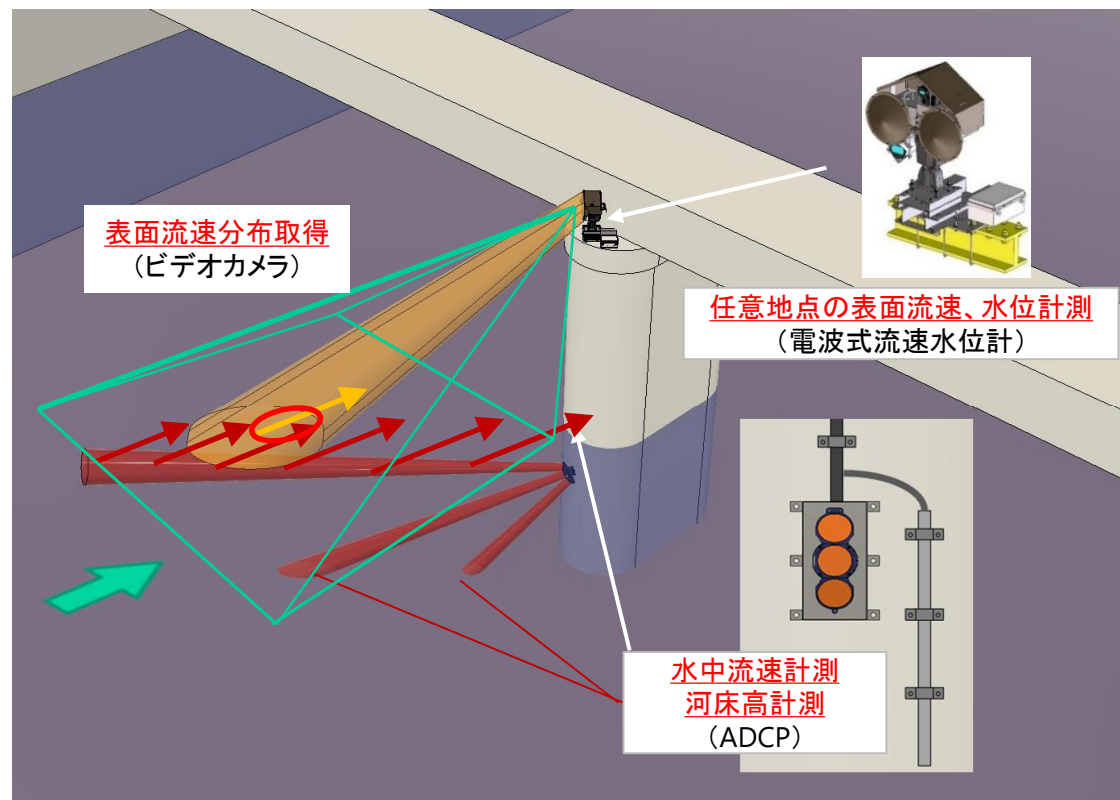


流域水位・流量の時空間分布把握システム構築へ向けて



202510.30 土研新技術ショーケースin札幌

国立研究開発法人土木研究所

河道保全研究グループ

河道監視・水文チーム 萬矢 敦啓

人手不足による欠測／危険回避のための欠測



浮子観測は5人1班基本→人手不足による契約不調や欠測



危険が伴う浮子観測→やむなく観測中止・欠測

大規模洪水での機器破損・交通途絶による欠測



✓流木等の漂流物により、河道内に設置していた水位計が破損する事例

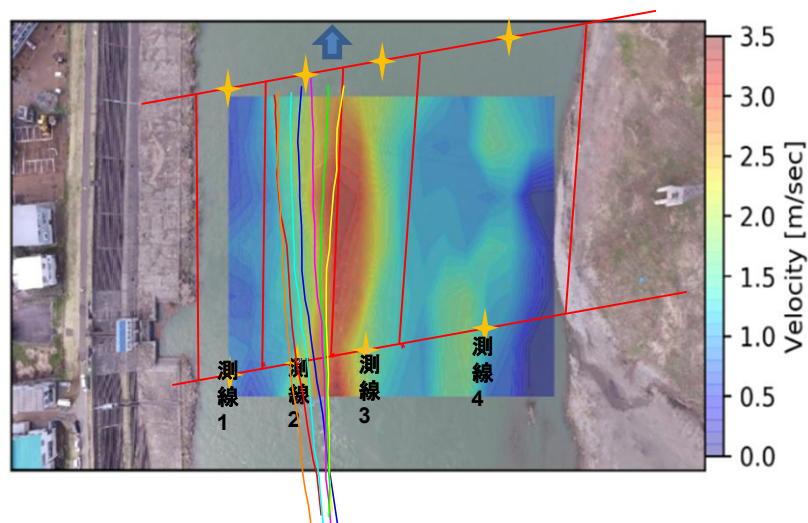
✓氾濫(内水・外水)や退去命令により作業員が流量観測地点に行けなくなり、観測が実施できない事例



計測値の信頼性確保



複数測線の計測時間差→大川ほど顕著



浮子は必ずしも設定した測線通りに流下してくれない。

高水流量を確実に安全に計測するための非接触型流速計



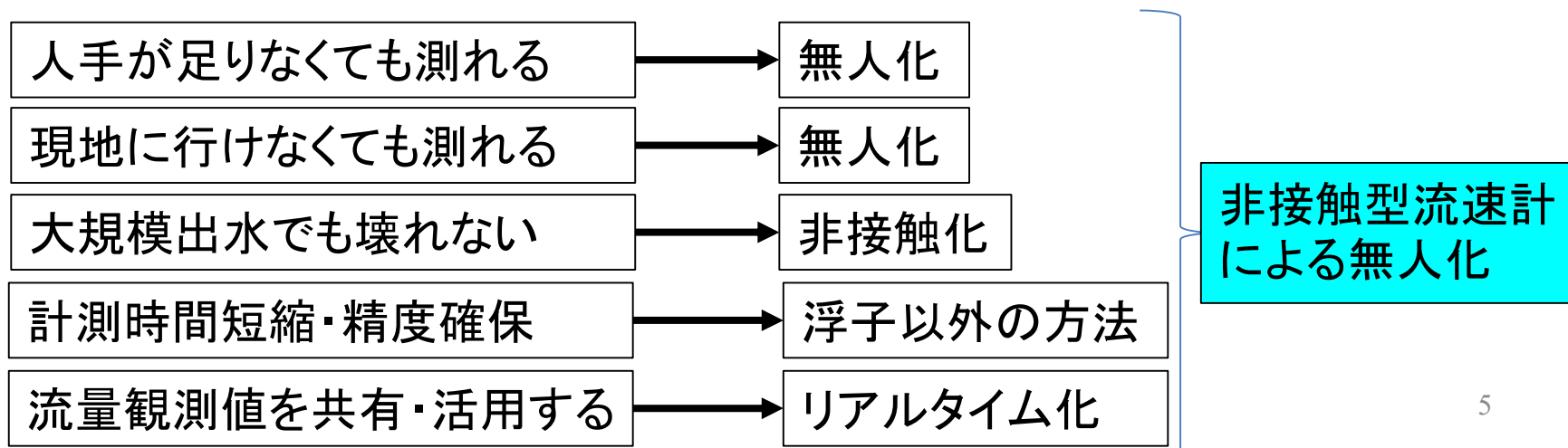
洪水時の流量観測は浮子を用いて5人1組を基本として実施されてきたが、

- 技術者の減少・高齢化に伴い観測体制確保が困難。
- 洪水大規模化・局部的豪雨の多発を受け、現場の安全確保のためやむなく計測を断念する頻度が増加。
- 同じ理由から、水位計が破損する事例が多発。
- 急激な増水により観測態勢が構築できずピーク流量が計測できない(間に合わない)事例が多発。

