

利根川八斗島における 洪水時表面流速変化と河床変化の関係

畠山慎一¹・霞 安行²・幸 弘美³・山口高志⁴

1.正員 国土交通省 関東地方整備局 河川部 (〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心 2-1 さいたま新都心合同庁舎 2 号館)

2.国土交通省 利根川上流河川事務所 調査課 (〒349-1198 埼玉県栗橋町北 2119-1)

3.正員 (株) 東京建設コンサルタント (〒171-0014 東京都豊島区池袋 2-43-1 池袋青柳ビル)

4.正員 工博 河川観測技術研究所 (元東京電機大学教授) (〒277-0863 千葉県柏市豊四季 645-14)

台風 15 号 (2001.9) は, 利根川八斗島 (流域面積 $5,000\text{km}^2$) 地点に, ピーク流量 $6,000\text{m}^3/\text{s}$, ピーク時間 24 時間という重い出水をもたらし, 大きな河床変化を発生させた. その間横断方向 10 基の電波流速計が表面流速をはかり続け, 河床変化に対応する流速変化を観測した. 本報では, その間の電波流速計の観測値と, 綿密に行われた出水前後の横断測量結果等を分析して, 興味あるデータ相互の関連性を得ることができたので, その後の観測結果とあわせて現地調査の好例として報告する.

Key Word : riverbed change, H - V relation(change), continuous velocity observation, radio current meter

1. はじめに

電波流速計は, 橋梁の上流側の桁等にとりつけられて, 俯角をもって電波を水面に向けて放射し, その反射を受けてドップラーシフトにより, 表面流速を観測する. 通常複数台設置されて, 横断図と水位を利用して流量を算出するものであり, 現在, 国土交通省には 20 ヶ所余設置されている. 上・下流いずれでも計測可能なことから, ピアー後流域の影響をさけて, 上流側に設置されている.

電波流速計には, もう一つ大きな特徴がある. これまで洪水時の流速観測は, 浮子のみによって行われて来たが, その観測時間間隔は, 1 時間間隔 (最近は人手不足でもっと間隔があくこともある) であるのに対して, 電波流速計は, 一般に 10 分毎で観測しているため, データ数が多く, 表面流速というデメリットはあるが水流の変化を長期に観測することができる. これは国交省においても画期的なことではある.

もっとも単純で有効な整理方法は, 水位 (H) と表面流速 (V_s) の関係図を時間をおって追跡するものであるが, 例えば, 緩流河川では, 上りと下りで経路を別にし, 反時計回りのループを描くし, また急流河川で河床が安定した河川では, H - V_s 関係は, 1 本の曲線上を往復する.

逆に例えば 2 つの洪水で, 一つの地点の H - V_s が異な

る経路を通れば (例えば左右にシフト), いい換えれば同じ水位で異なる流速を示せば, 河床変化あるいは粗度の変化が起ったことが推測されよう.

上述のように H - V_s の変化から水流の変化を読みとることは, 少なくとも現地河川では, これまで経験のないことであり, 流観地点一測線に限定はされるものの発展して欲しい分野と考えられる.

本論で扱う利根川本川八斗島にも 1999 年 8 月電波流速計が設置され, 観測が行われて来たが, 2001 年には相応規模の出水 (台風 15 号) があり, H - V_s 関係に変化が起り, それと出水前後に行われた横断観測との間に明瞭な因果関係が認められた (H : 水位, V_s : 表面流速, i : 測点 (ch) 番号).

本論では, これらの実測値をもとにした解析結果を, その後の 2 出水での結果を含めて現地調査の好例として紹介したい.

