

河床変動を考慮した設置型流速計による洪水流量観測手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 24～平 28

担当チーム：水災害研究グループ

研究担当者：岩見洋一、萬矢敦啓

工藤俊、小関博司

【要旨】

日本の河川での高水流量観測において、流速測定の新技術（aDcp や非接触型電波式流速計）を用いることで安定的に高精度を確保できる流量観測システムの開発に取り組んでいる。本研究テーマは、河床変動を考慮した設置型流速計による洪水流量観測手法に関する研究で、河川水の表面から得られる情報を基に、河床高を予測する手法を開発した。上記予測システムを構築するための事前段階として劣悪条件における河床高の観測手法、有人観測が実施できない場合の河床高の無人観測手法を検討している。さらに設置型流速計の一つである画像解析技術を CCTV カメラや赤外カメラに適用するための技術的な課題を整理した。最後に、上記の項目を融合することで、可能最大洪水時において、流量値を得る方法を提案する。

キーワード：新技術を用いた流量観測システム、河床変化予測、画像解析技術、河床変動モニタリングシステム

1. はじめに

我が国の河川は洪水時には流速が早く、また上流から大量の浮遊物が流れてくることが多い。このため洪水時の流量観測においては、安全性、確実性の面から浮子測法が用いられてきた。浮子測法は昭和 30 年代から 50 年以上にわたって用いられており、技術の向上と水文データの蓄積がなされてきた。一方で近年 aDcp (acoustic Doppler current profiler: 三次元多層型超音波式流向流速計) などの新技術が開発されるとともに、aDcp については周辺機器、リバーボートなどの開発も進み¹⁾、これらの新技術を用いた流量観測手法が実用に資するレベルに達してきている。また河川流量の計測方法として、電波式流速計²⁾³⁾、H-ADCP⁴⁾⁵⁾、画像解析⁶⁾⁷⁾等を用いた計測技術が提案され、実用に向けた開発・研究が進められてきた。これらは無人で連続して代表流速（電波式流速計であれば河川表面流速等）を測定することができる技術であり、それぞれ他の計測機器との流速についての比較観測が実施される中で、これらが実用に資する技術であることが認知されてきている⁶⁾⁷⁾⁸⁾。著者らは、これらの新技術を用いて、安定的であり、かつ精度の高い流量観測システムの開発・普及に取り組み、同時に aDcp を用いた流量観測手法と設置型流速計に関して、流量観測高度化マニュアルを作成してきた。

本研究テーマのこれまでの知見によると、非接触型流速計を用いた流量値を算定する上で、最も観測精度に影響

を及ぼすのは、河床高の変化である。一方で激しい流況時の観測の難しさ、作業員確保の難しさからすると、河床変動を考慮した流量観測手法を構築することが急務である。また設置型流速計を普及させるときに初期コストを考える必要があるが、既往のインフラ設備を活用した手法を検討しておく必要がある。最後に有人観測ができないほど大きな洪水となった場合の観測手法をあらかじめ検討しておく必要がある。これらの事を鑑み、本研究テーマは以下のような項目を検討した。

- 1) 劣悪条件における観測手法の確立
 - 2) 水面情報を用いた河床変動を考慮した流量の算出方法
 - 3) CCTV カメラと遠赤外線カメラを用いた画像処理型流速測定法の実用化
 - 4) 可能最大洪水時における流量観測手法の検討
- である。以下、本報告では各章毎にこれらの詳細を記述する。

2. 劣悪条件における河床高の推定方法に関する検討

aDcp を用いた流量観測手法は超音波式であること、橋上操作艇を用いた手法であることから、洪水時の流況次第では観測が困難な場合が発生する。特に高濁度、高流速に伴う水面振動は同観測手法が得意とする流況ではない。しかしながら、このような条件における水理現象はダイナミックであることから、ここから得られる土砂水

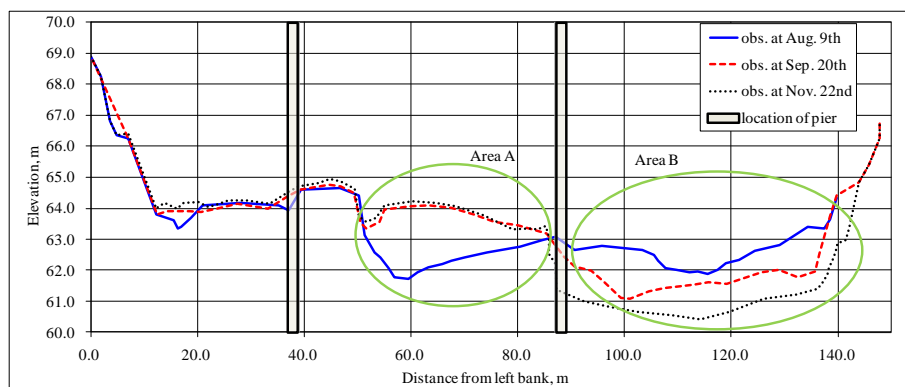


図-2 平水時観測された河床高

理現象を把握することは、河川管理者及び河川工学者にとって重要になる。例えば日本の急流河川の代表である姫川は下流の国の管理区間においても河床勾配が約1/110～1/130であり、また上中流部は崩壊地が多く、支川からの土砂供給が多い。それ故、出水時の河川水は流速が早く、高濁度条件となり、かつ大きな河床変動を伴う。このような観測地点においては流量値を得ることが困難になることが多い。現に、平成7年7月洪水では姫川の山本観測地点において、現況の洪水流量観測による計測結果は降雨流出解析と比較すると説明できないほど大きな乖離が生じている。これは河床変動が大きな観測地点における河川水流量観測の難しさを示す典型的な一例である。このような劣悪条件において少なくとも河床高の変化を把握することができれば、表面流速等の他の計測手法と組み合わせることで流量観測の精度向上につながることになる。

著者らは姫川において ADCP (WH-1200kHz)、高速流に対応する橋上操作艇 (3m艇)、RTK-GPS 又は D-GPS、音響測深機 (200kHz) を用いた観測を実施した。図-1 は 3m艇で実際に計測している様子を示す。著者らは複数の出水を経験するなかで、高濁度条件における aDcp 及び音響測深機を用いた河床高の判定に困難を生じた。著者らは、このような aDcp の観測結果から、特に河床高を算出するためのアルゴリズムを開発し、洪水時の大きな河床変動を観測した。本報告では、その技術的な課題と解決方法、そこから得られた結果について考察する。

2. 1 出水及び観測地点概要

姫川は2013年の出水期において台風16号を含め複数の出水を受けた。例えば、8月23日には1,000m³/s規模、9月16日には1,300m³/s規模、10月16日には700m³/s規模、10月26日は300m³/s規模の洪水を経験した。それらの出水により河床が大きく変化した。図-2は姫川の



図-1 姫川における 3m艇を用いた観測状況

山本観測地点の水路橋直下流の測線における測量結果を示す。この観測地点は河道幅が140m程度であり、左岸側は堤防、右岸側は山の斜面である。この橋には流下方向に幅10mの橋脚が2本ある。左側の橋脚の背後には、大きな砂州が存在し、それよりも左岸側に河川水がのることは希である。測量は第1回が8月9日、第2回が9月20日、第3回が11月22日の平水時に実施された。図が示すように、8月9日と9月20日の間に領域Aでは堆積が起き、領域Bでは河床低下が起きた。また9月20日と11月22日の間に、領域Bではさらに河床低下が起きた。

表-1 aDcp の計測設定条件

Workhorse ADCP 1200kHz	
計測モード	WM1
計測層厚	0.2m
計測層数	35
アンサンブルタイム	1.43 秒
ウォーターピング数	8
ボトムトラック数	8

