

第25回 河川情報取扱技術研修

測器とデータの特性及び取扱実技

水位観測・観測機器

1

2019年10月17日

水位観測 観測機器

1. 水位計の種類と設置例
2. 水位計の選定
3. 水位観測機器の維持管理【保守】

2

1. 水位計の種類と設置例

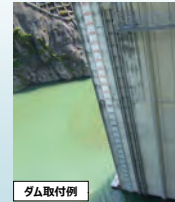
- (1) 直接計測
 - ・水位標（量水標） ...①
 - ・フロート式水位計 ...②
 - ・リードスイッチ式水位計 ...③
- (2) 間接計測
 - 1) 水圧検出方式
 - ・水晶式・光水晶式水位計 ...④
 - ・半導体式水位計 ...⑤
 - 2) 非接触検出方式
 - ・超音波式水位計 ...⑥
 - ・電波式水位計 ...⑦
 - ・レーザー式水位計 ...⑧



3

1. 水位計の種類と設置例①

水位標（量水標）設置例

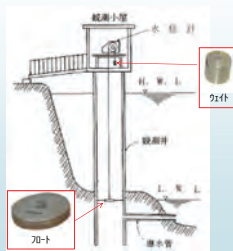


4

1. 水位計の種類と設置例②

フロート式水位計 測定原理

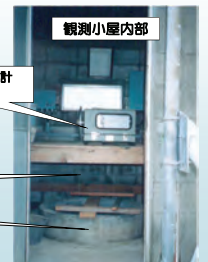
フロートを水面に浮かべ、その上下の動きをプーリの回転を介して、水位計の内部機構によって水平軸の動きあるいは角度に変えて、水位を計測する。



5

1. 水位計の種類と設置例②

フロート式水位計 設置例

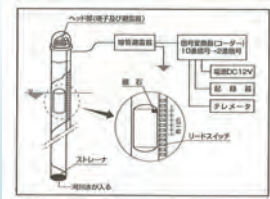


6

1. 水位計の種類と設置例③

リードスイッチ式水位計 測定原理

永久磁石を内蔵したフロートが水位の変化に応じて上下し、測定柱内に収納されているリードスイッチ(1cm間隔に置)を磁石により導通状態にする。そのONの位置を検知することで水位を測定する。



1. 水位計の種類と設置例③

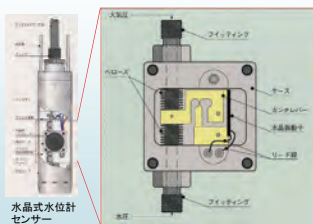
リードスイッチ式水位計 設置例



1. 水位計の種類と設置例④

水晶・光水晶式水位計 測定原理

水晶式センサーは水晶振動子に水圧(パルス)を介してを印加すると共振周波数が変化する。その周波数信号から水位に変換する。この方式のものは水圧と同時に大気圧を別のパルスで機械的または電気的に計測して差し引くので水圧変化のみの計測が可能。

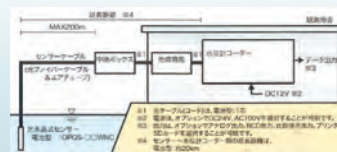


1. 水位計の種類と設置例④

水晶・光水晶式水位計 測定原理

光水晶式水位計は、水晶式センサー内部にてE/O変換し、光ファイバケーブルにて信号を伝送するもの。

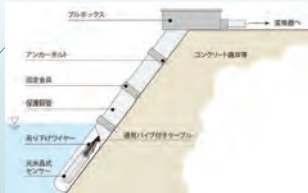
特徴：高精度、誘雷対策、長伝送距離



NETIS登録番号：KT-110022-A (光水晶式水位計)

1. 水位計の種類と設置例④

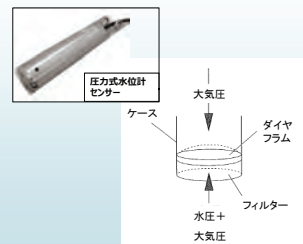
水晶・光水晶式水位計設置例



1. 水位計の種類と設置例⑤

半導体式水位計 測定原理

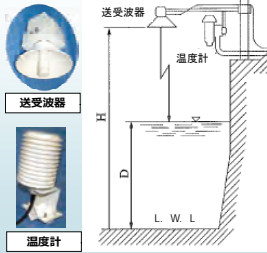
ダイアフラムに半導体ひずみゲージを形成したもので圧力による変位(ひずみ)を電気信号に変換する。ダイアフラムの材質には、非金属ではシリコン、セラミック、金属ではチタン、 Hastelloyなどが用いられる。



1. 水位計の種類と設置例③

超音波式水位計 測定原理

超音波送受器を水面の鉛直上方に取り付け、超音波が水面に反射して戻ってくるまでの時間を測定することにより、水面との距離を計測する。水面とは接触せずに測定できる特徴を持っている。