2. 八斗島地点と電波流速計の設置

八斗島地点は, 流域面積約 $5,000\text{km}^2$ を擁し, 右支川烏川合流点の直下流に位置し, 扇状地から氾濫原へ地形が遷移する所であることから, この地点の洪水流量をより正確に捉えることは河川管理上きわめて重要である. そのため同地点は, 利根川における上流部の基準地点とな



図-1 利根川八斗島付近平面図

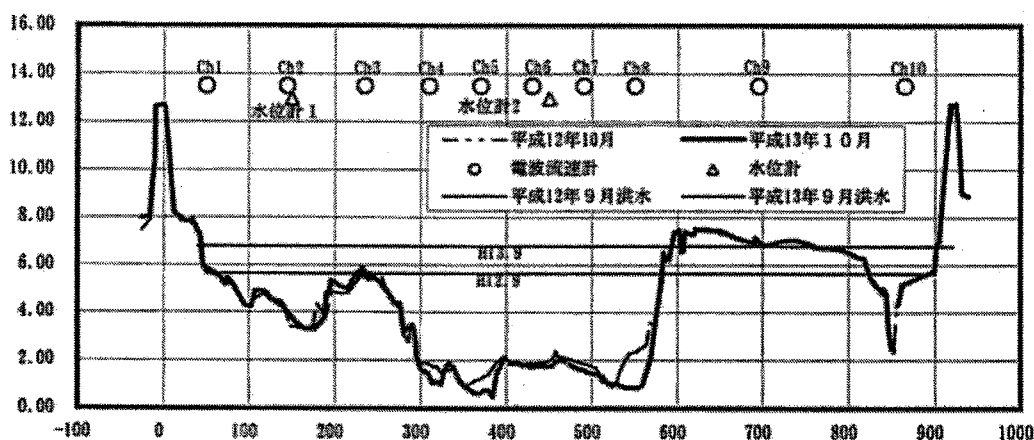


図-2 阪東大橋上流 15m の横断と電波流速計配置図

っている。八斗島水位観測所は、182K 地点で川幅は約 900m と広く (図-1)、電波流速計は、1999 年 7 月に 10 基橋上流側に取り付けられている。その 10 基の配置図を河川横断面図上 (図-2) に示す。なお図-1※中には、橋下流横断測線 4 本 (採水および高水第 1, 第 2) のほかに台風 15 号後の右岸側洗掘および中央大砂州発生の様子も示されている。また図-2 には、2000 年 9 月 9～13 日 (平成 12 年) 出水および 2001 年 9 月 11～13 日 (平成 13 年) 出水の最高水位が記してある。

※ 図-1 中の実線は八斗島出張所長が記したものである。実際には、低水路右岸橋梁下流のみならず、上流部分でも欠潰している (破線)。

3. 2001 年 9 月出水 (台風 15 号) データの解析

本報告のそもそもの契機が、筆者の一人 (山口) が撮影した設置前八斗島の状況と台風 15 号後の状況にあまりもの大きな変化があったことから (写真省略)、台風 15 号の解析に重点をおき、その後の 2 出水とわけて検討する。

(1) 出水の概要

図-3 に流量ハイドログラフを示す。本図には、電波流速計流量として、

$$Q = f \sum V_{si} \Delta A_i$$

の形で計算し、 $f=1.0$ と $f=0.85$ の場合が示され、加えて橋下流での浮子による流量も併載されている。浮子流量は、いくぶん過大とされていること、表面流速から平均流速への換算計数 0.85 など勘案すると、 $f=0.85$ の値付近が真の流量かと判断される。ハイドログラフから、本出水は、立ち上りがシャープでそして $5500 \sim 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ の規模の流量がほぼ 24 時間も継続した出水であることがわかる。

その結果なにが起こったかについて先に触れよう。まず顕著なこととして、図-1 に示すように右岸低水路沿いの低い高水敷を幅 40m 余、長さ 500m にわたってけずったこと。そして、低水路中央右岸よりの阪東大橋新橋ピアの下流側に長さ 500m におよぶ砂州を発生させたことである。

参考までに新橋ピアは、幅 6m 長さ 30m と相対に大きなものであり、加えてその法線が大出水に備えて堤防法線と平行に作られており、低水路法線とは一致せずこのような大きな影響を与えたものと思われる。

(2) 八斗島付近横断変化

起こったことについてさらに詳しく触れよう。

八斗島は、流量観測基準点であるため、ある規模以上の出水後には橋下流で横断測量が行われる（第 1、第 2 採水測線、高水第 1、第 2 測線、図-1 参照）。そのほか電波流速計の測線でも、原則年一回横断測量が行われている。