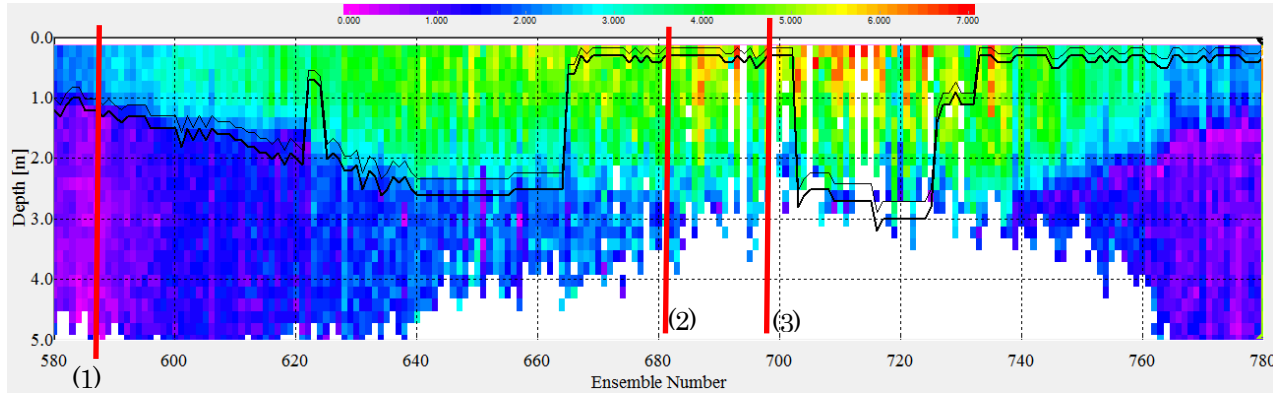


図-3 高濁度、高流速条件において計測された aDcp の曳航観測の一例

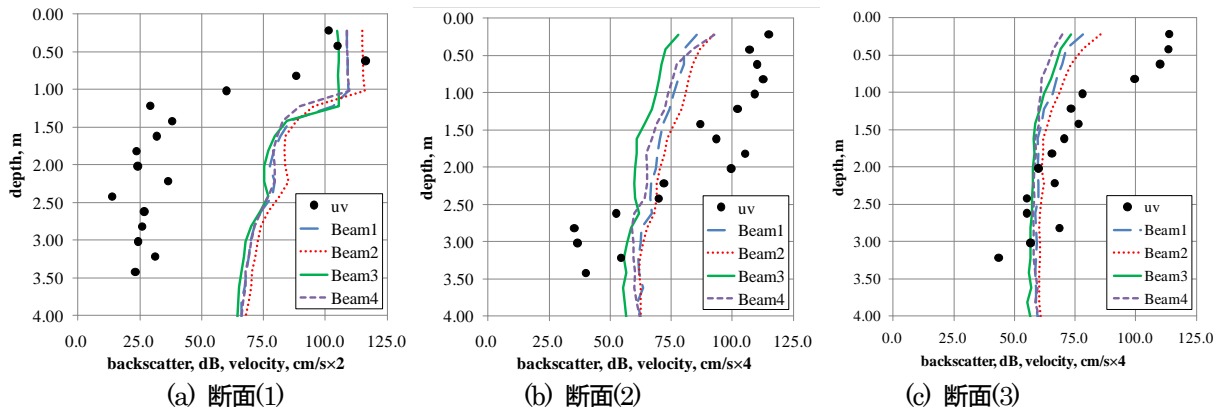


図-4 後方散乱及び絶対流速の鉛直分布の一例

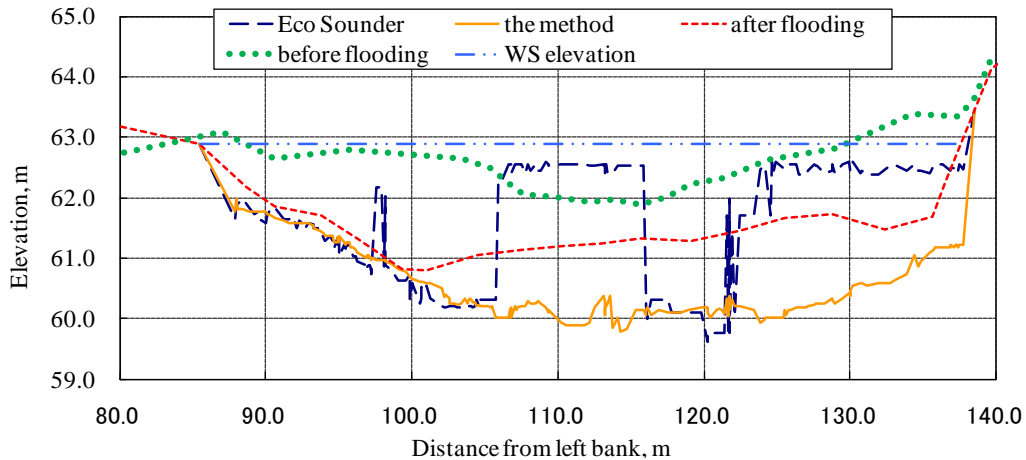


図-5 後方散乱のプロファイラデータを用いて算出した河床高と洪水前後の測量結果

2. 2. 河床高の換算方法

図-3 は著者等が姫川の山本地点において計測した高濁度、高流速条件における aDcp の観測結果の一例である。図は流速値を 0~7.0m/s の範囲のコンターで、空白部はデータ欠損を意味する。黒太実線は音響測深器で取得した河床高を示す。また黒細線はサイドロープを加味した流速計測の限界域を示す。ここでは計測結果を出力するにあたり、データスクリーニングの段階で、3 ビームでの計測を含めた河床よりも下のデータを表示している。

空白部は橋上操作艇が水面から飛び上がったことなどが原因と考えられる。そのときの aDcp コマンドを表-1 に示す。図-3 が示すように流速値は最大でも 6m/s 程度の値が計測されていること、特にアンサンブル数が 660 から 700、及び右岸において流速が得られているにもかかわらず音響測深器が示す水深が小さい値を示していること、音響測深器は部分的ではあるが河床高を計測していることが特徴的である。図-4 は aDcp のそれぞれの 4 つのビームが計測した後方散乱及び鉛直分布の一例である。

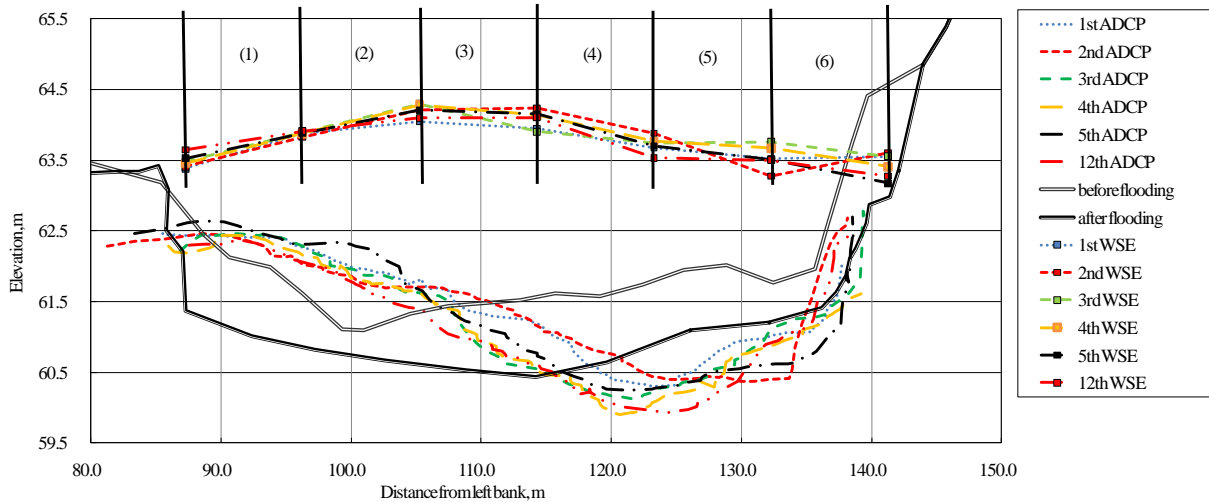


図-6 後方散乱のプロファイルデータを用いて計測した河床高の変化

これらはそれぞれ図-3 の(1)～(3)の位置における計測結果である。図-4(a)が示す結果は水面付近では110dB程度の値を持ち、以後、さほどの減衰もなく水深1.0m付近まで達する。その後急速に減衰し、水深4.0m付近では70dB以下に下がる。これは音響測深器が河床高を判定する典型的な後方散乱係数の分布である。現に音響測深器は水深1.0mを水と河床高の境界と認識している。またそのときの流速値(黒丸で示す)を見ると、水深が0.62m付近の流速が最大となり、それよりも深くなると1.22mまでは減少関数となり、それよりも深い領域ではノイズのような数値を持つ。これは図-3のコンターにも同様な傾向が見られる。aDcpの計測結果はサイドローブを考慮した0.62m以上の流速を採用していること、水深は1.2mであることを示した。一方で、図-4(b)の例は水面付近で80dB程度の後方散乱値は水面から徐々に減衰している。水深が2.7m近傍で極大値を持つものの、図-4(a)の水-河床境界が示したような鉛直分布は得られなかった。このとき音響測深器は水深を0.25m、aDcpは欠損を示した。流速分布に関して、定量的な鉛直分布の正当性を見いだすことは困難であるが、少し乱暴な議論をするならば、水深2.5mまでそれらしい値を示し、それよりも深い領域はノイズレベルと思われるような値となる。このアンサンブルは、aDcpの結果からそれなりの流速値は計測され、後方散乱係数で何らかの信号を示しているものの音響測深器による河床高の計測は失敗していることになる。また図-4(c)の例は図-4(b)と同様の分布を示すが、ここでは極大値すら計測することなく、音波の強い減衰状況を示している。このような図-4(b)、(c)が示すような結果

は、高濁度条件による音波の減衰が原因と考えられ、既往の河床高を判定するアルゴリズムでは正しい河床高の計測が難しいことを示している。

著者等が新たに提案する手法とは、このようなaDcpが持つプロファイルデータから、河床高を算定するものである。ここでは図-3の観測結果を用いて、図-4(b)の知見と計測断面の近隣の水位情報から連続的な河床分布をつくる。ただし水位は横断方向に一定であることを仮定しているものの、水位横断の計測結果があるならばそれを反映する。河道算出のプロセスは、はじめに各アンサンブルデータの4つの後方散乱鉛直分布から突出点を抽出し、もしそれがあればその平均を取る。このとき鉛直方向の流速分布も参考にした。次に各アンサンブルの前後5データの平均値よりも60cm以上の突出点がある場合は異常値として判断し、異常値前後の平均値を採用する。その後、前後5アンサンブルの移動平均処理を実施した。

2. 3. 算定結果

図-5は複数の手法から算出した河床高を比較したものである。図のthe methodは本手法より算定した推定河床高、Echo Sounderは図-3で示したものである。さらに洪水前後の横断測量結果を示している。推定河床高は多少の凹凸があるものの、連続した曲線であり、音響測深機で部分的に計測されている区間を含め合致していることから、著者らはこの結果は妥当であると考えている。洪水前の河床高と比較すると、この一つのイベントで、例えば左岸からの距離が110mの地点においては、洪水前

の河床高は2m程度下がり、その後、1m程度堆積していることがわかる。

図-6は水位と河床高の時間変化を示す。図中のWSEは水位を示すが、これは各区分断面の境界において、鋼巻尺を用いて観測した。河床高に関しては2.(1)により得られた知見を基に水深を算定し、上記の水位を用いて河床高とした。ここでは1時間に一度の観測を12時間実施したが、aDcpによる横断観測を実施できたのは、1~5、12回の合計6回であった。また同時に洪水前後に実施した横断測量の結果を示す。またここでは左岸からの距離を示すが、この河道は全体として140m程度の川幅を持ち、左岸から87m程度の領域は洪水敷でこのときの出水では水の流れはない。

図が示すように、この間の水位の空間的な分布が見られ、流れの中心付近では0.5m程度の盛り上がりが見られる。またこのときの時間変化はそれほど大きくはない。河床高の変化状況に関して、はじめに左岸からの距離が90.0m地点に着目する。洪水前から比較すると出水の始めの頃から0.5m程度の上昇が見られる。洪水中の変動は数10cm程度にとどまるものの、洪水後の結果を見ると、そこから1.5m程度の河床低下が見られた。また120.0m地点に着目すると、出水の始めの段階で1m程度の河床低下が認められる。その後、さらに0.7m程度の河床低下後、出水後には0.7m程度上昇する。右岸側では洪水前後の河床高を比較すると、3m程度の河岸浸食が認められる。これらが示すように洪水中の活発な河床変動状況が確認された。両平時の測量と対象洪水の間に多少の出水はあるものの、この間、大きな出水がない。そのため著者らは上記の現象は10月16日の出水中に起きているものと考ええる。

