

流量観測の高度化マニュアル
(高水流量観測編)
Ver1.2

国立研究開発法人土木研究所
水工研究グループ 水文チーム

2013年10月 Ver1.0

2015年8月 Ver1.1

2016年6月 Ver1.2

流量観測の高度化マニュアル

(高水流量観測編)

Ver1.2

目次

1. 流量観測の高度化について.....	1
1.1 概説	1
1.2 浮子測法との比較.....	2
2. ADCP による高水流量観測	4
2.1 はじめに	4
2.2 観測船	6
2.3 洪水流量観測方法.....	11
2.4 安全対策	25
3. 固定設置型流量観測の概要.....	28
3.1 はじめに	28
3.2 固定設置型流速計の形式および特徴.....	29
3.3 固定設置型流量観測の特徴.....	32
3.4 固定設置型流量観測の概要.....	33
3.5 河床高の計測.....	35
3.6 流速補正係数の算出.....	38
3.7 風の影響補正.....	40
3.8 観測測線及び区分断面の設定.....	44
3.9 流量の算出	45
4. 電波流速計による観測.....	46
4.1 計測原理	46
4.2 観測位置の選定.....	48
4.3 電波流速計の出荷時の精度管理.....	50
4.4 観測データの管理.....	51
4.5 電波流速計についての保守点検.....	52
5. 画像処理型流速測定法による観測.....	57

5.1	画像処理型流速測定法の概要	57
5.2	標定点の設置	61
5.3	幾何補正精度	62
5.4	STIV による流速解析	63
5.5	Float-PTV による流速解析	67
5.6	欠測値の補間	68

Appendix A 橋上操作型 ADCP 流量観測システムの詳細

A-1.	総説	A_1
A-1.1	ADCP による流量観測手法の特長	A_1
A-1.2	本手法の適用範囲	A_1
A-2.	観測機器の構成	A_3
①	ADCP	A_3
②	VRS-RTK-GNSS	A_3
③	GNSS コンパス	A_4
④	データ転送装置	A_4
⑤	橋上操作艇	A_4
⑥	現場仕様のノート P C	A_4
⑦	音響測深器	A_4
⑧	トータルステーション	A_4
A-2.1	標準的なシステム観測構成	A_5
A-2.2	使用機器の概要	A_8
A-2.3	観測船	A_20
A-3.	洪水流量観測方法	A_26
A-3.1	流量観測の原理	A_26
A-3.2	観測機器のセットアップと通信確認	A_27
A-3.3	係留・曳航装備のセットアップ	A_33
A-3.4	ADCP データの収録開始	A_41
	【発信の開始と終了 (F4 キー)】	A_44
	【記録の開始と終了 (F5 キー)】	A_44
A-3.5	観測コマンドの作成	A_45
A-3.6	観測体制	A_54
A-3.7	観測回数	A_55
A-3.8	観測範囲	A_55

A-3.9	横断速度.....	A_55
A-3.10	観測野帳の記録.....	A_56
A-3.11	予備観測（平常時）.....	A_61
A-3.12	安全管理（5.安全管理に詳述）.....	A_61
A-4.	精度管理.....	A_62
A-4.1	観測前の機器点検.....	A_62
A-4.2	流速検定について.....	A_62
A-4.3	観測前の簡易点検について.....	A_64
A-4.4	流速データ取得精度の評価方法について.....	A_65
A-5.	安全対策.....	A_67
A-5.1	安全対策計画書の作成.....	A_67
A-5.2	機器の流出対策.....	A_70
A-5.3	機器流出時の対応.....	A_70
A-6.	観測データの処理と流量算出.....	A_71
A-6.1	データ処理のフロー.....	A_71
A-6.2	観測野帳の整理.....	A_72
A-6.3	WinRiver での観測データのチェック.....	A_73
A-6.4	テキストデータの出力.....	A_75
A-6.5	未測エリアの補完.....	A_75
A-6.6	航跡ベクトル図と断面コンタ図の描画.....	A_87
A-6.7	流量の算出.....	A_87
A-6.8	流量算出結果のサンプル.....	A_88
A-7.	業務発注仕様書案および積算事例.....	A_89
A-7.1	仕様書案.....	A_89
A-7.2	標準的な積算方法.....	A_91

Appendix B ADCP テクニカルマニュアル

B-1	ADCP のテクニカルマニュアル.....	B_1
B-1.1	Teledyne RD Instruments 社製 ADCP の概要.....	B_1
B-1.2	ADCP 開発の歴史と河川分野での活用について.....	B_1
B-1.3	ADCP の計測原理.....	B_2
B-1.4	ADCP の測定不能域.....	B_11
B-1.5	層厚と計測レンジについて.....	B_13

B-1.6	ボトムレンジについて	B_15
B-1.7	流速精度の考え方	B_18
B-1.8	データ取得時間	B_21
B-1.9	プロファイルモードの違い	B_21
B-1.10	データクオリティーの指標	B_22
B-1.11	ADCP の機種とオプション	B_26
B-1.12	ビームクリアランスについて	B_31
B-1.13	内部診断テスト	B_32
B-1.14	コンパスキャリブレーション	B_35
B-1.15	One-Cycle Compass Correction 方法 2	B_39
B-1.16	データ処理の詳細手順	B_48
B-2	ADCP コマンドマニュアル	B_55
B-2.1	ADCP のコマンド体系	B_55
B-2.2	点検・検査時に使用するコマンド	B_55
B-2.3	観測時に設定するコマンド	B_56
B-2.4	一般的なコマンドの説明	B_58
B-3	【用語集】	B_71

Appendix C 電波流速計の詳細

C-1.	電波流速計の計測原理	C_1
C-2.	電波流速計のハードウェア	C_3
C-3.	電波流速計の計測フロー	C_4
C-4.	電波式流速計の仕様	C_5
C-5.	電波式流速計の検定	C_7
C-6.	電波式流速計観測に関する今後の取り組み	C_8

Appendix D CCTV カメラを活用した流量観測

D-I	CCTV カメラを活用した流量観測（観測編）	D-I_1
-----	------------------------	-------

D-Ⅱ. CCTV カメラを活用した流量観測（解析編）	D-Ⅱ_1
-----------------------------------	-------

Appendix E 遠赤外線カメラを活用した流量観測

E. 遠赤外線カメラを活用した流量観測.....	E_1
--------------------------	-----

序文

河川の流量観測データは、河川・水資源の計画・管理に必要不可欠の資料である。しかし、我が国の河川は、環太平洋変動帯としての急峻な地形・脆弱な地質特性と、アジアモンスーン気候帯としての激しい豪雨特性の相乗効果として、多くの土砂流出・流木を伴う急激な増水など、低水から洪水に至るまでに激しく流況が変化する水文特性を有する。このことから、我が国では、流速断面積法を基本としつつも、低水時には可搬型流速計を直接流水中に投入する方法を採用する一方で、洪水時には幅広い流況に最も安全確実に対応できる浮子測法を採用することを基本とした流量観測技術体系が、昭和 20 年代後半から 30 年代にかけて確立し、全国に分布する多様な水理水文特性を有する河川における長期にわたる安定した品質での流量観測資料の収集・蓄積に寄与してきた。

しかしながら、これらの現行技術は人力に頼る部分が多く、流量観測業務を実施する現場の河川管理の人員体制・予算を含むリソースが昭和 30 年代から大きく変化している中で、現在では、実際の運用に当たって何らかの課題を抱えている場合が少なくない。さらに近年では、迅速な情報公開と観測データの一定品質の確保の両立を求められるようになっており、流量観測を巡る環境は厳しさを増している。

また、昭和 30 年代当時は利用できる観測機器が限られ、特に洪水時の流れの特性について限定された観測データや知見に依拠せざるを得なかったことも事実である。それから約半世紀を経て、従来不可能と考えられていた洪水流水中の 3 次元流速分布や河床地形の計測技術や、流水表面の流速を無人で連続的に計測する計測技術等が、今や利用可能となり、洪水時の流速分布や河床地形変化についての知見も蓄積され始めている。それらの現在利用可能な観測技術や知見を有効に活用し、河川の流れの実態をより良く把握することで流量をよりの確に観測する技術を確立することが必要である。

本マニュアルは、上記の問題意識を踏まえ、近年実用的に利用可能となってきた新しい計測技術の特性・限界を把握した上で適材適所で有効に活用しつつ、これからの流量観測技術の基本となり得るいくつかの次世代の観測手法について、その概要と具体的な準備・作業・データ処理等の手順案をとりまとめたものである。いずれの方法についても、現段階では実用に当たって全く課題なしとはしないが、実際に現場に適用しながら改善を進めることで、より幅広い水理水文条件下において実用化を進めていくことができる段階に来ていると考える。

謝辞

本マニュアルの作成に当たっては、国立研究開発法人土木研究所が国土交通省水管理・国土保全局ならびに国土技術政策総合研究所と連携して進めてきた流量観測技術の高度化研究のこれまでの成果を活用している。これらの成果の多くは、国土交通省が所管する河川管理の現場における試験観測成果が基盤となっており、貴重な知見を提供し、また活発な議論をいただいた以下の国土交通省関係各位に、感謝申し上げる。

水管理・国土保全局 河川計画課

国土技術政策総合研究所 河川部

関東地方整備局 本局、下館河川事務所、利根川上流河川事務所、甲府河川国道事務所

北陸地方整備局 本局、高田河川国道事務所、信濃川下流河川事務所

四国地方整備局 徳島河川国道事務所

九州地方整備局 本局

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 寒地河川チーム

また、個別の技術に関して、土木学会水工学委員会流量観測技術高度化小委員会、水文・水資源学会研究グループ「河川流量観測高精度化研究会」をはじめとする多くの研究者・技術者の知見を参考にさせていただいた。特に、貴重なご助言をいただいた、藤田一郎（神戸大学）、二瓶泰雄（東京理科大学）、渡邊康玄（北見工業大学）、手計太一（富山県立大学）、吉川泰弘（北見工業大学）、中尾忠彦（河川情報センター）、本永良樹（河川情報センター）、橘田隆史（株式会社ハイドロシステム開発）、井上拓也（株式会社水文環境）、目黒嗣樹（情報企画室）、吉田美幸（情報企画室）（いずれも敬称略）の各位に対し、ここに記して深く感謝申し上げます。

国立研究開発法人 土木研究所 水工研究グループ 水文チーム

上席研究員 笛田 俊治

主任研究員 萬矢 敦啓

研 究 員 工藤 俊

注意

○Ver1.2 は高水流量観測編としてまとめている。低水流量観測については以降の改訂版に記載する予定である。

○流量観測の高度化において使用する固定設置型流速計は、電波流速計、画像解析、H-ADCP を考えている。Ver1.2 では、電波流速計、画像解析について説明する。H-ADCP については以降の改訂版にて随時記載していく。

1. 流量観測の高度化について

1.1 概説

流量観測の高度化とは、洪水中の河床変動、河川の横断方向流速分布、鉛直方向流速分布を把握し、それらを用いて流量値を算出することで、従来の流量観測手法と比較して、流量観測の精度向上を図るものである。

- 1) 従来の流量観測手法と比較して、流量観測の精度向上を図ると言う意味で「高度化」とする。
- 2) 具体的には、洪水中の河床変動、河川の横断及び鉛直方向流速分布を把握し、それを用いて流量値を算出することである。
- 3) 2)を得るため、橋上操作艇に搭載した ADCP ^{注1)} 観測を採用する。(2 参照)
- 4) ADCP 観測を採用しても、河道特性や気象条件によっては必ずしも全ての洪水を観測できない場合もある。このような場合を想定して、固定設置型流速計による流量観測を補助的に実施し、ADCP データに欠測が生じる場合には、データを補完する。
- 5) ADCP 観測が実施できない場合として、
 - ①中小規模の出水でも ADCP 観測が実施できない場合
 - ②大規模出水、あるいは出水のピーク付近において ADCP 観測にデータ欠損が多くなる場合(多くの河川がこの場合に該当すると想定される)
 - ③大規模出水、あるいは出水のピーク付近において、ADCP 観測の実施が危険と判断される場合という三つの状況が考えられる。(3.1 参照)
- 5-1) ①に関して、山地急流河川に代表される、中小規模の出水でも流速が速く水面振動が激しい場合がある。このようなときには、固定設置型流速計による流量観測を主たる手法とする。(詳細は 3.4(1) 参照)
- 5-2) ②に関して、特に出水のピーク付近(大規模出水時を含む)においては、
 - Ⓐ流速が速く、かつ水面振動が激しくなる、
 - Ⓑ急激な水位の上昇、
 - Ⓒ流下物(流木、ゴミなど)が極端に多くなる、
 - Ⓓ観測態勢の遅れや観測機器の不具合を含んだヒューマンエラー等、などの理由がある。(詳細は 3.4(2) 参照)
- 6) 固定設置型流速計による流量観測は、固定設置型流速計 (3.2 参照)、河床高計測 (3.5 参照)、流速補正係数 (3.6 参照) という 3 つの要素を持つ。

注1) 本マニュアルでは ADCP とは acoustic Doppler current profiler (超音波多層式流速計) の総称として用いており、特定の商品名を指すものではない。ADCP として国内外では TELEDYNE RDI 社および SonTek 社の ADCP が流通している。国内の流通状況、周辺機器の汎用性および開発状況に鑑みて、本マニュアルでは主として RDI 社の ADCP を例として示している。今後は必要に応じて SonTek 社の ADCP に関しても記述する。

1.2 浮子測法との比較

浮子測法と新しい観測技術（ADCP）によるデータ間には連続性、整合性が保たれている。

本マニュアルで述べる流量観測の高度化は、従来我が国で高水流量観測において用いられてきた浮子測法に加え、新しい観測技術を取り入れ流量観測の精度向上を図るものである。このとき、従来の浮子測法と新しい観測技術（ADCP）のデータの間に連続性、整合性が取れていることが重要となる。

以下に流速に関して浮子測法と ADCP それぞれにより得られた観測結果を比較する。

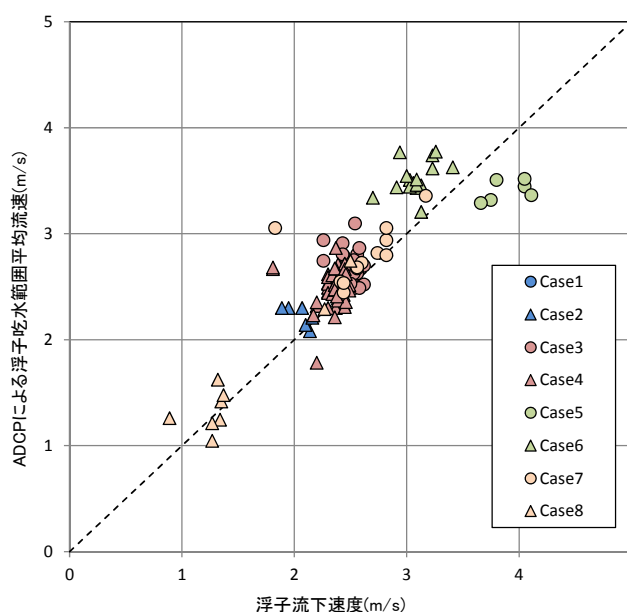


図-1.1 浮子と ADCP の比較

図-1.1 は、浮子流下速度と、ADCP による浮子吃水範囲の平均流速の比較である。この図で使用されているデータは、北海道十勝川千代田実験水路において、2007 年～2010 年にかけて国土交通省北海道開発局と国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所が共同で実施した浮子測法、ADCP それぞれによる流量測定結果を基にしている。千代田実験水路での測定において、水位がほぼ一定であった時間帯のデータを使用している。図-1.1 より、ADCP データは従来の浮子測法とデータの連続性、整合性が概ね取れていると判断できる。

また、本マニュアルにおいて示す流量観測の高度化においては、ADCP によるデータ欠損を補完するために固定設置型流速計（電波式流速計、画像解析、H-ADCP）による観測を補助的に並行して行う。ADCP データを設置型流速計データで補完するに当たり、両データ間に整合性が保たれている必要がある。そのため以下において、ADCP、設置型流速計それぞれの観測結果比較を行う。

