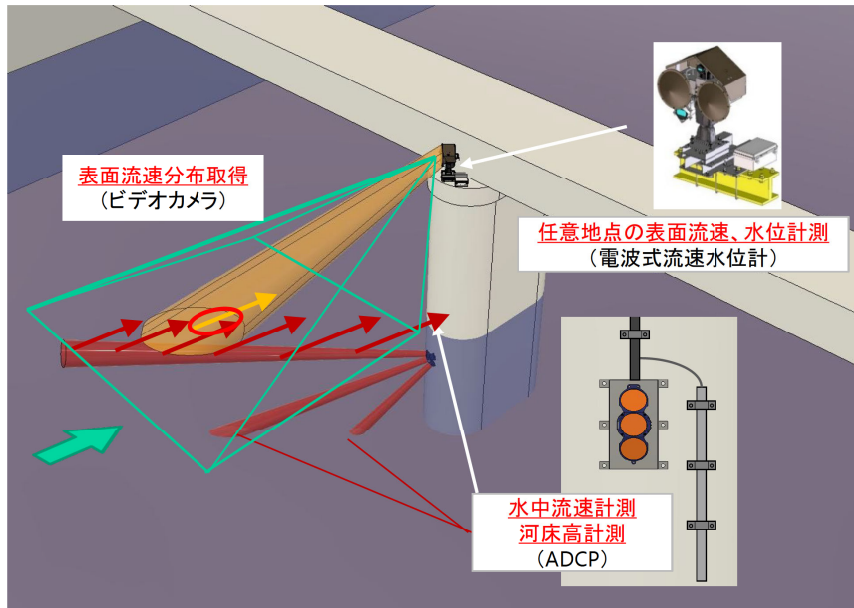


# 非接触型流速計を用いた流量観測ロボット



2023. 9.27

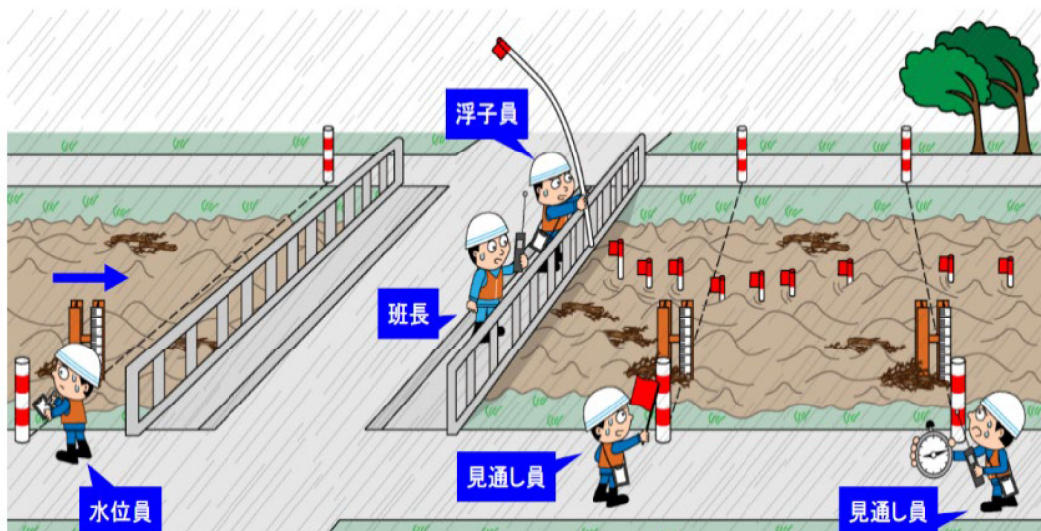
国立研究開発法人土木研究所

河道保全研究グループ

河道監視・水文チーム 山田浩次

1

## 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

2

✓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



3

## 計測値の信頼性確保



複数測線の計測時間差  
→大川川ほど顕著

4

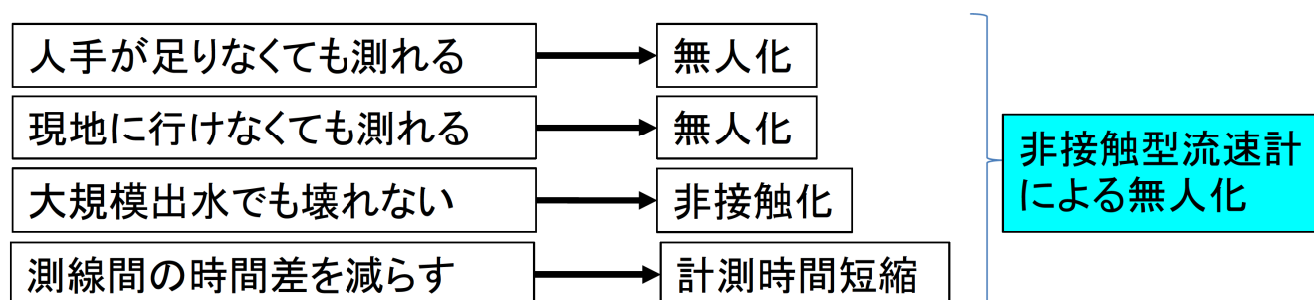
洪水時の流量観測は浮子を用いて5人1組を基本として実施されてきましたが、