3. 水面情報を用いた河床変動を考慮した流量の算出方法

設置型流速計等を用いて計測された流速から流量を算定するためには、計測流速から平均流速を算定するための流速補正係数、河床高を考慮する必要がある。流速補正係数に関しては、一般的には0.85が認知されている⁹⁾ものの、これらは河床波の影響を強く受けるために、条件によっては大きく変動することが報告されている¹⁰⁾。また2.で示したとおり、河床高が大きく変化することが流量値の算定に大きな不確定要素を残しているのが現状である。

一方で橋上操作艇に搭載したaDcpを用いた手法は計測断面の領域全体の流速、河床高を得ることができる

ために、水理学的な仮定を必要としない流量値を算出することができる。しかしながら計測の問題として流速が速く、かつ水面振動が激しくなる場合、流下物(流木、ゴミなど)が極端に多くなる場合などは、観測そのものが困難になる場合がある。また実際の観測においては橋の上からボート横断的に曳航させるために300m程度の川幅であれば10分程度の時間が必要となるため、流れの非定常性が極端に強い場合は少し困難が生じる。

他方、非接触型・接触型の設置型流速計が持つ不確定性、aDcp観測の実効性を考慮して両者を組み合わせる方法も提案されている¹¹⁾。

流量観測手法の完全な無人化・自動化を目標に掲げるのであれば、上述のように、計測手法に関する利便性、計測値の信頼性を包含するような技術体系が最も望ましい。本報告では、水面情報から得られた情報から、河床変動を考慮した流量値を算定する方法を提案する。この技術体系は以下の前提条件を必要としている。

- 1) 設置型流速計を用いて時間的に連続的な流速値を計測する。
 - 2) 等流条件を仮定してマンニングの平均流速公式を採用する。なおこの式は平均流速値、水面勾配、水深、マンニングの粗度係数で構成される。
 - 3) 流速値を1)から得られるもの、水面勾配は複数の水位計から得られた実測値を採用する。なおここではこれらを表面情報と呼ぶ。
 - 4) 2)のマンニングの粗度係数は土砂水理学では古くから認知されている流水抵抗の理論を用いてから算定する。
 - 5) 2)の式、3)及び4)から得られたパラメータを用いた水深を算出する。得られた水深と計測された水位から河床高を得る。なお、図-10にも水深の算出手順が記されているが、本質的には同じ計算をしている。
 - 6) 1)の結果と5)の結果を用いて流量値を算出する。
- 本節では大きな河床変動が確認されている2.のデータを用いて、水面情報から河床変動を考慮した流量値の算出方法を概説する。

3.1. 流水抵抗の分析

洪水時の出水規模に応じた河床粗度係数の変化は、小規模河床波と流水抵抗に関連付けると議論が単純になる。これに関して以下の研究が進められてきた。Simons et al.¹²⁾は計測データから各河床形態とフルード数、摩擦損失係数などの水理量の関係を議論している。Engelund¹³⁾

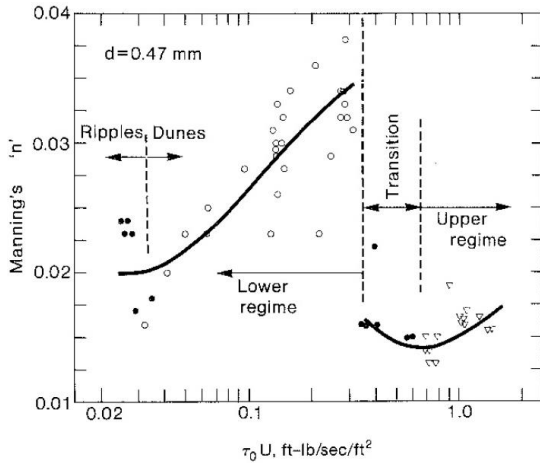


図-7 河床せん断力と河床粗度係数の関係
(Chang²¹⁾ より転載)

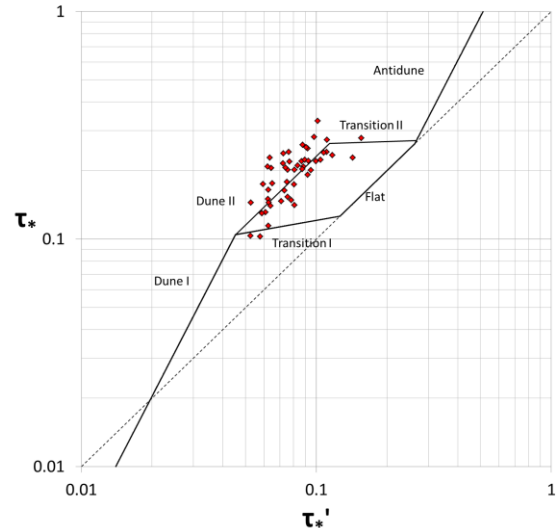


図-8 観測データにより構築された
 $\tau_* - \tau_*'$ 関係 ($\alpha=0.15, d=95 \text{ mm}$)

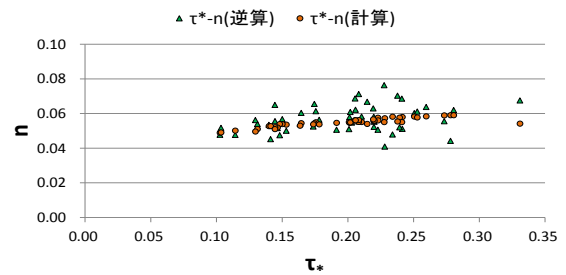


図-9 同定された $\tau_* - \tau_*'$ 関係を用いて計算された
 $\tau_* - n$ 関係 ($\alpha=0.15, d=95 \text{ mm}$)

は無次元掃流力 (以下, τ_*') と無次元有効掃流力 (以下, τ_*) の間には一義的な関係があるとして $\tau_* - \tau_*'$ 関係を定式化した. 岸・黒木¹⁴⁾は Engelund の理論を踏まえた上で, $\tau_* - \tau_*'$ 関係の説明変数として相対水深を導入して各河床形態における $\tau_* - \tau_*'$ 関係式を提案した. また, 山本¹⁵⁾は流速係数と無次元掃流力と相対水深の関係図を示しており, 実験資料のない領域についても河床形態ごとに関係を推定していることが特徴的である. 一方, 数値計算を用いた研究として, 例えば, 山口ら¹⁶⁾, 泉ら¹⁷⁾は線形及び弱非線形安定解析を行い, $\tau_* - \tau_*'$ 関係の二価性の理論的説明を行っている. さらに, 実スケール河床波の観測を行った研究としては柿沼ら¹⁸⁾による十勝川の千代田実験水路における実験的研究などが挙げられ, 実河川を対象とした研究としては平井ら¹⁹⁾による昭和56年8月に石狩川で発生した洪水の観測データを分析した例や工藤²⁰⁾らによる洪水時の浮子観測結果を用いて $\tau_* - \tau_*'$ 関係の理論から水位-流量関係を検討した例などがある.

前章で説明した観測データを用いて洪水時の流水抵抗の分析を行う. 本研究では $\tau_* - \tau_*'$ 関係に着目した分析を行うが, τ_* と τ_*' の間には以下の関係がある.

$$\tau_* = \tau_*' + \tau_*'' \quad (1)$$

ここで, τ_*'' は無次元掃流力のうち形状抵抗分である.

(1)式は τ_* (全抵抗) は τ_*' (表面抵抗) と τ_*'' (形状抵抗) の加算であることを示した式であり, 小規模河床波が発達して形状抵抗が増加すると, τ_*'' が増加し τ_* を占める τ_*' の割合が減少するという関係にある. ここで, 図-7に一般的な河床せん断力と粗度係数の関係を

示す²¹⁾. 図-7は, Lower regimeでは河床せん断力が上昇するにつれて粗度係数が上昇する, つまりDuneが発達するが, 一方で, Upper regimeの領域に入ると河床が平坦となり粗度係数が減少することを示している. 岸・黒木は, 既往の実験データをもとに, 相対水深を導入してこの関係を定式化した. 詳細は既往文献⁴⁾に記されているが, τ_* と τ_*' をプロットして各河床形態における $\tau_* - \tau_*'$ 関係式を推定し, Dune河床について以下の式を導いた.

$$\text{Dune I: } \tau_*' = \alpha \tau_*^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{Dune II: } \tau_*' = 7.07 \alpha \left(\frac{R}{d} \right)^{-1/4} \tau_* \quad (3)$$

岸・黒木は実験データから α を0.21とした. 一方で, 本研究は前章で概説した観測結果から同定し, 0.15を採用した.