1. 水位計の種類と設置例③

超音波式水位計 設置例

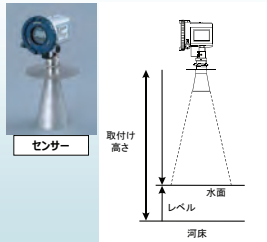


1. 水位計の種類と設置例④

電波式水位計 測定原理

マイクロ波が水面に当たって戻ってくるまでの時間を測定することにより、水面との距離を計測する。

超音波水位計と異なり、温度の影響を受けないため、温度補正の必要がない。



1. 水位計の種類と設置例④

電波式水位計 設置例

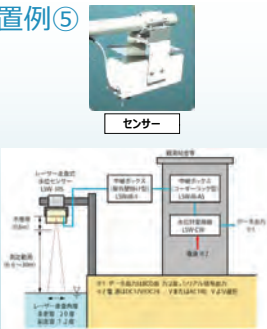


1. 水位計の種類と設置例⑤

レーザー走査式水位計 測定原理

測定面に対し赤外線レーザーを照射し距離計測する。レーザー光を走査し、多点計測して水面を面で捉える。

- 狭い照射範囲：走査角 $20^{\circ} \times 3^{\circ}$
- 広い測定範囲：30m計、精度 $\pm 1\text{cm}$
(0.5m~30m)



2. 水位計の選定

長期安定計測と精度確保のために、各種水位計の納入実績や稼働状況及び設置後の維持管理面も考慮すると共に、設置場所の状況と各種水位計の特性なども理解し、選定することが重要です。

2. 水位計の選定【留意事項】

(1) 計測精度

水位の検出方法により異なるため、必要精度に見合ったものを選定する。

例：ダムの場合には湛水面積より、貯水量に影響するため、高精度の水位計を推奨。

- ・フロート式水位計：±1cm
- ・水晶式水位計：0、01%FS（70mの測定範囲で±7mm）

(2) 耐久性

基本的に、各種水位計のセンサー部は屋外あるいは水中に設置するため、河川への設置は問題はありません。

ただし、海水や腐蝕性水質（pH値等）に設置する際は、センサーケースをチタン合金製や樹脂製にするなどの対策が必要です。

2. 水位計の選定【留意事項】

(3) 滞筋の変動

川幅が広く、河道の状況から出水ごとに滞筋が変動する河川では、変動後に水位計位置の移動（移設）が必要となる場合があります。

横断方向への移動は、非接触式（超音波式等）のように橋梁等構造物を利用して計測している場合は金具を移設することにより移動が容易である場合があります。

水圧検出方式などのように構造物に直接設置している場合は、工夫が必要です。

- 例：・横断方向に複数設置して切替える
・観測の二重化等

2. 水位計の選定【留意事項】

(4) 維持管理

定期的にセンサー周辺部の堆積土砂や流下物の除去が必要な場合があります。（流況の乱れによる水深変動/水面・水圧の追従遅れ等）

例えば、リードスイッチ式の場合には水位計周辺部（H型鋼）の清掃が必要で、フロート式の場合、定期的に導水管内の清掃や安定動作の確認が必要です。

(5) 施工性

機種別に施工方法が異なるため、現場の状況を考慮する必要があります。

水圧検知式の設置は、保護鋼管を護岸部や構造物に固定し、その中にセンサーを落とし込む方法となりますが、他の方式では、専用の構造物（観測井）や支柱（H型鋼）が必要となります。

2. 水位計の選定【留意事項】

(6) 経済性

測定範囲が大きい場合（例：ダム貯水位の計測等）

- フロート式水位計：構造物の大型化
- リードスイッチ式水位計：構成本数の複数化
- 水圧を計測する水位計：計測範囲に応じたセンサーの選定をすることで計測が可能

2. 水位計の選定【留意事項】

(7) 隔測距離

観測地点の状況によっては、センサー部と変換器の距離が長くなる場合がありますが、機種により、その距離に制限があるので注意が必要です。

また避雷対策も同時に考慮する必要があります。

例えば、超音波式水位計の場合250m程度、リードスイッチ式及び水晶式は2kmとなっています。（ただし、水圧の大気開放は200m以内）

またセンサー部と変換器間を無線方式にてデータ伝送する方式もあります。（見通し:1km程度）

2. 水位計の選定【留意事項】

(8) 二重化

河川管理上、特に洪水時等における危機管理上重要な水位観測所においては、データの欠測を極力防止するため、必要に応じて観測システムの二重化を図るものとする
（河川砂防技術基準(案)調査編第2章水位調査より抜粋）

- (1) 機種選定：異機種を原則
- (2) 設置位置：同一断面、同一地点を原則

3. 水位観測機器の維持管理【保守】

欠測（故障の原因）

内的要因と外的要因の2つに大別される。

(1) 内的要因

センサー部、制御部、電源部、記録部の電氣的または機械的な故障によるもの。

(2) 外的要因

流失、河床変動、凍結、落雷、停電等によるもの。

3. 水位観測機器の維持管理【保守】

内的要因による障害発生箇所(想定)

1) センサー部

フロートの引っかかり、あるいは内部の素子やギヤの不良

2) 制御部

内部素子の不良によるテレメータへの出力信号が欠測すること
(リレー・アナログ出力等)