本出水前後の横断比較図を右岸高水敷上は省いて、旧橋上流、採水第 1 および第 2 断面の順で図-4、5、6 に示す。

3つの図を通覧して、右岸高水敷前面の砂州が 30~40m 大きく後退したこと（ch.8 付近）、ch.5 地点で河床低下、新橋ピア一下流での大きな砂州の形成（図-5 で横距 380m、図-6 で横距 320~390m 付近）などを大きな特徴として読みとることができる。

(3) $H-V_{si}$ 関係の変化

$H-V_{si}$ 関係の変化には、当該出水中に変化する場合と前出水との対比において変化する場合がある。今出水の場合は、主に前者にあたるが、理解が容易とい

うことで、前年の 00.9.12 出水（ $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ 規模）との比較をしながら説明を加えていこう。なお扱うデータは低水路内（電波流速計 ch.4~8）にしぼられる。

比較手法については、例えば図-7 のように 01.9.9 出水の $H-V_{si}$ と 00.9.12 出水のそれを並べ、00.9.12 出水の $H-V_{si}$ 変化の主流を実線でなぞり、それを 01.9.9 出水の図にそのまま記入するという方法をとった（図-7~9）。

図-7 は、もっとも河床変化の大きかった ch.8（低水路最右岸より）である。00 年の出水は、ピークが $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ 規模であったこともあって、横断変化がほとんどなかったのであるが（図省略）、流速も水位が上昇してもあまり増加せず $H:5\text{m}$ をこえて、少し V_{si} が増加しかけて終り、