などの理由から、流量を確実に取得できない状況が年々深刻化している。

また浮子流観は原理上、測線間の計測時間差や流跡のばらつきなどが避けられない。

そこで、電波式流速(水位)計や画像解析(STIV法)による非接触型の流速計測法が導入され、現場への導入が進んでいる。



非接触型流速計測法の手引き(案)の作成

平成 29 年に作成された手引き(試行版)に革新的河川技術プロジェクト(第4弾)の評価結果や非接触観測技術の最新の研究成果等を踏まえ更新を行ったもの

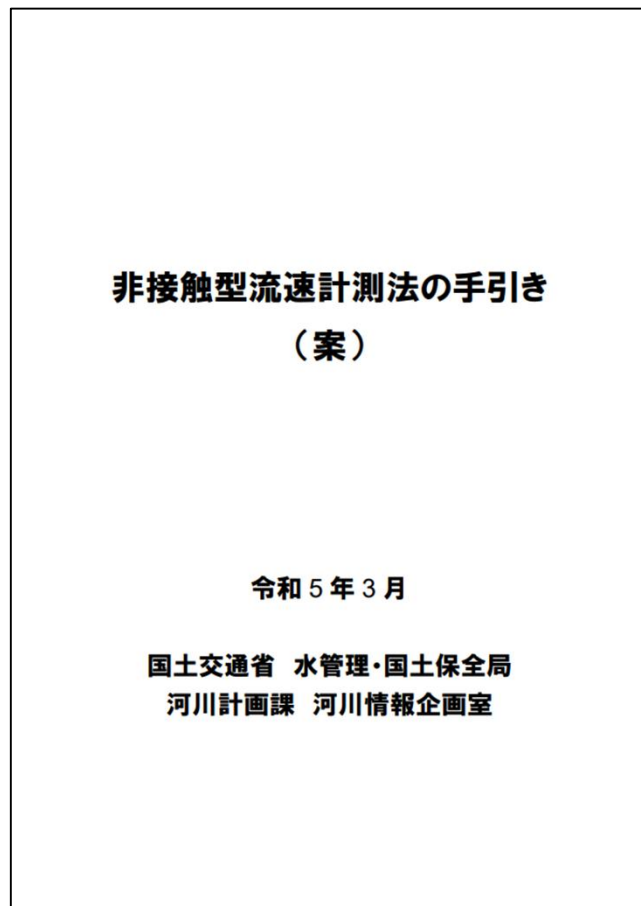
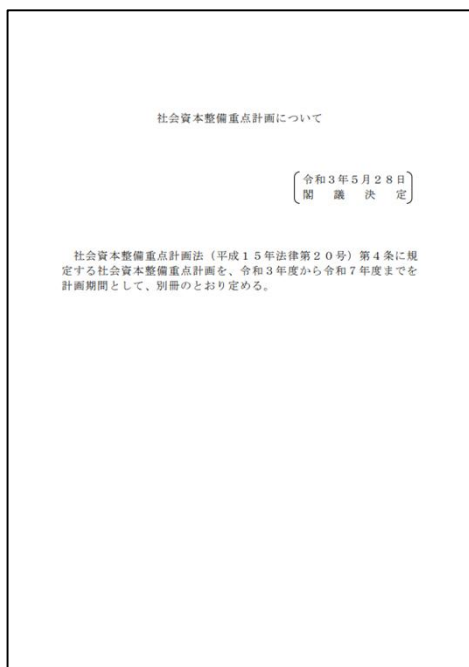


図 2-1 流速観測手法の一覧

第5次社会資本整備重点計画への盛り込み



令和3年5月の標記計画で「基準水位・流量観測所における自動流量観測の導入率を令和7年度までに100%にする」という目標が掲げられた。



現在、各地整で電波式・画像解析(STIV)が導入されつつある

・ 新技術を活用した河川管理の高度化による防災・減災の取組を推進

・ 基準水位・流量観測所における自動流量観測導入率

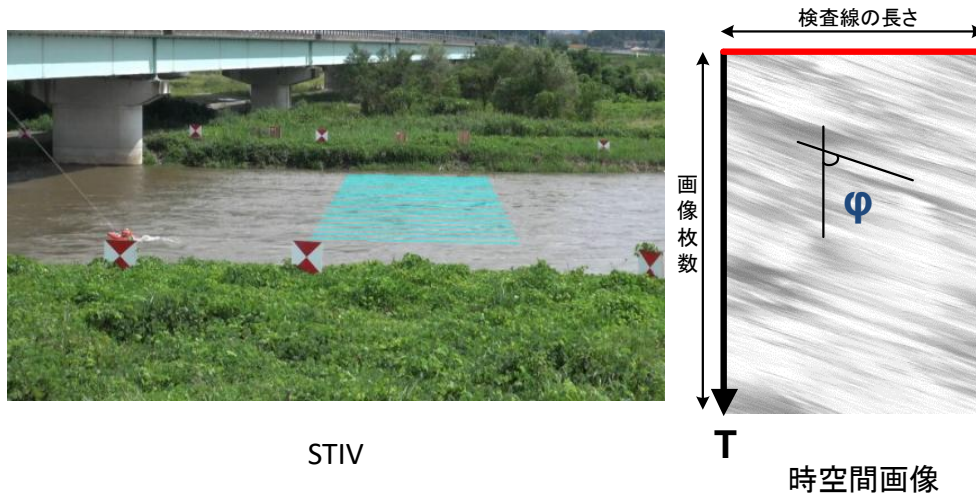
R2年度 8.7% → R7年度 100%

- ✓ 安定的な計測が可能
(ノイズや遮断物の影響を受けにくく、レンズの雨滴付着に対して柔軟に対応、赤外線や高感度カメラなら夜間撮影可)
- ✓ 測定(撮影)後に解析が必要
(幾何補正)
- ✓ 連続的な観測(無人・自動観測)が可能
(ゲリラ豪雨等、急激な洪水の立ち上がりやピークも把握)
(観測者不足への対応、安全確実)
←現状は3人~5人程度の経験豊富な観測者が必要
- ✓ 標定点が必要
(画角に映り込んでいる必要)
- ✓ 予定測線からの逸脱や橋脚後流の影響を受けない

画像処理による流量観測 (STIV)

