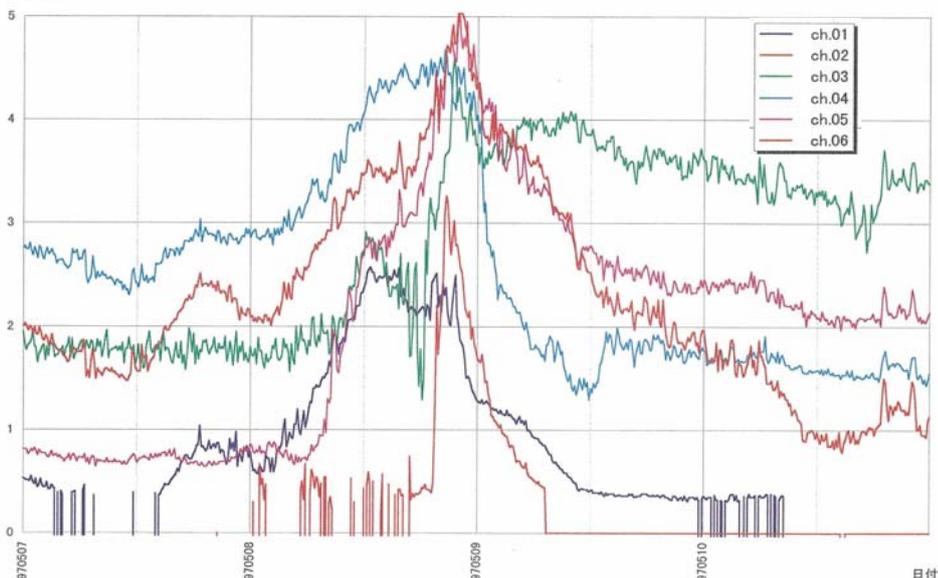


図-2.2 Vs1~6 ハイドログラフ (姫川 H9.5)

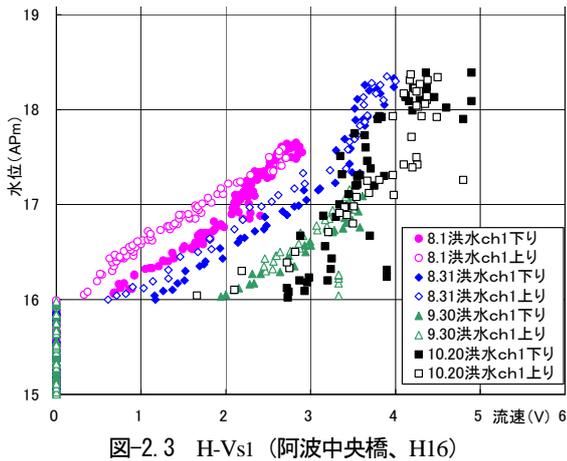


図-2.3 H-Vs1 (阿波中央橋、H16)

#### (4) 粗度低下 (吉野川 瀬詰大橋, 阿波中央橋など)

d)でも触れたが、H16年(台風の当たり年)に、4つの台風が吉野川に豪雨をもたらし、それぞれ $Q_{max} = 8,000, 12,000, 9,000, 16,000\text{m}^3/\text{s}$ の出水となった。

同川36km瀬詰大橋の高水敷の測点ch.5では、特徴的なH-Vsカーブを示した(図-2.4)。図中、第1および第3の出水では、上り下りほぼ同一経路をたどったのに対し、第2および第4の出水では、大きな逆ループを示した。筆者は、出水前、第2出水後、第4出水後の3時期にch.5の橋上から写真を撮っているが、灌木等が2回目に半減、3回目にはほぼ皆無という状態であった。(写真省略)

推測するに $Q=10,000\text{m}^3/\text{s}$ あたりで高さ2.3mの灌木が倒れ流失し、粗度の減少となったものと思われる。因みに $H=30\text{m}$ での流速は $2\text{m/s}$ から $4\text{m/s}$ に上昇、すなわち粗度係数 $n$ は、半減したことになる。

粗度の減少例は、下流の阿波中央橋を含め低水路でも、顕著な逆ループとしては現れないものの、出水毎にVsの漸増が見られた。河道が大出水の流れにしたがって平滑化されたものと考えられる。