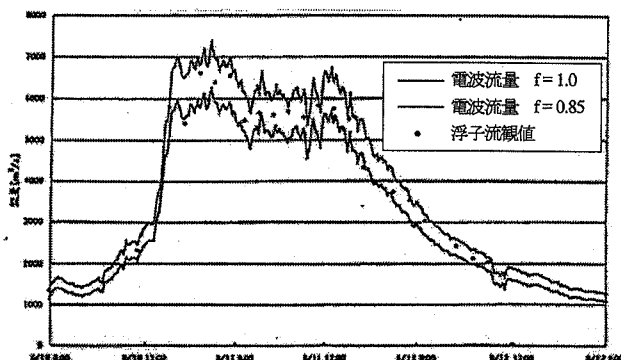


図-3 八斗島流量ハイドログラフ 01.9.10~13

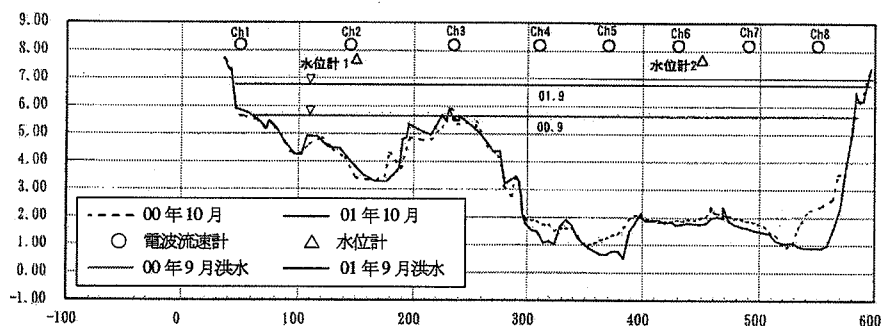


図-4 阪東大橋上流 台風15号前後の横断図

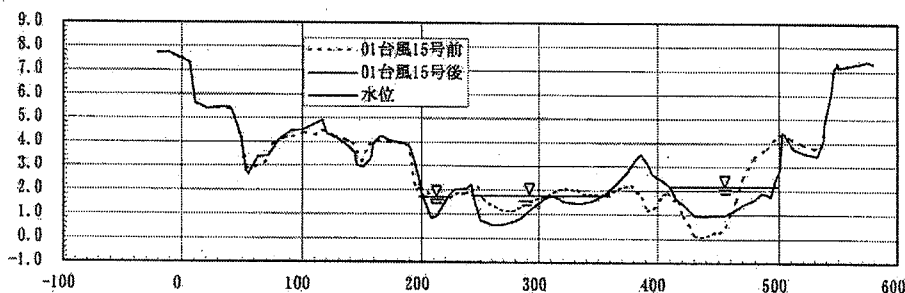


図-5 阪東大橋下流 台風15号前後の横断図（採水第1断面）

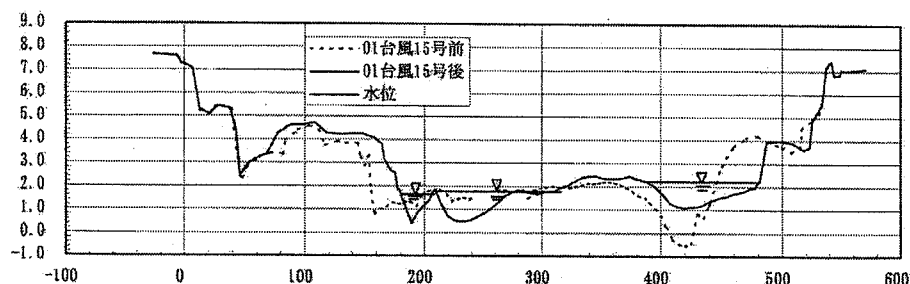


図-6 阪東大橋下流 台風15号前後の横断図（採水第2断面）

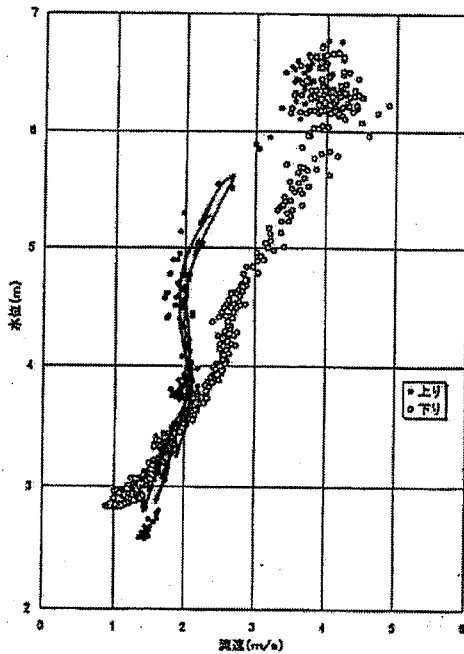


図-7(a) H-Vs 図 ch.8 (01.9.9~16)

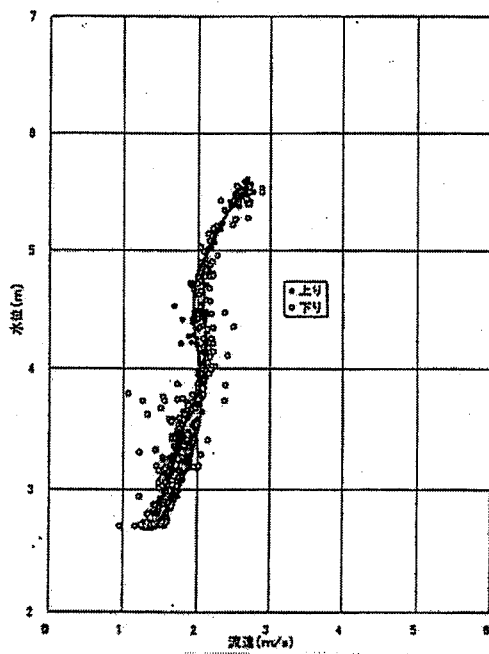


図-7(b) H-Vs 図 ch.8 (00.9.12~17)

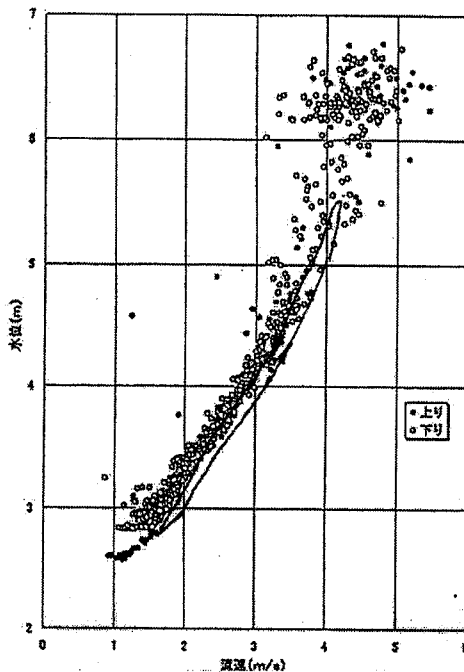


図-8 H-Vs 図 ch.7 (01.9.9~16)