- 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・局地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ます。

また浮子流観は原理上、測線間の計測時間差などが避けられません。

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ます。



## 画像処理(STIV)による流量観測の特徴

### ✓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

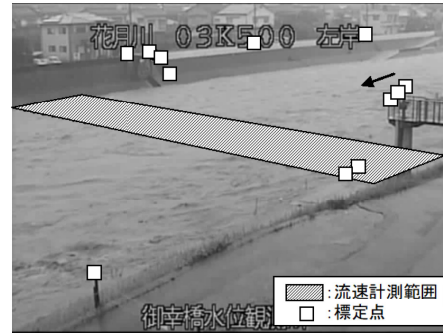
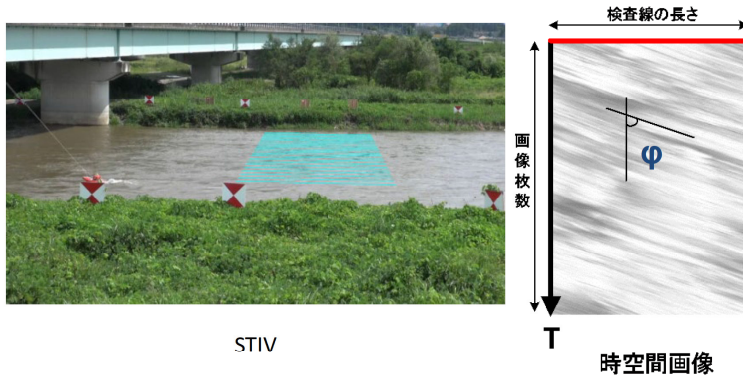
(ゲリラ豪雨等、急激な洪水の立ち上がりやピークも把握)  
(観測者不足への対応、安全確実)

←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)