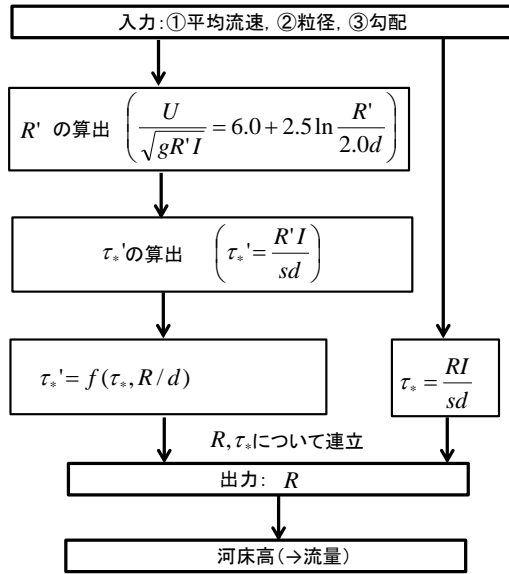


図-10 本手法の河床高算出手順

また、 $\tau_* - \tau_*'$ 関係を議論する上で粒径を設定する必要がある。平成22年に実施された河床材料調査によると、山本観測地点直近の調査地点の16%粒径、50%粒径、84%粒径はそれぞれ $d_{16} = 5 \text{ mm}$ 、 $d_{50} = 109 \text{ mm}$ 、 $d_{84} = 253 \text{ mm}$ である。それを踏まえ、今回は観測結果から計算した、 τ_* 、 τ_*' の値が $\tau_* - \tau_*'$ 関係と整合するように95 mmを採用した。河床材料調査結果の d_{50} よりも小さい値となったが、Motonaga et al²²⁾の検討によると、 $\tau_* - \tau_*'$ 関係を説明できる粒径は河床材料調査における平均粒径よりも小さな移動土砂の粒径であるという一例が示されており、今回の結果はこれと整合する。構築された $\tau_* - \tau_*'$ 関係を図-8に示す。プロットと実線が良く対応しており、河床形態はDune IIであることが示唆される。今回使用したデータのフルード数は0.6~1.0であるが、この値もDune河床と矛盾しない。次に、 τ_* と粗度係数の関係をプロットしたものを図-9に示す。粗度係数は構築された $\tau_* - \tau_*'$ 関係式から計算されたもの（詳細な導出手順は既往文献²³⁾を参照）と、マンニングの流速公式から逆算したものを示している。両者はその値が良く整合しており、 τ_* に比例して増加する傾向を良好に再現している。また、逆算粗度及び計算粗度がともに τ_*' つまり河床せん断力に比例していることから、Dune河床であることが推察される。なお、逆算粗度が若干ばらつくのに対して計算粗度はあまりばらつかないという違いが見受けられる。計算粗度はその理論の性質上、河床波の波長以上の縦断方向長さに対する平均的な値を表すのに対して、逆算粗度は計測点の局所的な値を表すため、両者のばらつき具合に差が生じていると考えられる。

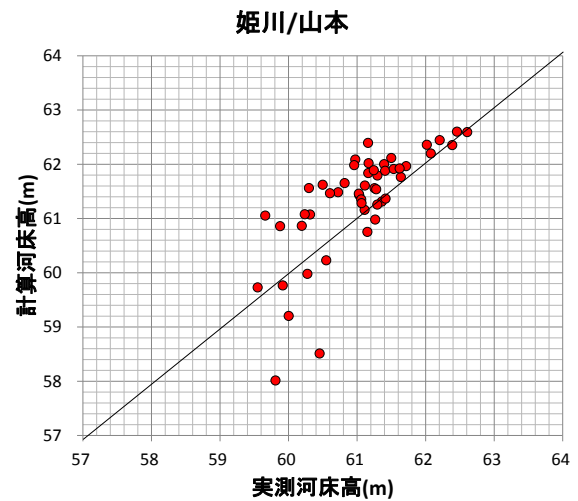


図-11 実測河床高と計算河床高の比較

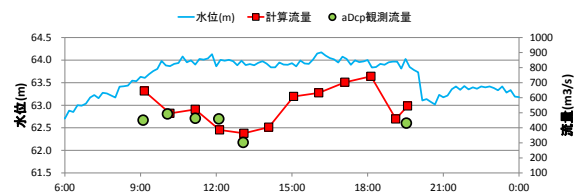


図-12 計算流量とaDcpで観測した流量の比較

3.2 河床高及び流量値の推定精度の検証

前章で構築された $\tau_* - \tau_*'$ 関係を用いて河床高の推定を行い、その精度を検証する。本研究では、流速から河床高を推定する手法（以下、本手法）を検証した。具体的な計算過程を図-10に示す。平均流速から平坦河床見合いの水深（ R' ）を介して τ_*' を算出し、 $\tau_* - \tau_*'$ 関係から τ_* 及び水深（ R ）を算出する手法である。aDcpで計測された河床高（実測河床高）と本手法で計算した河床高（計算河床高）の比較を図-11に示す。全体としては、計算河床高は実測河床高を十分に再現しており、流速を入力値とした $\tau_* - \tau_*'$ 関係を用いた河床高の推定が適切に行われたと判断できる。

さらに、計算河床高を用いて計算した流量（計算流量）の精度を検証するために、10月16日のケースを用いた計算流量とaDcpで観測された流量の比較を図-12に示す。両者を比較すると計算流量はaDcp観測流量を良好に再現していることがわかる。また、水位と計算流量の時系列変化を比較すると、水位はそのピーク付近ではほとんど変化しないにも関わらず、計算流量が上昇していることがわかる。これは流速の増加及び河床洗掘を考慮した結果であり、水位と流量の一对一の対応付けでは把握できない重要な現象を示している。

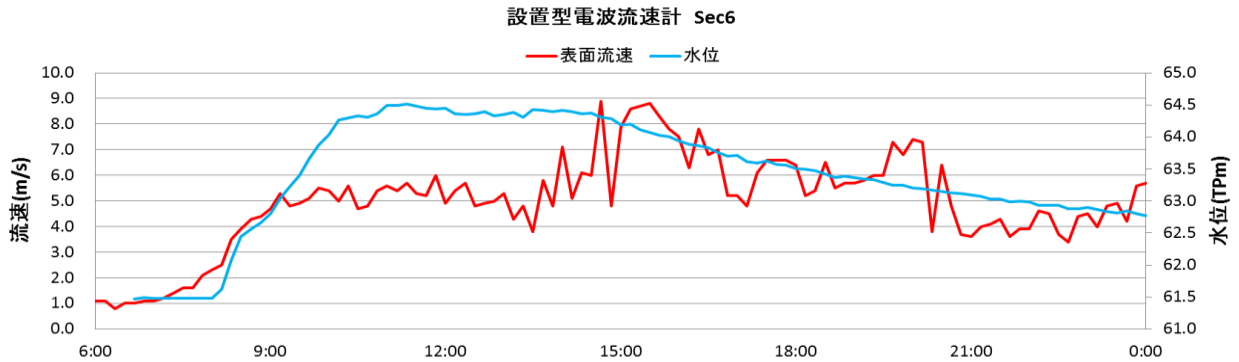


図-13 表面流速, 水位の時系列変化 (9月16日)

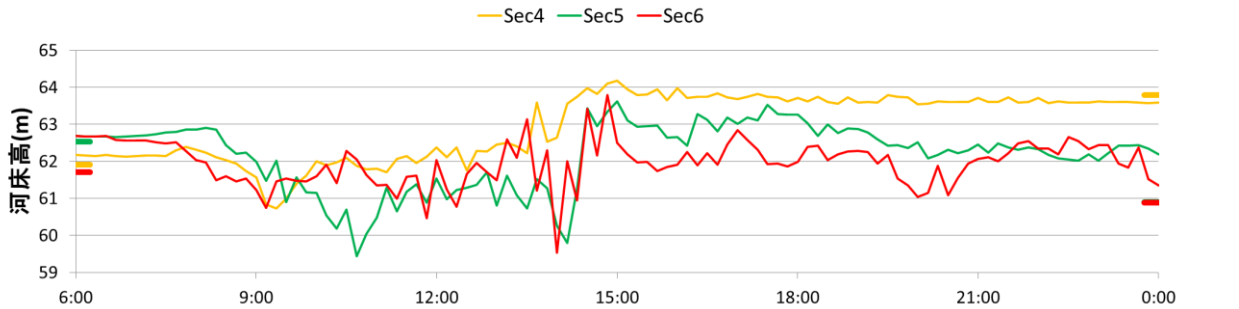


図-14 計算河床高の時系列変化 (9月16日)

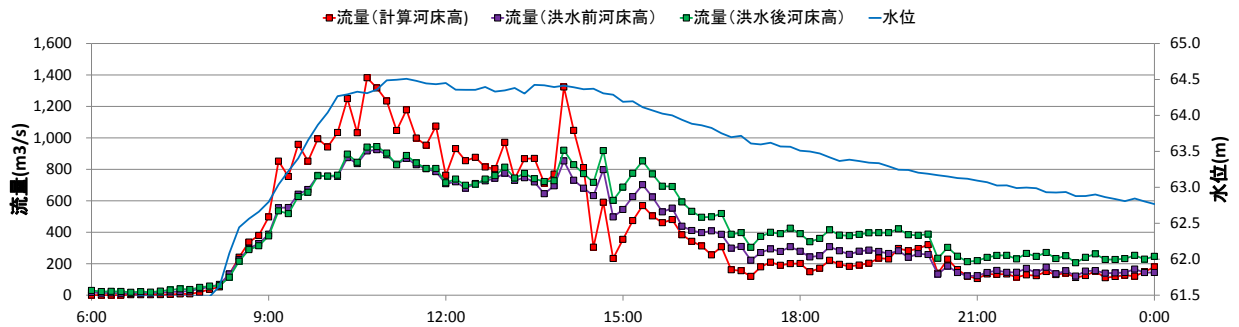


図-15 計算河床高を用いた流量と横断測量結果を用いた流量の比較 (9月16日)

3.3. 流量値の推定

本章では、時間的に高密度で連続的なデータで流量の推定を行うために、10分ごとに流速及び水位を計測している設置型電波流速計のデータを用いる。本章では最もピーク流量が大きい9月16日の洪水を対象とした。流量算出手順としては、推定された河床高と区分断面の幅から算出した流積、計測された表面流速に0.85を乗じた平均流速を用いて各区分断面の流量を算出し、合計する。図-13に設置型電波流速計 (Sec 6) で観測した表面流速及び水位を示す。水位は8:00頃から上昇し始めて11:00頃にピークを迎え、その後なだらかに通減していく特徴を持つ。一方、流速の時間変化に着目すると、14:00を過ぎてから急激に上昇することが読み取れる。このような現象は $\tau_* - \tau_*'$ 関係で説明でき、具体的には河床形態の変化