#### (5) 8の字ループ (順ループと逆ループのはざま)

(3), (4)と逆ループ(河床低下, 粗度低下)の例を多く紹介してきた。しかし、水理的に言えば、順ループになる要因には3種あり、すなわち洪水波として本来の順ループの他に、河床上昇および粗度上昇などがあるが、姫川のように端的に現れたもの以外は、現状ではこれらの分離は不可能といえよう。まして出水中の河床高さえ観測されていない現状では。

河の中の現象であるから、当然両要因のせめぎあいも発生するわけで、その一つの例として、8の字ループが現れる。紙数の関係もあって例示は避けるが、図-2.1中の第2出水目、後出図-4.4などに見ることができる。図-2.1の場合は、実は第1出水目が $6,000\text{m}^3/\text{s}$ 規模が24時間続くほどのずっしり重いものだったので、浸食の大半が終了していたものと推測される。

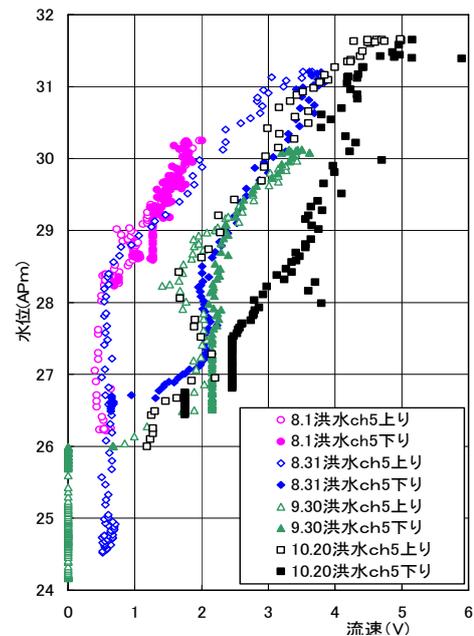


図-2.4 H-Vs5 (瀬詰大橋 H16)

### 3. 水面勾配に起因するループ特性の除去の試み

#### (利根川栗橋)

八斗島に設置されていた電波流速計10基は、H17年に栗橋に移設され観測を開始し、H18年には $5,000\text{m}^3/\text{s}$ 規模の、H19年には待望の $10,000\text{m}^3/\text{s}$ 規模の出水を観測することができた。

たまたま両出水のハイドログラフが相応に個性的だったことと、距離が小さい欠点があるが、栗橋の水位計と橋上の電波流速計用の水位計があったことから、水面勾配( $\Delta x = \text{約}200\text{m}$ )を求め、表面流速観測値から水面勾配に起因する変動を除去することを試みた。

たてた仮説は、表面流速と水深方向平均流速との関係として、

$$0.85V_{si} = \bar{V}_i \quad (1)$$

$\bar{V}_i$  : 測点iの水深方向平均流速

Manning式の拡張解釈である

$$\bar{V}_i = (1/n)h_i^{2/3}I^{1/2} \quad (2)$$

(1)(2)式を変形し

$$V_{si}/\sqrt{I} = (1/0.85n)h_i^{2/3} \quad (3)$$

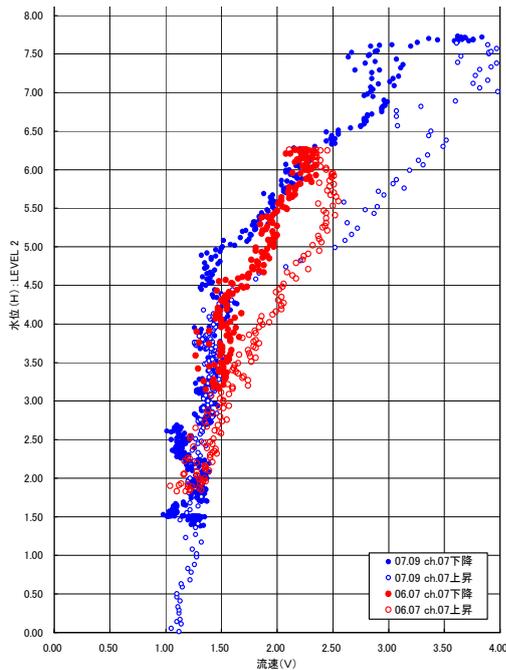


図-3.1 H~Vs7 (利根川栗橋 H18,H19)