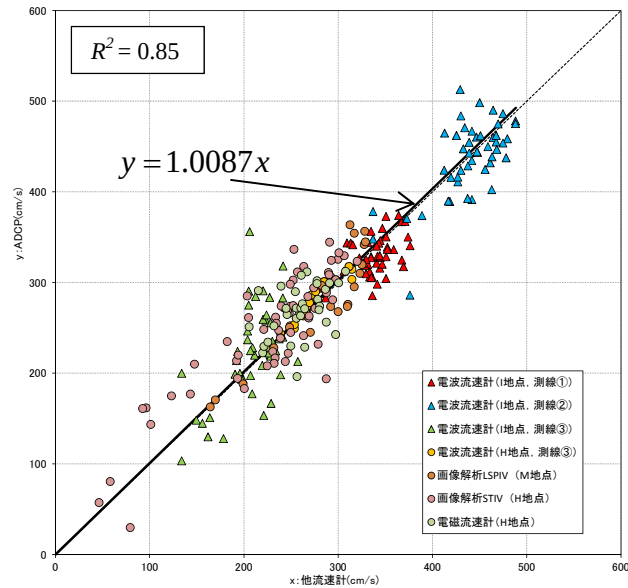


図-1.2 ADCP および他流速計による表面流速の比較
(他流速計とは電波流速計、画像解析 (STIV)、電磁流速計である。)

図-1.2 は ADCP による表面流速 (y 軸) とその他の流速計 (電波流速計、画像解析 (STIV)、電磁流速計) による表層流速 (x 軸) との相関図である。様々な河川にて実施した ADCP とその他手法による観測値とを比較している。ADCP 以外の流速計データについては必要に応じて風の影響を除去してある。またノイズ等と判断されるデータは除去した。

ADCP では河川表層付近は不感帯となるため、データを外挿する必要がある。外挿したデータを水面まで延長して表面流速を推定する。ADCP 表層付近におけるデータ外挿手法としては、

- 手法 1): 流速実測値について対数則の近似式を当てはめ、それより外挿する
- 手法 2): 流速実測値についてベキ乗則の近似式を当てはめ、それより外挿する
- 手法 3): 計測している表層 3 層のデータから直線近似式を求め、それより外挿する
- 手法 4): 計測している表層第一層のデータを一様に外挿する

などがある。

図-1.2 では上記の手法 1)~4)それぞれにより推定される河川表面流速の平均値を用いている。この方法は、本永ら²⁾、Fujita et al.⁴⁾により、河川表面流速を精度良く表すことが示されている。この図より、ADCP と設置型流速計のデータは概ね整合性が取れており、それぞれを併用することに支障はないと考えられる。

参考文献：

- 1)本永良樹・萬矢敦啓・深見和彦・柿沼孝治・山坂昌成：河川流速測定に関する新旧技術の比較～浮子測法と新技術 (ADCP, 電波流速計) の比較～, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会要綱集 (CD-ROM), 2013.3
- 2)本永良樹・萬矢敦啓・深見和彦：河床変動及び強風を伴う河川表面流速の特性と風による影響の補正に関する検討, 第 57 回水工学講演会論文集 (CD-ROM), 2013.2
- 3)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, 第 57 回水工学論文集 (CD-ROM), 2013.2
- 4)Fujita, I., Hara, H., Yorozyu, A.: Evaluation of imaging technique accuracy for discharge measurement and development of real time system for surface flow measurement, *Journal of Hydrosience and Hydraulic Eng.*, No.30-1, pp.15-28, 2012.

2. ADCP による高水流量観測

2.1 はじめに

本章では、橋上操作型の ADCP 観測システムを使用した河川高水流量観測の標準的手法を示す。流速計測には曳航観測型の ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) を用い、可搬型の橋上操作艇に装着して橋梁上から下流側に係留し、徒歩で橋梁を横断させながら断面の流速分布を計測し、流量を計測する方法である。

ADCP による流量観測の特長

ADCP は超音波のドップラー効果を応用した流速計であり、①流向・流速の鉛直プロファイルが計測できること、②航走断面の流速分布と河床形状が同時に計測できること、などが最大の特徴と言える。ADCP を用いて河川を横断観測させることにより、断面の流速分布を詳細に計測して流量を算出することが可能となる。ADCP による流量観測の特長としては、10 分～15 分程度の比較的短時間で多量の流速分布データが取得できるという点であり、既存手法と比べてより信頼性の高い流量値が得られると考えられている。

一方、ここ数年前までは、ADCP 観測は洪水流量観測に不向きとされてきた。その理由として、①洪水時に観測船を出せない、②河床が移動する際に正しく計測出来ない、③他手法と比べて流量差が大きい、という点が指摘されてきた。しかし、こうした問題を解決するため、高速流でも安定して計測出来る橋上操作艇や、河床が滑る状況でも RTK-GNSS の活用で正確に流速を計測する方法、計測データから適正に流量値を算出するための計算方法などが確立され、相当規模の洪水観測にも対応できることが実証されてきた。

本章では、こうした近年の研究成果を取りまとめ、洪水時でも安定して流量観測を行うための標準的な手法について示したものである。

本手法の適用範囲

本手法は、橋梁から観測を行うことを前提としており、観測員が通行できる歩道が橋梁の下流側に整備されていることが条件となる。また、橋梁の下流側にはできるだけ障害物が無く、ロープを係留したまま横断できる構造であることが観測条件となるため、トラス橋や高速道路橋などでは実施できない。なお、電灯などが数本立っている程度であれば問題はない。

本手法は最大流速 5.0～6.0m/s 程度まで観測可能であり、河床が移動する状況では RTK-GNSS を搭載することで計測可能となる。また、橋脚や環境磁場の影響を受ける状況では GNSS コンパスを搭載することで精度を維持することが可能である。

夜間に関しては、水面の状況が目視できることが条件となり、全く視認できない状況下においては流下物などのリスクが高いため、非常に危険である。

また、観測員が安全に観測できる状況であることが大前提であり、暴風雨などで危険な状況下では観測を行わないよう配慮する必要がある。

この様に、観測できる状況や条件を正しく踏まえた上で、観測計画を立案することが肝要である。

ADCP を用いた流量観測方法としては、機器を河床に固定設置する「常時観測」と、ボートなどで断面をその都度横断させる「移動観測」に大別される。また、移動観測には大きく分けて、①有人船観測による方法、②ラジコンボートによる方法、③橋上操作艇による方法、の 3 手法が現在確立されている。

図 2-1 に各観測方法の分類と適用範囲を示す。

本章では、洪水時の移動観測方法を対象としており、その中でも橋上操作艇による方法を最も汎用的な手法として取り扱うこととした。たとえば、有人船観測では船外機の性能上、最大流速 1m/s 前後が限界であり、洪水観測には不向きである。有人観測による 1m/s 近い流速での実績なども報告されているが、非常に危険な状況であったと認識されており、定型業務としてはふさわしくない。ラジコンボートは、空力タイプで 5m/s まで対応できるものもあるが、一般に入手しづらく、汎用的ではない。近年は水中プロペラ式のラジコンボートも販売されているが、ごみがプロペラに絡む可能性があり、リスクが高い。一方、橋上操作艇による方法は近年急速に実績を増やしつつあり、その有効性や観測限界、注意事項なども概ね判明してきているため、そうした注意事項を踏まえれば、十分実用的な手法であると評価されてきた。

このため、本章では ADCP の橋上操作艇を用いた洪水観測手法について、その方法を詳しく記載することとした。

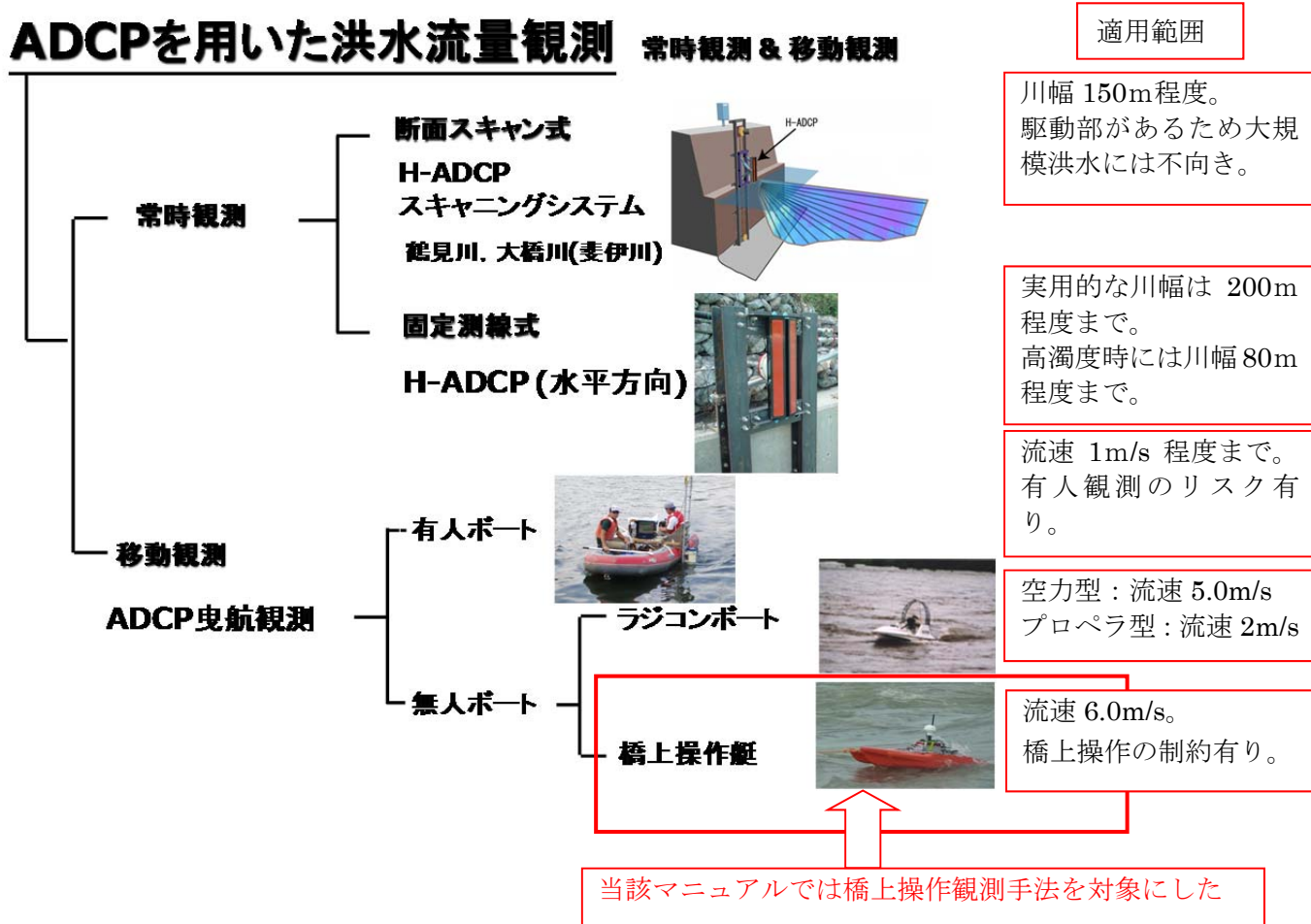


図 2-1 ADCP による流量観測の種類

2.2 観測船

2.2.1 観測可能範囲について

ADCP を用いた洪水観測にも幾つかの方法があり、洪水規模に応じて適用可能な観測方法は異なってくる。各手法（機器構成）で観測可能かどうかの判断は、水面流速、水面の乱れや波高、流下物の量などにも依存する。ちなみに洪水時の「波高」についてはあまり資料が無いが、ボートを用いて観測する際には、最大流速と並んで大きな制限要素となる。たとえば、流速が同じ 4m/s 程度であっても、波高が小さい場合は良好に観測できるが、波高が 50cm ほど生じる場合は船体の揺動が激しくなり観測が難しくなる。この様に、水面のコンディション、という定性的な要素も踏まえて適応可能な手法の判断が求められるわけである。

橋上操作艇を利用する場合、いわゆるトリマラン A 型（図 2-4 参照）を使った場合は観測流速 3.0m/s が限界ラインであると報告されている。これは、船体揺動によるデータ欠損が顕著になることと、(経験的に)ボートが転覆するリスクが高くなるためである。

また、近年開発されたトリマラン B 型（高速低揺動タイプ）のボートを用いる場合は、設計流速 6.0m/s まで適用可能とされている。実際に観測された最大流速は 5.5m/s を越えており、データ欠落もほとんど無く、良好にデータ取得された。

橋上操作観測に関するこれらの情報を整理して、観測方法による洪水規模の適用範囲のイメージを取りまとめた(図 2-2)。

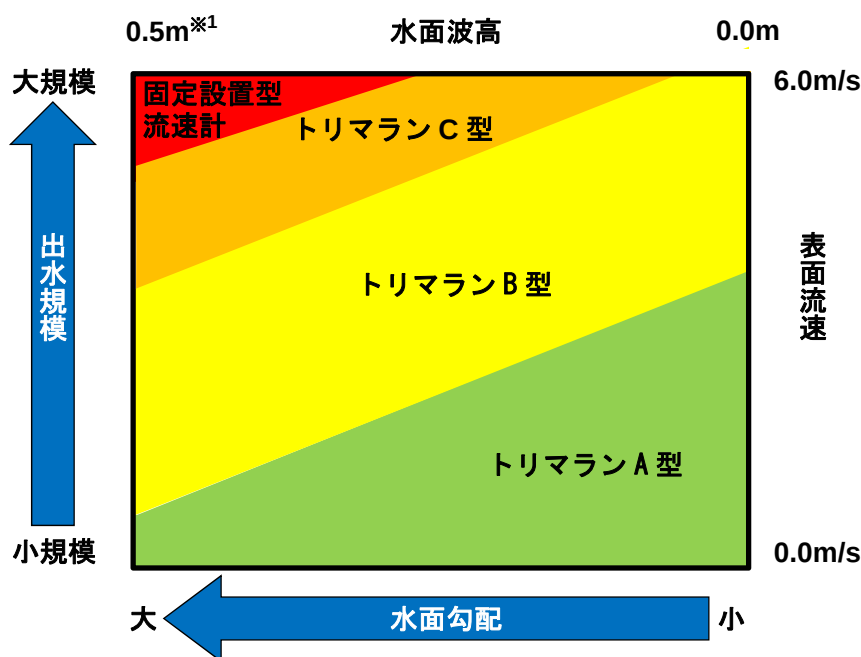


図 2-2 ADCP による洪水観測の適用範囲

※1：波浪の波長が船の長さよりも十分長い場合を除く。

2.2.2 橋上操作艇

(1) 概要

橋上操作艇は、USGS（アメリカ合衆国地質調査所）が中心となって様々なタイプが考案され、ADCP を搭載できる小型の橋上操作艇として実用化されたのが 2004 年頃である。それまでは、ADCP の観測は船外機船を出航させなければならず、安全面から出水観測は出来ないとされていたが、この橋上操作艇の登場で計測出来る出水規模が一気に拡大された。観測方法としては、橋上操作艇には ADCP を装着できる様に船体が空洞になっており、そこに ADCP のワークホースモニター型を取り付ける。また、RTK-GNSS やデータ転送装置を収納スペースに収納し、陸上から無線で ADCP をオペレーションできるようにシステムをセットアップすることができる。これを橋梁の歩道から下流側およそ 50m 以内に係留させ、歩道を徒歩か専用の台車で横断させながら断面観測を行う、という方法である。係留の長さは水面までの高さや水面の乱れの状況によって調整する必要があるが、あまり長すぎると左右のコントロールが難しくなるため、経験的には 50m 程度が限界と考えられる。逆に、橋梁に近すぎると GNSS の受信が途切れるため、30m 程度は離れた方が安定する。四万十川における実際の観測写真を以下に示す（図 2-3）。



図 2-3 橋上操作艇の観測風景

橋上操作観測を行うことの出来る橋梁にはいくつかの条件が必要となる。下記に、代表的な観測条件を示したが、実際に現地踏査を行って観測出来る橋梁であるのか確認することが望ましい。

- ・ 橋梁の下流側に観測員が通行できる歩道があること
(歩道がない場合は、交通誘導員を配置するなど、交通整理を行い、安全に気を付ける)
- ・ トラス橋ではないこと
(但し、トラス橋であっても橋の外側に歩道があれば観測可能)
- ・ 橋脚あるいはその土台が大きく観測の障害にならないこと

また、観測時の留意点としては、

- ・ トリマラン A 型は最大流速 3m/s 程度まで観測可能
- ・ トリマラン B 型は最大流速 6m/s 程度まで観測可能
- ・ 波高や水面のコンディションによっても危険度が変わるため、あくまでも現地の状況で判断すること
- ・ 水面の波長がボートのサイズより明らかに大きい場合は危険である
- ・ 波高が 1m を越えると船体がジャンプしやすく欠測が多くなる
- ・ 出水時の流木等が多い場合は危険である

などが挙げられる。また、夜間観測の際は、流下物に十分注意する必要があるため、見張り要因を増員することや、夜間照明の準備が必要となり、安全対策に十分配慮した観測計画の立案が望まれる。

(2) 船種の選定

市販の橋上操作艇としてはトリマラン A 型の小型軽量タイプが主流であったが、重量バランス的に転覆のリスクがあることと、流速適用範囲が 3.0m/s 程度と中規模出水までしか計測できないことから、洪水観測には限界があった。