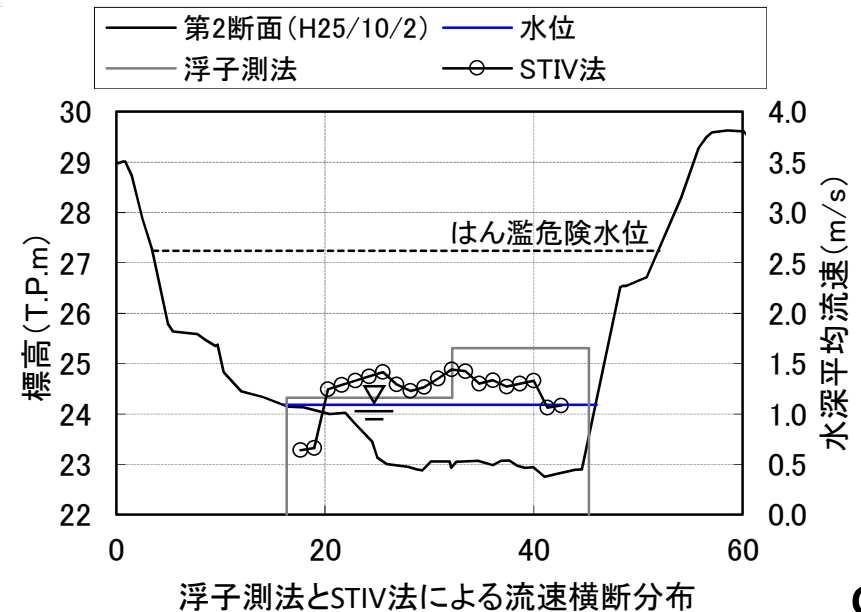


既存のインフラであるCCTVカメラ画像から
Space Time Image Velocimeter (STIV)を用いて
河川水の表面流速を算出



評定点をセットしたCCTVカメラ画像の一例

- ① 評定点と共に河川水の流れの映像を取得
- ② 横断面に直交に検査線を設定 (上左図)
- ③ 1本の検査線に注目し, 横軸を検査線の長さ, 縦軸を時間として時空間画像を作成 (上右図)
- ④ ③で作成される画像の縞模様の角度から流速を算出する.



浮子測法とSTIV法による流速横断分布

非接触型（電波式）流速水位計の特徴

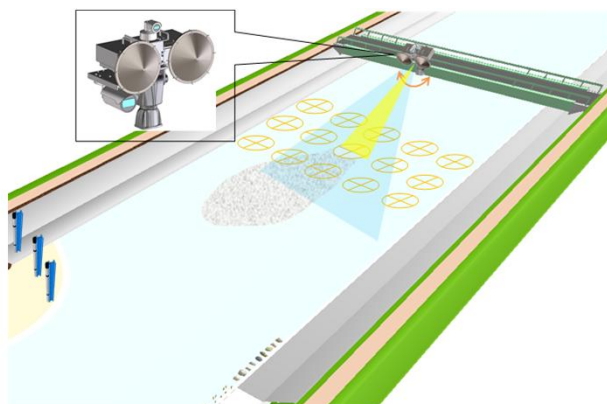


- ✓ 安定的な計測が可能
（支障物の影響小、流路変更に対して柔軟に対応）
- ✓ 測定時間が短い
（例えば、テレメータ水位の10分単位と整合可能）
- ✓ 連続的な観測（無人・自動観測）が可能
（ゲリラ豪雨等、急激な洪水の立ち上がりやピークも把握）
（観測者不足への対応、安全確実）
←現状は3人～5人程度の経験豊富な観測者が必要
- ✓ 橋梁や浮子投下装置がない場所でも計測可能
（観測地点／範囲の自由度増大）
- ✓ 予定測線からの逸脱や橋脚後流の影響を受けない

電波式流速水位計



※土研と民間企業との共同開発



橋上や水文観測所の観測塔に設置

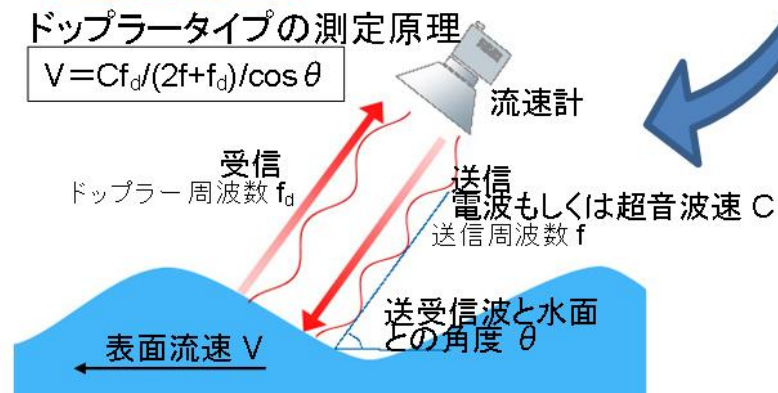


- ドップラー効果の利用
 - 電波流速計(マイクロ波)
 - 超音波流速計(超音波)

測定方法

ドップラータイプの測定原理

$$V = C f_d / (2f + f_0) / \cos \theta$$



設置事例(阿賀川 若水水位観測所)



機器の設置状況



持ち運び可能なポータブルタイプ

計測結果の表示



定点の流速と水位を常時計測

流速、水位の自動観測が可能

今後、幅の広い河川において最小限の機器台数で観測を行うため、悪天候下での計測可能距離、角度等の適用条件を把握

設定した水位を超えると測線毎の流速と水位を計測

流れ場が変化する箇所での首振り機能の活用

(高水観測時)

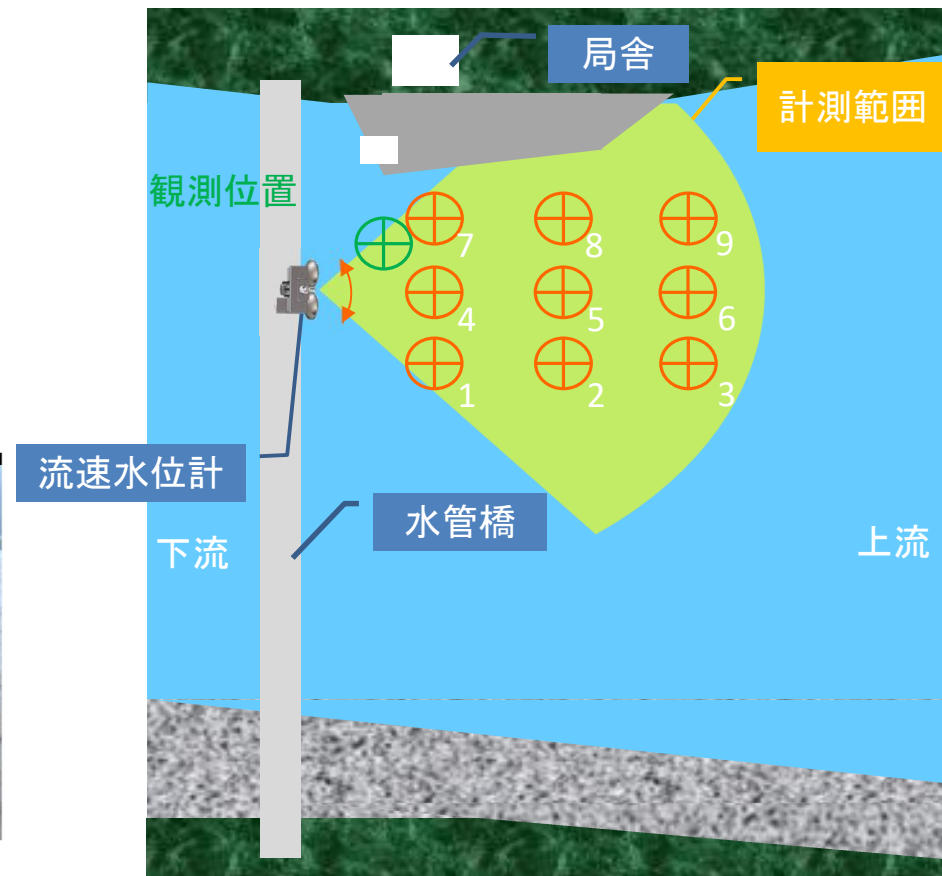
- 水防団待機水位を超えると、高水観測モードへ移行
- あらかじめ設定した測線の流速・水位を自動で計測
- 面的な計測が行えるほか、より安定した地点でバラツキの少ない流速・水位の把握が可能