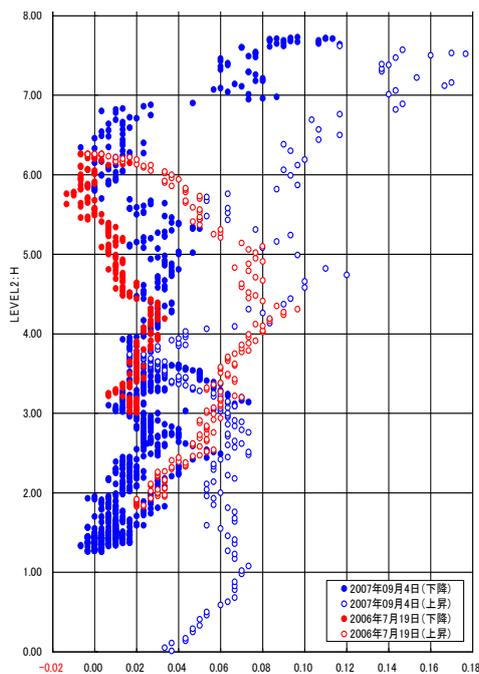


図-3.2 H~√I (利根川栗橋 H18,H19)

この関係式を利用して作成した $H(=h+z) \sim V_{si}/\sqrt{I}$  図の一例を $H \sim V_i$ ,  $H \sim I$ ともども示す(図-3.1~3).

なお、 $h$ :水深、 $z$ :河床高である。 $H \sim I$ 関係は、ハイドログラフの故以もあって、複雑な動きをしていたが、 $V_{si}/\sqrt{I}$ は、両出水とも同じような形状を示し、加えて $V_{si}/\sqrt{I} = h^{2/3}/0.85n$ の形状ともほぼ一致した。

このことから、水面勾配起因の変化は、 $\sqrt{I}$ で除することにより、ほぼ説明ができること、また $H=6\text{m}$ 付近で

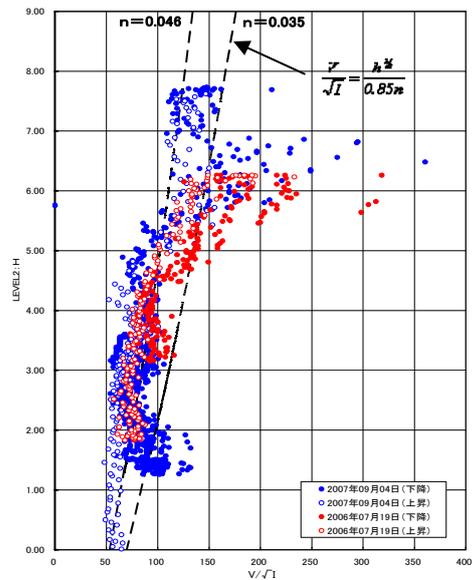


図-3.3 H~Vs7/√I (利根川栗橋 H18,H19)

の $V/\sqrt{I}$ の増加は、河床波消滅等による粗度減 ( $n$ 減)か、河床低下による流速増 ( $h$ 増,  $h = H-z$ )ではないか、ひいては Manning 式の拡張解釈も、真とは言わないまでもそれほどの外れではない、ことなどが推測された。

以上は一例にすぎず、まだ提案の域を出ないが、出水中の河床高測定等により、実証されていくことが望まれる。

#### 4. 低水路内砂州移動と $H \sim V_{si}$ の変化

前述のように、H16年に4つの大出水があり、同年末には、瀬詰大橋 (36k) と阿波中央橋 (25k) の電波流速計データの一次解析などは終わっていたのだが、翌H17年6月に、徳島河川国道事務所が空中写真撮影を実施し、それが公表され、筆者にとっても新しい情報になった。

H14年5月のそれと比較すると、全体としての砂州の移動に気づいた(図-4.1~2)。図-4.2 (H17年) 中には、図-4.1中の白い砂州部分をピンクのハッチで示してある。前後の砂州を比較していただくと、砂州の大きさは植生等の流失のため、相対に大きくなっているが、砂州の先端部に着目すると、いずれの砂州も200~250m流下していることに気づかされる。

1年の間に4つの大出水があったためだろうが、本地点が砂州移動の顕著な地点であることが分かる。

補足して、右岸高水敷上にも洪水流下の爪あとが白く残っている。最大の出水だった第4出水の際に発生したのであろう。



图-4.1 空中写真 阿波中央橋 (H14)