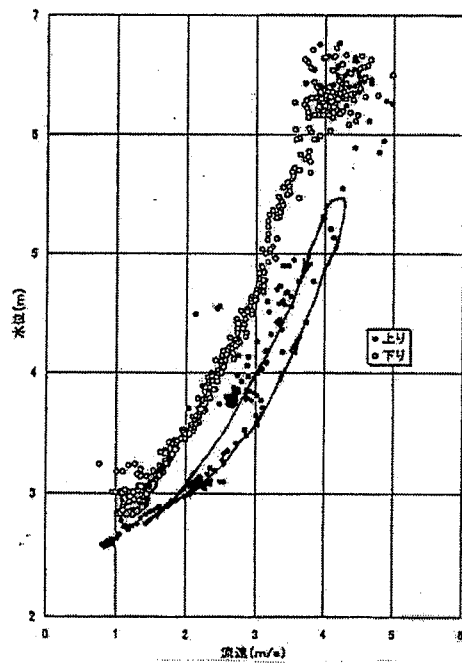


図-9 H-Vs 図 ch.5 (01.9.9~16)

そのあとほとんど同じ経路をたどって低下している。これは河床変化をふくめた境界条件の変化が少なくとも $H:5.5\text{m}$ まではなかったことを示していると考えられる。これは、01 年の出水初期についてもいえ、00 年と同じ経路を忠実にたどっているのがわかる。

それ以降が興味深いところで、 $H:6.5\text{m}$ まで V_{88} は増加を続け、始めは $V_{88}=3.5\text{m/s}$ 程度であるが、その後 24 時間に達するピークの間 $V_{88}=4.5\text{m/s}$ まで増加したことである。

もっとも推測されることとして、この間に大きな河床変化（この場合側岸侵食）が起こったということであろう。そのことは、出水のてい減部で、異なる経路を、

しかものぼりよりも速い流速値で下がっていることから推測できる。

次いで図-8, ch.7, この地点は新橋ピア一直上流側で最大流速の地点である。この地点はいわゆる主流の箇所にあたり、 $H-V_{87}$ 関係は、 H が上がれば V_{87} が上がるという通常のもので、加えて安定している感じである。ただ 00 年出水とは微妙にちがひ、上り下りが少し左にずれている。ピークの間は、ch.8 とは逆に流速の減少傾向を示している。

ch.4, 5, 6 は、ほぼ同じ関係を示していることから、ch.5 (図-9) で代表させて検討しよう。まず上り部分は、ほぼ 00 年の関係からスタートし、上昇を続け、ピークの

間は流速の減小を見、結局でい減部分では昇りのときより約1m/s減で低下していつている。

本地点は、横断図(図-4)で河床低下しているところである。流速減にもかかわらず河床上昇がおきなかった原因は、当初上り部分で洗掘がおこったのであろうが、その後横断方向的にch.8の方に流量および流砂をとられ、堆積する土砂が来なかったためと考えられる。流況については以下に触れる。

(4) 八斗島付近の流況を含めた考察

最後になったが、低水路内の流れの特徴、例えば流心の位置などについて触れておかねばならない。

八斗島地点は、始めに述べたように利根川本川(流域面積3700km²)と烏川(同1400km²)の合流点の直下に位置し(図-1)、その合流の形態は、北西方向から本川、ほぼ真西から烏川というようになっているため、本質的に低水路右岸沿いに流勢が強くなっている。それはch.7に最大流速があらわれていることでもうなずける。

参考までにch.2~7の電波流速計は、スパン60mのトラス区間に設置されているが、ch.8はスパン20mのガーダー区間に設置されている。すなわち過去に想定された低水路区間はもっと左岸よりだったことがわかる。ちなみに本出水前は水際線はch.8のスパンにあったのであるが、出水後には侵食されて次のスパンに移っていた。