想定していた流況と計測点



ある流量における流れ場



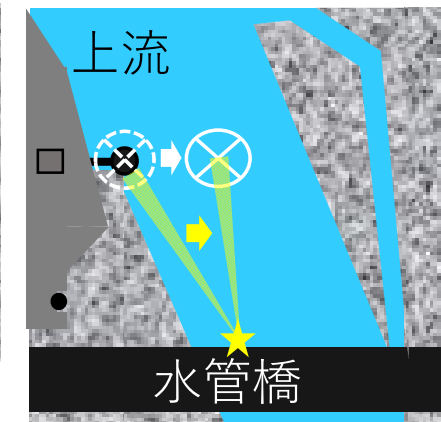
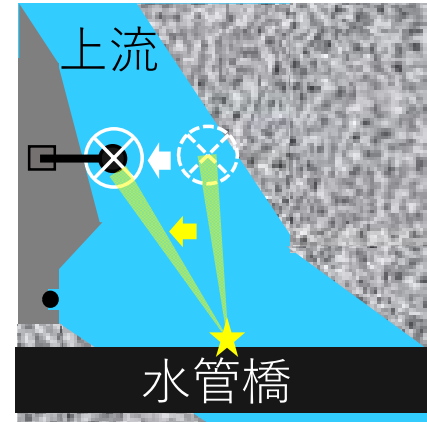
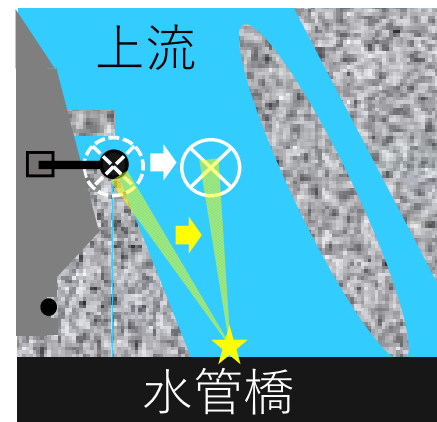
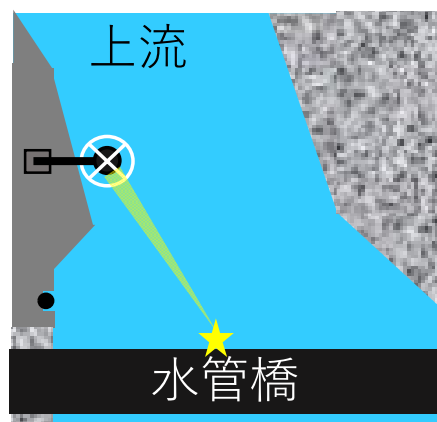
低水観測への応用

雲台に設置した電波式流速水位計により任意地点の流速・水位を計測

(低水観測時)

- 観測位置をカメラで確認。
- 湍筋変化より欠測が発生している場合は、観測位置(電波照射位置)を変更
- 欠測より復帰、10分毎の流速・水位をモニタ

※ 現状では0.5m/s以下は計測不可

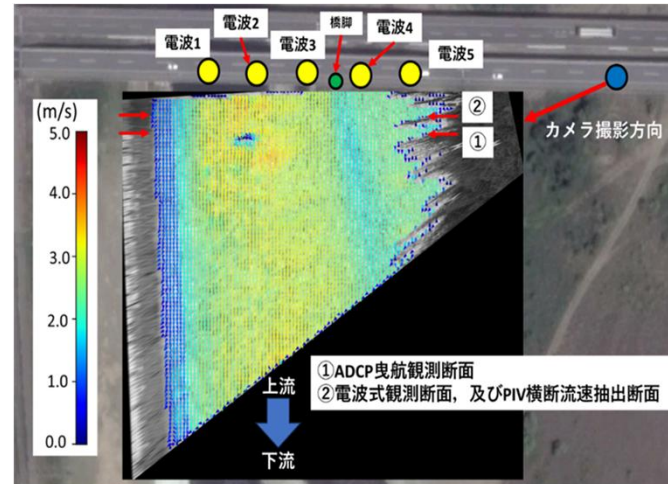


- 従来手法(浮子)にも、非接触型にも課題がある。
- 高水流量観測が昔から抱える課題も存在する。
- 非接触型への移行が避けられない中で、各観測所で非接触型が実務上問題ない精度で計測できるよう、モデル観測所で同時観測と検証を行い留意点を整理し、検証方法のマニュアルを作成予定。

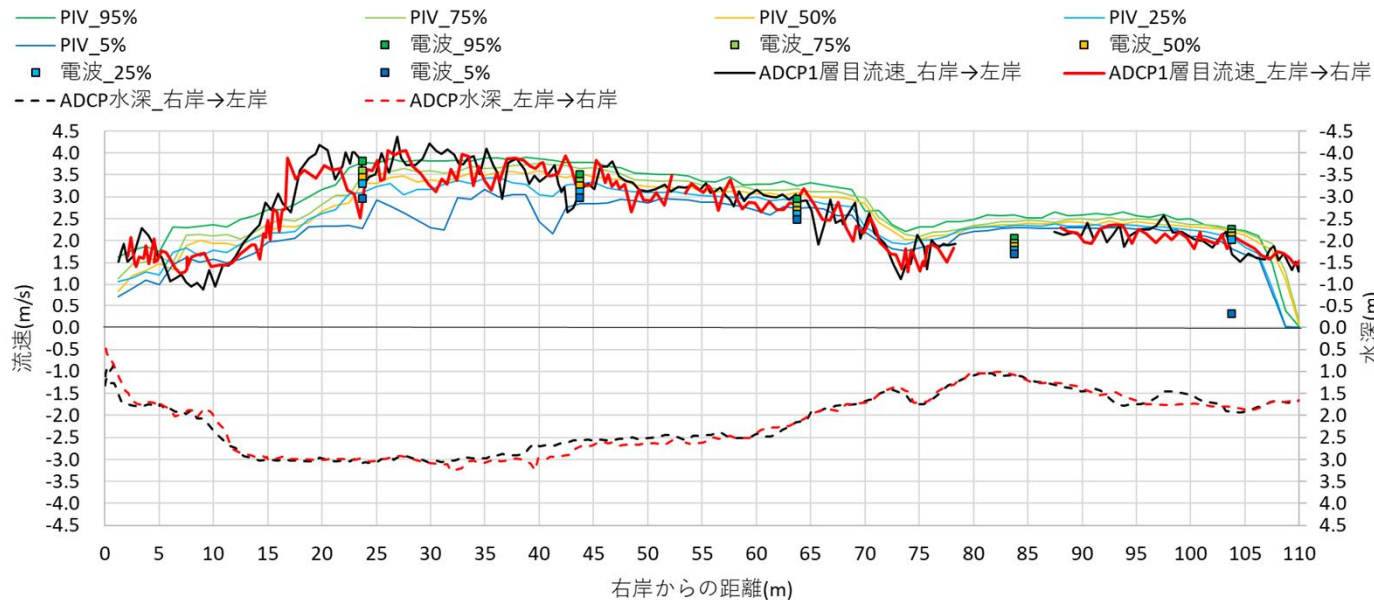
想定される精度低下の原因

1. 電波流速計に特有な要素
 - 時間平均の取り方
 - 電波の照射位置の適切性
2. 画像解析(STIV)に特有な要素
 - 画質が劣悪な場合
3. 浮子に特有な要素
 - 流跡のばらつき
 - 計測時間差
4. 高水流観が昔から抱えている課題
 - 適正測線数・位置
 - 更正係数
 - 河床高計測