3) 電源部

バッテリー（端子部腐食・充電寿命等）の不良、AC/DC電源の
寿命または、雷による電源系統の電子部品の不良

4) 記録部

紙送りや印字不良（インク切れ・紙のセットミス等）
電子ロガーでは、メモリー容量不足・交換時期遅れ・データの消失

3. 水位観測機器の維持管理【保守】

外的要因による障害発生箇所の内容(実績と想定)

1) 工事等

信号ケーブルの切断による欠測（護岸工事・道路横断部等）他の
工事による電源遮断等

2) 河床変動

洪水後の滞筋の変動による欠測・土砂の堆積（水位計観測範囲と整合性）

3) 落雷

地域差があるが、誘導雷や直撃により機器が破損し、
欠測する場合がある。他の機器からの雷の回り込み・電源の長期遮断等

4) 流失

洪水によりセンサー部または信号ケーブルが流失し、欠測する等

参考文献（資料）：財団法人 河川情報センター 発行

『国土交通省河川局 水文観測業務規程関係集』

：社団法人 全日本建設技術協会 発行 『水文観測』

：社団法人 中部建設協会 発行 『絵でみる水文観測』

第25回河川情報取扱技術研修

HSD

河川砂防技術基準に準拠した ADCP 流量観測システム

- 基礎～応用技術 -

株式会社ハイドロシステム開発
 Web : <http://www.hydro-sys.com/>
 Email : info@hydro-sys.com
 大阪本社 TEL : 06(6581)8156
 東京支店 TEL : 03(3652)8156

HSD

基礎技術

ADCPとは

米国Teledyne RD Instruments社が生み出し
 超音波ドップラー多層流速計
 (Acoustic Doppler Current Profiler)

水中に超音波を放射し、懸濁物質に当たって散乱した反射波の周波数変化(ドップラーシフト)を解析することにより、各測定層における3次元方向の流速分布を測定できる。

TELEDYNE RD INSTRUMENTS
 Everywhere you look

河川計測用ADCPラインナップ

HSD

モデル名	設定方法	特徴
ワークホースADCPリキアラッチ	設定方法: レンズ数: 4ビーム/20°	マニュアル設定 (ユーザーが任意の設定を作成) 0.2m~24m 1200kHz 国内だけでなく1000回の実験あり 測定精度が従来専用計測モード
リバーレイ ADCP	設定方法: レンズ数: 4ビーム/30° (測深)+1本/90° (測深)	オート設定 / マニュアル設定 (切替可能) 0.4m~60m 600kHz 高精度対応モデル センサー姿勢の誤差を低減するフラットなセンサー面 複雑な地形でもボトムを捉える測深専用ビーム オート設定 (水深に合わせて測定モード、層厚、層数を自動切替)
リバープロファイルADCP	設定方法: レンズ数: 4ビーム/20° (測深)+1本/90° (測深)	オート設定 / マニュアル設定 (切替可能) 0.12m~25m 1200kHz (斜ビーム) / 600kHz (直線ビーム) 斜ビーム: 4ビーム/20° (測深)+1本/90° (測深) 複雑な地形でもボトムを捉える測深専用ビーム オート設定 (水深に合わせて測定モード、層厚、層数を自動切替) HSDリアルタイムソフトウェア

流量観測システムの構成

HSD

河川砂防技術基準 (調査編)
 第2章 水理・水文観測, 第4節 流量観測

4.7 舟に搭載したADCP (超音波ドップラー流向流速計) による流速計測法

(2) 使用する計測機器等
 計測機器等は、下記のものを用いることとする。

- 1) ADCP
- 2) 高精度位置測定装置 (RTK (Real Time Kinematic)-GPS)
- 3) ADCPを搭載する舟
- 4) 遠隔操作装置 (無人船の場合)
- 5) 橋上から舟を安全に保管操作するための装置 (免航観測の場合)

(1) 観測時の状況に応じて下記の機能を有する計測機器を使用又は併用することが望ましい。

- 1) 任意位置 (高精度) での観測や河床の凹凸が既知の場合
- 2) VTG (進行方向対地移動速度) 情報を取得できる (RTK-GPS) の使用、又は、トータルステーション
- 3) 磁場の影響を受けにくい外部コンパス (GPSコンパス) (観測断面周辺の磁場変動等による磁場の変化を受けて真向速度ベクトルの算出に影響が及ぶ場合)

2) 測点時の計測に使用する舟は高速運速に対応できるトヨタワゴン (三脚型) の機上操作を用いることが望ましい。

ADCP流量観測システム『EZ-Boat』

HSD

弊社の取扱い機器は、上記記述に全て準拠しています。

モバイルルーター電波圏内なら
 日本中どこからでもオペレーション、サポート可能

- 1) ADCP (RoverPro)
- 2) 高精度位置測定装置 (RTK-GNSSコンパス)
- 3) 遠隔操作装置
- 4) 電動駆動機上操作艇 (High Speed Riverboat)
 最大対応流速: 0~5.0m/s
 最大使用水深: 0~5.0m
 寸法: 1150mm×6120mm×1150mm
 重量: 13.0kg
- 5) 移動式観測台車