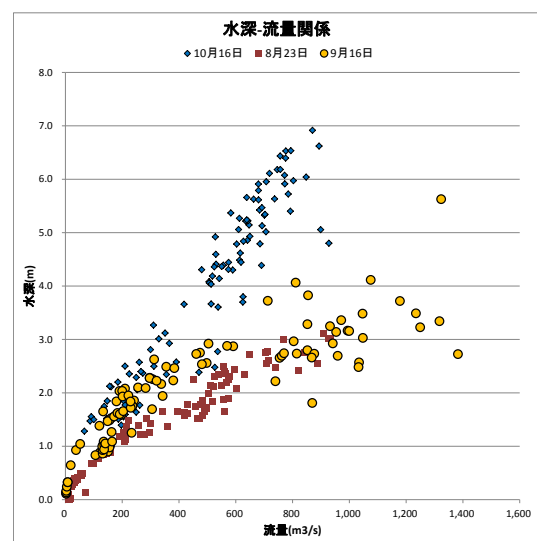


図-16 水深-流量関係

を考慮する。すなわち、一般的に知られている $\tau_* - \tau_*'$ 関係の反時計回りの経路を考慮して、14:20以前のデータに対してはDune河床の理論、14:30以降のデータに対しては平坦河床の理論をそれぞれ適用して図-10のフローに従い河床高の計算を行った。流量の大部分を受け持つSec4, 5, 6の河床高の計算結果を図-14に示す。また、図-14の左端及び右端にある点はそれぞれ8月9日(洪水前)、9月20日(洪水後)の横断測量による河床高を示す。なお、9月20日のSec5はSec6と重なっている。それぞれの時間変化に着目すると、いずれの区分でも水位が特に高い9:00~15:00の時間帯に河床洗掘が生じていることがわかる。また、15:00頃から河床高が上昇しているが、これは流量の逓減とともに河床が埋め戻される現象を表したものと考えられる。また、それぞれの区分において洪水前後の洗掘、堆積傾向が再現できていることがわかる。

図-15は流量の計算結果及び水位を表す。計算河床高から計算した流量と洪水前後の横断測量から計算した流量を比較したものである。洪水の立ち上がり及び逓減期では計算河床高を用いた流量と横断測量結果を用いた流量に差はあまり見られないが、洪水ピーク付近では計算河床高を用いた流量は横断測量結果を用いた流量よりも大きくなる結果となった。これは、洪水ピーク期に最大洗掘深が生じた結果である。また、8月23日、10月16日の洪水に対しても同様の計算を行い、いずれの洪水においても計算河床高を用いた流量がより大きいピーク流量を示す結果となった。この結果は、1章で述べた、河床洗掘を反映しない水位標の読み値からの推定流量と、流出モデルによる計算流量の乖離を説明する一助になるものと期待できる。

3洪水について、計算河床高を用いた流量と水深の関係をプロットしたものを図-16に示す。8月23日と10月16日は傾きが明瞭に異なることがわかる。これは水面勾配の違いによるものであり、洪水時の水理現象を理解するためには、洪水観測において正確な水面勾配を計測する必要性が示されている。9月16日のみ若干ばらつきが見られるが、この理由としては河床形態の変化が起因していると推察される。

4. CCTVカメラと遠赤外線カメラを用いた画像処理型流速測定法の実用化

設置型流速計を用いた流量観測を実施する上で最大の懸念は初期コストである。一方でCCTVカメラは河川の監視目的で配置されている。流速観測においてもこのよう

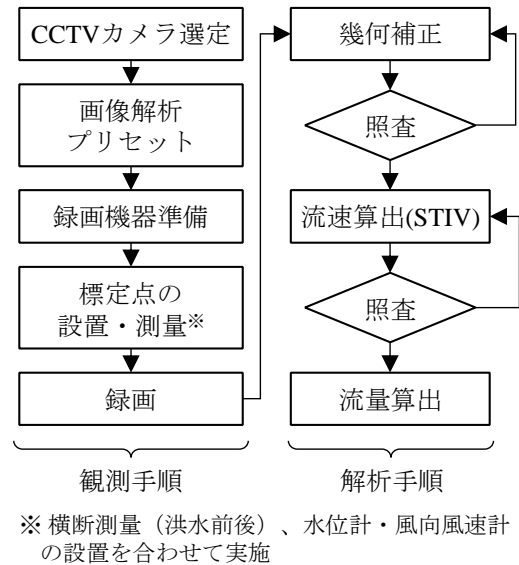


図-17 CCTVカメラとSTIVによる高水流量観測の実施手順

な既設の施設を併用することで初期コストを抑えることができる。画像処理型流速測定法の中でも流量算出に必要な主流方向流速を高精度かつ横断的に密に計測可能であり、低解像度や低フレームレート等の悪条件の動画でも流速解析が可能なSTIV(Space-Time Image Velocimetry)が実用化に適していると考えられるものの^{24,25)}、その実施手順や適用範囲が不明瞭なため実用化に至っていない。

このような状況の中、著者らは、九州地方整備局管内の直轄20水系の河川系CCTVカメラを対象に、CCTVカメラによる動画撮影とSTIVを組み合わせた高水流量観測システムの本格的な実用化を目指した検討²⁶⁾を行っており、本報告はその進捗の一部を示したものである。具体

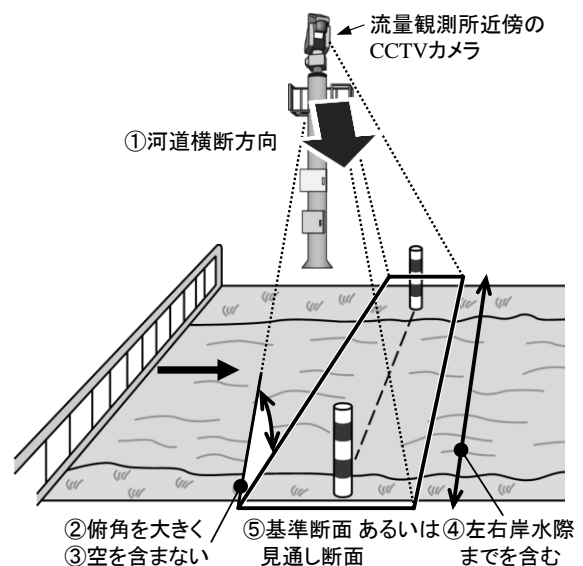


図-18 高水流量観測に適したCCTVカメラの配置および画像解析プリセットの模式図

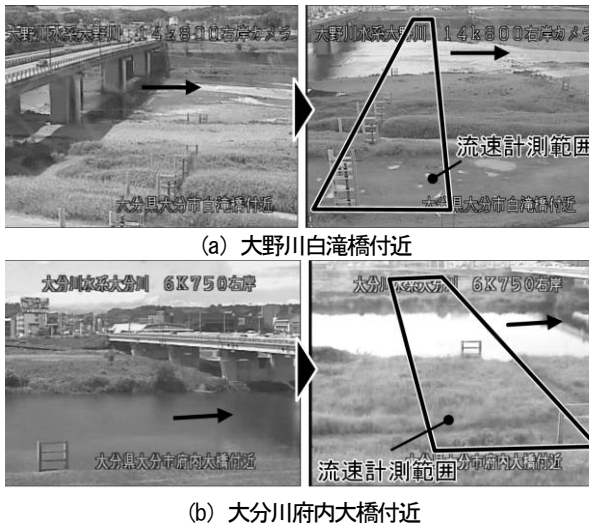


図-19 画像解析プリセットの事例 (左: 標準プリセット, 右: 画像解析プリセット)

的には、①九州地方整備局管内における河川系の空間監視用CCTVカメラを対象にSTIVに適した画角設定を行い、②実用的に使用可能な標定点とその設置方法、③画像処理型流速測定法の幾何補正の精度評価法、④STIVの計測精度について、それぞれ検討した。また、⑤夜間でも水表面の波紋を視認可能な遠赤外線カメラによる計測システムを現地に設置し、計測性能の評価および流速算出を行った。

4.1. CCTVカメラを用いた高水流量観測の準備

1) 高水流量観測に適したCCTVカメラの選定

九州地方整備局管内の直轄20水系には、河川の空間・施設監視を目的とした513基のCCTVカメラが設置されている。このうち、①流量観測所近傍にあり、②旋回・ズーム機能を具備する、の両条件を満足する機器を抽出したところ、高水流量観測に活用が可能なCCTVカメラとして、75基が選定された。選定したCCTVカメラについてSTIVによる高水流量観測を図-17に示す実施手順により観測・解析を行った。

2) CCTVカメラのプリセット

CCTVカメラは河川空間・施設監視を標準の目的とするため、画角も上記の目的に応じた形でプリセットされている(以下、標準プリセットと称する)。そのため、画像処理型流速測定法の撮影装置としてCCTVカメラを用いるにあたっては、同手法に最適化された専用画角をプリセットする必要がある(以下、画像解析プリセットと称する)。画像解析プリセットは、本論文で採用するSTIVの特性や観測対象洪水規模、実運用における簡便性などを考慮し、①流速観測精度の向上のため河道の横断方向

表-2 遠赤外線カメラによる流量観測システムの構成 (山国川水系山国川 柿坂観測所)

機器	仕様
遠赤外線カメラ	VGA, 焦点距離 16mm
スタビライザー	風によるブレ防止
エンコーダー	H.264, MPEG-4 への変換
画像録画装置	500GB, リムーバブルディスク
風向風速計	表面流速補正用
カプセル型水位計	STIV計測断面水位の計測



図-20 遠赤外線カメラによる流量観測システム (山国川水系山国川 柿坂観測所)

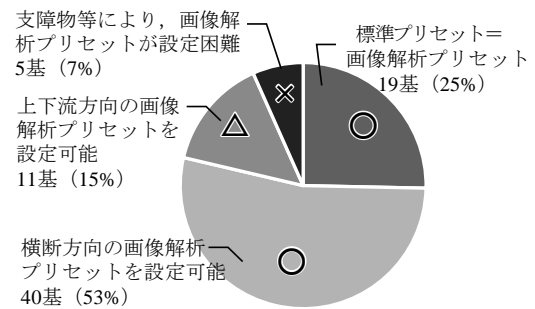


図-21 CCTVカメラの画像解析プリセット結果



図-22 上下流方向の画像解析プリセットの一例

を望む、②対岸の計測精度の向上のため俯角を極力大きくとる、③画像解析に必要な水面状況が出来うる限り撮

影でき、かつ、太陽光の直射等による白飛び・黒つぶれを防止するために空を画角に含まない、④計画規模を越える大出水でも計測できるように左右岸水面際までを画角に含む、⑤流量算出に必要な水位計測地点の基準断面あるいは第一見通断面・第二見通断面のいずれかを画角内に含む、といった点に留意して設定した(図-18)。なお、前述の高水流量観測に活用が可能な CCTV カメラ(N=75)全てに対して画像解析プリセット設定を試みており、画像解析プリセットの一例を図-19に示す。