こうした問題を改善するために、土木研究所では高速低揺動型のボートの研究を行ってきおり、幾つかの試作実験や水槽実験などを行ってきた。その中で、米国 USGS が設計したトリマラン B 型が高速流時の安定性が著しく向上していることを確認した。現在では国内販売も開始されており、従来型 (A 型) に比べて非常に安定性が高いという結果が得られている。

トリマラン B 型で想定しているよりも更に高流速時、高波高時の観測については、全長 3m におよぶトリマラン C 型ボート (3m ボート) も開発されており、山地急流河川における安定した観測実績も報告されてきている。

トリマラン A 型、B 型、C 型いずれも市販されている。

トリマラン A 型：標準タイプ



最も普及している標準型。小型軽量で専用のバッグにコンパクトに収納でき、持ち運びも便利である。流速 3m/s 程度を越えると安定性が悪くなり、データ欠損が多くなってくる。

トリマラン B 型：高速低揺動タイプ



高速低揺動型。設計耐用流速は 6.0m/s とあるが、実際 5.5m/s の状況下で安定的にデータ取得できることが確認されている。機材を全て装備した際の重量は 25kg 程度と重いため、水面への上げ下ろしはウインチの付いた台車を準備した方がよい。

トリマラン C 型：高速低揺動タイプ（3m ボート）



山地急流河川等、トリマラン B 型で想定しているよりも高流速、高波高での観測に対応するために開発。トリマラン B 型でも揺動が無視できなかった環境下において、安定して観測できることを確認している。

図 2-4 橋上操作艇の種類

【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，河川技術論文集，2010，p.59-63

2.2.3 その他

橋上操作艇による観測以外にも、ラジコンボート、船外機船に ADCP を搭載して実施する観測もある。これらについては **Appendix A** を参照とする。

2.3 洪水流量観測方法

2.3.1 流量観測の原理

ADCP による横断観測では、図 2-5 に示すような河道断面内の面的な流速分布を得ることができる。河道断面内が複数のメッシュ（以下：セル）に分割され、各セル内の流速が色により表示されているのが分かる。このとき、各セルの流速に各セルの面積を乗じることで各セルの流量を算出することができる。これを全セルについて合計したものが、ADCP により計測された対象河道断面を通過する流量値である。この時、ADCP の設定にもよるが、鉛直方向に 20～25cm ピッチ、横断方向に 2m ピッチほどの解像度で細かく流速計測が可能となり、かつ河床断面も同時に得られるため、断面内の流況変化に応じた正確な流量を算出することが可能となる。

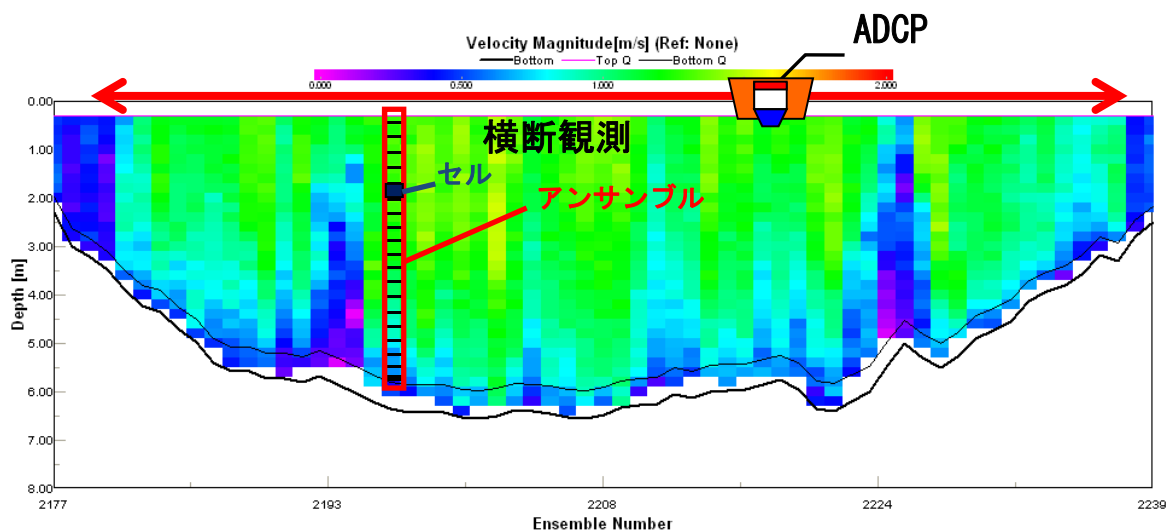


図 2-5 ADCP による横断観測

ADCP の橋上操作艇による観測方法としては、専用の移動式観測台車を用いる方法と、人力による方法がある。安全面を考慮すると、専用の移動式観測台車を用いることが望ましい。しかし、手軽さや機動力を考慮すると人力による観測に依らざるを得ない状況もあるため、両手法について観測方法を記載した。

観測時の手順としては、

- ② 測機器のセットアップと通信確認
- ②係留装備のセットアップ（移動式台車もしくは人力による曳航）
- ③安全対策の確認（負荷増大時の対策、機器流失時の対策）
- ④観測機器の着水作業
- ⑤ADCP データ収録の開始
- ⑥横断移動
- ⑦観測機器の回収

という流れになる。以降に、観測までのセットアップ手順を示す。

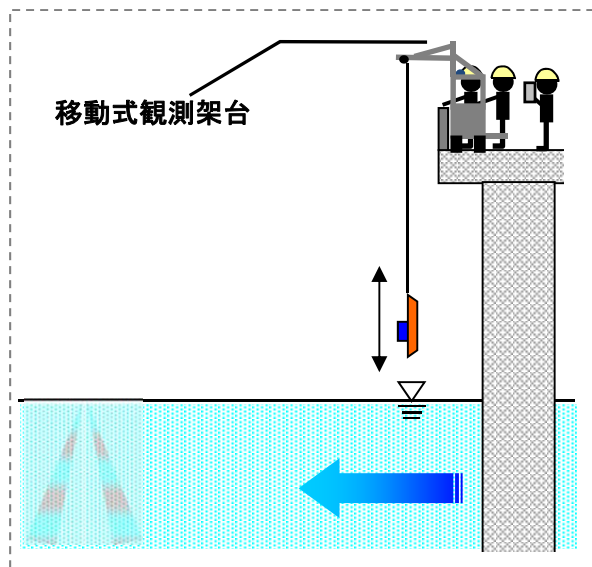
2.3.2 係留・曳航設備のセットアップ

(1) 専用移動式観測台車を用いる方法

(a) 必要機材

橋上操作艇の総重量は 40kg 前後と人力で上げ下ろしするには厳しい重さであるため、専用の移動式台車を用いる方法が有効である。

移動式観測台車は、ADCP の係留負荷に耐えうるように土嚢袋等で重量を確保できる構造とし、電動ウインチで橋上操作艇を回収できる構造にすることが望ましい。大きめのタイヤを取り付けると前後の移動がしやすくなる。各観測場所の状況に応じてオリジナル製作する必要があるが、移動式観測台車に関していくつかのイメージ、参考写真、設計図面の例を以下に示す。

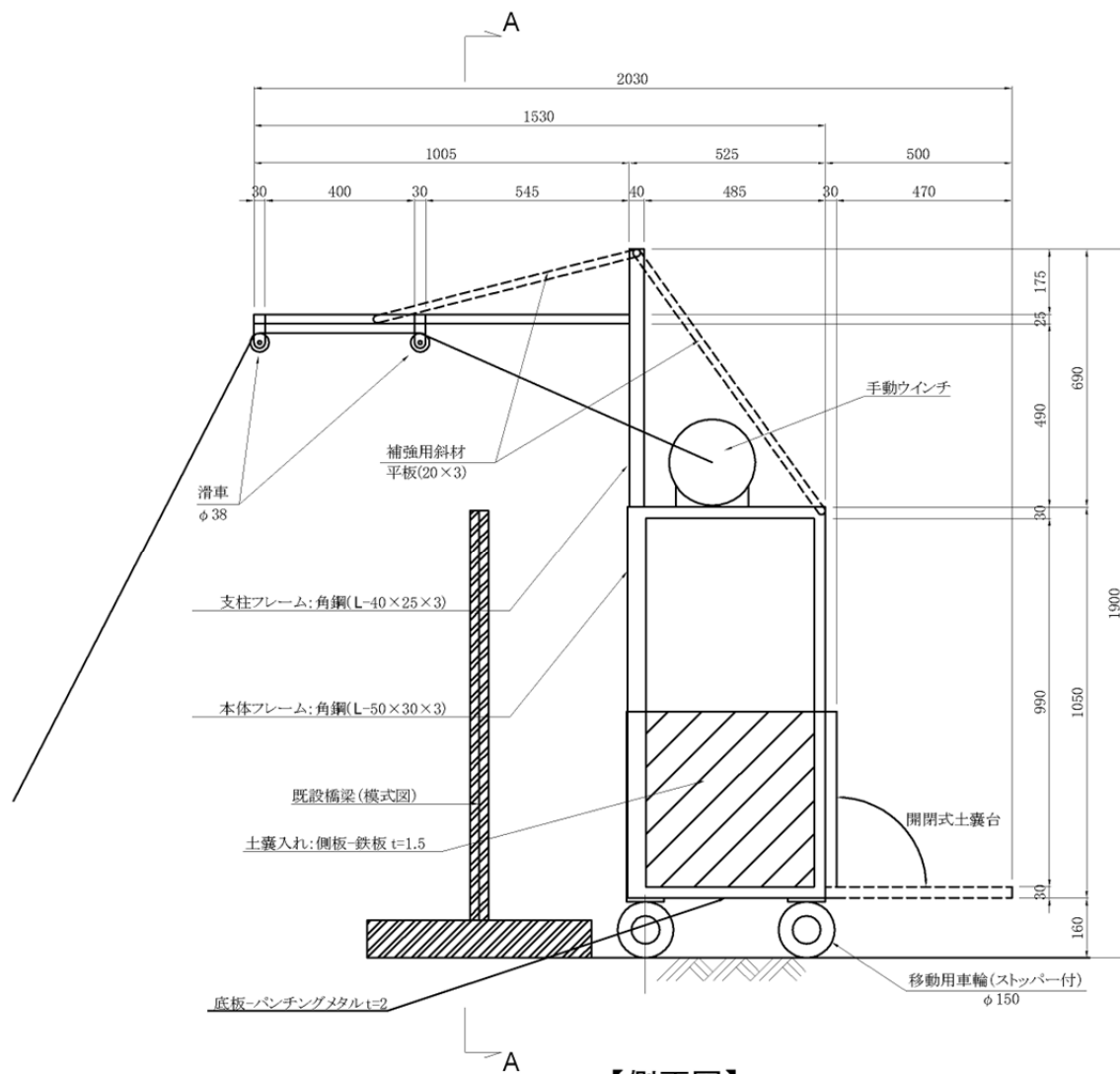


移動式観測台車による着水・回収作業

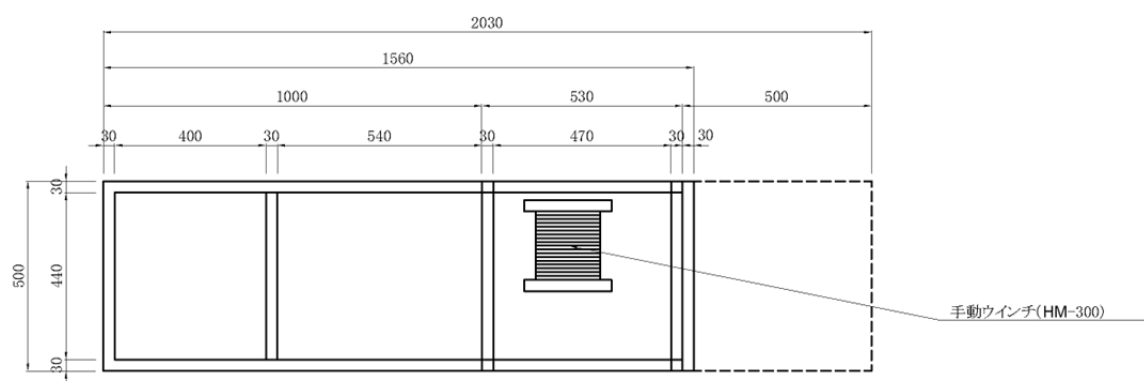


	
移動式台車使用状況（台車 1）	移動式台車使用状況（台車 2）

図 2-6 移動式観測架台のイメージ図と写真

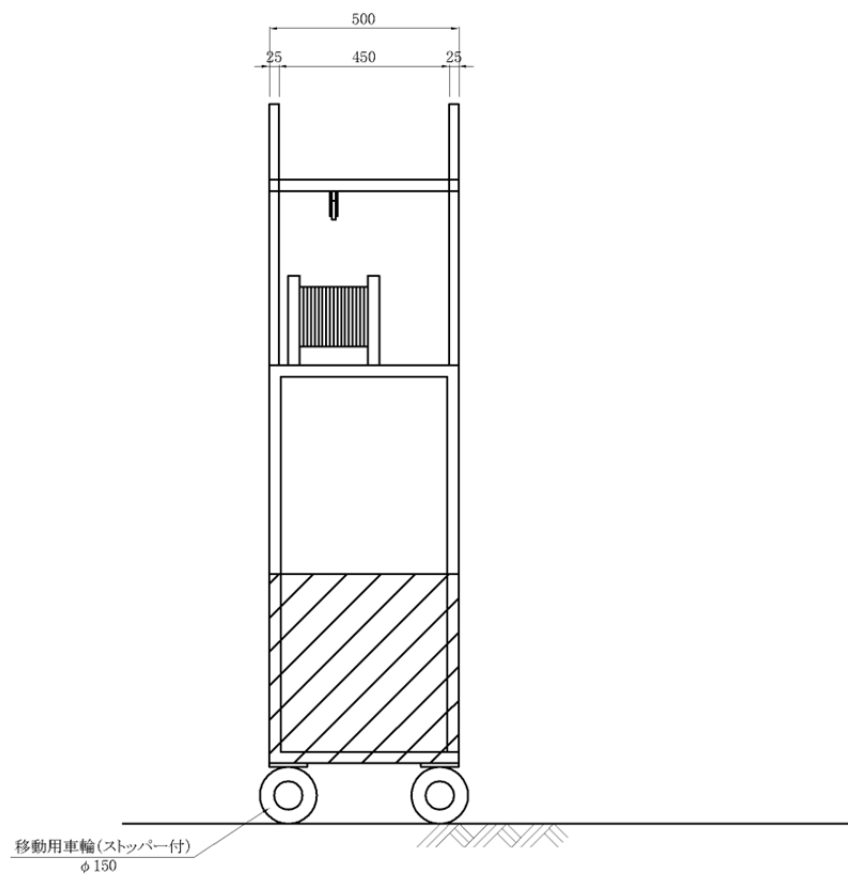


【側面図】



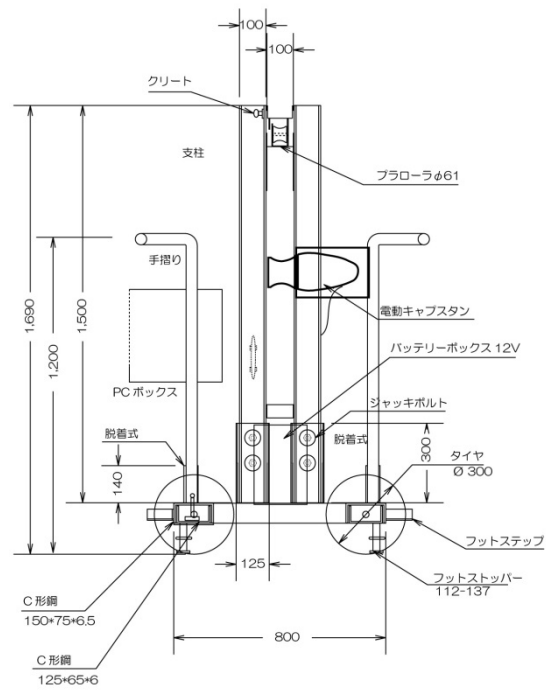
【平面図】

図 2-7 移動式観測台車の設計図面例（側面図・平面図）（台車 1）

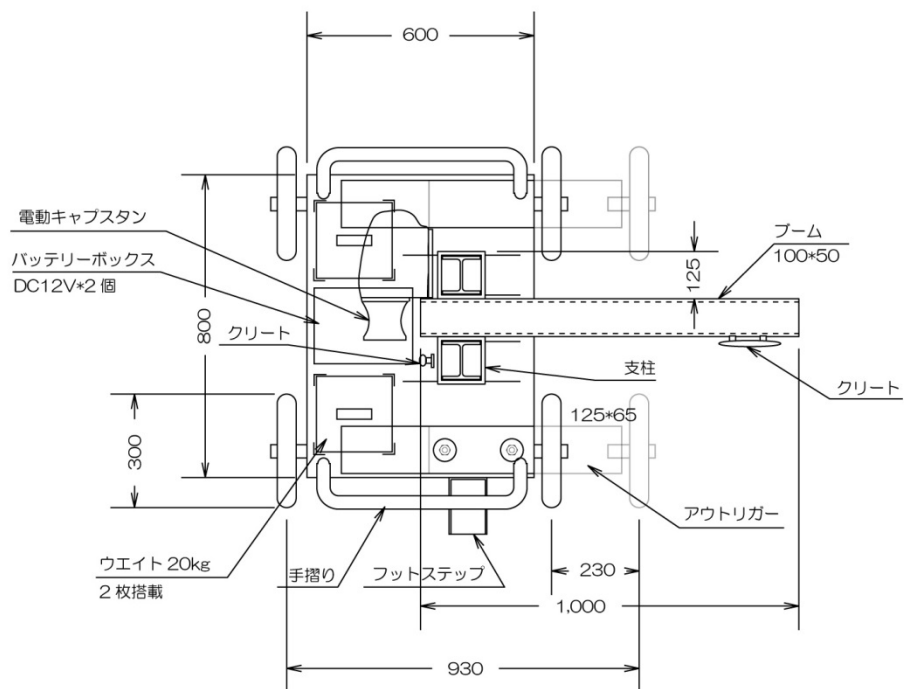


【A-A断面】

図 2-8 移動式観測台車の設計図面例(A-A 断面) (台車 1)