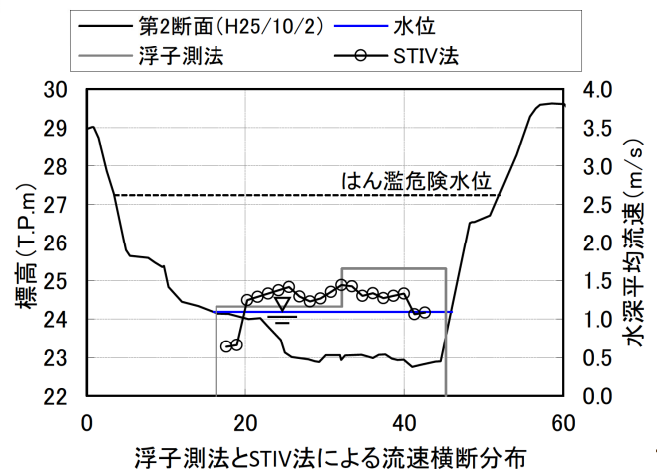
### ✓予定測線からの逸脱や橋脚後流の影響を受けない

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

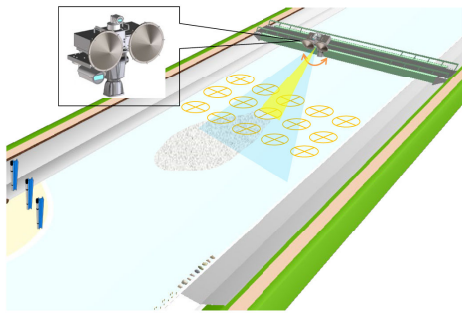
- ①評定点と共に河川水の流れの映像を取得
- ②横断面に直交に検査線を設定(上左図)
- ③1本の検査線に注目し, 横軸を検査線の長さ, 縦軸を時間として時空間画像を作成(上右図)
- ④③で作成される画像の縞模様の角度から流速を算出する。



## 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

※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

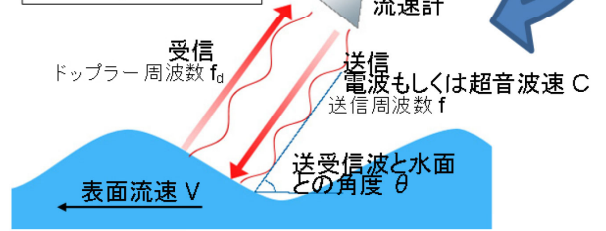


○ドップラー効果の利用  
 { 電波流速計(マイクロ波)  
 超音波流速計(超音波)

**測定方法**

ドップラータイプの測定原理

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



## 現在導入されている方式

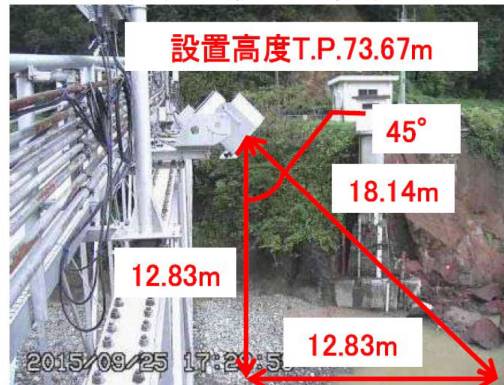
### 【電波(首振り式) + 画像(STIV)】

#### ・ 姫川山本観測所



右岸(局舎近く)から撮影

#### 水管橋に機器を設置



山本観測所零点高  
T.P.63.04m

## 流況の変化の難しさと克服すべき課題



想定していた流況と計測点

電波式の照射位置を平均流速に近い位置を自動調整する技術はまだない  
 →複数位置を計測保存し  
 後日判断



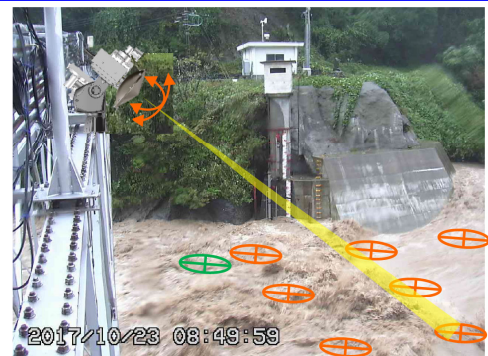
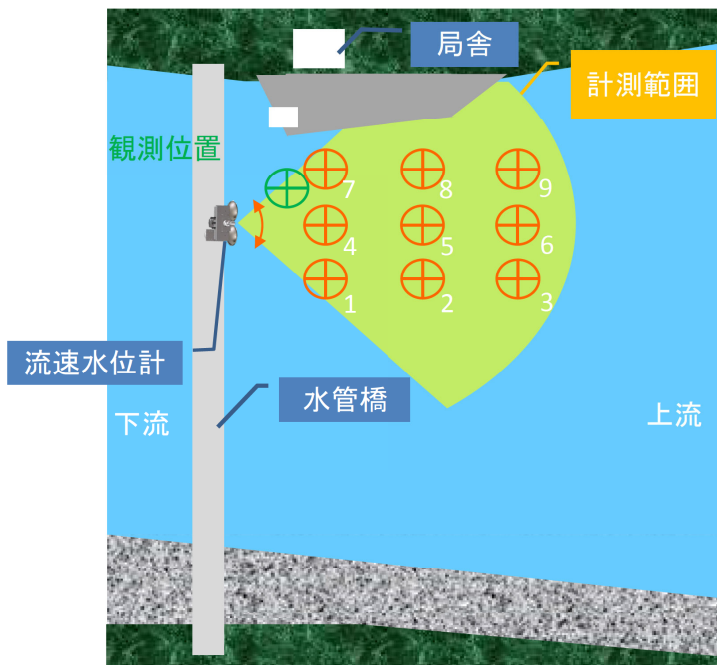
ある流量における流れ場