※ 流量観測装置はADCPの9beamで代用
 ※ GPSコンパスはRTKGPSと一併使用を推奨

ADCP搭載艇オプション



低水時用橋上操作艇
RiverBoat



最大対応流速：～4.6m/s
推奨使用流速：～3.0m/s
寸法：L119cm×W81cm×H18cm
重量：7kg

多目的R/Cボート
Qboat1800



最大対応流速：～3.5m/s
推奨使用流速：～2.0m/s
最高速度：5.0m/s
寸法：L180cm×W90cm×H25cm
重量：30kg

小型R/Cボート
Qboat1350



最大対応流速：～1.5m/s
推奨使用流速：～1.0m/s
最高速度：2.3m/s
寸法：L127cm×W94cm×H32cm
重量：18kg

© 2019 Hydro Systems Development, Inc.

観測体制(観測状況)



観測体制(観測状況)

観測体制業務規定の野帳に整理。

5名1班が標準の観測体制となります。

オペレーター 1名 橋上ボート操作員(メイン) 1名
 橋上ボート操作員(サブ) 1名 橋上ボート捜査員(ロープ調整) 1名
 安全管理者 1名

※夜間観測は安全管理者1名の追加が推奨されます。

安全管理者

橋上ボート操作員(メイン)

橋上ボート操作員(サブ)

オペレーター


橋上ボート操作員(ロープ調整)

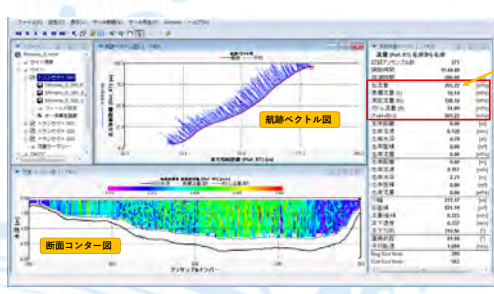




© 2019 Hydro Systems Development, Inc.

流量観測ソフトウェア『WinRiver II』







航跡ベクトル図

断面コンター図

リアルタイムで流量が算出

- 観測データはバイナリ形式で記録。
- GPSデータ、GPSコンパスデータ、外部観測データなどはバイナリ形式で記録される。
- 観測対象とする河川には、左右岸補正、水面下補正、ボトム補正を行う。
- 観測船が航行している間、リアルタイムで断面コンター図に進行する流速成分で流量計算するため、流況観測は容易。


© 2019 Hydro Systems Development, Inc.

応用技術

© 2019 Hydro Systems Development, Inc.

1. 流量・浮遊砂流量・掃流砂量



後処理ソフトウェア「VA t 4.0」リリース開始!

- ◆ 描画・出力結果を見ながら設定変更
- ◆ 流量・浮遊砂流量・掃流砂量が一括で算出



- 操作性が大幅に向上!
- 描画結果を見ながら操作!
- 簡単に流量算出!
- 不感帯の補完アルゴリズム改良
- 流量計算ログファイルを自動作成
- 左右岸自動反転機能付き
- 不要データのカット機能付き
- 河岸際までの補完距離を自動読取
- 出力したコンター図やベクトル図をExcel7ワークシートへ簡単出力!
- GoogleEarth用kmlファイルの出力
- GoogleMap上に航跡ベクトル図の描画
- 断面コンター図の出力

などなど、嬉しい機能が満載です。

© 2019 Hydro Systems Development, Inc.

2019年度文部科学大臣省受賞



「ADCPを用いた河川の流量と土砂同時観測手法の開発」が科学技術賞を受賞しました。

海洋の観測技術として開発された超音波多層流向流速 (ADCP) を用いた河川の流速や流砂を観測する手法を研究。少人数で高精度な流量観測が可能になったほか、非接触型流速計を活用できる場面が飛躍的に拡大し、流量観測の連続化・無人化の可能性が開かれた。

建設省 国土院 一部関係



今後、VA t 4.0 を使用して流量だけでなく、土砂動態のモニタリングにもADCPをご活用ください。

(一財)河川情報センター (株)ハイテロシステム開発 (株)土木研究所
 代表者 横田 隆史

© 2019 Hydro Systems Development, Inc.

VAt4.0のご紹介(出力項目)

断面コンタ図
断面ベクトル図
航跡ベクトル図
断面ベクトル図

kmlファイルの出力
GoogleEarthで表示

VAt4.0のご紹介(出力項目)

ADCPを用いた洪水観測技術の進展により、
対象は「流量」だけでなく、「流量+浮遊砂流量+掃流砂量」に。

流量 = 断面流速分布

浮遊砂流量 = 断面流速分布 × SS濃度分布
SS濃度分布: ABT解析から算出

掃流砂量 = 流速速度 (Bedload Velocity) × 江頭式
土木研究所論文で発表されている計算式

土砂も観測データのひとつ

流量算出方法

VAtでバイナリデータを読み込めば、
ポチッとすることで
流量が算出されます。

ノイズ除去や補完など、詳細に流量算出を行う場合でも、
1から14までの項目に従って設定していくだけで簡単に算出できます

1. 流速リファレンス
2. 航跡ソース
3. リファレンス計算用コンパスソース
4. センサー吃水深
5. ノイズフィルター設定
6. 航跡直線化
7. 流下軸成分
8. 横断距離平均
9. ボトム計算方法
10. サイドローカット
11. 負値カット
12. 欠測データ補完 (奥測エリア、河床)
13. 水面・ボトム不感帯エリアの補完
14. 左右岸未計測エリアの補完