高水流量観測が昔から抱える課題①測線の数・位置



流れの変化を適切にとらえられているか？

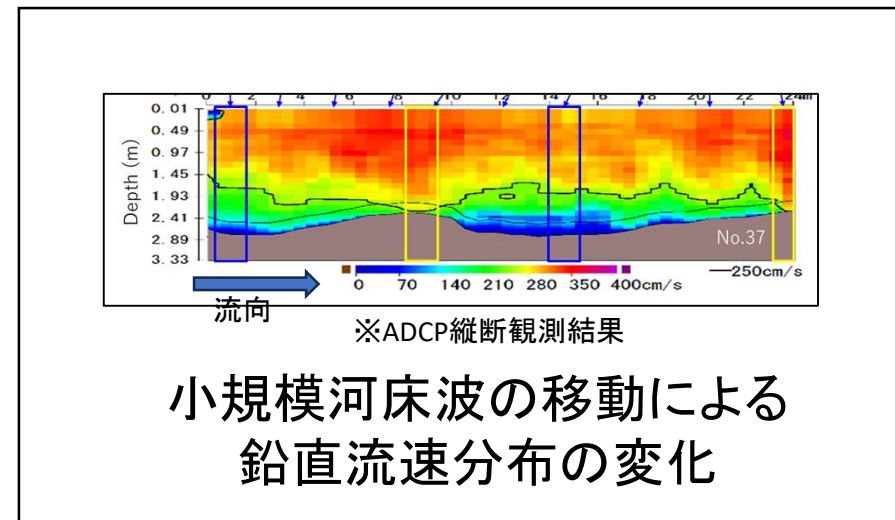
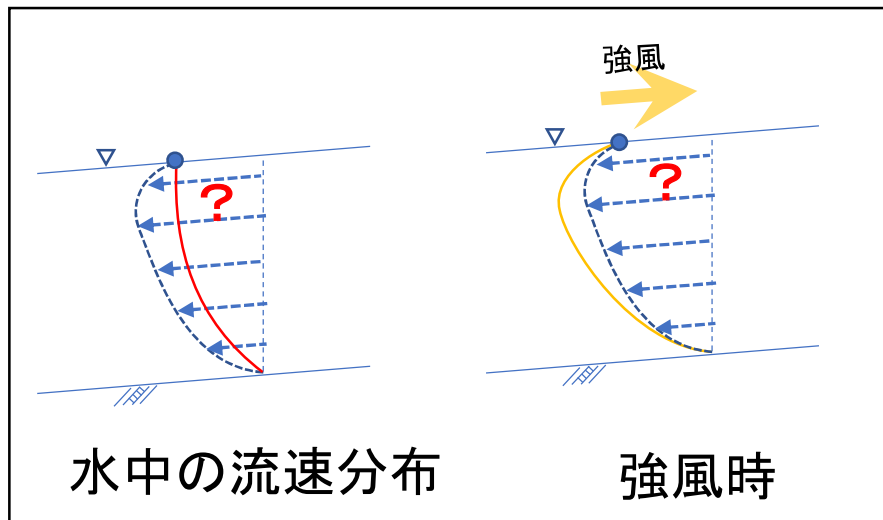


高水流量観測が昔から抱える課題②修正係数



- 流速修正係数は、各観測所における適切な値を使用することが望ましい
- 区分断面の平均流速は、区分断面ごとの風修正をした水表面流速に流速修正係数を乗じることで算出する。

(河川砂防技術基準調査編 4.8非接触型流速計測法)



信頼性確保のための現地計測・分析



精度を担保する計測手順の検討、体制整備

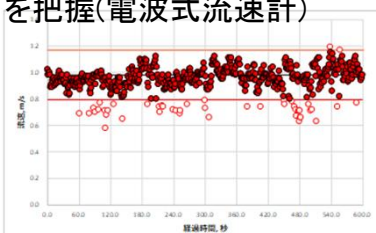
【(1) 現地計測】

○ 表面流速の空間分布を把握(画像解析: PIV)

現場事務所でPIVを実施した事例はないため、現場でも実施できるように、**R5年度は配布プログラム開発、実際の観測所での撮影試行、解析試行、現場事務所への技術指導を実施**

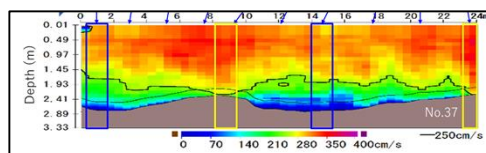


○ 表面流速の点の時間分布を把握(電波式流速計)



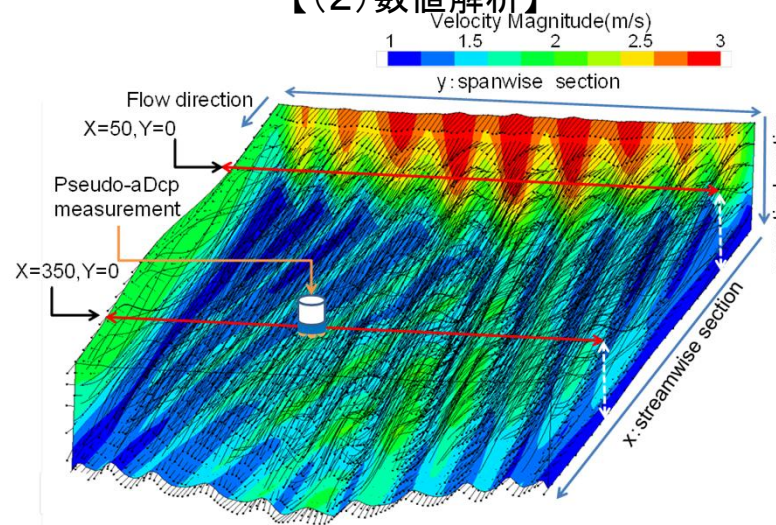
既に現場でも観測実施例あり

○ 水中流速・河床高を把握(ADCP)