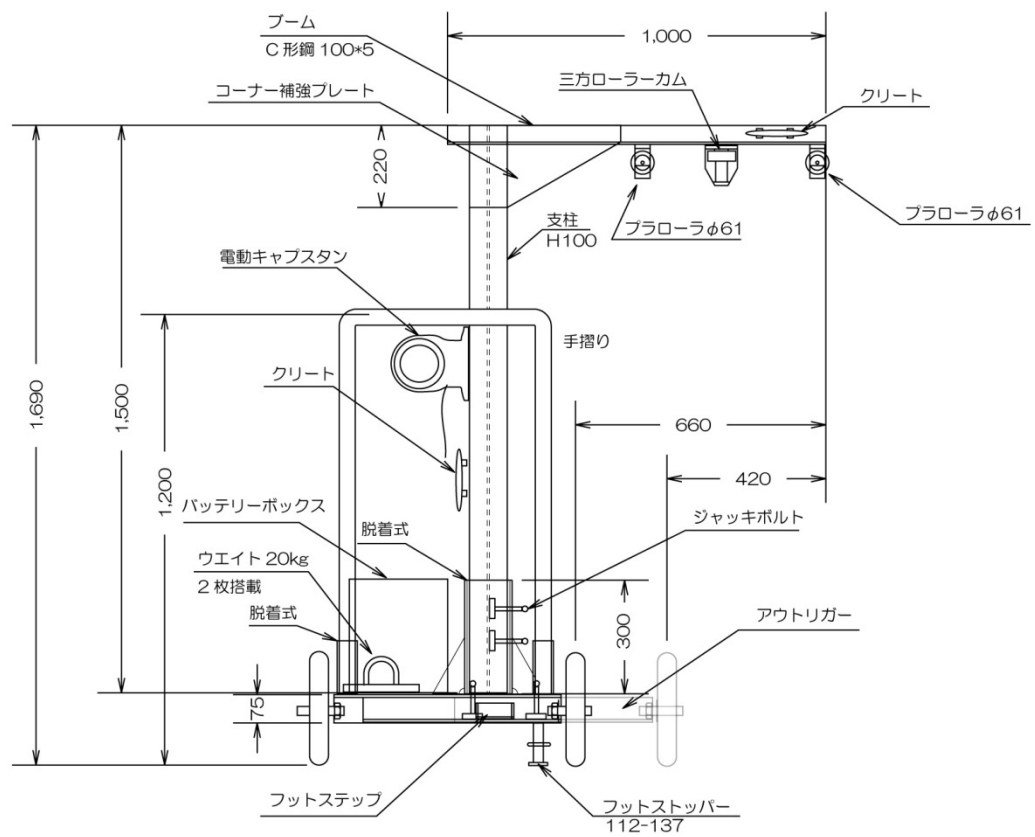


【側面図】



【平面図】

図 2-9 移動式観測台車の設計図面例（側面図・平面図）（台車 2）



【正面図】

図 2-10 移動式観測台車の設計図面例(正面図) (台車 2)

(b)移動式観測台車による着水作業

橋上操作艇の橋上から水面への着水作業は、ウインチを搭載した移動式観測架台を用いることを原則とする。これは、安全に作業を行うことと、橋梁高欄に曳航用ロープが接触して傷つけることを回避する狙いもある。また、仮にボートの上下がひっくり返った状態で着水した場合は曳航ロープに過大な負荷がかかり、人力では危険な作業となるため、ウインチ付きの架台を用いることで万が一の際にも安全に作業を行うことが可能となる。



橋上操作艇の着水作業

(c)移動式観測台車による横断観測

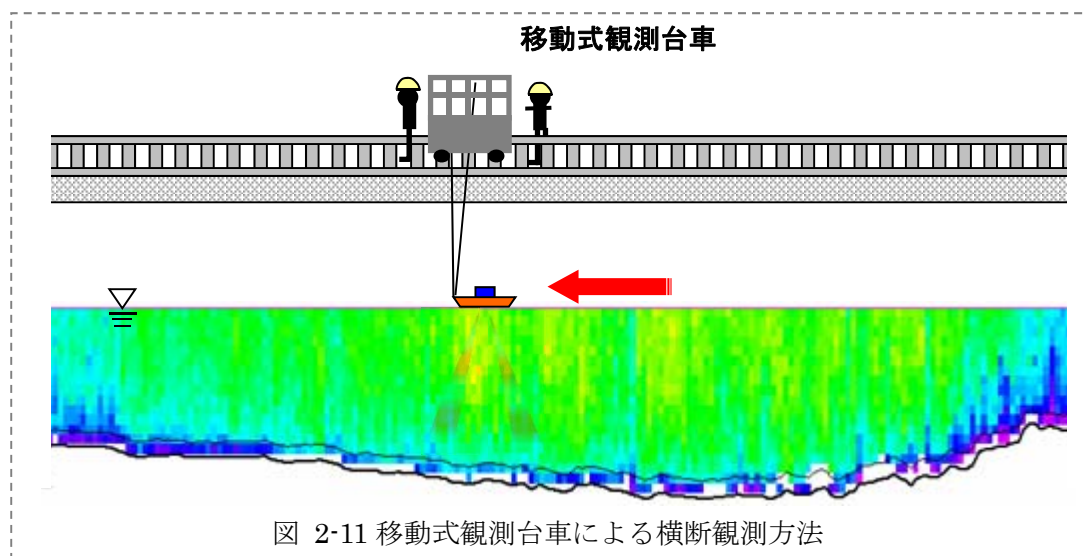
移動式台車で曳航できるような歩道が整備されている場合は、可能な限りこれを利用することが望ましい。この場合、台車の牽引は最低2名で行う必要がある。

橋上操作艇の曳航にはロープを用いるが、切断等を考慮して必ず2本で対応するものとする。なお、横断観測実施時以外は橋上操作艇を水面に仮置きしても良いが、その場合、ロープを橋上の移動式観測架台等に固定することとし、橋梁の高欄には固定してはならない。また、橋上操作艇を水面上に仮置きすることが危険であると判断される場合は、水面から橋上に撤去移動を行う必要がある。

なお、曳航用ロープの長さは河川流速に応じて調整する。基本的には橋上操作艇の橋梁からの距離が最大でも約30mになるように調整する。これは後述する人力での観測でも同じである。

これまでの経験によれば、表面流速が3m/s以下であれば、人力での曳航観測も可能であるが、それ以上の流速になると、人力では危険を感じる状況になり、移動式台車での観測が安全である。

流況が激しくなり橋上操作艇の移動が困難になった場合にはロープを可能な限り緩め、橋上操作艇が下流へ流されている間（ロープにテンションがかからない間）に台車を岸边まで移動する。



(2) 人力による方法

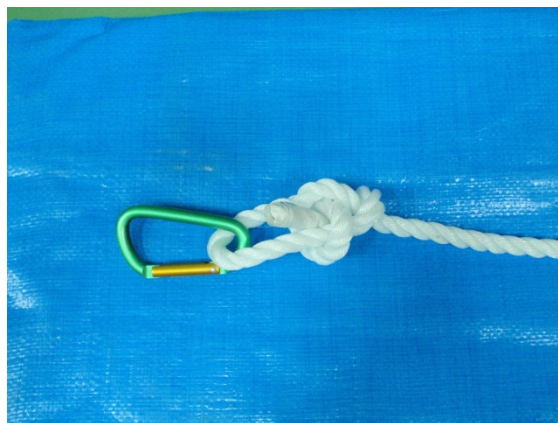
移動式観測架台が準備できない場合は、人力で曳航観測を行うことになる。その場合の必要機材、着水方法、曳航方法を以下に示す。

(a)必要機材

曳航ロープ

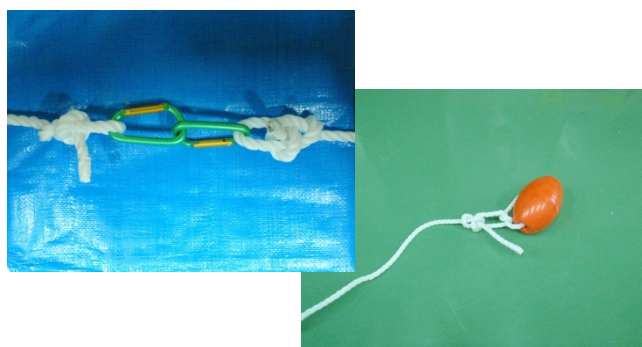
登山用ロープ、もしくはヨット用ロープが扱いやすい。ロープの太さは10mmを準備する。なお、ボート側の5m程度は水に沈まないポリロープを釣り付けると、ロープが着水してもゴミがかかりにくい。

長さは、想定する係留長の倍の長さを準備すること。係留長が30mであれば、全長60mのロープが必要となる。また、ロープの尻手部分にはカラビナを取付け、速やかに延長できるように準備しておく。



緊急時の延長ロープ

ボートにゴミがかかって制御不能になった場合は、延長ロープを取付け、河岸際にボートを引き寄せるように誘導する必要がある。このため、水面幅の半分以上の長さの延長ロープを準備しておく必要がある。延長ロープの尻手部分にはフロートを取り付けるようにしておき、最悪流出させた場合に回収しやすくしておく。



アッセンダー（登山用具）

素手でロープを握るのは危険であるため、登山用のアッセンダーをロープに取り付けて、その取手部分を引っ張る様にとすると安全に作業が出来る。



(b) 人力による着水作業

移動式観測架台が準備できない場合は、人力によって橋上操作艇の着水作業を行うことになる。この際、観測装置の総重量が 30kg を越えるため、3 人以上で作業を行うことが望ましい。また、人力で作業を行う際には、安全に配慮し、必ず係留ロープを 2 本付けて作業を行う必要がある。

着水させる直前の状態が非常に重要になり、ボートの底部が水面に着水する様にコントロールする必要があるが、ボートが水面で回転してしまった場合は一旦引き上げ、向きを整えた上で再度着水作業を行うこと。もし上下がひっくり返った状態で着水すると過大な負荷が掛かり、人力では制御が困難となるため、十分な注意が必要である。

(c) 人力による横断観測

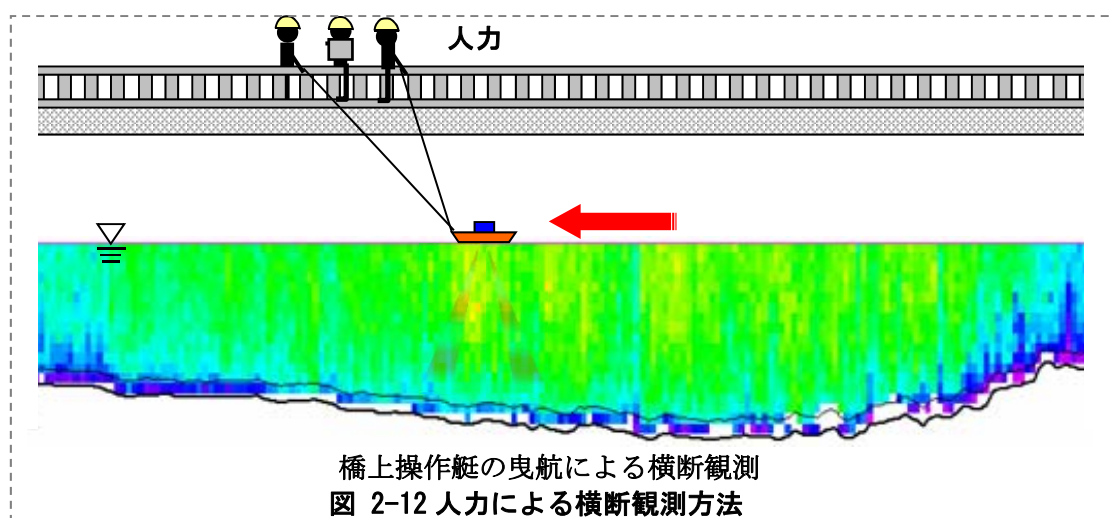
流速が 3m/s 以内で水面の状態が比較的安定している場合は、人力による曳航観測が可能である。曳航観測は実際にロープを持つ作業員と、ロープの余長分を持つ作業員、および監視要員の 3 名で作業を行うこと。街灯などの障害物が無い橋梁で観測を行う場合は、できるだけ 2 本のロープで観測を行う方が安全である。

なお、ロープの余長分はコイル状にして肩にかけると危険であり、余長分の意味をなさなくなるため、余長分はある程度の長さを保って舗道上を引きずる方が安全である。万が一大きな負荷がかかった場合、余長分をコイル状にしておくで一瞬で全て持って行かれる恐れがあり、体に巻き付けるとさらに危険である。ある程度の長さで道路を引きずった場合、大きな負荷が掛かった際に時間的余裕ができるため、監視員がロープを掴む余裕が生まれ、仮係留が可能となる。

流況が激しくなり橋上操作艇の移動が困難になった場合にはロープを可能な限り緩め、橋上操作艇が下流へ流されている間（ロープにテンションがかからない間）に台車を岸边まで移動する。

また、作業員はロープを切断するカッターナイフを携行し、いざという時にはロープを切断する可能性も頭に入れておくこと。この場合、安価な発信機を橋上操作艇に取り付け、出水終了後回収することを考えてもよい。

なお、曳航用ロープの長さは河川流速に応じて調整する。基本的には橋上操作艇の橋梁からの距離が最大でも約 30m になるように調整する。これは先述した移動式観測台車での観測でも同じである。



(d)作業手順

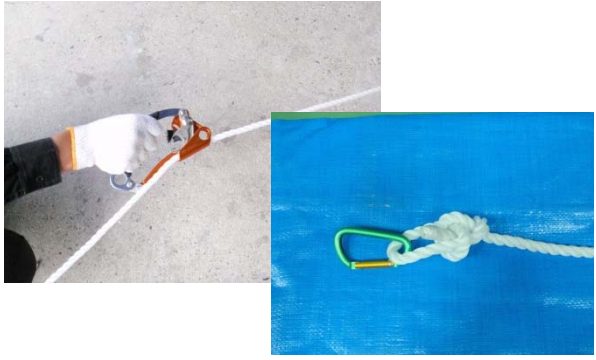
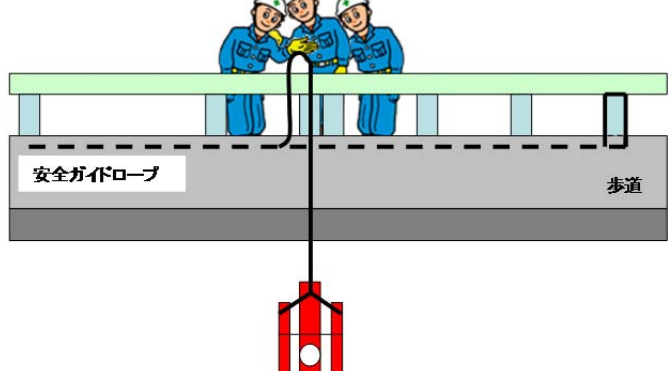
●人員の配置 観測に関わる作業員は、 ・安全管理者 1 名 ・PC オペレーター1 名 ・橋上ボート操作員 2 名 の計 4 名（以上）で行う事。 ・夜間作業監視要員（夜間作業時のみ）	 補助員 船曳航員 安全監視員 安全ガイドロープ ボートロープはカラビナで安全ガイドロープに固定 安全ガイドロープは左右岸の欄干に固定 歩道 流下物などの状況と歩道上の歩行者などの安全を監視する
●観測準備 橋梁の下流側にガイドロープを設置する。 橋上操作艇に係留ロープを取り付ける。ロープ長は 60m 程度とし、先端にカラビナを取り付ける。 カラビナをガイドロープにはめ込み、観測準備完了。	
●機材の着水 機材の着水作業は 3 人で行う。河岸際の流速の遅い場所で着水させる方が安全である。また、着水時はボートが転覆状態にならない様に注意する。観測装置は基本的に耐水压構造であるため、多少の水没は問題無い。	 安全ガイドロープ 歩道
●曳航作業 橋上操作艇を十分下流側に流しきった状態から観測を開始させる。流心部は大きなテンションがかかるため、2 名で作業する。流心部で水面の擾乱が激しい場合はデータ欠損が生じるため、その場合は出来る限りゆっくりと移動させる。曳航が完了したら、河岸際の安全な場所でボートを係留しておく。	