ここで経時的な流速の横断分布の変化を提示しよう(図-10)。すなわち低水路右岸がけずられて、いわば新たな流路が出現するまでは、右岸沿いに流れてきた流れは、橋付近で左岸方向に流れていたことが考えられる。その流れがピーク到着後右岸沿いがけずられていくのに伴い右岸沿いの流れが発達していったと想定される。

これに拍車をかけたのが、新橋ピアであった。ch.7直下流にあたり、その後流域の砂州発達の方向から判断しても、右斜め前方から当り、流れを右にむけたことが推定できる。当然砂もあわせもった主流、それと側岸をけずった砂礫をピア後流域に堆積していったものと考えられる。前述したように後流域砂州長は、出水前の約100mから500mまで増大した。

この他限界掃流力の検討も行ったが、紙数の関係で講演時触れたい。ちなみに本地点は最大径300mmで砂まで存在する。本章のまとめは、5.に集約する。

4. 台風15号その後

河川の研究者にとっては一体この低水路右岸の浸食が進行するのか、新橋ピア後流域砂州はなお発達するのか、が興味のあるところである。

その後02年には、5000m³/s規模の台風6号(7月)と4000m³/s規模の台風21号(10月)があったので、上記

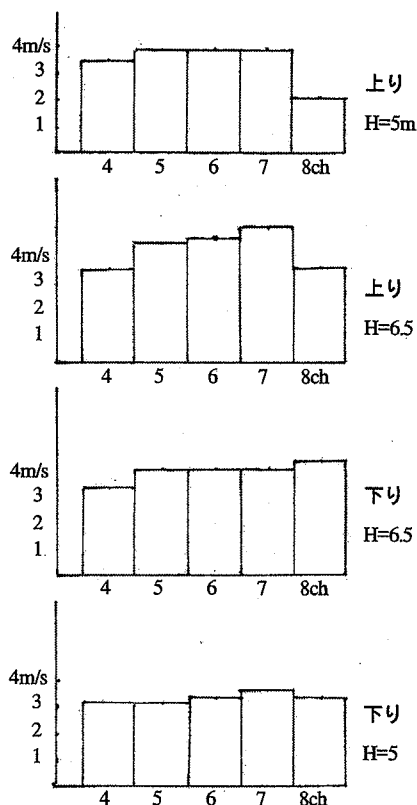


図-10 流速横断分布経時変化

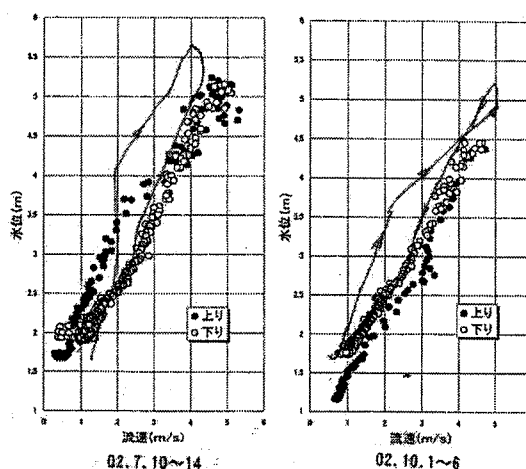


図-11 八斗島 H-V ch.8

二つの問題にしぼって報告する。

まず両出水のch.8のH-V₈図(図-11)と橋梁上流側の横断比較図(省略)を示す。H-V₈関係は、台風6号では再び時計まわり(逆ループ)を示し、加えて前出水よりも流速が増加し、V₈max 5m/sとなった。河床もわずかながら低下した。台風21号では、出水の規模も小さかったことも影響してか、H-V₈関係も通常の反時計まわりで、同じHでの流速増もわずかで、河床変化も少なかった。なおピア後流域砂州の発達は著しく、延長約900mとなり、先端は181K距離標にまで達した(図-1)。

以上をまとめる意味で、検討を加えた3出水の積分結果として横断図(図-12)および高水第2測線の全横断(図-13)を示す。図-12から流れの右岸への集中、図-13では、