既に現場事務所でも実施例あり

【(2) 数値解析】



三次元乱流計算 (iRIC、NaysCUBE) の実施例

数値解析を実施し、観測結果と突合
→ 流れ場の全容把握をした上で、原理的に最も精度が高い計測手順を提示

【提示する計測手順の項目】

- ・測線の設定
- ・計測時間の設定
- ・風の影響排除を含めた鉛直平均流速への変換方法の設定

河川特性に応じた電波式流速水位計等の適切な配置、計測手法を求める手順を整理したマニュアル作成予定

より確実に高精度な高水流量観測に向け開発中の技術



電波式流速計でより確実に精度良く高水流量観測を行うために残された課題として

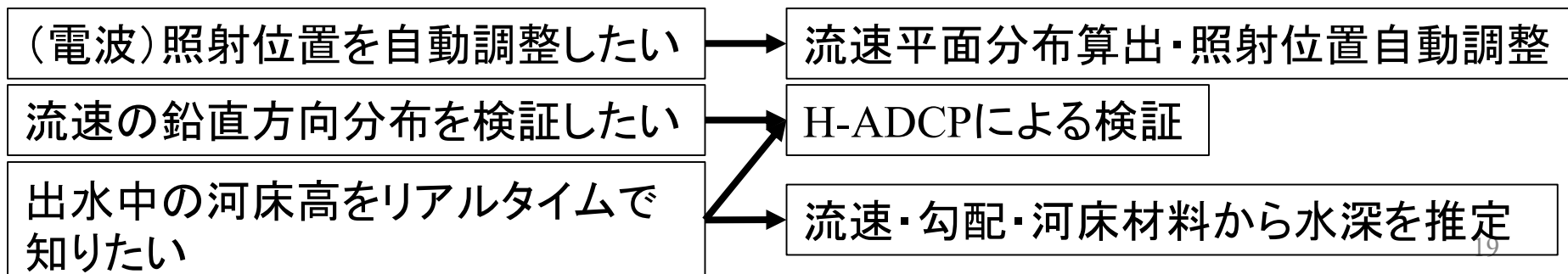
- 流れの乱れが激しい急流河川等においては、複数の照射位置の流速データから、管理者が最適な照射位置を映像を確認して判断する必要がある。

ことが挙げられます。また高水流量観測の従来からの課題として

- 流速の鉛直方向分布の検証 (特に強風時)
- 出水中の河床高変化の把握

が挙げられます。

そこで、画像解析(PIV法)により流速の平面分布を算出するプログラムを開発するとともに、電波式流速計の照射位置を最適な場所に自動で調整する手法や、出水中の河床高を推定する手法を開発しており、あわせてH-ADCPによる流速鉛直方向分布や河床高の検証に取り組んでいます。これらを観測所の条件やニーズに合わせて組み合わせた流量観測ロボットによる、高水流量観測の完全な自動化・リアルタイム化と精度のさらなる向上を目指しています。



開発中の技術を用いた流量観測ロボット

【観測システムの構成】

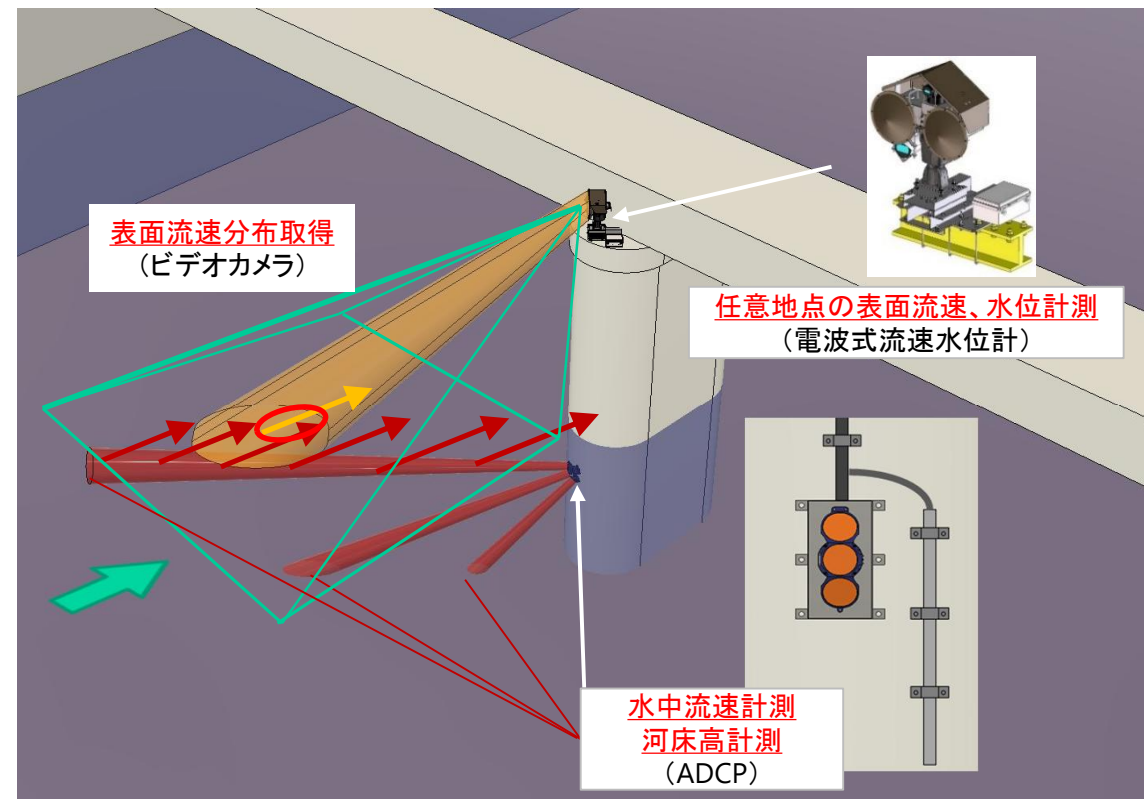
- 電波式流速水位計: 電波照射地点の表面流速および水位をリアルタイム計測。
照射地点を変更することで、任意地点の表面流速、水位を取得可能。
- ビデオカメラ: 撮影映像を画像解析にかけることにより、流速の空間分布を取得可能。

「任意地点の流速から、勾配(水面勾配またはエネルギー勾配)、河床材料を組み合わせることで、任意地点の河床高推定。」

- ADCP: 超音波照射方向の水中流速および河床高を計測し、表面流速への風の影響や、推定河床高の検証に用いることで、精度担保。

【開発中の技術】

任意地点の流速・河床高を計測(推定)できるシステムであることが特徴
(従来: あらかじめ設定した測線の流速に基づく流量を算出)