表 2-1 橋上操作艇観測時の作業チェックリスト

準備段階	
☐	観測は安全管理者1名、PCオペレーター1名、橋上ボート操作員(メイン1名、サブ1名、ロープ整理員1名)で行う事
☐	ロープ整理員は、ロープ切り用ナイフを携帯する事
☐	安全管理者は、安全教育を実施する事
☐	安全保護具(ヘルメット、ライフジャケット、軍手/皮手袋)を必ず着用する事
☐	可能であればアッセンダーを準備する事
☐	無線機は安全管理者とPCオペレータが所持し、安全管理者はハンズフリータイプを使用する事
☐	ロープは結び目の無い本物を使用する事
☐	緊急時の合図を決めておく事(ロープをはなす、ロープを切る等)
観測開始段階	
☐	安全管理者は、各人員の配置を確認する事
☐	各人員の配置が完了するまで、観測は行わない事
☐	橋上からのボートエントリーは、PCオペレーターを含む全員で行う事
観測時	
☐	ロープを手に巻き付けない事(テンションがかかると解けず、骨折や河川への転落の危険がある)
☐	ロープの余長はボート操作員間の2倍にする事
☐	ロープの余長は束ねず伸ばした状態で引きずる事(足にロープが絡まるのを防ぐ)
☐	流木等流下物の衝突を避ける事
☐	ロープに急なテンションが掛かってもバランスを崩さないよう、常に注意を払う事
☐	ロープと欄干の間に、操作員が入らない事
☐	やむを得ずロープをはなす際は、大声で周囲に知らせる事(ロープの巻き込み防止)
☐	ボートのウエイトバランスに留意し、安定姿勢を保持する事
☐	通行人がロープに近づかない様にする事
観測終了時	
☐	橋上へのエグジットは、PCオペレーターを含む全員で行う事
☐	ロープの損傷の有無を確認する事

2.3.3 観測体制

ADCP を搭載した橋上操作艇による横断観測時は、最低4名体制で実施することを原則とする。また、夜間作業の監視員など、必要に応じて適切な人員配置を設定し、安全管理にも十分に配慮するものとする。

【解説】

観測の班体制は安全管理者を含めて4人以上であることが望ましい。また、各観測員はトランシーバー等を用いて常に連絡を取り合えるようにする。

表 2-2 橋上操作艇による ADCP 観測時の観測体制

観測員	役割
安全管理者（1名）	直接は作業に従事しない安全管理者を1名配置する。 作業中の全体を常に監視し、危険な状況（例えば高速で接近してくる一般船等）を察知したら速やかに措置（例えば無線で橋上操作艇操作員に指示を送る等）を講じるように指示を出す。また、安全管理者は橋上操作の補助員としてトラブル防止にあたる。
橋上操作艇操作員（2名）	橋上操作艇の操作員（2名）。 橋梁上を横断移動しながら橋上操作艇を操作する。 互いに連携し船の通行や歩行者の接近を知らせる。 また、橋上操作用ロープの安全管理やデータ監視員との連絡等を実施する。
データ取得（1名）	川岸（陸上）において ADCP のデータを取得する。 ADCP の遠隔操作器を使用している場合は、データ監視員が ADCP データを監視し、観測状況等についても操作員に連絡する。特に、水深状況を詳細に連絡することで、ADCP と河床との衝突等を避けることが可能となる。
夜間作業監視要員 1名	夜間作業を実施する際には、補助作業員および監視要員として1名増員する。 夜間照明のセットアップや水面の監視、安全管理などに従事する。

※上記の他に、現地の状況に応じて必要と判断される場合は増員すること。

※24時間観測する場合の人員配置は以下の通りとする。

日中： 8:00～16:00	4名
夜間： 16:00～24:00	5名
深夜： 24:00～8:00	5名

2.3.4 観測回数

ADCP を用いた流量観測時における観測回数は、観測状況に応じて設定する。

【解説】

観測回数は出水規模や洪水継続時間に応じて、観測間隔や観測期間を設定しなければならない。従来の浮子観測と同様に、少なくとも1時間～2時間に1回程度の頻度で観測を実施し、出水の立ち上がり期から低減期までを網羅的に観測する。また、1回の観測で1往復計測を実施することを原則とするが、往復で誤差が大きいと思われる場合や観測に失敗した場合など観測回数を適宜増やすものとする。

2.3.5 観測範囲

横断観測時の観測範囲は、河道内の全断面を計測することを原則とする。

【解説】

観測範囲は基本的に河道内の水面幅全てを網羅することが望ましい。しかし河道内には様々な障害物や植生の繁茂などがあり、かつ水位によって水面のコンディションは刻々と変化するため、あくまでも現地の状況を見て危険の無い範囲で観測を行うこと。なお、水深が浅すぎたり植生の影響などで汀線際まで ADCP を寄せることができなかった場合には、河岸際から何mのところまで計測を開始（又は終了）したのか野帳に記録しておくこと。これによってデータ処理で河岸際の不感帯を補完することが可能となる。

計測水深については、遠隔データ転送装置を用いてリアルタイムに水深を確認しながら観測を行い、橋上操作艇が河床及び河岸に接触しない範囲で、可能な限り河岸付近まで観測を行うように配慮すること。これは、洪水時の河床高を把握するためにも重要である。

また、高水敷での観測では、樹木等の影響や地形により、横断観測の途中で橋上操作艇の曳航ができなくなる場合がある。河川管理者と事前協議を行い、可能であれば観測の障害となるであろう植生や樹林帯は伐採しておくことが望ましい。

2.3.6 横断速度

観測時の横断速度は、原則として徒歩程度(1.0m/s 以下)とする。

【解説】

ADCP 観測における橋上操作艇の横断速度に関しては、対象河道の水位変動特性に応じて決定する必要がある。すなわち、観測対象地点の流域面積が小さい場合など、出水時の水位変動は激しいことが想定される場合は、観測時間を短くするため、可能な限り速い横断速度とすることが望ましい。しかしながら、観測データの精度を安定させるためには横断速度についてある程度統一することが必要である。このため横断速度は原則として 1m/s 以下程度とすることとした。

ただし、流速が上記の横断速度に比べて極端に遅い場合は、RTK-GNSS 等から得られる横断速度が流速値に与える影響が大きいことが想定される。このため、横断速度を遅くすることが望ましい。

なお、ADCP の横断観測の計測精度の定量評価手法については、岡田ら¹⁾、橘田ら²⁾により、固定観測における計測条件から得られる流速計測誤差の標準偏差に基づいた偏差流速比、偏差流量比を用いる方法が提案されている。横断観測の精度管理については下記の文献を参考にされたい。

【参考文献】

- 1) 岡田将治・橘田隆史・森本精朗・増田稔：ADCP 搭載無人ボートを用いた四万十川具同地点における洪水流観測，水工学論文集，第 52 巻，pp.919-924，2008
- 2) 橘田隆史・岡田将治・新井励・下田力・出口恭：ラジコンボートを用いた ADCP 移動観測の計測精度評価法に関する一考察，河川技術論文集，pp.295-300，2008

2.3.7 観測野帳の記録

ADCP 観測を実施した際の現地記録は、観測年月日、時刻、観測の方法、当該流量の算出方法、その他必要な事項を野帳に記載しなければならない。野帳の様式は、使用する観測機器の種類、及び構成により定めなければならない。

【解説】

(1) 観測所概要

観測所番号：観測地点として設定した場合は観測所番号を記載する。

観測所名：観測地点名を記載する。

概略水面幅：対象断面の概略水面幅を記載する。

概略水深：対象断面の概略最大水深を記載する。

概略流量：対象断面の概算流量値（管理用 H・Q 式）を記載する。

基準断面水位：観測開始時と終了時の水位値を記録する。

潮汐変動：感潮区間等で潮汐変動がある観測地点は、潮汐変動の有無を記載する。

河岸の形状：河岸付近の補完に使用することを目的として、河岸の形状を記載する。

(2) ADCP の機種、設定内容

周波数：使用する ADCP の周波数を記載する。

ビームアングル：ADCP のビームアングルを記載する。

ソフトウェア：ADCP 操作および流量算出に使用するソフトウェア名を記載する。

動作試験：ADCP の動作試験（事前実施）の結果を記載する。

ADCP の設定：ADCP の観測設定内容を記載する。

ADCP 器深：ADCP トランスデューサーの位置（水面からの距離）を記載する。

アンサンブル間隔：1 アンサンブルの測定間隔（設定時間）を記載する。

観測法：実施する ADCP 観測方法（橋上操作、有人船、ラジコンボート等）を選択する。

機器構成：ADCP と併用して使用する観測機器を選択する。

(3) 観測記録

観測時刻：観測開始時刻と終了時刻を記載する。

左右岸までの距離：観測船と左右岸の水岸までの距離を記載する。

出発岸：ADCP 観測を開始した岸（左または右）を記載する。

流量値：ADCP により観測された流量値（速報値）を記載する。その際、計測部と不感帯で分けて記載する。

観測概況：ADCP 観測時の河道状況等で明記すべき事項（観測精度に影響を与える可能性のある事象等）を記載する。

2.4 安全対策

2.4.1 安全対策計画書の作成

事前に十分に安全対策を検討したうえで、計画書に安全対策について記載する。その際には、観測体制、緊急連絡体制、なども記載すること。安全管理については、以下の項目に付いて計画書に記載すること。

(1) 総則

- ①現場業務においては、労働基準法、労働安全衛生法、道路交通法などに関する法律を遵守する。
- ②安全衛生については、発注者担当職員と密接に連携を保つと共に協力会社とも協力し、自主的・積極的に災害撲滅をはかり円滑な業務遂行に努める。
- ③現場作業時には、保安帽の着用並びに作業状況に合った服装を着用する。なお、船上およびその周辺（川内に落水する恐れがある場所）での作業は、救命胴衣を着用する。
- ④近隣の病院、消防署、警察等の連絡先と場所の確認を行い、計画書に記載し、作業関係者に周知する。道路交通の妨げにならないように、車両等の駐車場所を事前に確保しておくこと。道路使用許可が必要な場合は、取得に1週間ほどを要するため、急な洪水観測には間に合わない可能性があるので発注機関と十分な協議を行うこと。

(2) 公害防止

河川及び海域には、油類、廃品、残材等を投下、廃棄しないよう作業員に指導徹底する。

(3) 重点管理項目

① KYK、TBM の実施

KYK,TBM を通じて作業安全措置について作業員に徹底する。

ただし、KYK（Kiken Yochi Katsudo）は危険予知活動、TBM（Tool Box Meeting）は作業の内容・段取り等確認のための短時間のミーティングである。

② 作業に適した服装と防保護具の使用の徹底

本調査は洪水時における水際作業となるため、ライフジャケット、ヘルメット、（場合によっては安全帯）着用を徹底する。

③ 作業開始時、終了時の連絡の徹底

作業開始、終了時には現場責任者（または現場管理者）から発注者に連絡を入れる。

なお、上記以外にも進捗状況等の報告など、密に連絡をとるようにする。

(4) 地域住民との協調

- ① 防犯に留意するとともに、常に軽率な言動を積み、地域住民の感情を害することのないように協調を図る。
- ② 当調査に関係しない場所への無断立入は行わない。なお、作業のため立入の必要が生じた場合には、事前に必ず発注者担当職員に連絡し、調整する。
- ③ 調査周辺地域に対して災害・苦情等の発生防止に留意するとともに、万一発生した場合は、発注者担当職員に連絡するとともに、受託業者の責任で速やかに処理し、その結果を発注者担当職員に報

告する。

(5) 交通安全

- ① 公道の通行にあたっては交通法規を遵守し、住民、学童及び一般車両の通行を妨げないように注意し対策を講じる。万一事故が発生した場合は速やかに受託業者の監督員に連絡するとともに、受託業者の責任において適切な処理を講じる。
- ② 調査用車両が公道を通行するにあたっては、積載物の落下防止、粉塵防止、路面の損傷防止に努める。万一不注意による損傷、汚染があった場合は受託業者の責任で遅滞なく修復、清掃を行う。なお、適正な通行を行っていたにもかかわらず、損傷等が生じた場合については、発注者担当職員と協議の上その対策を決定する。
- ③ 公道上で作業等を行う場合には、必要に応じて交通監督員を配置し、交通の安全確保を図る。
- ④ 公道上むやみに駐車し、地元住民等の通行を妨げないこととする。

(6) 災害防止計画

作業の実施にあたり、以下の災害防止策を講じる。

作業項目	想定される災害	災害防止策
作業全般	・ 水難災害 ・ 交通災害	・ KYK,TBM の実施 ・ 救命胴衣着用 ・ 救命ブイの用意 ・ 滑りにくい靴の着用 ・ ヘルメットの着用 ・ 交通法令の厳守
ADCP 観測、水位観測	・ 水難災害	・ 救命胴衣着用 ・ 救命ブイの用意 ・ 滑りにくい靴の着用 ・ ヘルメットの着用

(7) 作業中止の目安

気象情報を集め、作業の着手・継続が困難と判断される場合は発注者と協議のうえ、作業を中止する。以下は、作業中止の目安を記したものである。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">・ 風速：17m/s 以上の場合・ 水位：水位が桁下 1.5m 未満となる場合・ 流速：最大流速が 6m 以上の場合・ 流木などの流下物が非常に多く観測に支障を来す恐れがある場合。・ その他、A C D P ボートの着水・移動等に危険が伴うと判断される場合 |
|--|

【参考：風速の目安】

風力	風速 (m/s)	風速 (kt : ノット)	陸上の様子
0	0.3 未満	1 未満	静穏、煙はまっすぐに昇る。
1	0.3 以上 1.6 未満	1 以上 4 未満	風向は煙がなびくのでわかるが風見には感じない。
2	1.6 以上 3.4 未満	4 以上 7 未満	顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動き出す。
3	3.4 以上 5.5 未満	7 以上 11 未満	木の葉や細かい小枝絶えず動く。軽い旗が開く。
4	5.5 以上 8.0 未満	11 以上 17 未満	砂ぼこりが立ち、紙片が舞い上がる。小枝が動く。
5	8.0 以上 10.8 未満	17 以上 22 未満	葉のある灌木が揺れ始める。池や沼の水面に波頭が立つ。
6	10.8 以上 13.9 未満	22 以上 28 未満	大枝が動く。電線が鳴る。傘は差しにくい。
7	13.9 以上 17.2 未満	28 以上 34 未満	樹木全体が揺れる。風に向かっては歩きにくい。
8	17.2 以上 20.8 未満	34 以上 41 未満	小枝が折れる。風に向かっては歩けない。
9	20.8 以上 24.5 未満	41 以上 48 未満	人家にわずかな損害が起こる（煙突が倒れ、瓦がはがれる）。
10	24.5 以上 28.5 未満	48 以上 56 未満	陸地の内部では珍しい。樹木が根こそぎになる。人家に大損害が起こる。
11	28.5 以上 32.7 未満	56 以上 64 未満	めったに起こらない。広い範囲の破壊を伴う。
12	32.7 以上	64 以上	

(8) 夜間作業の安全対策

夜間作業には、以下を追加で準備する必要がある。

- ・ 反射板付きの安全ベスト
- ・ ヘッドライト
- ・ 懐中電灯
- ・ 夜間照明
- ・ 見張り員の増員(河川水面の流木などの状況を監視するための人員)

3. 固定設置型流量観測の概要

3.1 はじめに

本マニュアル（案）では、ADCP 観測が実施できない場合を想定して、設置型流速計（電波式流速計、画像解析、H-ADCP）を用いた固定設置型流量観測を補助的に並行して実施する。