## 高水観測の手順

(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

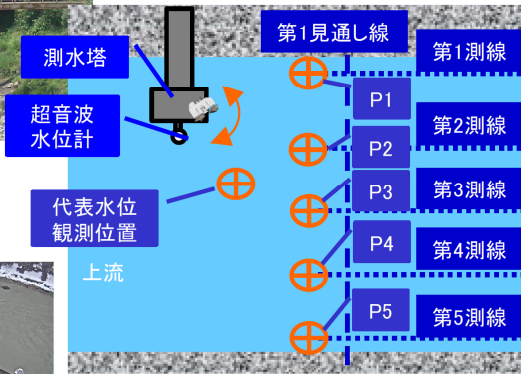
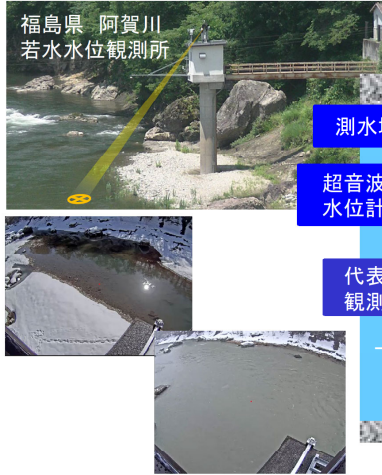


# 設置事例(阿賀川 若水水位観測所)

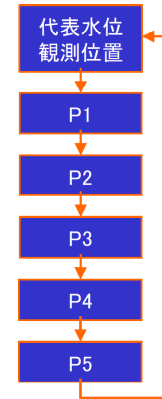


## 流量観測ロボットによる完全自動計測の一例

- 設定した値を超えると、水位観測から流量観測へ自動移行
- あらかじめ設定した測線の流速・水位を自動で計測
- 河川事務所から流速、水位、河川状況をリアルタイム監視



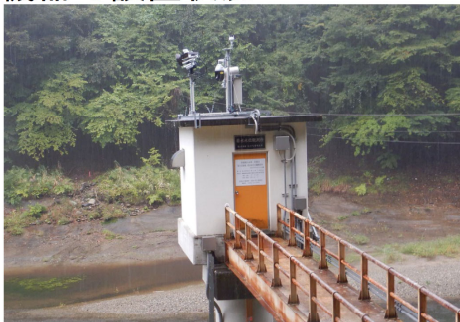
### 観測シーケンス (10分毎に巡回)



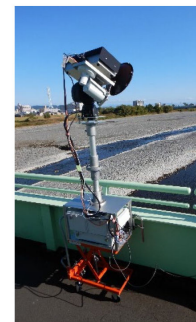
# 設置事例(阿賀川 若水水位観測所)