VAt4.0流量算出方法

1. 流速リファレンス
流速を計算するためのリファレンス (対地流速を求めるために使用する移動速度(船速)) を選択します。
ボトムトラック 外部GNSS 内蔵GNSS※
※RPZなど、内蔵GNSSを保有しているADCPのみ
2. 航跡ソース
横断距離に使用する航跡ソースを選択します。
ボトムトラック 外部GNSS 内蔵GNSS※
3. リファレンス用コンパスソース
流速・航跡用のコンパスソース、
偏角補正値を設定します。
内部磁気コンパス 外部GNSSコンパス

VAt4.0流量算出方法

4. センサー吃水深
水面からトランスデューサー面までの距離を入力します。
5. ノイズフィルター
データ品質パラメータでノイズカット
%Good
コリレーション
誤差流速
最大流速
従来よりも柔軟なフィルター設定ができるようになりました。

VAt4.0流量算出方法

6. 航跡直線化
航跡を横断測線に沿って投影補正し、
航走距離と水面幅が一致するようにします。

航走した断面積×流下軸成分で計算すると
流量が過大に算出される

この様な場合は

1. 航跡直線化を行う
2. 航跡直交成分を使う

94.3m
流量: 238.9m³/s
航跡距離差 10.9m
83.4m
流量: 213.8m³/s

VAt4.0流量算出方法

7. 流下軸成分

断面流量を算出するために、流下軸成分流速を抽出します。

① 航跡直交成分 (アンサンプル毎)

WinRiverIIはこの方法で流量算出しています。

航跡直交成分 (cosθ成分)

航跡直交成分 (cosθ成分)

航跡直交成分 (cosθ成分)

Y = Xcosθ

X: 実際の流れ
Y: 航跡直交成分
θ: 航跡直交成分と実際の流れ方向の偏角

② 航跡直線化×横断方向と直交

横断方向と直交 (始終点に直交)

横断方向測線に投影

実際の航跡

航跡断面と実際の水面幅を一致させる事ができるため、浮子など他手法の観測結果との比較がしやすくなります。

VAt4.0流量算出方法

8. 横断距離平均

観測横断距離を平均し、データ密度を一定にします。

距離平均なし

距離平均1m

VAt4.0流量算出方法

9. ボトム計算方法

河床 (断面) 形状を、4ビーム平均、2ビーム平均、5Beamから選択します。

水深

傾斜補正も行なえます。

ピッチ軸

ロール軸

ヨー軸

4ビーム平均: Beam1~Beam4の平均
2ビーム平均: Beam1~Beam4の最大と最小を除く2ビームの平均
5Beam: 鉛直5thBeam (※ADCPの機種による)

VAt4.0流量算出方法

10. サイドロープカット

河床付近のサイドロープによる干渉エリアを指定し、ノイズをカットします。

WinRiverIIでは、サイドロープは一律20%でカットしています。

ADCPビーム角度

θ = 20degの場合
干渉域 = H(1 - cosθ) = H × 0.06 水深の6%が干渉域

θ = 30degの場合
干渉域 = H(1 - cosθ) = H × 0.13 水深の13%が干渉域

さらに、上記の物理的に発生する不感帯に加えて、

- ADCP自体の傾き
- 河床の凸凹

によって、不感帯となるサイドロープ干渉エリアが大きくなります。サイドロープ以下カットエリアは、6%~20%の間でユーザーがデータを確認しながら指定することが望ましいです。

VAt4.0流量算出方法

11. 負値カット

マイナス流速をカットします。

12. 欠測データの補完

① 実測範囲内挿補完

ADCP実測範囲のデータ欠測部 (ノイズ除去を含む) を内挿補完します。

② 河床欠測補完

ボトム欠測データを内挿補完します。

VAt4.0流量算出方法

13. 水面・ボトムの未計測エリアの補完

水面の未計測エリア: 水面から1層目上層まで
ボトムの未計測エリア: 河床ラインからサイドロープラインを含む層の下層まで

① 水面補完

- Constant
- 3-Pt Slope
- Log-Law
- 2次曲線
- 2次曲線 (河床ゼロ)
- 2次曲線 (移動床)

② ボトム補完

- Constant
- No Slip
- Log-Law
- 2次曲線
- 2次曲線 (河床ゼロ)
- 2次曲線 (移動床)