【解説】

流量観測の高度化においては、橋上操作艇に搭載した ADCP による観測を基本としている。しかしながら観測地点によっては ADCP 観測が実施できない場合も考えられる。そのような場合を想定して固定設置型流速計による流量観測を補助的に並行して実施する。（固定設置型流速計による流量観測を固定設置型流量観測と呼ぶ。）ADCP データが得られない場合には、固定設置型流量観測によるデータを用いて ADCP データを補完する。

ADCP 観測が実施できない場合として、

①中小規模の出水でも ADCP 観測が実施できない場合

②大規模出水あるいは出水のピーク付近において ADCP 観測にデータ欠損が多くなる場合
が考えられる。

①については、山地急流河川のように中小規模の出水でも流速が速く水面振動が激しい場合などが想定される。

②については、多くの河川がこの場合に当該すると想定される。例えば出水のピーク付近（大規模出水を含む）では以下の理由が考えられる。

- ・流速が速く、かつ水面振動が激しくなる。
- ・流下物（流木、ゴミなど）が極端に多くなる。
- ・観測体制の遅れを含むヒューマンエラー

なお、「浮遊物が極端に多い」とは、出水のピーク付近において、ADCP による横断観測に無視できないほどの欠測が生じる場合をいう。

このような場合を想定して、固定設置型流量観測を補助的に並行して実施し、これを用いて ADCP のデータを補完する。

固定設置型流量観測の内容については、**3.4**を参照とする。

3.2 固定設置型流速計の形式および特徴

固定設置型流量観測においては、固定設置型流速計を用いる。

固定設置型流速計には超音波流速計や H-ADCP のようにセンサー部が水に接触するタイプ（接触型）、電波流速計や画像処理方式のようにセンサー部が水に接触しないタイプ（非接触型）がある。

固定設置型流速計は現場の流況に応じて選定する。

【解説】

固定設置型流速計には、接触型と非接触型がある。接触型については大規模出水時に計測の確実性や流下物（倒木等）対策などに課題があり、特に洪水流量観測への適用も考慮して現段階では非接触型が有利と考えられる。

非接触型流速計には大きく分けて、電波や超音波を用いて河川の表面流速を測るドップラー方式（電波流速計、超音波流速計）と、ビデオ画像から河川表面の波紋や濃淡等の模様の速度を測る画像処理方式（PIV 法、STIV 法等）に分けられる。

非接触型流速計の中には実用化に向けて克服すべき課題の残るものもあるが、電波流速計や画像処理方式など、既に十分に実用に適する段階に達したものもある。

一方、接触型の固定設置型流速計としては、超音波流速計、H-ADCP などがある。H-ADCP は比較的新しい技術ではあるが、今後に向けての潜在的可能性が大きいと期待されている。

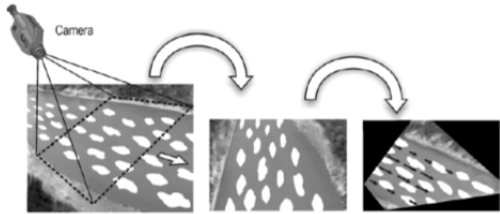
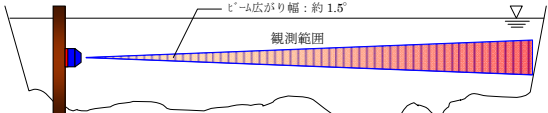
	概要図	概要
電波流速計	 一般的な電波流速計  設置状況	- 電波のドップラー効果を利用して河川表面流速を測定する非接触型流速計である。 - 固定設置型の他に可搬式電波流速計もある。 - 既存の構造物（橋梁等）を利用して設置することが多い。
画像処理方式 (LSPIV、STIVなど)	 Figure 1. LSPIV measurement sequence: a) imaging the area to be measured (white patterns indicate the natural or added tracers used for visualization of the free surface); b) the distorted raw image; c) the undistorted image with the estimated velocity vectors overlaid on the image	- ビデオカメラにより河川表面を撮影し、河川表面の濁りや流下物等の移動を追跡して表面流速を測定する。 - 非接触型の流速計（流速測定方式）である。 - 現実的に斜めからしか撮影することができない場合もあり、画像変換の技術が必要である。
H-ADCP	 H-ADCP の一例 	- 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できる。 - 接触型流速計である。 - 現在は、河道断面全域を観測するためにセンサーが上下方向に移動する機能や、センサーの首振り機能を有しているものもある。

図 3-1 固定設置型流速計の概要

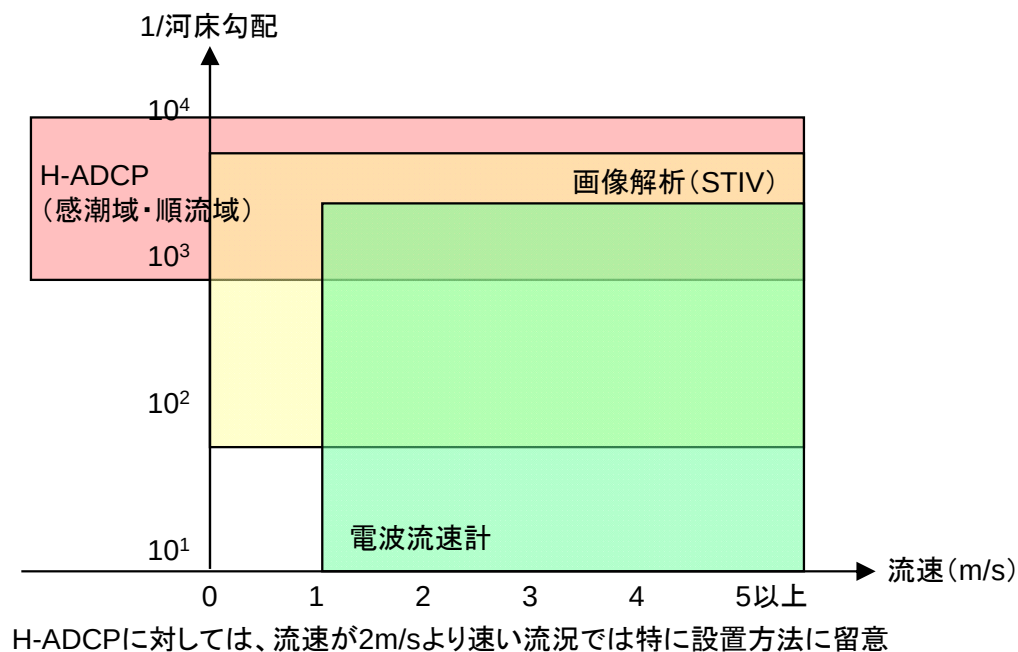


図 3-2 各固定設置型流速計の適用範囲イメージ

固定設置型流速計の選定については、現場の流況に応じて適切な機器を選定する。

固定設置型流速計の選定については、対象河川の水利条件について主に流速と河床勾配を考慮すると整理しやすい。各固定設置型流速計の適用範囲イメージを図 3-2 に示す。今後、高度化された流量観測を続ける過程において、固定設置型流速計の適用範囲をより明確にしていくべきである。なお、川幅に関しては若干の制限があるものの、計測機の台数を増やすことで対応できる。また河床変動の有無、程度などについても併せて配慮が必要である。

3.3 固定設置型流量観測の特徴

固定設置型流速計を用いた流量観測技術は、無人で時間的に連続して流量を計測ができるという特徴を持っている。

【解説】

固定設置型流速計を用いた流量観測（固定設置型流量観測）には以下の特徴がある。

○観測が無人・自動で実施される。

○時間的に連続した流量値を観測することが可能である。

特に使用する固定設置型流速計が非接触型の場合、ADCP 観測が実施できないような場合においても観測を行うことができる。

そのため ADCP 観測においてデータの欠損が生じても、固定設置型流量観測を並行して実施することで ADCP 観測データを補完することができる。

ただし、固定設置型流速計で得られるデータは河川流れの代表流速（電波流速計の場合は表面流速、H-ADCP の場合はセンサー高さにおける流速の横断方向分布）であり、流量に換算するには流速補正係数および河積を求める必要がある。（詳細については、河積の測定については **3.5**、流速補正係数の算出については **3.6** をそれぞれ参照とする。）

3.4 固定設置型流量観測の概要

固定設置型流量観測は、河川の代表流速（表面流速など）を観測し、その観測結果に流速補正係数を乗じて流量測定断面の断面平均流速に変換し、それに流量測定断面の河積を乗じて河川流量を算出するものである。

流速補正係数は、原則として ADCP 観測結果から算出する。

河積については ADCP 横断観測の結果を用いることを基本とするが、流況に応じて音響測深機（橋上操作艇に搭載、あるいは固定設置）を使用する。

【解説】

固定設置型流速計で計測できるのは河川の代表流速（例：電波流速計であれば河川表面流速）である。流量を求める際には測定した代表流速に流速補正係数を乗じて流量測定断面における断面平均流速を求め、それに流量測定断面の河積を乗じる。そのため、固定設置型流量観測では流速補正係数、河積を定めることが必要である。

高度化した流量観測においては ADCP 横断観測により流量を測定することを基本とするが、**3.1**で説明した通り、ADCP 観測が実施できない場合を想定して固定設置型流量観測を補助的に並行して実施する。

(1) 中小規模の出水でも ADCP 観測が実施できない場合

- ・このような場合には、完全に固定設置型流量観測のみを行うことが考えられてよい。
- ・流速補正係数については、一般的な値を利用してもよいとする。例えば電波式流速計、画像解析を用いる場合には 0.85 を用いてもよい。（詳細は **3.6** 参照）
- ・出水時は音響測深機を搭載した橋上操作艇による河床高についての横断観測を実施し、河積の変動を把握する。橋上操作艇自体が使用できない場合には、音響測深機を固定設置し、断面内において河床変動が顕著な個所（例：滞筋など）における自動河床高観測を実施する。（詳細は **3.5** 参照）

(2) ADCP 観測にデータ欠損が多くなる場合

- ・ADCP 観測にデータ欠損が生じた場合には、並行して実施している固定設置型流量観測による観測データで補完する。
- ・ADCP データ欠損時の流速補正係数については、その前後における ADCP 観測により得られる鉛直方向流速分布を基に流速補正係数を算出する。（詳細は **3.6** 参照）
- ・固定設置した音響測深機による河床高自動計測を実施する。音響測深機は橋梁または H 鋼による構造物などに取り付ける。出水中に顕著な河床変動が生じないことが明確な場合には出水中の河床変動観測は行わない。この場合には定期横断測量を実施し、その結果から当該断面における水位と河積の関係を予め把握しておく。定期横断測量は年に一度、出水期前後に実施する。（詳細は **3.5** 参照）

使用する固定設置型流速計が非接触型である場合、表面流速は台風等の強風時には、風向・風速

の影響を大きく受ける場合がある。このため、風向・風速計を設置し、風向風速の影響を考慮して表面流速を補正する。(詳細は **3.7** 参照)

固定設置流速計を用いて得られたデータは品質照査をした上で、必要に応じて欠損した ADCP データの補完に用いる。補完したデータは確定値化した上で、水文データとしてデータベース化し、公開する。

3.5 河床高の計測

出水時には、ADCP 横断観測により河床高横断分布を計測することを基本とする。

ADCP 横断観測の実施が困難な場合、ADCP 観測にデータ欠損が生じる場合には音響測深機（橋上操作艇に搭載、あるいは橋脚等の構造物に設置）により河床高横断分布を計測することを基本とする。

河床変動が生じない場合には、定期横断測量結果を用いる。

【解説】

固定設置型流速計により流量を測定するためには、河積を知る必要がある。そのため、出水時の河床高横断分布を計測しなければならない。河床高の計測手法として、ADCP 横断観測によることを基本とするが、ADCP 観測の実施可能性に応じて、以下に示す手法を選択する。

(1) ADCP 観測が困難な場合（機器破損の可能性もある場合も含む）

- ・橋上操作艇に ADCP に代わり音響測深機を搭載して河床高横断計測を実施する。
- ・橋上操作艇自体が難しい場合、滯筋など出水中の河床変動が顕著な個所について音響測深機により河床高の自動計測を実施する。音響測深機は河床高横断分布の大まかな変動を把握できるように配置する。音響測深機は橋脚または H 鋼などによる構造物に固定設置する。

(2) ADCP 観測データに欠損等が生じる場合

- ・ADCP 横断観測と並行して固定設置した音響測深機による河床高の自動計測を実施する。自動観測は滯筋など河床変動が顕著な地点を対象として設置し、河床高横断分布の大まかな変動が把握できるように配置する。音響測深機は橋脚または H 鋼などによる構造物に固定設置する。ADCP 観測にデータ欠損が生じた場合に音響測深機による河床高データを用いて補完する。

(3) 河床変動が生じない場合

顕著な河床変動が生じない場合には、定期的に横断測量を実施し、その結果から河積と水位の関係を予め算出しておく。定期横断測量は年に一度、出水期前後に実施する。

音響測深機による河床高の自動測定に関するより詳細な説明については、**Appendix G** を参照とする。（**Appendix G** は本マニュアルの次バージョン以降にて掲載予定）

【出水中の河床変動のモニタリングの研究事例】

従来の浮子測法等では出水前後の基準断面における横断測量を実施し、河積の大きい方の断面形状を採用していた。実際には出水の段階に応じて河床が変動していることがわかっている。

出水中の河床変動の処理に関する研究事例¹⁾を以下に示す。

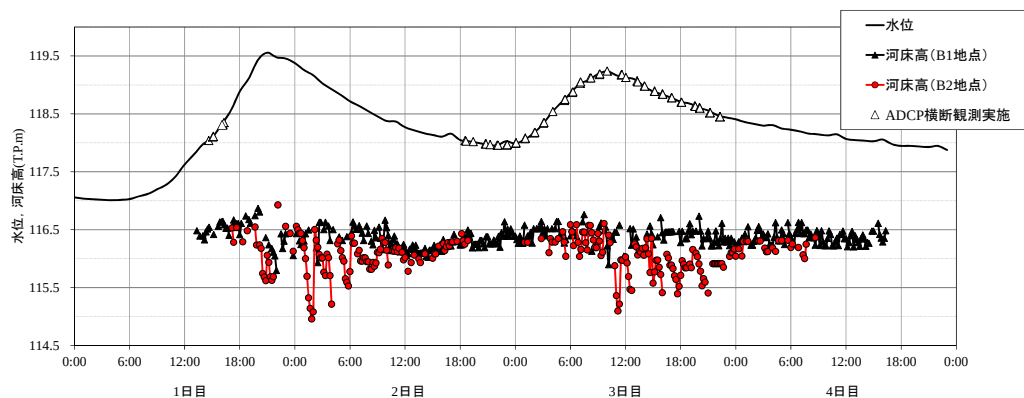


図 3-3 X 川 Y 地点における河床高、水位、ADCP 観測流量の時系列図

図 3-3 は電波流速計による連続自動観測を実施している X 川 Y 地点における河床高、水位、ADCP 観測流量の時系列図である。電波流速計による流速測定断面内の 2 地点（B1 地点、B2 地点）において音響測深器を用いて河床変動をリアルタイムで計測している。

観測期間中に 2 度の出水ピークが来ている。最初の出水について見ると、水位は初日の 6:00 から増加し始め、21:00 頃には約 2.5m 上昇してピークに達した。その後、約 24 時間で水位が 118.0m まで低下した後に、最初の出水よりも若干ピーク流量が小さい出水が来ている。この間の河床高を観測地点 B1 について見ると、最初の出水において水位の立ち上がり時付近からピーク時付近まで河床高は上昇し続けている。ピーク後、水位の低下に伴い河床高も低下するが、1m 程度の振動を伴っている。観測 2 日目の 12:00 以降、土砂堆積が続き 12 時間ぐらいで約 50cm 堆積する。2 度目の出水時にも、河床高変動は最初の出水時の同じような傾向を示す。最終的に河床高は最初の値に戻っている。観測地点 B2 について見ると、水位と河床高の関係は観測地点 B1 と似たような傾向を示している。若干の違いとしては、B2 における河床高変動の振幅が B1 におけるそれよりも大きいということである。両方に共通の特徴は最低河床高が現れるのが流量ピーク時ではなく、ピークから数時間後であることである。