## 機器の設置状況



測水塔に機器を設置



持ち運び可能なポータブルタイプ

## 計測結果の表示



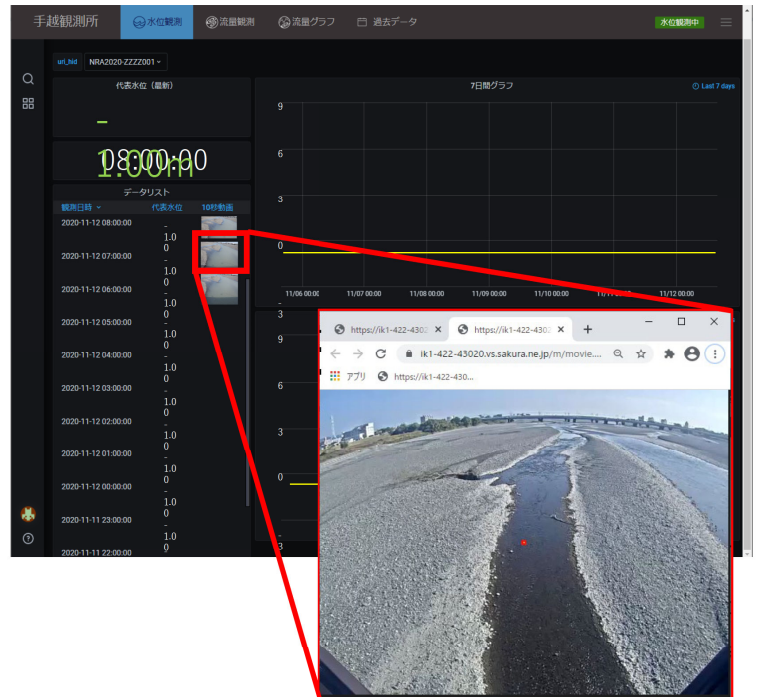
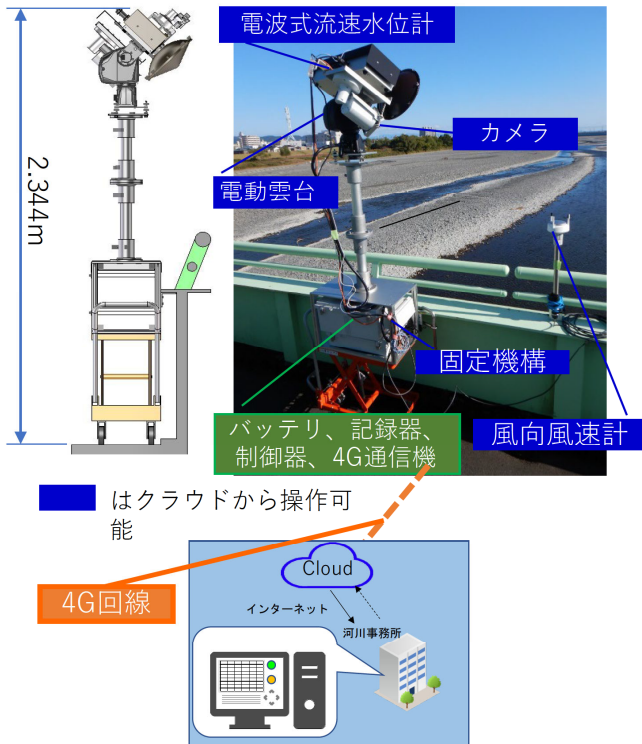
定点の流速と水位を常時計測

**流速、水位の自動観測が可能**

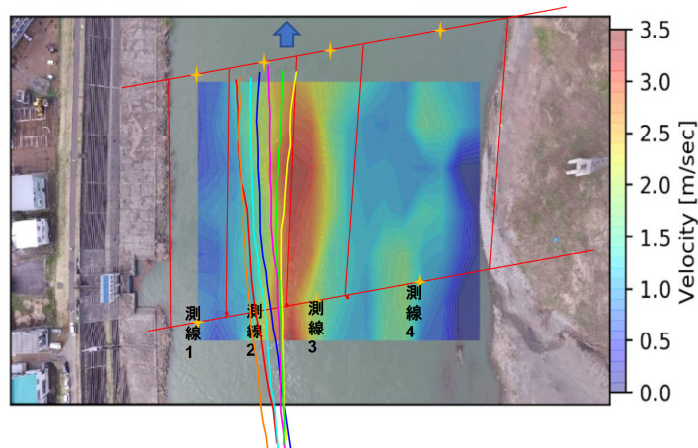
今後、幅の広い河川において最小限の機器台数で観測を行うため、悪天候下での計測可能距離、角度等の適用条件を把握

設定した水位を超えると測線毎の流速と水位を計測

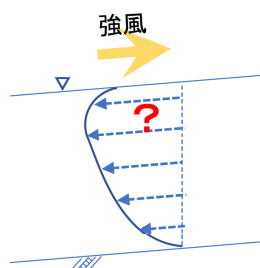
## ⑫ 移動型電波式流速水位計による災害支援（電波式流速水位計単独の活用事例）：安倍川手越における実装事例