観測時の気象状況・流速状況に応じて補完方法を選択します。

水面補完エリア: 3-Pt Slope
ボトム補完エリア: No Slip

VAt4.0流量算出方法

13.水面・ボトムの未計測エリアの補完

実際に河床移動が生じている場合
流砂速度が生じているのに、
河床下層流速は0m/sと仮定して
よいのか？

河床下層流速には、
流砂速度 (Bedload velocity) を
用いて鉛直プロファイルを表示し
補完する

2次曲線：
変位の式(2次曲線)をベースに数式を
実装して求めた鉛直流速プロファイル
から表面・底層の流速値を補完する方法

VAt4.0流量算出方法

14.左右岸の未計測エリアの補完

補完距離、補完形状(三角・矩形・二次曲線)、
実測流速を何アンサンブル数使うかを指定します。

左岸補完 右岸補完

二次曲線

SS 100 11 (w)

流速は0m/s
ユーザーが指定した実測流速を使い、
二次補完で補完

三角 矩形

VAt4.0流量算出

以上の設定項目が完了すると、自動的に流量が出力されます。

また、流量算出と同時に、流量算出と同じ設定条件の
★断面コンタ図
★メッシュデータを
出力することができます。

※補完エリアの流速補完はVAt4.0から追加されました。

11 断面番号	487421_203	41 断面幅	103.11
12 断面形状	20100470~2010	42 断面形状	401.19
13 断面時期	052111	43 断面基準	140.02
14 断面時期	052830	44 断面基準	200.0
15 断面時期	06090000~7000	45 断面基準	100.0
16 断面時期	06090000~7000	46 断面基準	100.0
17 断面時期	06090000~7000	47 断面基準	100.0
18 断面時期	06090000~7000	48 断面基準	100.0
19 断面時期	06090000~7000	49 断面基準	100.0
20 断面時期	06090000~7000	50 断面基準	100.0
21 断面時期	06090000~7000	51 断面基準	100.0
22 断面時期	06090000~7000	52 断面基準	100.0
23 断面時期	06090000~7000	53 断面基準	100.0
24 断面時期	06090000~7000	54 断面基準	100.0
25 断面時期	06090000~7000	55 断面基準	100.0
26 断面時期	06090000~7000	56 断面基準	100.0
27 断面時期	06090000~7000	57 断面基準	100.0
28 断面時期	06090000~7000	58 断面基準	100.0
29 断面時期	06090000~7000	59 断面基準	100.0
30 断面時期	06090000~7000	60 断面基準	100.0

さらに、
浮遊砂量、掃流砂量も
同時出力できます。

※詳細は次頁

※断面は計算時に
CSV形式で出力します。
VAt4.0からExcelで開いて
すぐ確認できます。

流砂速度の計測と解析

ADCP ボトムトラック機能とRTK-GNSSにより流砂速度が計測出来ます

BT航跡は実際の航跡より
上流側へずれる

GNSS航跡
(正確な航跡)

ADCP
ボトムトラックping

GNSSは正しい航跡を
記録します

流砂速度

BTとGNSSの差分

<河床が滑る、いわゆる流砂速度が生じた場合>
緯度経度で自機の位置を計測しているGNSSでは
正しい位置が計測できるが、
河床から反射するエコーのドプラー効果を用いて
自機の対地速度を計測するボトムトラックでは
流砂速度分だけ逆側へ移動したように誤認する。
この差分を利用して流砂速度を求める。

<移動速度時>
ボトムトラック機能により - RTK-GNSSの移動速度 = 流砂速度
計測される移動速度 (ボートの移動速度+河床移動速度) (ボートの移動速度) (河床移動速度)

掃流砂量の解析

流砂速度から掃流砂量を算出します。

流砂速度の横断分布

Egashira et al. (1997)

$$q_b = \int_0^{h_s} c \cdot u \cdot dz \approx \bar{u}_s \cdot h_s \cdot c_s$$

$$\frac{h_s}{d} = \frac{1}{c_s} K_1 \tau_{*c}$$

$$K_1 = \frac{1}{\cos \theta \cdot \{\tan \theta / (1 + \alpha) - \tan \theta\}}$$

$$\bar{u}_s = \frac{4}{15} \frac{K_1 K_2}{\sqrt{f_d + f_j}} \tau_{*c}$$

$$K_2 = \frac{1}{c_s} \left[1 - \frac{h_s}{h} \right]^{1/2}$$

$$f_d = k_s (1 - c_s^2) \sigma / \rho k_s^{1/4}$$

$$f_j = k_j (1 - c_s)^{1/2} c_s^{-2.5}$$

vertical averaged sediment concentration c_s

vertical averaged velocity of sediment $V_s = V_s \cdot 0.65$

sediment layer thickness h_s

Flow

RTK-GPS

ADCP

流砂速度 V_s

掃流砂量 q_b

最大の利点: Largest advantage of ADCP measurement

$u_s = \alpha \cdot u_b$ u_b by ADCP計測

浮遊砂濃度+浮遊砂流量の解析

ADCPから発せられた超音波によって測定できる
反射強度を利用して濁度分布を計測する。

反射強度

補正 (伝播損失等)

後方散乱強度

高い相関性

濁度 or 浮遊砂濃度

濁り

超音波

反射強度

散乱強度

断面積分により
浮遊砂流量を算出

ABT分布

SS濃度分布

濁度とSS濃度の関係式
SS濃度=f(ABT)