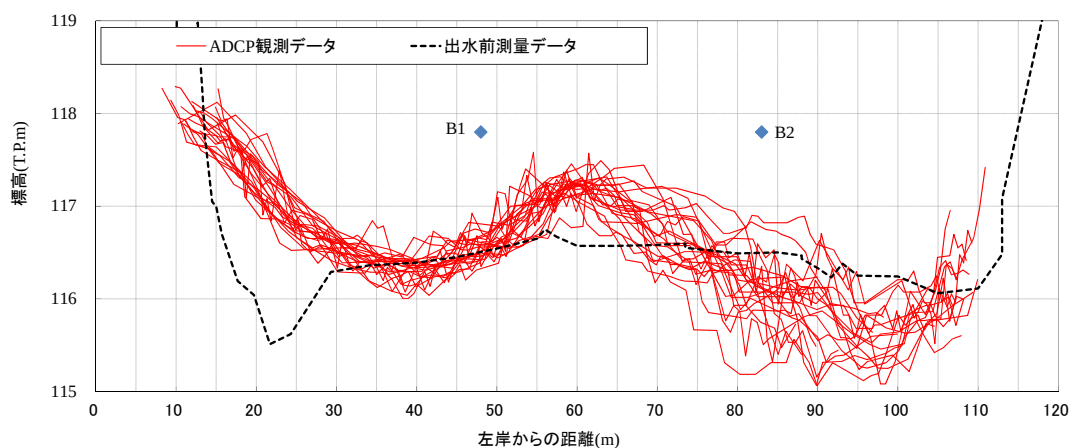


図 3-4 ADCP 横断観測によって求まる河床高横断分布

図 3-4 には図 3-3 の 2 度目のピーク期間中に実施した ADCP 横断観測による全河床高分布データを重ねたものである（図 3-3 内において ADCP 横断観測を実施した時点を△で示している）。図 3-4 中に横断面における観測地点 B1、B2 の位置を示してある。観測地点 B1 を含む左岸側では河床高が約 0.5m の範囲で振動しており、逆に観測地点 B2 を含む右岸側では河床高が約 1.5m の範囲で振動している。これは図 3-3 で示される結果とほぼ一致しており、音響測深機により計測された河床高が概ね妥当であったことを示していると考えられる。

このように出水期間中において河積が時々刻々と変動していることが実際の現地観測データとして示された。より正確な連続流量観測を実現するために、この時々刻々の河床変動を流量算出に取り組む試みが国立研究開発法人土木研究所等において続けられている。

参考文献 1) : A.Yorozuya, K.Fukami, K.Odaira: Automatic Water Discharge Measurement for Mountainous Areas,
5th Int. Conf. on Flood Management, Tokyo, Japan, 27-29 September 2011

3.6 流速補正係数の算出

ADCP 横断観測から得られる鉛直方向流速分布から流速補正係数を算出することを基本とする。
ADCP 横断観測が実施困難な場合には、一般的に用いられる値を流速補正係数としてもよい。

【解説】

固定設置型流量観測では、固定設置型流速計により観測される代表流速を断面平均流速に換算するための流速補正係数が必要となる。（代表流速は、固定設置型流速計が電波式流速計、画像解析の場合には表面流速、H-ADCP の場合には水中のセンサー設置高の流速になる。）

流速補正係数については ADCP 横断観測により得られる鉛直方向流速分布から算定することを基本とする。ただし、ADCP 横断観測の実施可能性に応じて、以下に示す手法から選択する。

(1) ADCP 観測が困難な場合

ADCP による横断観測が実施できない場合については、一般的に使用される値を用いる。例えば電波流速計、画像解析などにより得られる河川表面流速に対しては、0.85 を用いる。この数字は水文学の分野において一般的に受け入れられている数字である¹⁾。

(2) ADCP 観測データに欠損等が生じる場合

ADCP 観測データ欠損時の前後における ADCP 観測結果から、データ欠損時の流速補正係数を算定する。

河床波を伴う流れでは、出水中に流速補正係数が変動することが実測により確かめられている²⁾。出水中の流速補正係数の変動を固定設置型流量観測システムに取り込むことが研究されている。次ページでその事例を紹介する。

参考文献 1) : Marian Muste et al., 2008; “Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments” Water Resour. Res., 44, W00D19, doi:10.1029/2008WR006950

参考文献 2) : 萬矢敦啓・大平一典・菅野裕也・深見和彦：非接触型電波式流速計を用いた洪水流量自動観測手法の一考察，河川技術論文集，第 16 巻，pp.53-58，2010.6

【流速補正係数の出水中の変化に関する研究事例】

先述した河床高同様、流速補正係数も出水期間中に時々刻々と変化している。

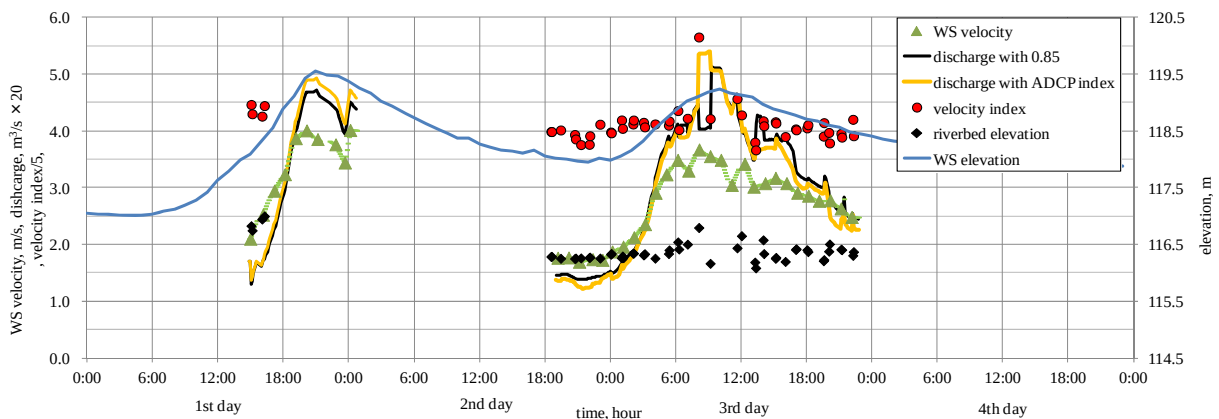


図 3-5 河床変動、水位、表面流速、ADCP による流速補正係数、および流速補正係数 0.85 で求められた流量と ADCP による流量の時系列

上図はピーク流量が $1000\text{m}^3/\text{s}$ 級の 2 つの出水が続いた時の、音響測深機による河床変動、水位、表面流速、ADCP による流速補正係数、流速補正係数を 0.85 としたときの流量、ADCP による流量の時系列である。

2 日目の 18:00 以降について見ると、河床変動が生じない時は流速補正係数は 0.75～0.85 で落ち着いているが、3 日目の 6 時以降河床変動が生じ始めると 0.73～1.1 の間で変動する。流量補正係数が 0.85 前後で落ち着いている時は、流速補正係数 0.85 で求めた流量と ADCP による流量はほぼ一致するが、流速補正係数が変動すると 2 つの流量が異なってくる。例えば、流速補正係数が 1.13 の時は 24%、0.73 の時は 16% の流量差が生じている。このことから、河床変動が大きい場合は、流速補正係数の変化を適切に把握することが必要であることがわかる。

より精度の高い流量の連続自動観測実現に向けて、この時々刻々の流速補正係数の変化を流量の算出に取り込むことが将来的には求められる。

現段階では固定設置型流速による代表流速の測定とは別に水位（水面勾配）を測定し、それらから無次元掃流力を求め、これを基に流速補正係数を自動計測する試みが行われている。

同一の河床形態（砂漣、砂堆、反砂堆等々）における流速補正係数と無次元掃流摩擦力との関係には傾向が見られることが判明している¹⁾。それらの関係は現段階では実験から得られた知見であるため、固定設置型流速計による自動計測に合わせてしばらくは定期的に ADCP 観測を行い、流速補正係数と無次元掃流力の関係についてデータを蓄積する必要がある。

参考文献 1) : A.Yorozuya, K.Fukami : Study about Velocity Index in Actual River during Flooding, 3rd Int. Symp. on Shallow Flows, Iowa City, USA, June 4-6, 2012

参考文献 2) : 山本晃一：構造沖積河川学，山海堂，pp.12-pp.51，2004/11

3.7 風の影響補正

非接触型の固定設置型流速計を用いた流量自動観測システムの場合、台風等の強風時ににおいて、河川の表面流速は、風の影響を大きく受けている場合がある。非接触型流速計による表面流速と風向・風速計の観測結果から、風の影響を除去した河川の実際の表面流速を推定し、流量を算定するものとする。

なお、風の補正は風向・風速が時々刻々変化するため、表面流速観測結果と同期させなければならない。

【解説】

電波式流速計、画像処理方式などの非接触型流速計の場合、測定する代表流速は河川表面流速である。（H-ADCP の代表流速は水中の流速なので風の影響はない。）

電波式流速計は河川の凹凸を利用して表面流速を計測している。また、画像解析手法は河川表面に存在する紋様などが河川表面水と同じ速度で流下しているという仮定の下に流速を測定している。そのため、これらの観測は風波が生じるような場合には風の影響を強く受ける。

例えば、下図のように川の上流に向けて吹く風の場合、電波流速計で計測される河川表面流速は、川の自流により本来あるべき表面流速より小さくなることもある。そのため鉛直方向流速分布を対数分布側で考えると、断面平均流速が実際よりも小さく算出される可能性がある。このため、風向・風速データを基に風の影響を除去し表面流速を補正する必要がある。

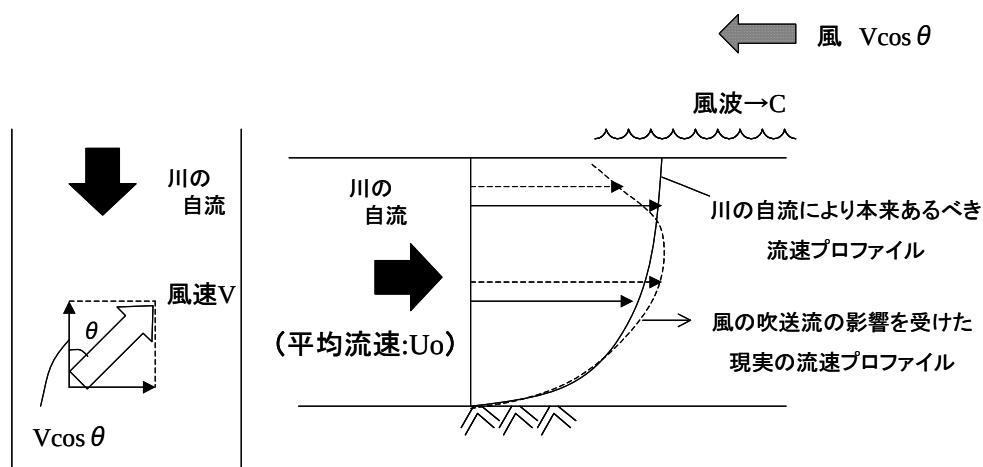


図 3-6 風による流れへの影響イメージ（逆風の場合）

計測値からの風の影響の除去については、以下に示すような実験式あるいは現地観測から得られた式がある。

$$(\text{室内実験}) \quad \text{流速値} = \text{計測値} - U_{WIND} \times 0.016 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$(\text{現地観測}) \quad \text{流速値} = \text{計測値} - U_{WIND} \times 0.074 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、計測値：非接触型流速計で計測された河川表面の流速、 U_{WIND} ：現地に設置された風速計で計測された風速である。いずれも河川流下方向軸の順流方向を正とする。

(1)式は延長 50m の室内水路に風洞を取り付けて実施した実験結果より導かれている。また (2) 式は実際の河川における流量観測結果から導いた式である。(1)、(2) 式ともに国立研究開発法人土木研究所により導かれた。両式において、風の影響の評価が大きく異なっている。現時点では現場の判断によりいずれかの式を用いることになるが、今後も観測の継続、データの蓄積を続け、風の除去に関する適切な式について検討していく必要がある。

ここで示した流速観測結果および現地における風向・風速の観測結果をもとにして、非接触型流速計の結果から風の影響を除去する式を導く手法については、国立研究開発法人土木研究所、(財)土木研究センター及び民間 5 社で特許権を保有している。(特許第 3762945 号 非接触型流速計を用いた開水路流量観測方法及びその流量)

次ページに風の影響について検討する方法の一例を示す。

【風の影響についての補正式について】

土木研究所は固定設置型流速計を用いた無人自動流量観測システムの構築を目指して、電波流速計、画像解析（LSPIV 等）などの非接触型流速計による現地観測を全国的に行っている。先述した(2)式は、これらの観測結果を基にして導いた式である。

始めに非接触型流速計で計測された表面流速（以降、流速計データと呼ぶ。）を ADCP により推定した表面流速（以降、ADCP データと呼ぶ。）と比較すると次図のような関係が得られた。（ADCP による表面流速の推定については後述する。）

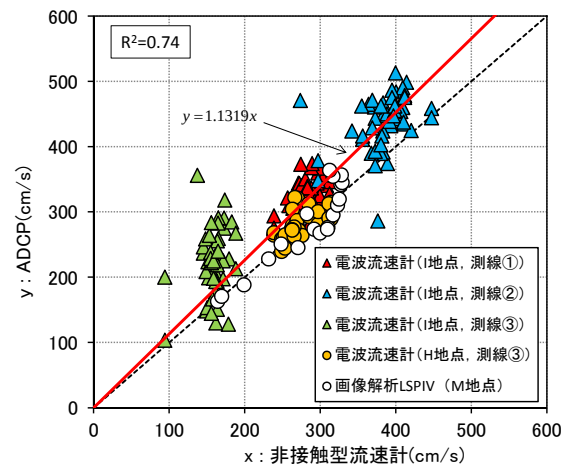


図 3-7 流速計データと ADCP データの相関
(風の影響除去前)

図中△で示したデータの観測時には、台風により川の逆流方向に向かって常時強い風が吹いていた。そのため、△については ADCP データが流速計データよりも大きくなる傾向が出ていると考えられた。○で示したデータは無風あるいは微風時の観測データである。

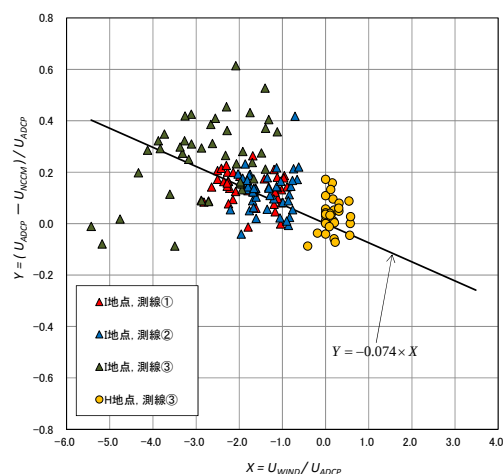


図 3-8 風速と 2 データの差（＝ADCP データ－流速計データ）の相関

上図において、 U_{WIND} ：風速、 U_{ADCP} ：ADCP データ、 U_{NCCM} ：流速計データである。いずれも流下方向順流向きを正としている。風速の大きい領域でデータのばらつきも見られるが、近似直線式は図中の黒線ようになる。

このとき、ADCP データを“真値”として、図中に示した $Y=0.074 \times X$ を展開すると、(2)式が導かれる。このとき、(2)式において流速値= U_{ADCP} 、計測値= U_{MCCM} である。

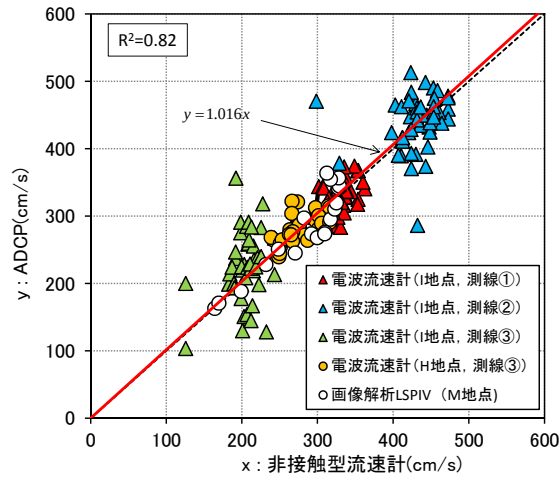


図 3-9 流速計データと ADCP データの相関
(風の影響除去後)

上図は(2)式を用いて流速計データから風の影響を除去した後、ADCP データとの相関を調べた図である。風の影響除去後、流速計データは ADCP データとほぼ等しい値となっており、(2)式により風の影響が除去できていることがわかる。

上図に関しては、(2)式に用いる風向・風速データは最寄りの気象庁の観測所における AMeDAS データを使用した。これは同データの観測期間が台風による強風時であったため、観測現場を含む広い範囲で風況は同じであったと考え、離れた地点における風のデータを観測現場でのデータとしてあてはめたものである。実運用上の観点から、今後は流量観測の際には現場に風向・風速計を設置し、引き続き風が与える影響について検討を続けていく。