图-4.2 空中写真 阿波中央橋 (H17)



写真 4.1



写真 4.2



写真 4.3



写真 4.4

写真説明 : 前頁2枚 左下 いずれもch4付近から、砂嘴を (H16.9.2出水後)  
 : 右下H15.9 (奥左、本川、右 派川)



写真 4.5  
写真説明 : 砂嘴 (H16.12, 4 出水後)

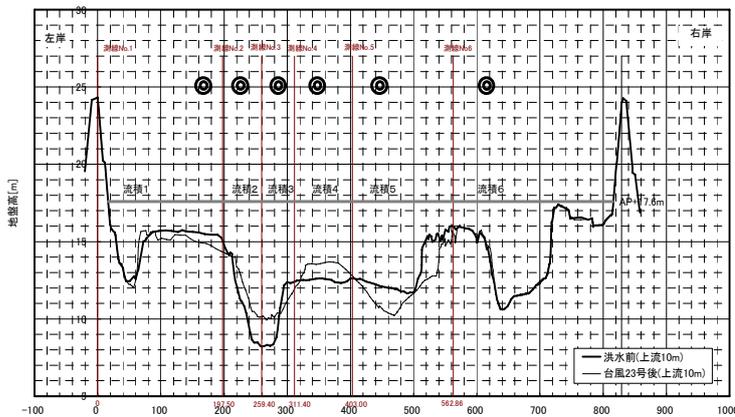


図-4.3 横断面図変化 (右端流下)

前述したように筆者は、前、中、後3回現地を訪れ、阿波中央橋では、左岸高水敷の河床低下、そしてその下流部に長さ100m余の砂堆の堆積(高水敷上)、橋直上流の本川・派川の合流点からの砂嘴の伸長、下流ピア後流域の砂州の流失、他に左右岸水位差の発生(右岸側大、最大1m)などを見て来たのであるが、ここでは主として、砂嘴通過時のH-Vs4の変化にしぼって紹介しよう。

まず合流点から発達した砂嘴の写真を写真-4.1~5に示す。写真-4.1~3が、ch.4付近からとった2出水後のもの、ピアまで到達している(正面左が本川)。写真-4.4が前年9月のもの、写真-4.5が4出水後、砂嘴はつけ根で切られている。横断面図(橋上流15m)4出水前後 図-4.3参照。

そして、ch.4のH-Vs関係が図-4.4.1である。写真からほぼ4出水を通して、高さこそ減少したであろうが、砂嘴があったことがわかる。そして、砂嘴がいつ発生したかであるが、H-Vs関係から判断すると第1出水の間にピアまで到達したことが推測される。そしてどのように解釈するか、砂嘴の伸長の始めの流速の増加、砂嘴のch.4前面通過とともに流速減、その後水位増に伴う増加、ピーク後減少とたどり、結果的に8の字ループとなった。

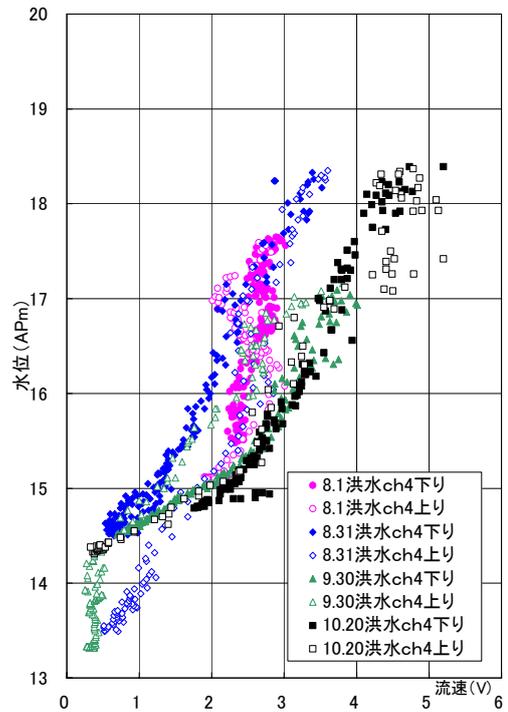


図-4.4.1 H-Vs4 (阿波中央橋、H16)