断面流速分布

SS濃度分布

浮遊砂量分布

超音波によって算出された濁度=ABT(超音波濁度)

2. 広範囲流況・河床形状調査

• 航行して計測することにより広範囲の流況トレンドマップを作成。
 • ボトムトラック機能で計測した水深値をベースに等高線図や3D河床データを作成。

流速・流向

河床形状

3. 流況・河床波同時計測

• マルチビームソナーとADCPを組み合わせた計測システムを構築し、千代田実験水路において、準実スケールでの洪水観測を実施した。
 • 流況とDune（砂丘）の挙動との関係について検証した。

3. 流況・河床波同時計測

水位と流速は良い相関

断面最大流速 3.6m/s

断面平均流速 2.7m/s

上段：ADCP流速縦断分布
下段：7MHz-LD測量結果

Observation period 08:08~12:06

3. 流況・河床波同時計測

河床波の形状特性（Yalinの曲線）

① Yalin式より、水深と水面勾配を測定することで河床波のH/Lが算定できる可能性が確認できた。
 ② 水面波形を計測することで、河床波の波長Lと移動速度が推定できることが確認できた。
 ③ 水面情報から河床波の波長Lが推定できるため、Yalin式から河床波のHが推定できる可能性がある。
 ④ 水面情報（水面波形と水位勾配）を用いて、河床波の波長L、波高H、移動速度から掃流流量を推定できる可能性が示唆された。

4. ADCP流量観測の不確実性検討

不確実性 ≠ 誤差

誤差：測定や理論的推定などで得られた近似値（測定値）と真の値（と考えられるもの）との差。

結局、真値（期待値）が分からなければ、誤差は算出できない。
流量観測において、果たして真値（期待値）が得られるか？→NO

ISOでは、観測結果の不確実性（Uncertainty）を併記することが求められている。

$Q = \text{計測された流量値} \pm u(Q)$
 Q : 流量
 $u(Q)$: 流量値の不確実性

不確実性：偶発的に生じる、原因を特定できない偏差量。
ある観測手法と計算方法において、複数の誤差要因が合成されることによる確率統計的なエラーの幅。

株式会社ハイドロシステム開発では、Uncertaintyを算出するソフトウェアを開発中です。

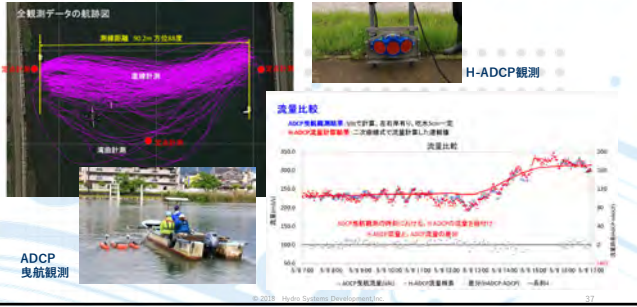
4. ADCP流量観測の不確実性検討

使用機器	観測方法	観測仕様
① LH-ADCP	1分ピッチ、横断流速分布	1755データ (5/8 11:58~5/9 17:17)
② WH-ADCP RioGrande	1分半~2分ピッチ 曳船観測 RTK-GNSS-コンパス使用	209観測 (5/9 07:15~5/9 16:57) 曳船曳船観測 18回 曳船曳船計との定点観測 3地点 有効データ N=177観
③ 水位 RT100 ボート喫水深 RT100	水位：1分ピッチ 喫水深：1秒ピッチ	H-ADCP各員に固定（水位計測） ADCP曳船船に固定（喫水深計測） 大型圧計は既設構造物に固定
④ UAV	航空写真測量	100m × 500mの範囲
⑤ マルチビーム MB2	3次元河床地形測量	100m × 500mの範囲

①事前測量：マルチビームMB2による測深（河床高測量）
 ②H-ADCP観測：固定観測（流量値算出）
 ③ADCP曳船観測：曳船観測（流量値算出） 1日で200横断計測
 ④UAV調査：航空写真測量（流速値算出）

観測期間：2018年5月9日 1日 閉

4. ADCP流量観測の不確実性検討



第25回 河川情報取扱技術研修

電波流速計

2019年10月17日



電波流速計とは

YOKOGAWA

電波流速計とは、主に河川の洪水の流量を流速断面積法により観測するときに、電波(マイクロ波)のドップラー効果を利用して、非接触で河川の表面流速を計測するものです。

具体的には、橋桁等に設置したセンサから水面に対してマイクロ波をある俯角をもって発射し、その反射波の周波数変化から表面流速を測定するものです。



固定式



可搬式

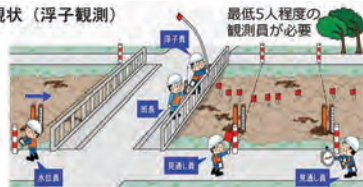
高水流量観測

YOKOGAWA

高水流量観測は、観測員が浮子(ふし)という浮きを橋梁等から流し、一定区間を流下する時間を計る方法で行われています。

この手法は、洪水時の激しい流れであっても観測を行うことが可能で簡便で分かり易い手法ですが、近年の局地的な豪雨による急激な状況の変化に観測体制が間に合わなかったり、観測員の安全確保のために避難を命じ観測を中止したり、人的な負荷が高いため、対処できないケースが増えてきています。