3) CCTV 動画の録画準備

既設 CCTV カメラは録画機能を有していない機器も多い。また、録画機能を有する場合でも、録画容量の制約から、1~2週間程度で古いデータから上書きされることが多い。そのため、対象機器の録画機能について確認を行い、洪水後のデータ回収方法を事前に把握した。

4) 標定点の設置と3次元測量

ピクセルと時間の情報しか持たない CCTV 撮影画像から流速(m/s)を算出するためには、同画像中に3次元空間座標が既知の標定点が存在する必要がある。また、標定点は既往の研究事例など⁶⁾²⁴⁾²⁵⁾から、①少なくとも6点以上、②流速計測範囲の周辺に水平・鉛直方向ともに満遍なく必要で、③既設構造物の活用、④確実に視認可能な色や大きさで配置し、測量を実施した。また標定点と合わせて CCTV カメラレンズの位置の測量も実施した。

4.2. 遠赤外線カメラ流量観測システムの整備

(1) 遠赤外線カメラを用いた高水流量観測の概要

CCTV カメラは、既存ストックの活用により低廉なシステム構築が可能な点で優れている一方で、光量が不足する夜間の撮影では、動画像による画像解析が困難である。そこで、夜間でも明瞭な撮影が可能な遠赤外線カメラによる流量観測システムを山国川柿坂観測所に設置し、平成26年4月より連続モニタリングを行っている。同観測システムは、表-2に示す機器により構成されており、図-20に示す様に現地に施工されている。遠赤外線カメラの画角は、第一見通~第二見通区間の全域を撮影域に設定することが困難であったため、第二見通断面での STIV 解析を想定した画角設定を行い、機器を固定した。さらに、STIV の解析対象である表面流速に作用する風の影響を考慮するため風向風速計を設置し、連続モニタリングを実施している。標定点の設置や画像処理による流速測定、流量算出の手順は CCTV カメラと同様である。

4.3. CCTV カメラの適用にあたっての課題

1) CCTV カメラの画像解析プリセット

九州地方整備局管内の水位観測所近傍に設置されている CCTV カメラ 75 基の CCTV に対し、画像解析プリセットの設定を試みたところ、概ね 8 割については良好な画角設定が可能であった(図-21)。一方で、良好な画像解析プリセットが困難であった理由としては、① CCTV カメラが河川のごく近傍に位置し、横断方向では水面が捉えきれず、上下流方向に画角設定を行わなければならなかった場合や、② CCTV カメラ前面の樹木・橋梁などにより適切な画角設定が困難な場合が見られた。

撮影方向を上下流方向とした場合には、図-22に示すように、標定点の設置が困難で、流速解析エリアが遠方で低俯角となるために、十分な流速算出精度を保持するために必要な検査線解像度を確保することが困難となる。

2) 標定点設置について

幾何補正に必要な標定点設置にあたっては、現地環境や CCTV カメラの性能から、設置が困難、または、設置しても視認が困難となるケースがあった。前者は、山付きの河道や樹木繁茂で標定設置箇所にアプローチができない場合が多く、後者は堤間幅が広い河道で対岸までの距離が長く標定点の視認性が困難となった。

標定点の設置が困難な場合には、河道内の岩などを標定点として代用することが可能であり、その際には、類似物との取り違えに注意した。標定点の視認が困難な場合には、対象物の着色により視認性の向上が可能であった。また、両問題への解決策として、カメラの設置角度を計測することで、幾何補正に必要な標定点数を減じる手法²⁶⁾も提案されており、これらの組み合わせにより必要十分な標定点データを得ることが可能となる。

4.4. 画像処理型流速測定法の結果

1) 幾何補正精度

幾何補正は画像処理型流速測定法に不可欠な手順のひとつであり、幾何補正精度が STIV による流速観測精度に与える影響は大きい。本報告では、幾何補正精度の検証として、標定点座標の計算誤差を評価しており、その際には平面座標の実測値と座標変換値の差を算出した。図-23に肝属川王子橋観測所における標定点の実測値・座標変換値の平面分布を示す。同図から、CCTV の対岸側で標定点の実測値と座標変換値にややズレが認められる結果となった。さらに、定量評価として、縦断・横断方向の標定点間距離の誤差、全体の画角に対する検証のため多角形の面積誤差も合わせ算出した。縦断・横断方向の誤差はそれぞれ 2.2%、1.9%、解析エリア周辺の面積の誤

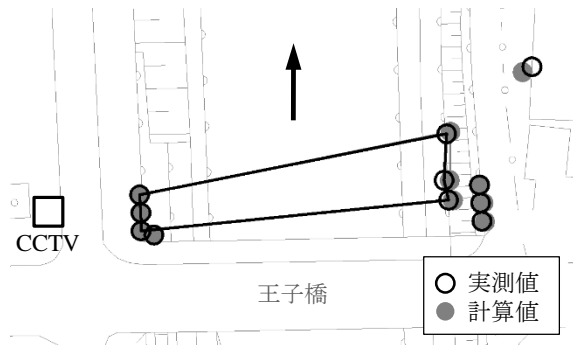
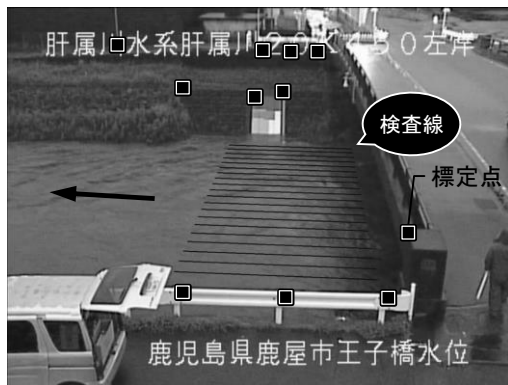
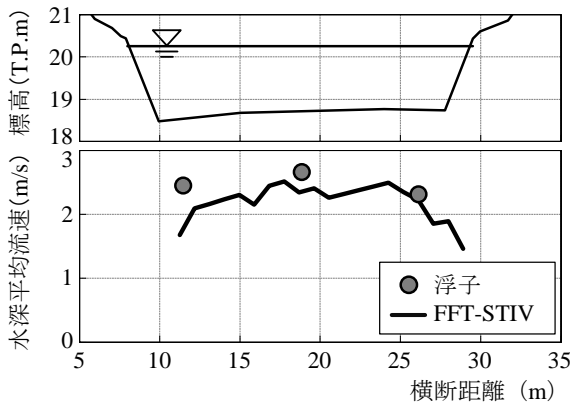


図-23 幾何補正精度のチェック (王子橋)



(a) 解析対象画像



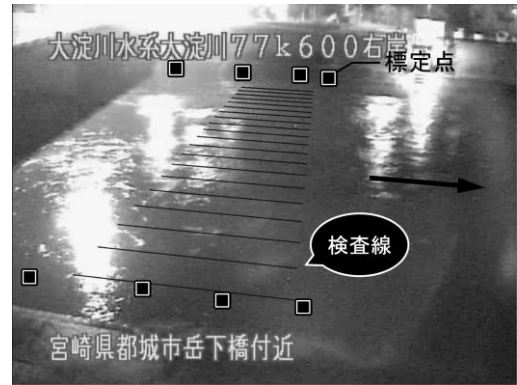
(b) 流速横断分布

図-24 肝属川王子橋観測所 (6月27日 19:38)

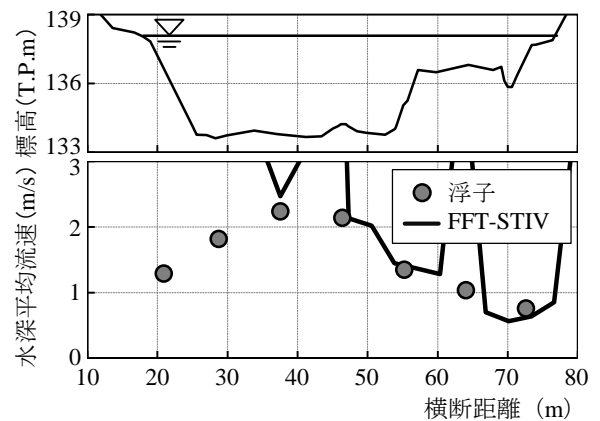
差は3.7%と十分に小さかった。河道幅が大きい場合などは、対岸側での標定点の視認性が低く、画面上での標定点の位置設定に誤差が生じ、幾何補正に誤差が生じる場合がある。このため、幾何補正精度の管理を適切に行い、十分な精度が確保できない場合には、画面上での標定点位置を見直すといった調整を行う必要がある。

2) STIV 解析による流速解析結果

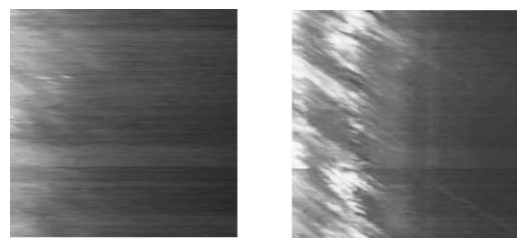
75 観測所のうち、今年度出水記録のあった 15 観測所



(a) 解析対象画像



(b) 流速横断分布



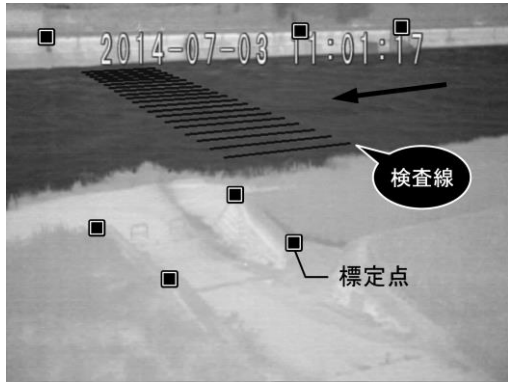
(c) STI (左から, y=25m, y=64m)