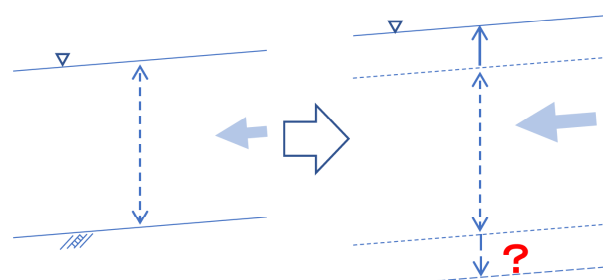
## 残された課題：計測値の信頼性確保



どこをとれば(その測線の)平均流速と言えるか？



強風時の流速分布



出水時の河床高



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

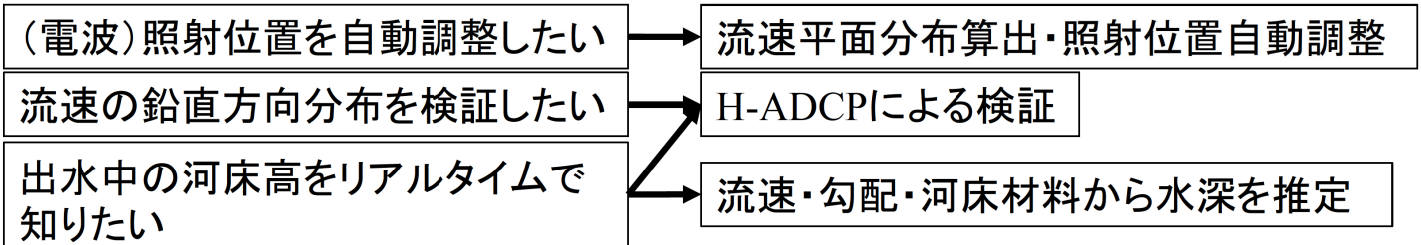
- 流れの乱れが激しい急流河川等においては、複数の照射位置の流速データから、管理者が最適な照射位置を映像を確認して判断する必要がある。

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。

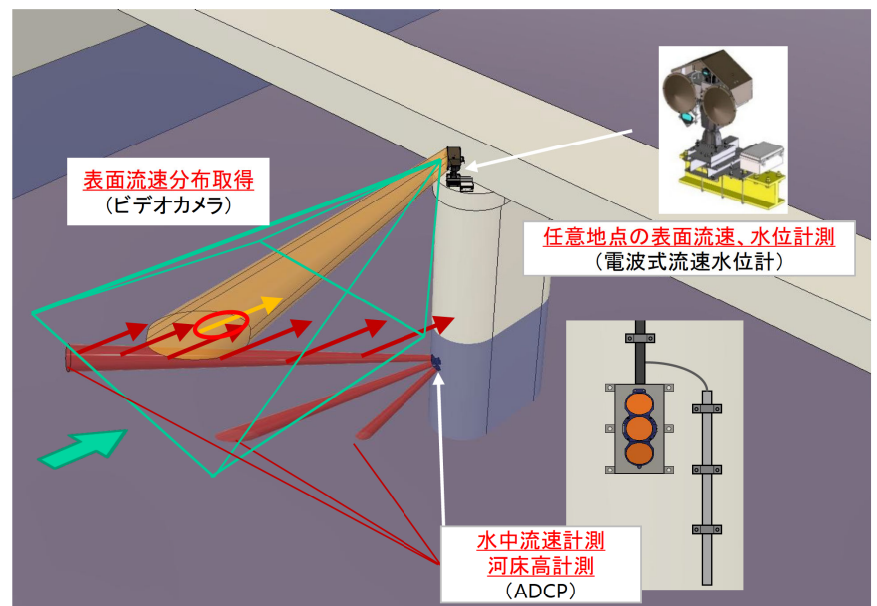
「任意地点の流速から、勾配(水面勾配またはエネルギー勾配)、河床材料を組み合わせることで、任意地点の河床高推定。」