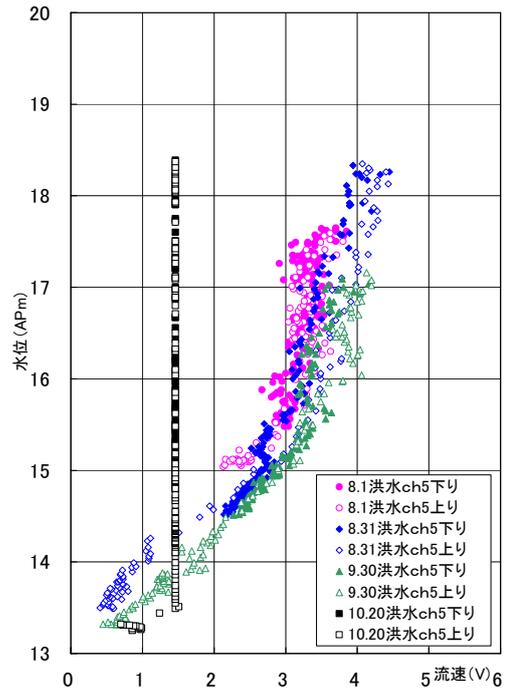


図-4.4.2 H-Vs5 (阿波中央橋、H16)

砂州が流速計前面を横切るといふあまりない現象なので、それほど参考にならないのかもしれないが、第1出水のH-Vs関係は、ch.3にも類似して起きている(図省略)。参考までに、ch.4右岸側のch.5のH-Vs5図を図-4.4.2(第4出水は欠測)に示す。ch.4第1出水のような変化は見られない。その後の第2出水での総体としての流速減と、砂州高が減じたのか、第3、第4出水の流速増も興味深い。少し克明に見ると、第2出水では、H=15~17mで第1出水

をたどりながらの順ループ，第3出水では逆ループ（砂州をけずる？），第4出水では， $H=17\text{m}$ 以上で順ループなどが認められる．それでもch.4は，前面に砂堆があるためなのか，両隣のch.3，ch.5と比較して，流速は相対に低かったことを付記しておく．

以上，ch.4については，解説の域に達せず，紹介にとどまっている感があるが，敢えて掲載した．想像力をたくましくしていただきたい．

$H\sim V_{si}$ と関係はないが，河道内砂州移動の興味ある一形態が，前出(d)に関連して左岸高水敷で生起しているので紹介しておく．

橋下流の高水第1及び第2測線の出水前，3出水後，4出水後の横断面図（図-4.5～6）と，橋中央付近からとった写真-4.6 砂堆側面を示す．すなわち，橋上流部でけずられた砂礫（図-4.3）は，そのままそっくり直下流に順をおって堆積，両側をも埋めていることが読みとれる．通常なら河積不足になるため，大量に堆積しないであろうが，高水敷故に流積増を低水路にまかせたという結果になった．出水規模が大きかったことが一因であろうが，砂州移動が忠実に行われたともいえよう．