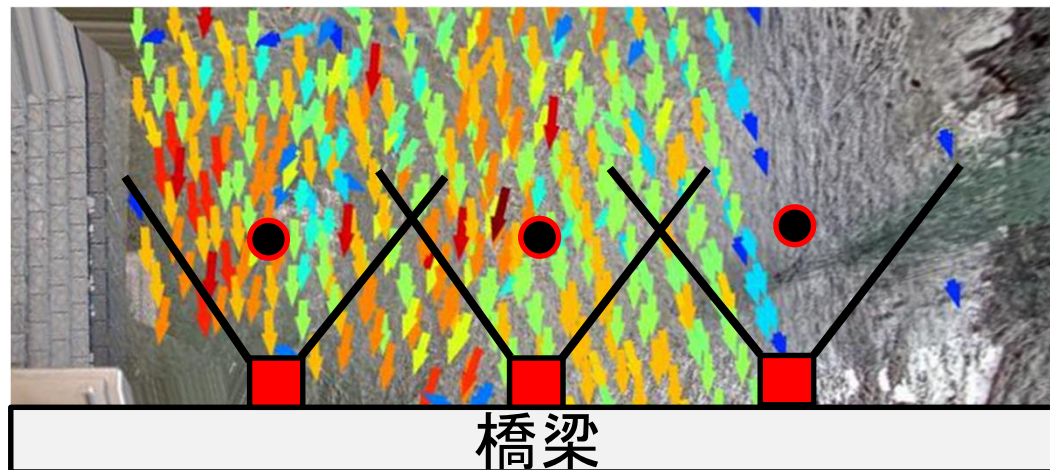


※ 赤字下線: 各構成の役割

各計測手法の特徴と位置づけ

計測手法	計測項目	無人観測	リアルタイム	当該手法固有の長所	観測システムにおける位置付け
電波式流速水位計	<ul style="list-style-type: none"> 表面流速 水位 	○	○	<ul style="list-style-type: none"> リアルタイムで、かつ解析者の解析技術によらない値を取得可能 昼夜問わず安定した品質で計測 降雨など天候の影響を受けにくい 	<ul style="list-style-type: none"> 流速、水位の観測値を流量算出に使用
ビデオカメラ(画像解析)	<ul style="list-style-type: none"> 表面流速 	○	△(解析処理高速化を検討中)	<ul style="list-style-type: none"> 表面流速の平面分布を取得可能 <p>(本研究の取組みに限定せず)河道全体の流速分布計測 →測線によらない観測、流域内の水循環把握</p>	<ul style="list-style-type: none"> 電波照射地点の判定 電波流速の欠測時のバックアップ
ADCP	<ul style="list-style-type: none"> 水中流速 河床高 	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 水中の流速、河床高を取得可能 	<ul style="list-style-type: none"> 表面流速を鉛直平均に変換する際の検証 洪水時の河床高検証

【電波式流速水位計、ビデオカメラによる面的観測のイメージ】



- 電波式流速水位計、ビデオカメラ
- 電波照射点(任意に変更可)
- ∖ / カメラの撮影画角

- ✓流速平面分布の計測が可能
- ✓測定(撮影)後に長時間の解析が必要
(幾何補正・PIV解析)
- ✓現時点では事後の検証用
(撮影は無人・非接触だが、精度は画像の質と解析の条件設定に依存。夜間・劣悪画像に弱い)
- ✓標定点不要・・・ドローンで任意箇所で測れる
(カメラの位置・撮影俯角・方角・レンズの定数が必要)
- ✓予定測線からの逸脱や橋脚後流の影響を受けない

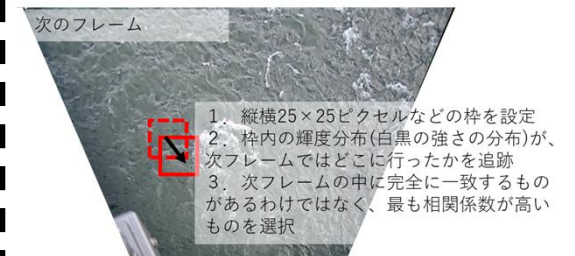
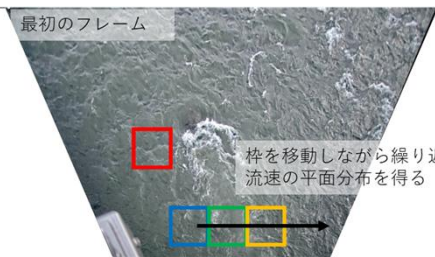
撮影画像



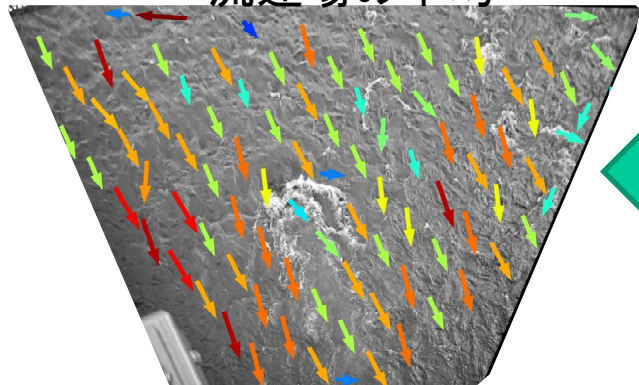
幾何変換の結果 (上から見た図に変換)



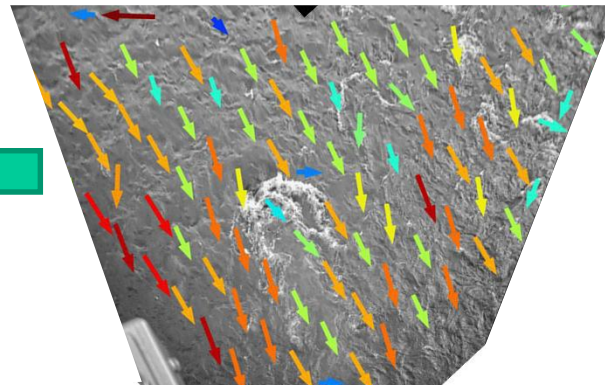
PIV手法のイメージ



流速場の平均



PIVによる流速場

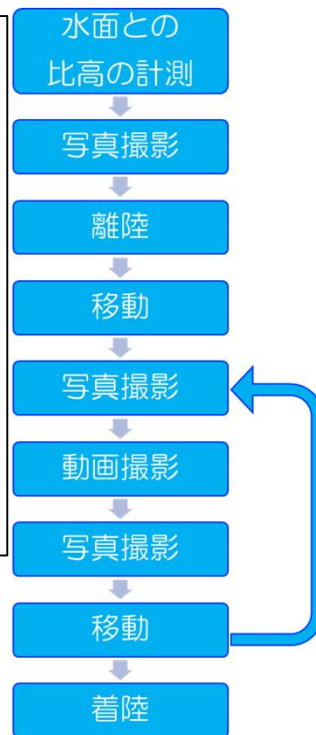


- 出水中に時期を逃さず、適切な手順で動画を撮影することが最も重要。
- PIV解析用の(通常の状況把握用・点群取得用の撮影とは異なる)動画撮影手順や解析の講習会も実施している。

UAV を用いた水文観測マニュアル (案)
(Ver.1.0)