■現状(浮子観測)



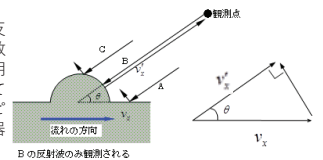
最低5人程度の観測員が必要

出典:国土交通省

計測原理

YOKOGAWA

この計測法は、移動物体に発信体の振動数が反射した時に、移動物体の速度に応じて反射振動数が変化する原理(ドップラー効果の原理)を利用した計測法であり、現在様々な分野で利用されている。具体的には、スポーツの分野におけるスピードガンや道路交通取り締り用の車輦速度計測器等が、この原理を用いたものである。



ドップラー効果とは、1842年にドップラーにより発見された移動する波源の振動数変化である。波源と観測者が相対運動をしているとき、波源から送られて来た波の振動数は、両者が近づきつつあるときは、波源の振動数より大きく観測され、両者が遠ざかりつつあるときは、小さく観測される現象を言う。

波の照射方向と物体の移動方向が角度 θ の関係にある場合、物体の速度 v_x と計測される見かけの速度 v'_x の間には上図の右側に示すようにベクトルが分離されるので下式の関係が成立する。

$$v'_x = v_x \cos \theta$$

流れの速度を知るためには計測した速度に対して角度補正を行う必要がある。ドップラー効果を利用する計測法ではこの角度補正が必要となる。

固定式設置例

YOKOGAWA



可搬式設置例

YOKOGAWA



概略仕様

YOKOGAWA

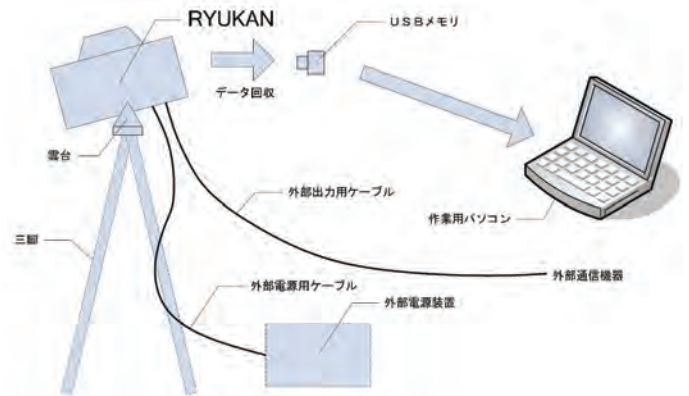
タイプ	固定型	可搬型 (RYUKAN)
検出方式	マイクロ波のドップラー効果	マイクロ波のドップラー効果
使用マイクロ波	10.525GHz	24.15GHz (特定小電力)
アンテナ	パラボラアンテナ	ホーンアンテナ
測定範囲	0.5m/s~20m/s	0.5m/s~20m/s
分解能	0.01m/s	0.01m/s
精度	± (指示値の2%±0.05m/s)	± (指示値の2%±0.05m/s)
計測距離	1m~20m (流速 ~2m/s) 1m~40m (流速 2m/s~)	20m以下
取付角度	俯角 (上下) 30度~45度 偏角 (左右) 0度~20度	俯角 (上下) 20度~45度 偏角 (左右) 0度~20度

横河電子機器株式会社 第2営業本部環境営業部営業技術G
©Yokogawa Denshikiki Co., Ltd.

7

測定方法

YOKOGAWA



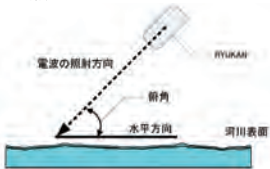
横河電子機器株式会社 第2営業本部環境営業部営業技術G
©Yokogawa Denshikiki Co., Ltd.

8

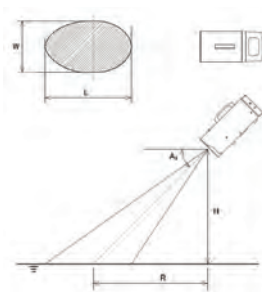
測定について

YOKOGAWA

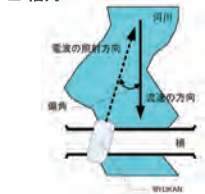
■ 俯角



■ 電波照射範囲



■ 偏角



横河電子機器株式会社 第2営業本部環境営業部営業技術G
©Yokogawa Denshikiki Co., Ltd.

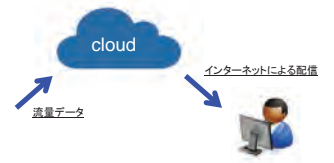
9

今後の展開

YOKOGAWA

高水流量観測は、現状の課題解決として無人化・省力化が求められています。また、昨今の防災の観点からリアルタイムによる観測データの配信が必要と考えられています。

このため、現在リアルタイムによる配信の手法やデータの品質管理について、実証実験を行っています。



横河電子機器株式会社 第2営業本部環境営業部営業技術G
©Yokogawa Denshikiki Co., Ltd.

10