写真 4.6

写真説明：中央橋下流，左岸高水敷上の砂堆（橋中央から）

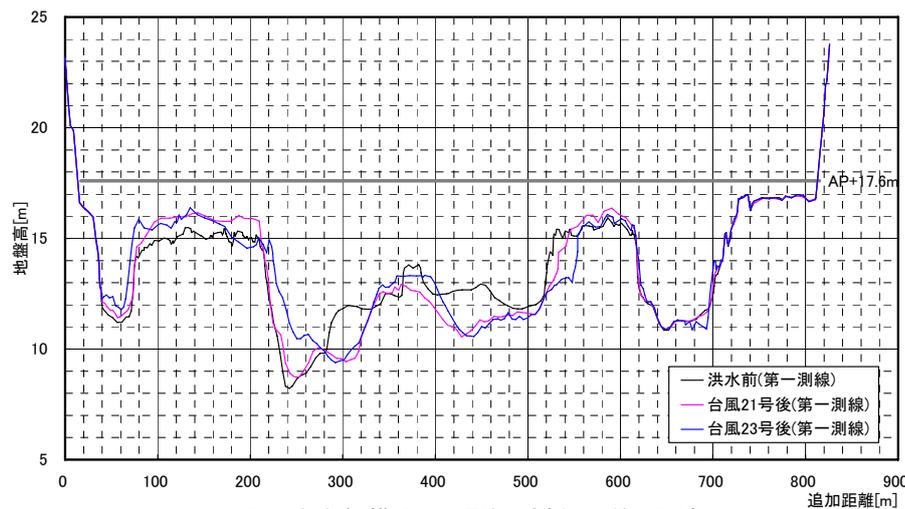


図-4.5 出水前後 横断面図（阿波中央橋）：第一測線

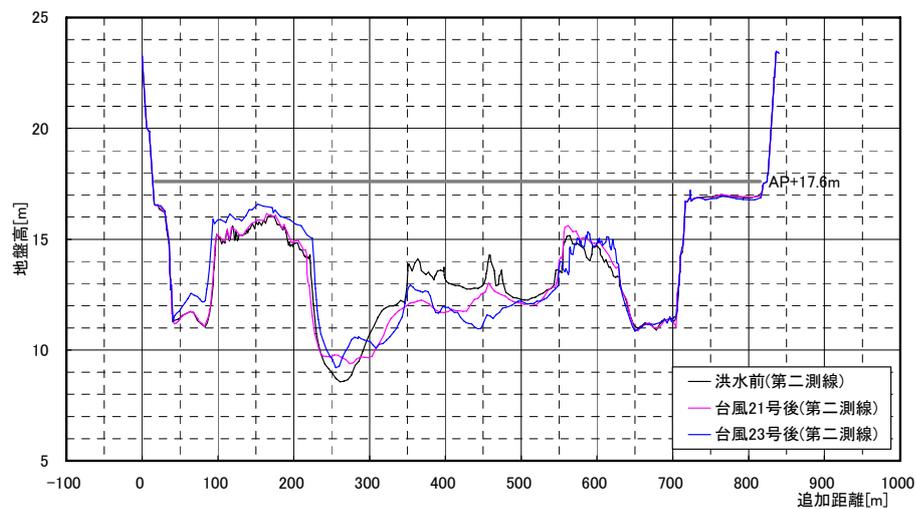


図-4.6 出水前後 横断面図（阿波中央橋）：第二測線

## 5. これからに向けておわりに

電波流速計は、本来洪水流量を測るためのものである。しかし、冒頭にも触れたように、20年洪水まちをしながら、多くの変幻自在なH-Vsi関係に遭遇し、そのうち何割かについては、その法則性を見出すことができたものもあった(2章など)。しかし、そこでも触れたように、例えば順ループ、逆ループの要因は複数あって、その分離は容易ではない。順ループの要因の1つ水面勾配分の除去は3章で試みたが、まだ十分と言えるものではない。例えば、河床高計があって、出水中河床低下あるいは河床波発生の有無等の情報があれば、もう少し結論めいたことが言えるのではないだろうか。

第4章では、空中写真の情報から砂州の大幅移動を認知し、砂州上H-Vsiの変化を紹介したが、ほとんど紹介にとどまった。この点について、ここでお詫びしておきたい。

20年の長い間には、H-Vsi関係の変化から、河床高が推定できるのでは(?)と妄想に夢躍らせたこともあったが、やはりこれに解を与えるためには、今一段の現地観測体制の強化が必要であろう。

具体的には、水位計の増設(水面勾配取得のための水位計1~2点、横断方向水位差の有無(とりわけ高水敷の考慮)のための水位計1~2点など)に加えて、河床高計

の設置(低水路2~3点、高水敷1点)が、例えば電波流速計設置地点などでは望まれることである。

現在、国総研では、吉野川、富士川の2ヶ所(それぞれ3測点)で鳥居型H鋼など+超音波測深器による河床高測定を試みておられる。

**謝辞:** 電波流速計のデータ、また横断図、浮子流量データの取得にあたっては、多くの国交省河川事務所職員、またメーカー社員の方々から便宜供与をいただいた。なお本稿作成には、河口尚子氏(東京建設コンサルタント)、岩本理恵氏(環境モニタリング研究所)の手を労した。あわせて感謝の意を表したい。

また、本稿作成のチャンスを与えていただいた河川流量観測高度化研究会の皆様にもお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 山口高志, 新里邦生 他: 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, 1994.
- 2) 土木研究所水文チーム: 流量調査手法に関する検討業務, 2008.3
- 3) Costa J. F. et al.: Use of radars to monitor stream discharge by non contact methods, WWR Vol. 42, 2006.
- 4) 山口高志: 表面流速の変化が読んだ河道水理, 水学会2005年研究発表会, 2005.8

(2010. 7. 20受付)