- 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

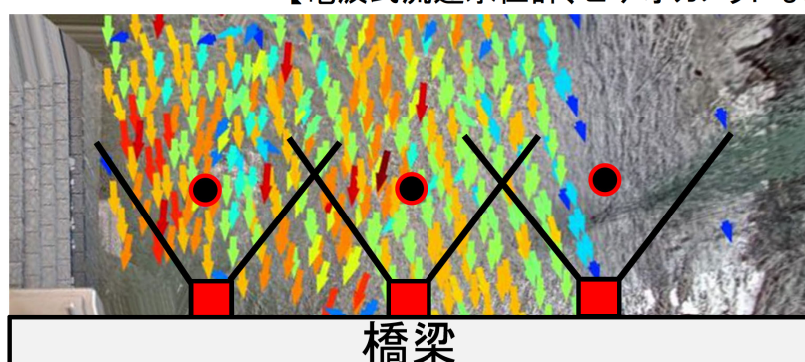
(従来: あらかじめ設定した測線の流速に基づく流量を算出)



※赤字下線: 各構成の役割

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"> <li>表面流速</li> <li>水位</li> </ul>	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>昼夜問わず安定した品質で計測</li> <li>降雨など天候の影響を受けにくい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>流速、水位の観測値を流量算出に使用</li> </ul>
ビデオカメラ(画像解析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面流速</li> </ul>	○	△(解析処理高速化を検討中)	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面流速の平面分布を取得可能</li> </ul> <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"> <li>電波照射地点の判定</li> <li>電波流速の欠測時のバックアップ</li> </ul>
ADCP	<ul style="list-style-type: none"> <li>水中流速</li> <li>河床高</li> </ul>	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>水中の流速、河床高を取得可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面流速を鉛直平均に変換する際の検証</li> <li>洪水時の河床高検証</li> </ul>

【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

## H-ADCP流速計の特徴

✓**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**

- 超音波のドップラー効果を利用して、センサー設置高さにおける流速の横断方向分布が測定する固定式・接触式の流速計測方法。
- 水中懸濁物質の反射から濁度を計測可能
- 河床の反射から河床高を計測可能

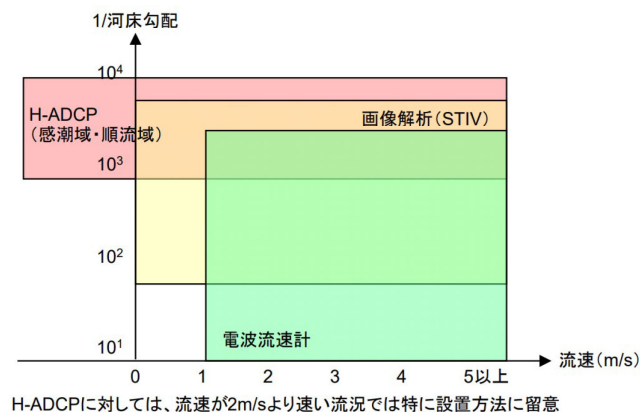
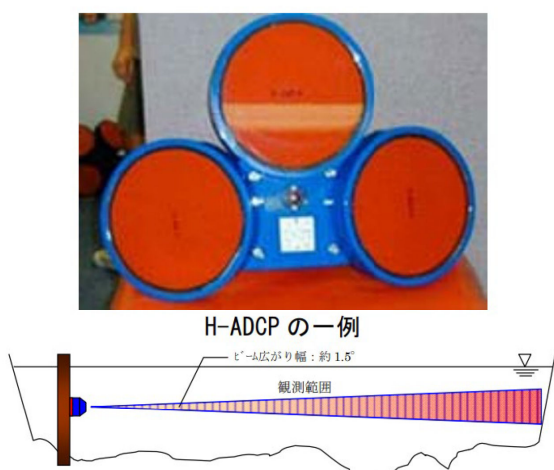