図-25 大淀川岳下観測所 (6月27日 20:41)

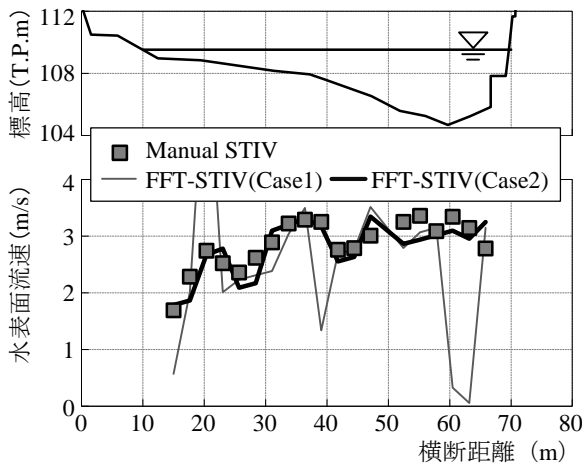
映像を対象に STIV 解析を行った事例を以下に示す。解析に使用したソフトウェアは KU-STIV (株式会社ビーシステム製) であり、特別な記述がない限り、ノイズ除去および流速検出を自動的に行う FFT-STIV²⁷⁾を用いた。ここで、STIV の流速観測精度の検証において、参照データとして浮子観測値を用いているが、STIV 解析エリアと浮子流下区間には空間的なズレがあり、また、双方とも更正係数を乗じることにより水深平均化処理を施していることに注意されたい。以下には、肝属川王子橋観測所 (平成 26 年 6 月 27 日)、大淀川岳下観測所 (同上)、山国川柿坂観測所 (平成 26 年 7 月 3 日) の結果を例示する。

① 肝属川王子橋観測所 (CCTV, 日中)

はん濫注意水位程度の洪水における解析対象画像と



(a) 解析対象画像



(b) 流速横断分布

図-26 山国川柿坂観測所 (7月3日 11:01)

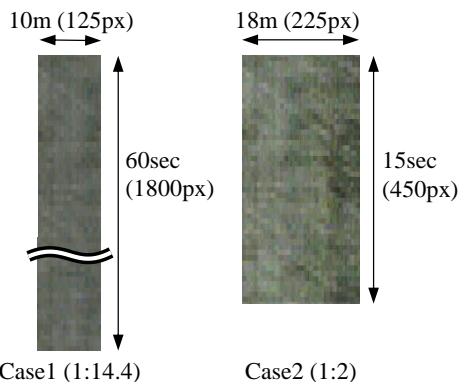


図-27 山国川柿坂観測所における STI の形状

STIV による流速解析結果を図-24 に示す。同図には、浮子測法の結果を合わせて示した。これより、本地点において、浮子と STIV の流速は概ね良好に一致している。

② 大淀川岳下観測所 (CCTV, 夜間)

はん濫注意水位程度の出水における解析対象画像と STIV による流速解析結果を図-25 に示す。ここでも、浮子観測結果を合わせて図示した。なお、出水のピークが夜間であったため、橋梁の街路灯を光源として解析を行

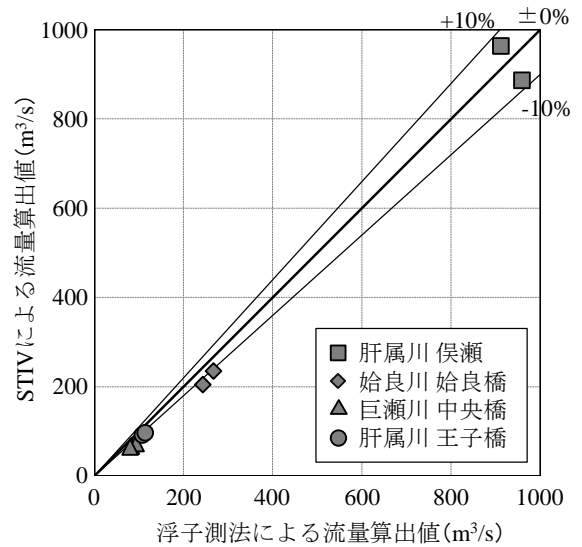


図-28 STIV と浮子測法の流量比較

った。流速横断分布は、CCTV カメラが設置されている右岸側では STIV 流速値は浮子測法と概ね一致するが、対岸側を中心に過大評価となる。STI を見ると、カメラ近傍側では明瞭な斜め模様が視認できるが、カメラ対岸側では視認困難であり、かつ、CCTV カメラの露出調整と推察される横方向の縞模様が卓越している。

以上に示すように、夜間などの特異な環境下においては、ノイズ等によって、STIV 流速値に異常が含まれる可能性がある。このため、解析結果の照査として、元画像および STI の品質・状態チェックにより、STIV 解析異常値を棄却する必要がある。また、必要に応じて手動解析 (Manual-STIV) を実施する。さらに、欠測データ数が多く、十分な精度で流量算出が困難な場合などは、DIEX 法²⁸⁾などの流速内外挿手法を併用することで横断面全体の流速および流量を算出することが必要となる。

③山国川柿坂観測所 (遠赤外線カメラ)

水防団待機水位を超過し平成 26 年度最高水位を記録した 7 月 3 日洪水ピーク時における解析対象画像と STIV による流速解析結果を図-26 に示す。STIV 解析結果としては、Manual-STIV と FFT-STIV の結果を示しており、後者については、検査線長・検査時間を变化させた 2 ケースを想定した。検査線長 10m、検査時間 60 秒とした Case1 では、流速分布に大きな乱れが認められた。一方で、検査線長 18m、検査時間 15 秒とした Case2 では、FFT-STIV の解析結果は Manual-STIV と良好に一致した。Case1, 2 では、STI の縦横比がそれぞれ 14.4, 2.0 であり、極端に縦横比が大きい場合には自動解析が正常に行われなことが示唆された。なお、出水規模が小さかったため浮

子観測は実施されておらず流速値の検証はできない。

(3) 浮子測法との流量比較

CCTV カメラと浮子による同時観測に成功した4観測所を対象に、STIVによる流速計測値から流量を区分求積で算出した結果を図-28に示す。浮子測法とSTIVによる流量算出値は概ね一致した。流量規模が $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度では、数 m^3/s の流量誤差が比較的大きな相対誤差として現れる。浮子測法の流量値は、浮子流下軌跡や更正係数による誤差が含まれるため、参考値として評価されたい。

5. 可能最大洪水時における流量観測手法の検討

3章で概説した手法においては、aDcpによる計測結果から図-8を構築することの重要性を議論した。すなわち著者らは観測結果から既往の知見を検証しながら必要ならそれを改良しつつ、採用することが重要であると考えている。例えば図-8を構築するにあたり、2章で述べたとおりaDcpの観測結果が劣悪になるような条件での結果であった。このような条件化においても計測できたのはTransition IIまでである。Antiduneにおける流況は大きな定在波が発達し、aDcpの横断観測を実施することは不可能であることが想定される。現に、台風18号においても定在波の一部が観測されている。このような流況において、ある程度の精度で流量値を得るための手法を議論することが、この章のテーマである。そのために以下の考え方に基づき河床高を算定することができる。

- 1) 図-8のAntiduneの領域に関して観測結果から $\tau_* - \tau_*'$ 関係を構築する。
- 2) H鋼又は橋脚等に音響測深器を設置する河床高自動計測を用いて河床高を実測し、同時に同じ点において流水を計測することで1)を完成させる。なお同河床高自動計測手法の詳細は深見ら²⁹⁾やyorozuya et al.¹⁰⁾を参照されたい。
- 3) また河床高自動計測を実施していない場合においても、定在波が発生する領域においては、定在波の波長、流速から水深すなわち河床高を算定することができる³⁰⁾。これを算定するためには、STIV等を用いるときに必要な画像解析を実施するものと同じ準備をしておく必要がある。
- 4) 2)及び3)から求めた全領域の $\tau_* - \tau_*'$ 関係が、すべての区分断面に適用できると仮定して、流量値を得る。即ち、電波式流速計であれば、多くの場合は一つの流量観測地点で10程度のセンサーを配置するが、それぞれの断面において計測した流速値、縦断的な水面勾配を計算することができる。その結果から図-11で得られるよう

な水深を推定し、それぞれの区分断面における区分流量を得る。それらを全断面にかけて積分することで流量値を得ることができる。

6. まとめ

各章毎に得られた知見を以下に列挙する。

- 1) 急流河川の代表である姫川においてaDcp観測を実施した。高濁度、高流速条件において得られた観測結果は既往の河床高算定アルゴリズムでは対処できない結果となった。
- 2) 既往のアルゴリズムは反射強度のピーク値を検出するが、高濁度条件では減衰が激しく、通常であれば水と河床高の境界で発生するピーク値が検出されなかったために、河床高の算定が困難な結果となった。
- 4) 本報告ではaDcpの反射強度のプロファイラデータを活用し、河床高の算定アルゴリズムを構築した。新しい手法では反射強度の二次微分から河床高を検出した。
- 5) 得られた結果は、洪水中に1~2m程度の大きな河床変化を観測した。
- 6) 水面情報から河床変動を予測する手法を検討した。
- 7) ここでは岸・黒木らが提案した流水抵抗の考え方を採用し、2章で得られた観測結果を基に $\tau_* - \tau_*'$ 関係を構築した。
- 8) $\tau_* - \tau_*'$ 関係、観測された電波式流速計の観測結果らから河川水流量の時間変化を算定した。
- 9) 台風18号における電波式流速計の観測結果は、流速が9m/s程度の値を示したが、これは洪水ピークが通過して水位が下がり始めた頃に発生した。このことから河床粗度が大きく減少する現象が発生していることが推測された。
- 10) 九州地方整備局管内の空間監視目的に設置された河川系513台のCCTVカメラを対象に高水流量観測への適用が可能なCCTVカメラを抽出し、STIVによる流量観測への適用性を検討した。その結果、少なくとも高水流量観測地点近傍の75台のうち、59台は適切な画角に設定することでSTIVに適用できることが分かった。
- 11) 通常のCCTVカメラでは困難な夜間でも高水流量観測が可能な遠赤外線カメラを山国川の柿坂観測所に設置し洪水時に試験運用した。この結果、STIVを適用することで水表面流速を解析し流量算出を行う恒久施設として運用が可能であることを確認した。
- 12) STIVでは、夜間などの特異な環境下では、自動での画像処理では適切な流速を計測できない場合が生じた。解析結果と合わせて元画像およびSTIを照査する必要