2024年3月

国立研究開発法人 土木研究所
河道保全研究グループ 河道監視・水文チーム
一般財団法人 北海道河川財団



UAV飛行のための事前準備、飛行時の留意事項、撮影手順、解析手順を解説したマニュアル

PIV解析を行うための、具体的な撮影手順なども記載



UAVによる撮影方法実習



プログラムの解説

地整職員・受託業者向け講習会を開催している

- 撮影手順、解析手順を解説
- 参加者がそれぞれPCを持ち込み、ハンズオン形式の実習→Pythonによる環境構築から指導し、自らのPCでPIV解析できるように

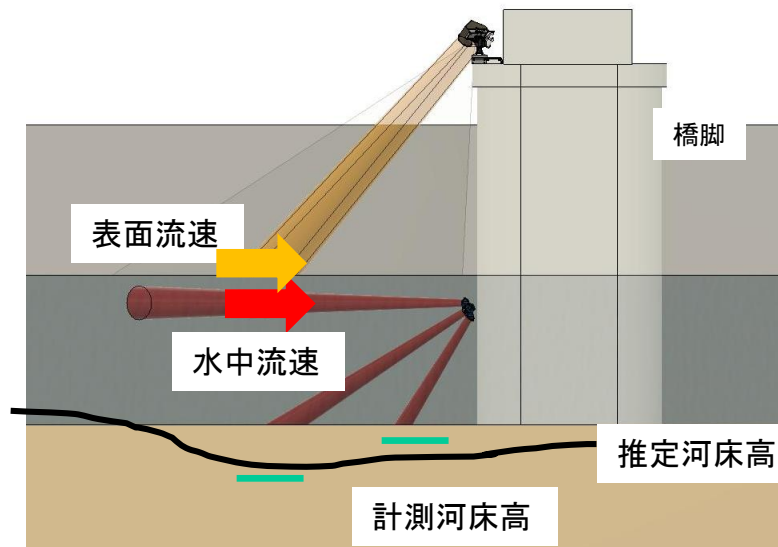
- ✓ 出水中の流速分布・河床高・濁度計測可能
(非接触型流速計の検証用として利用可)
- ✓ 測定時間が短い
(例えば、テレメータ水位の10分単位と整合可能)
- ✓ 連続的な観測(無人・自動観測)が可能
(ゲリラ豪雨等、急激な洪水の立ち上がりやピークも把握)
(観測者不足への対応、安全確実)
←現状は3人~5人程度の経験豊富な観測者が必要
- ✓ 固定式・接触式
(流路変更に弱い／ビーム方向のみ観測／破損のおそれ)
- ✓ 予定測線からの逸脱や橋脚後流の影響を受けない

電波式流速計、H-ADCP流速計の計測範囲

電波式とADCPそれぞれは何を測っているか

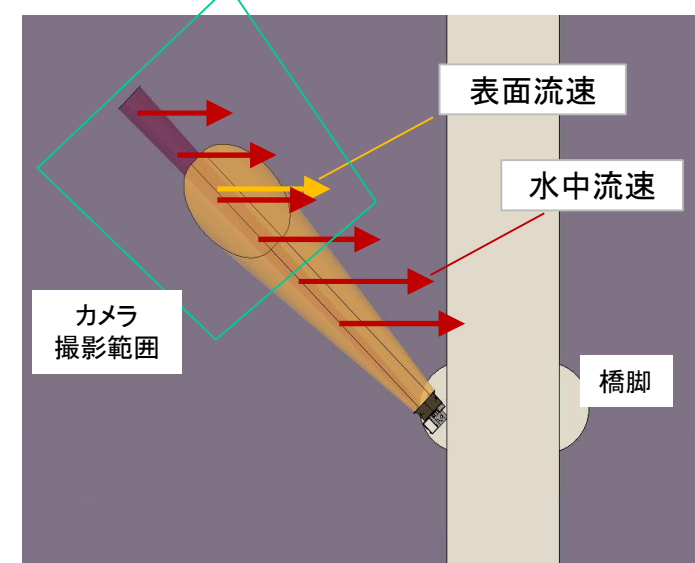
- 一部地点の河床高をADCPで計測
- 測線毎の表面流速と水中流速、一部地点の河床高から河床形状を推定

縦断面図



表面流速、水中流速、一部地点の河床高を計測
計測結果より河床形状を推定

平面図



水中流速は超音波照射方向の連続的な計測が可能
表面流速は自動または遠隔操作で水中流速と同じ地点のものを計測



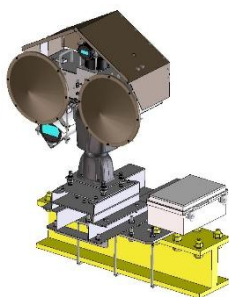
2方向にビームを照射し、

- 上側でビーム照射方向の水中流速
- 下側でビーム照射方向の水中流速+照射点の河床高を計測している。(センサーが水中に浸かった時に計測)

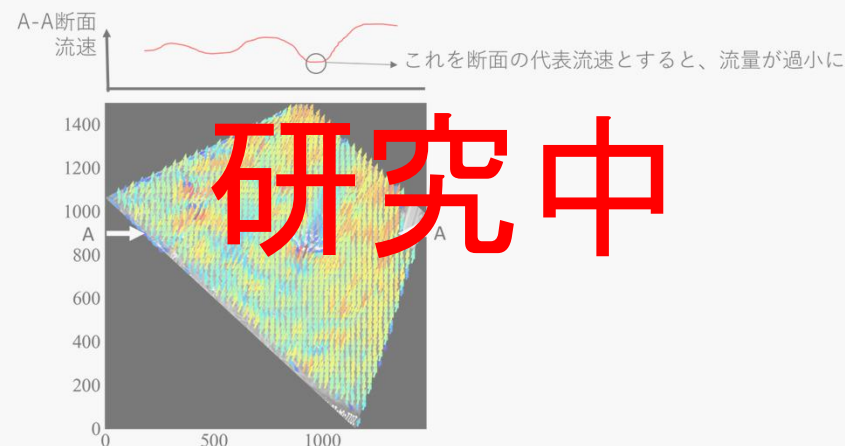
流量観測ロボットによる計測の手順



(1) 定量的な計測をリアルタイムで実施できる電波の流速・水位を活用

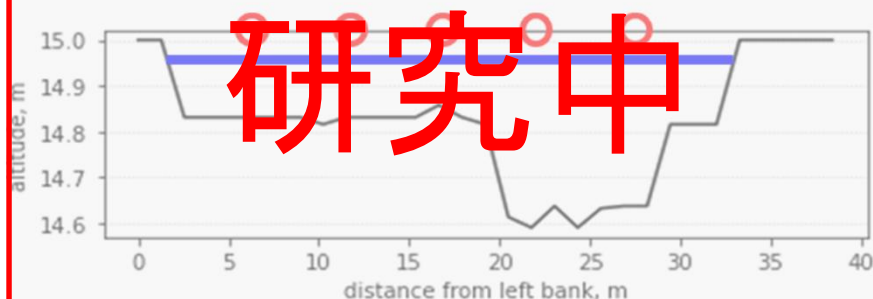


(1') 画像解析を用いて、計測点の最適箇所を判定し、必要に応じて電波の計測点を修正

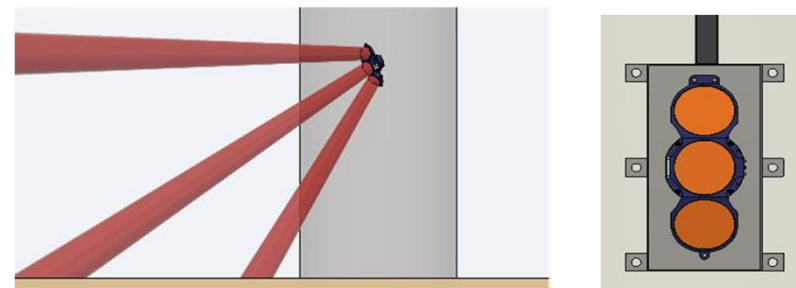


(2) 河床変動の影響が小さい地点
→ 既存の横断測量結果を使用

(2') 洪水中の河床変動が懸念される地点
→ 流速、河床材料、勾配(水面勾配またはエネルギー勾配)から河床高を推定



(3) ADCPを用いて、表面流速を鉛直平均流速に変換する際の検証、洪水中の河床高の検証



(4) 鉛直平均流速、水位、河床高の横断分布から、流量を算出

まとめ

- 非接触型による安全・確実な流量観測法が実装されつつある。
- 各観測所の計測値の信頼性確保に向け、流速平面分布・垂直分布などの同時観測と流れ構造解析を行い、最適観測手法検討マニュアルを作成予定。
- 重要観測所向けに、複数の手法を組み合わせさらに信頼性を高めた「流量観測ロボット」を開発中。