図 3-2 各固定設置型流速計の適用範囲イメージ

21

流量観測の高度化マニュアル(高水流量観測編) Ver1.2 (2016年6月 土木研究所) 21

## H-ADCP設置状況(例)



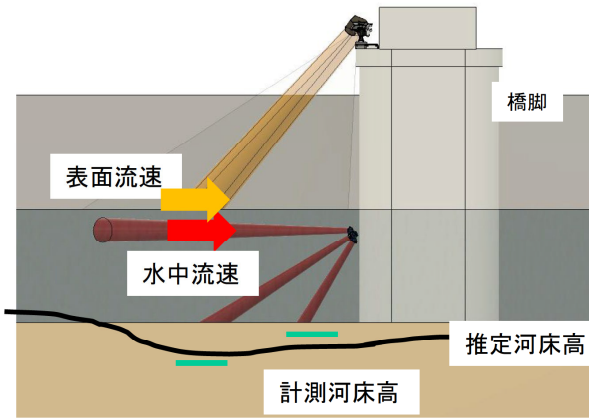
2方向にビームを照射し、

- ・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)

## 電波式とADCPそれぞれは何を測っているか

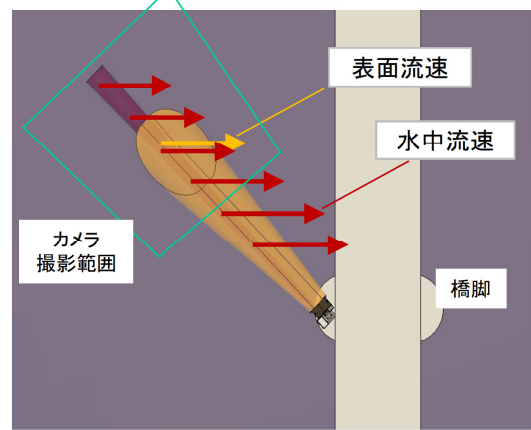
- ・一部地点の河床高をADCPで計測
- ・測線毎の表面流速と水中流速、一部地点の河床高から河床形状を推定

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

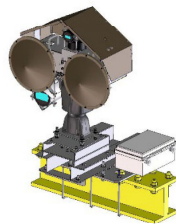


水中流速は超音波照射方向の連続的な計測が可能  
表面流速は自動または遠隔操作で水中流速と同じ地点のものを計測

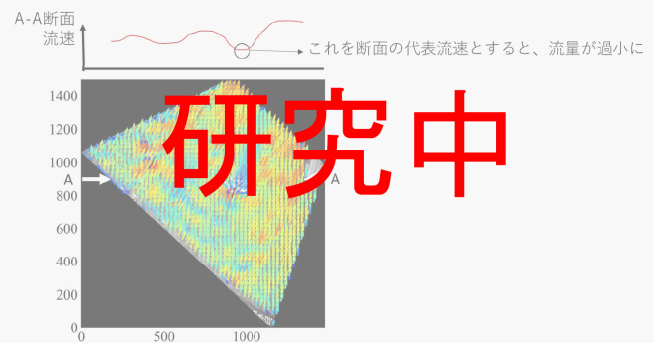
※ADCPも首振り可能にして同一横断面での計測を行うことも視野

# 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

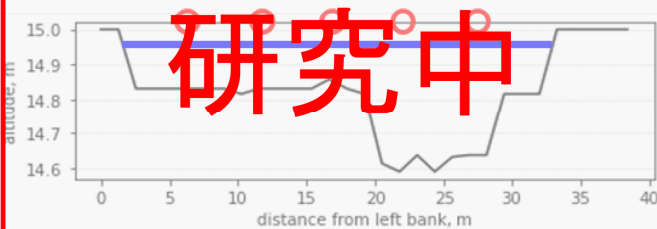


(1') 画像解析を用いて、計測点の最適箇所を判定し、必要に応じて電波の計測点を修正

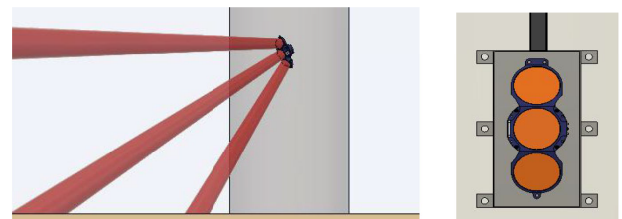


(2) 河床変動の影響が小さい地点  
→ 既存の横断測量結果を使用

(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、洪水時の河床高の検証



(4) 鉛直平均流速、水位、河床高の横断分布から、流量を算出