がある。また、自動解析により異常または欠測となる場合であっても、手動解析により適切な流速を得ることが可能となるケースが見られた。

- 13) STIV 解析が困難となり、異常値や欠測が生じる場合には、DIEX 法などの流速内外挿法の併用により横断面全体の流速および流量を算出する必要がある。
- 14) 上記の検討を踏まえ、九州地方整備局では河川事務所及び流量観測業者が CCTV カメラの画角設定から STIV を用いた流速・流量算出に至る一連の解析が実施できるような技術指針として「CCTV カメラを活用した水文観測ガイドライン(案 観測編, 解析編)」を作成した。今後、「流量観測の高度化マニュアル(高水流量観測編)¹⁾」に加筆する予定である。また、本ガイドラインの活用により CCTV カメラ画像を用いた非接触・自動連続観測の実用化により、洪水初期の欠測や計画流量規模相当時の計測不能な状態が改善され、流量観測の確実性と安全性の向上が図られることを期待するものである。
- 15) 可能最大クラスの出水が発生した場合の河床変動を考慮した流量値の算出方法を議論した。
- 16) これらを実現するためには、設置型流速計による流速のモニタリング、河床高自動計測又は定在波の理論を用いた河床高推定が必要あることを示唆した。

謝辞：

本研究報告の2章は、Yorozuya et al.³⁾から和訳、加筆、修正したものである。また4章は梅田ら³²⁾が執筆した論文を転記したものである。また2章、3章で使用したデータは、日本でも有数の急流河川の姫川において困難な観測状況にも関わらず aDcp 観測が実施された。これは(株)水文環境の社員である井上氏及び小野氏の努力と情熱のたまものである。また3章で使用した観測データは、国土交通省北陸地方整備局高田河川事務所から提供を受けた。ここに記して感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 萬矢敦啓・岡田将治・橋田隆史・菅野裕也・深見和彦：高流速における ADCP 観測のための橋上操作艇に関する提案, 土木学会河川技術論文集, 第16巻, pp. 59-64, 2010.
- 2) 萬矢敦啓・本永良樹・深見和彦：無人自動流量観測システムの確立とその課題, 河川流量観測の新時代, 第3巻, pp. 15-22, 2012. 9
- 3) 山口高志, 新里邦生：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, pp. 41-50, 1994

- 4) 岡田将治, 森彰彦, 海野修司, 昆敏之, 山田正：鶴見川感潮域における H-ADCP を用いた流量観測, 河川技術論文集, Vol. 11, pp. 243-248, 2005.
- 5) 二瓶泰雄, 木水啓：H-ADCP 観測と河川流計算を融合した新しい河川流量モニタリングシステムの構築, 土木学会論文集 B, Vol. 643, No. 4, pp. 295-310, 2007.
- 6) 藤田一郎, 河村三郎：ビデオ画像解析による河川表面流計測の試み, 水工学論文集, 第38巻, pp. 733-738, 1994.
- 7) 藤田一郎, 原浩気, 萬矢敦啓：河川モニタリング動画を用いた非接触型流量計測法の精度検証と準リアルタイム計測システムの構築, 水工学論文集, 第55巻, pp. 1177-1182, 2011.
- 8) Fujita, I., Hara, H., Yorozuya, A. : Evaluation of imaging technique accuracy for discharge measurement and development of real time system for surface flow measurement, Journal of Hydroscience and Hydraulic Eng., No. 30-1, pp. 15-28, 2012.
- 9) M. Muste, I. Fujita, A. Hauet: Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments, Water Resources Research, Vol. 44, WOOD19, doi:10.1029/2008WR006950, 2008.
- 10) Yorozuya, A., Fukami, K. : Study about Velocity Index in Actual River during Flooding, Proceeding of Third International Symposium on Shallow Flows, Iowa City, Iowa USA, 2012.
- 11) 独立行政法人土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター著：流量観測の高度化マニュアル(高水流量観測編), Ver1.0, 2013.
http://www.icharm.pwri.go.jp/ryukan/manual_1.0.pdf
- 12) Simons, D. B. and Richardson, E. V. : Forms of bed roughness in alluvial channels, Journal of the Hydraulics Division, Proc. ASCE, Vol. 87, No. 3, pp. 87-105, 1961
- 13) Engelund, F. : Closure to "Hydraulic Resistance of Alluvial Streams," Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 93, No. HY-4, pp. 287-296, 1967
- 14) 岸力, 黒木幹男：移動床流れにおける河床形状と流体抵抗 (I), 北海道大学工学部研究報告, pp. 1-23, 1972
- 15) 山本晃一：構造沖積河川学-その構造特性と動態-, 山海堂, 2004
- 16) 山口里実, 泉典洋：デューン-平坦床遷移過程にみられる亜臨界分岐現象, 土木学会論文集, No. 740/II-64, pp. 75-94, 2003
- 17) 泉典洋, 山口里実：デューン-平坦床遷移再考, 土木学会論文集 B, Vol. 62 No. 4, pp. 360-375, 2006

- 18) 柿沼孝治, 井上卓也, 赤堀良介, 武田淳史: 千代田実験水路の移動床抵抗に関する研究, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 69, No. 4, I_1087-I_1092, 2013
- 19) 平井康幸, 泉典洋, 伊藤丹: 昭和56年8月石狩川洪水における同時水位観測による河床抵抗の挙動特性の検討, 河川技術論文集, 第20巻, pp. 235-240, 2014
- 20) 工藤俊, 萬矢敦啓, 小関博司, 岩見洋一: 現場のための新しい水位-流量関係の構築に向けた基礎的研究, 河川流量観測の新時代, 第5巻, pp. 14-21, 2015
- 21) 例えば, Chang, H.H: Fluvial Processes in River Engineering, John Wiley & Sons, Inc., 1988
- 22) Yoshiki Motonaga, Atsuhiko Yorozuya and Yoichi Iwami: Direct measurement of river-bed form resistance in rivers with sand waves, River Flow 2014, pp. 273-278, 2014
- 23) 財団法人北海道河川防災研究センター編, 河道設計論(案), 1990
- 24) Fujita, I., Watanabe, H. and Tsubaki, R.: Development of a nonintrusive and efficient flow monitoring technique: The space time image velocimetry (STIV), International Journal of River Basin Management, Vol. 5, No. 2, pp. 105-114, 2007.
- 25) 藤田一郎, 安藤敬済, 堤志帆, 岡部健士: STIVによる劣悪な撮影条件での河川洪水流速計測, 水工学論文集, Vol. 53, pp. 1003~1008, 2009.
- 26) 島本重寿, 藤田一郎, 萬矢敦啓, 柏田仁, 浜口憲一郎, 山崎裕介: 画像処理型流速測定法を用いた流量観測技術の実用化に向けた検討, 河川技術論文集, Vol. 20, pp. 37-42, 2014.
- 27) 秋田紘征, 藤田一郎: 河川流画像計測に傾斜計を導入した実用的な幾何補正とSTIVの計測精度の評価, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol. 71, No. 4, pp. I_847-I_852, 2015.
- 28) 柏田仁, 藤田一郎, 本永良樹, 萬矢敦啓, 二瓶泰雄, 中島洋一, 山崎裕介: 統一された流速内外挿法に基づく様々な流速計測技術の流量推定精度, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 69, No. 4, I_739-I-744, 2013.
- 29) 深見和彦, 萬矢敦啓, 本永良樹, 河床変動の影響を考慮した設置型流速計による洪水流量観測手法に関する研究, 国立研究開発法人 土木研究所, 研究成果報告書, 平成24年度重点研究,
<http://www.pwri.go.jp/jpn/results/prize/seika/project/2012/pdf/zyu-20.pdf>
- 30) 山田 正, 池内 正幸, 堀江 良徳: 不規則底面をもつ開水路流況に関する研究, 第28回 水理講演会論文集, pp149-155, 1984年2月.
- 31) Atsuhiko Yorozuya, Yoshiki Motonoga, Yoichi Iwami, T. Furuyama, K. Ogiwara, Water Discharge Measurements with ADCP in High Speed Flow with High Sediment Concentration, 9th International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering, pp. 21 - 24, Sept 2014
- 32) 梅田真吾・柏田仁・島本重寿・宮谷綾子・浜口憲一郎・山崎裕介・萬矢敦啓: CCTVカメラと遠赤外線カメラを用いた画像処理型流速測定法の実用化, 河川技術論文集, Vol. 21, pp. 99-104, 2015.

A STUDY ON AUTOMATIC STEERING SUPPORT SYSTEM FOR SNOW REMOVERS

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2012-2016

Research Team : Water-related Hazard Research Group

Author : IWAMI Yoichi

YOROZUYA Atsuhiko

KUDO Shun

KOSEKI Hiroshi

Abstract : Regarding to flood flow observations in Japanese rivers, our research group have focused on developing a water discharge measurement system applying new technologies. Main focus of this study is developing the automatic measurement system with estimating the river bed elevation changes. For this purposes, the authors developed the method to predict the river bed elevation change with the information of which can be obtained from water surface, such as water surface velocity and the water surface slope. For supporting the study, the authors developed the algorism to estimate the river bed with aDcp observed data in adverse condition. Also the authors study about the method to estimate the river bed with automatic method. Additionally, the authors clarified the technical subject regarding to implementation of techniques about video image velocimetry. Finally, authors discuss about the methodology for water discharge measurement with extremely high events.

Key words : automatic discharge measurement, river bed elevation change, video image velocimetry, automatic riverbed elevation monitoring