300～400m での砂州の発達，ピア－前面で主流が2つに分けられ，左右岸に流れたことが読みとれる。

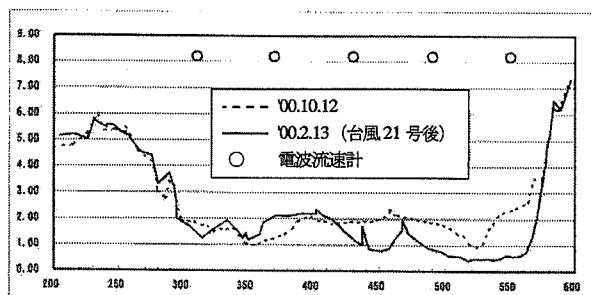


図-12 3 出水前後の横断図比較 (電波断面)

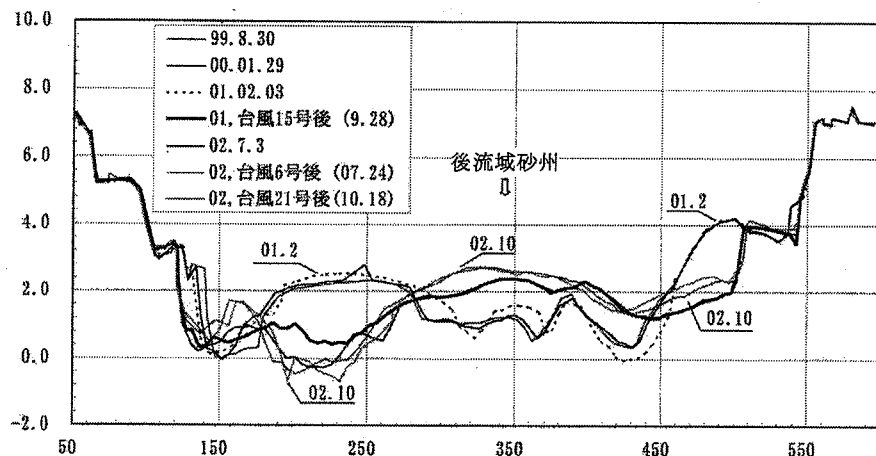


図-13 高水第2断面 横断経年変化

参考文献

- 1) 山口高志ほか：電波流速計による洪水流観測，土木学会論文集 No.497/II-28, PP.41～50 1994.8
- 2) 山口高志：水文水資源観測最前線，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 Vol.16, No.4, 2003
- 3) 山口高志：洪水時の横断観測法—洪水時河床変化と流速変化—H.9～12 文部省科研費報告，PP.1～35 2001.3

RELATIONSHIP BETWEEN RIVERBED CHANGE AND H-V RELATION

CHANGE AT YATTAJIMA, TONE RIVER DURING FLOOD

Shinichi HATAKEYAMA, Yasuyuki KASUMI, Hiromi Yuki,

Takayuki YAMAGUCHI

Typhoon No.15 (2001.9) brought about big flood with long peak of $6,000\text{m}^3/\text{s}$ for 24hrs at Yattajima (Tone river, basin area $5,000\text{km}^2$) and caused large cross sectional change of river bed.

10 radio current meters, installed along the bridge at Yattajima (river width 900m), had been measuring surface velocity each 10 minutes during the flood. This paper using those surface velocity data and cross section survey results before and after the flood analyzes relationship between riverbed change and H-V relation changes at Yattajima. The analysis was also made about 2 floods after Typhoon No.15.

(2004. 4. 7受付)

5. まとめ

これまでにはなかった出水期間中における電波流速計による10分毎の表面流速データの活用について，利根川八斗島の諸種データを用いて検討を行った結果，

- (1) 常識的な水理ルール，例えば「時計まわりのループ (同じ水位で流速増) のときには，河床低下あるいは河積増大」といったルールはそれほどまちがいでない。
- (2) しかし低水路幅が大きく，流量規模によって，横断方向流量分布が変化するところでは，単断面水路で予想されるルールを不用意に適用するのは避けたほうが良い。

(3) 新阪東大橋のピア－は，今回の出水でその影響を顕在化させたが，今後計画出水以下の出水についても種々の影響を予測し，対策することが望まれる。

謝辞：データの処理等で，東京建設コンサルタント㈱の佐藤健次 (故人)，横河電子機器㈱の新里邦生，中島洋一の各氏から多大の援助をいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。