3.8 観測測線及び区分断面の設定

観測測線に合わせて、各観測点が受け持つ区分断面を設定する。

観測測線は既往の浮子測線に対応して設定することを基本とする。

ただし、ADCP による出水中の流速横断分布、河床高横断分布の観測結果に応じて、より適切な配置を決定する。

【解説】

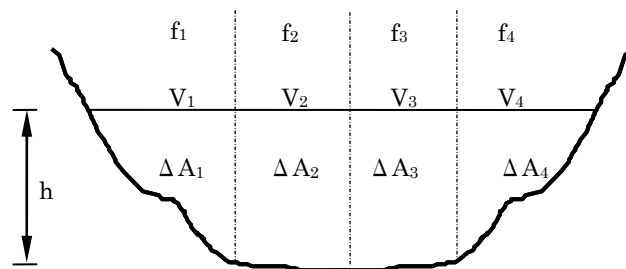
- 1) 設置したそれぞれの観測点が流速測定を受け持つ区分断面を設定する。
- 2) 観測測線は ADCP 横断観測結果を基にして決定することが望ましい。しかしながら本マニュアルに基づいた観測開始当初は ADCP 観測データが不十分であることが想定されるため、観測開始当初は既往の浮子測線に対して観測測線を設定することを基本とする。
- 3) ADCP 横断観測結果を確認し、必要に応じてより適切な測線数、配置にすることを検討する。
- 4) 測線上において偏流が極力生じないこと、河床変動が極力生じないこと、などが重要である。測線上に樹木等障害物がないことを確認し、後から繁茂した場合には適切に伐採する。

3.9 流量の算出

流量算出に当たっては、計測器が測定する河川表面流速に適切な流速補正係数をかけ断面平均流速を求め、それに河床高および水位に応じた河積を乗じて流量を算出する。

【解説】

- 1) 3.8 で定めた観測測線の中央部に観測点を設定する。
- 2) 観測した河川表面流速に予めシステムに取り込まれている流速補正係数を乗じて各区分の断面平均流速を求める。
- 3) 2)で求めた各区分の断面平均流速に、各区分の断面積を乗じて区分流量を求める。なお、断面積は各観測方法における測線に対応する横断測量結果と水位から算出する。
- 4) 3)で求めた各区分の流量を積分して、断面流量を算出する。



$$Q = \sum f_i V_i \Delta A_i$$

Q : 総流量

f : 流速補正係数 = $f(h, I, d)$

V_i : 区間表面流速

ΔA_i : 区間流積

図 3-10 流量算出について

4. 電波流速計による観測

4.1 観測位置の選定

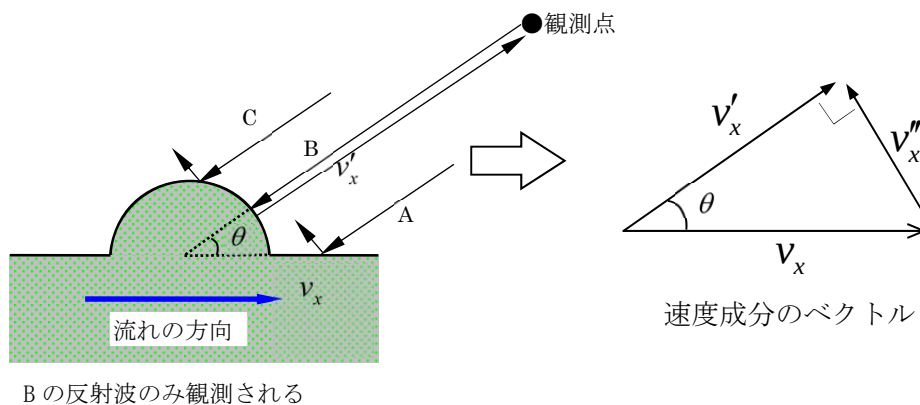
電波流速計はドップラー効果を利用した計測法である。この計測法は移動物体に発信体の振動数が反射した時に、移動物体の速度に応じて反射振動数が変化する原理（ドップラー効果の原理）を利用した計測法であり、現在様々な分野で利用されている。

【解説】

(1) ドップラー効果

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。

(2) 流速の観測



観測点から照射された電波が移動する水面の位相にぶつかり、反射した電波の周波数がドップラー効果により変化したのを捉え、水面位相の移動速度を求める。位相の移動速度が水粒子の移動速度と等しいという仮定の下に流速が算定される。

波の照射方向と水面位相の移動方向が角度 θ の関係にある場合、水面位相の速度 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。

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

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

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

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。

(3) 測定

ドップラー効果の利用して、移動物体からの反射波の周波数と照射波の周波数の違いにより移動物体の速度を算出する。

電波の周波数 f , 波長 λ , 伝播速度 v の間には次の関係がある。

$$v = \lambda f \dots\dots\dots (2.1.1.1)$$

固定した観測点から波長 λ , 周波数 f の電波を、速度 v_x で移動している物体に照射してその反射波を観測する場合を考える。

この場合、観測点と移動物体の

距離は単位時間に $2 v_x$ 縮まるため、反射波の周波数は $2 v_x / \lambda$ だけ増える。観測される反射波の周波数 f_r は次式となる。

$$f_r = f + \frac{2 v_x}{\lambda} \dots\dots\dots (2.1.1.2)$$

(2.1.1.1) 式を用いて、書きかえると次式となる。

$$f_r = \left(1 + \frac{2 v_x}{v}\right) f \dots\dots\dots (2.1.1.3)$$

送信波と反射波を混合検波してその差の周波数 f_d を取り出すと

$$f_d = f_r - f = \frac{2 v_x}{v} f \dots\dots\dots (2.1.1.4)$$

となり物体の速度に比例したドップラー周波数が得られる。

電波流速計での使用周波数は $f = 10.525 \text{ GHz}$, 電波の伝播速度 $v = 2.99793 \times 10^8 \text{ m/s}$ を (2.1.1.4) 式に代入すると次のようになる。

$$f_d = \frac{2 f}{v} v_x = \frac{2 \times 10.525 \times 10^9}{2.99793 \times 10^8} v_x = 70.215 \times v_x \dots\dots\dots (2.1.1.5)$$

つまり、速度 1 m/s あたり約 70 Hz の周波数の差異（ドップラーシフト）が得られる。

4.2 観測位置の選定

電波流速計を設置する観測所は、次の各項に挙げる条件をすべて満たす地点が望ましい。

1. 水面が波立つ等、電波が確実にセンサーに反射され測定できること。
2. 出水時の流速が 0.5～20m/s の範囲であること。
3. 橋梁等必要な設置諸条件が満足される地点であること。
4. 河道が湾曲していない地点で、かつ大きく流速の異なる流路がなく、渦を巻くような流れにならない場所であること。

【解説】

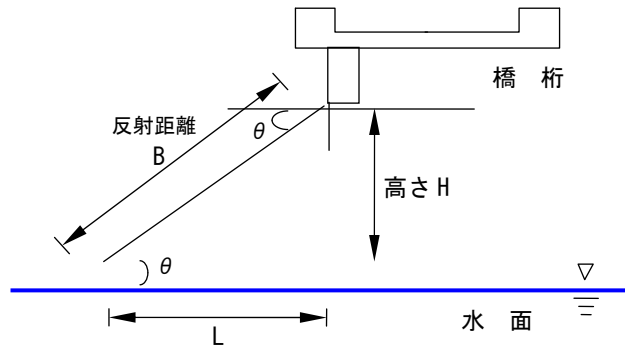
本章では固定設置型流速計の中でも、非接触型流速計である電波流速計を用いる場合の留意点等について述べる。

電波流速計は実際の流量測定において既に使用されている観測所もあり、研究・開発について 20 年以上の歴史を有している。

- 1) 電波式流速計はセンサー（電波送受波器）から発射された電波が水面で反射する際にその周波数が増加するドップラー効果を利用して河川表面の流速を測定している。水面が鏡面のように滑らかな場合には電波が十分に反射されないため、ある程度水面に凸凹が生じていないといけいない。つまり観測可能な最小流速は水面が波立つ時の流速となる。そのため勾配の急な河川では低水から高水まで観測可能であるが、緩勾配の河川では低水時に測定不能となることがある。設置する河川の特性と観測目的の整合を事前に確認する必要がある。
- 2) 電波流速計は水面で反射された電波の周波数の変化を捉えて流速に換算している。そのため水面が鏡面のように滑らかで電波が十分に反射されないような場合には、電波流速計では表面流速が測定できない。測定ができなくなる閾値は一般的に流速が 0.5m/s 以下であると言われている。しかしながら 1.0m/s 程度の流速でも水面がなだらかな場合には測定できないこともある。自動的に連続して観測できるのが電波流速計の長所であるが、低水時の流量を観測する上では注意が必要である。
- 3) 橋等の既存の構造物を利用して設置する。橋桁に機器を取り付け、センサーを水面に向けて設置する。現地の状況に応じて、センサーを橋の下流側に向ける。センサーを下流側へ向けるのは、後から ADCP などによる観測結果との比較ができるようにするためである。その際、真上から電波を当てるとドップラー効果による反射波の周波数の変化が生じないため、ある程度俯角を与える必要がある。照射域の範囲や電波の照射エネルギーの分布（ビーム幅は約 10° ）を考慮すると俯角は 40° ～ 45° が望ましい。（電波流速

計を販売している国内某メーカーの製品では俯角を $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ で設定でき、 40° が推奨されている。)

- 4) 電波流速計は送受信器から水面までの距離が 20m 以内(但し、流速 2m/s 以上の時は 40m 以内)とする。橋等の既設構造物に取り付けるのが基本であるが、橋梁等が存在しないのであれば現場の状況に応じて専用ポール等の設置が検討されてもよい。



ここで、俯角 θ 、設置位置と水面までの高さ H 、照射距離 B 、照射位置の水面距離 L とする

図 4-1 電波流速計の設置位置

- 5) 流速計のヘッド部は、河道内に固定させなければならない。設置に際しては、橋梁の橋桁を利用するか固定させるアーム装置が必要である。なお、橋梁を利用する場合には、防振対策を施す必要がある。
- 6) 河道が大きく彎曲しているような場合、内湾側と外湾側で大きく流速が異なっている場合があり、そのような場所で電波流速計を用いると実際の流量とは異なる大きく離れた値を算定する可能性がある。また流れが渦巻いているような場所においては渦を逆流として捉える可能性もある。そのため、現地の流れの事前に現地踏査等により状況を十分に把握した上で電波流速計の設置方法等について検討する必要がある。

4.3 電波流速計の出荷時の精度管理

電波流速計の出荷時における精度管理として、メーカーにおいて以下の項目についての検定を実施するものとする。

- ① 外観・構造検査（キズ、取付け部の確認）
- ② 寸法検査（仕様を満足しているか）
- ③ 絶縁抵抗試験（絶縁抵抗確認）
- ④ 耐電圧試験（絶縁破壊の確認）
- ⑤ 動作試験（動作確認、精度確認）

【解説】

- 1) 電波流速計の出荷時には、メーカーに対し上記項目についての成績書を提出してもらうものとする。
- 2) 動作試験（動作確認、精度確認）として、周波数発生器（音叉等）を電波流速計センサー部の正面に配置し、水面による反射波を想定した周波数を持つ電波を発生させる。その時に、電波流速計が各周波数に対応する流速値を表示していることを確認する。
- 3) 上述の動作確認は、最低でも4パターンの受信電波周波数-出力流速の関係について確認するものとする。例として周波数が61.71Hz、123.42Hz、863.93Hz、1851.3Hzの電波を発生させて動作確認を行う。それぞれの周波数に対応する流速は、0.50m/s、1.00m/s、7.00m/s、15.00m/sである。これらの値を基準値とした場合、電波流速計が表示する値が基準値の±2%内に収まることを確認する。

4.4 観測データの管理

観測されたデータは、1ヶ月単位でデータを回収し、定められたフォーマットに則って整理し、メディアに保管蓄積し、これを管理するものとする。

【解説】

- 1) 電波流速計により観測されたデータは河川計画上、河川管理上重要なデータであり、確実に保存され、広く利用されるフォーマットで整理されなければならない。
- 2) 観測されたデータは1ヶ月単位でデータの回収、整理を行う。回収、整理する内容は、時刻、水位、流速、流量、その他構成要素（風向、風速、エラー信号）とする。
- 3) 観測されたデータについて、水位、流量についてはその重要性に鑑み、テレメータシステムを利用して、常時、施設管理者へ転送されるようにする。災害対応等の観点から必要である。
- 4) テレメータによるリアルタイムでの転送以外にも、観測所ごとに電子ロガー等に保存するなどしてデータ保存の2重化を行うものとする。
- 5) 水位、流量に関しては、国土交通省が運用する水文水質データベースにおいて、公開されることが考えられるべきである。その際、現在公開の対象になっている雨量あるいは水位同様、データ品質照査を行う。品質照査手法については別途定める。
- 6) 電波流速計による流量自動測定システムにおいては、出水時に ADCP 横断観測が実施される場合がある。この時の ADCP データについても保管・蓄積する。
- 7) 電波流速計による流量自動測定システムにおいては、年一度出水期前（5月下旬～6月上旬）に流量測定断面において横断測量を実施し、最新の横断形状データをシステムに取り込む。この横断測量結果も保管・蓄積する。横断測量データについては、現状の定期横断測量データの保存方法に準じたフォーマットで保存する。
- 8) データの保存・管理は、観測所を管轄するそれぞれの河川事務所の責任で行う。

4.5 電波流速計についての保守点検

電波流速計は、現地設置後、機器の劣化や不備による欠測を未然に防ぐため、定期的に保守管理作業を行うものとする。保守管理は(a)月一回程度および(b)年一回程度の点検作業を実施する。

保守点検の項目は以下のとおりである。

(a) 月一度

1) 観測記録の点検、2) 目視による外観点検、3) 併設する水位計の読み値の確認

(b) 年一度

1) 機器精度、2) 清掃、3) 外観点検、4) 送受器向きの点検、5) 商用電源電圧の点検

【解説】

保守点検とは、観測データの精度向上が図れるよう保守及び構成を行うもので、機器の劣化や不備による欠測を未然に防ぐものである。

点検は(a)月一回程度、(b)年一回程度行うものとする。

(a) 月一度の保守点検

① 観測記録の点検

ロガー（流速計、水位計、風向風速計）に一月分のデータが記録されているかを確認する。確認したデータは回収すること。

② 目視による外観点検

- ・ 現場に設置した機器（電波流速計、水位計、風向風速計）に顕著な外傷がないかを目視で確認する。
- ・ 現場に設置した機器（電波流速計、水位計、風向風速計）の記録部（ディスプレイ等）を確認し、データが計測されていることを確認する。

③ 併設する水位計の読み値の確認

- ・ 水位計については記録部に表示されるディスプレイ等の値と量水標の読み値を比較する。両者間にずれが生じている場合には、水位計の値を量水標の読み値に合わせる。

(b) 年一度の点検

① 機器精度

電波流速計の計測原理は電波のドップラー効果を利用するものである。これは電波流速計の電波送受信センサー部から水面に向けて斜めに照射した電波が水面の位相流れに反射してセンサー部に戻ってくるとき、ドップラー効果により変化した周波数をとらえ、それを基に流速（水面の位相速度）を求めるものである。そのため電波流速計には機械的な可動部はない。またセンサー部は空気中にあるため付着物等の心配もない。このため、電波流速計は原理的に経年劣化することはないとされる。

ただし、観測前には電子機器部が正常に作動しているかどうかの確認検査は実施されるべきであ

る。保守点検の一環として、年に一度、機器のハード的なチェック（落雷・過電圧等に対する耐性が十分か）と超音波受信特性のチェック（受信する電波の周波数に応じた流速が得られているか）を行う。このチェックにおいて異常がない限り、電波流速計による流速計測制度は担保されていると考える。

年一度の機器精度についての点検は、出水期前（5月下旬～6月上旬）に実施するものとする。以下の項目についての点検も併せて実施する。

精度検査の内容としては、動作試験（動作確認、精度確認）として、設置現場において周波数発生器を電波流速計センサー部の正面に配置し、水面による反射波を想定した周波数を持つ電波を発生させる。その時に、電波流速計が各周波数に対応する流速値を表示していることを確認する。

現地にて動作試験が行えるように、電波流速計を設置する橋桁には必ず作業可能となる足場等を整備するものとする。

動作試験の結果、不具合が生じた場合は、早急にメーカーに問い合わせて修理等を行うこととする。

②清掃

電波流速計センサーに付着しているゴミ等の清掃。局舎内部および周辺の清掃。また、電波流速計の送受信の障害となるような植生等の除去。

③外観点検

現場に設置した機器（電波流速計、水位計、風向風速計）に顕著な外傷がないかを近距離から目視で確認する。

④送受信機の向きの点検

電波流速計の俯角、偏角を確認する。

⑤商用電源電圧の確認

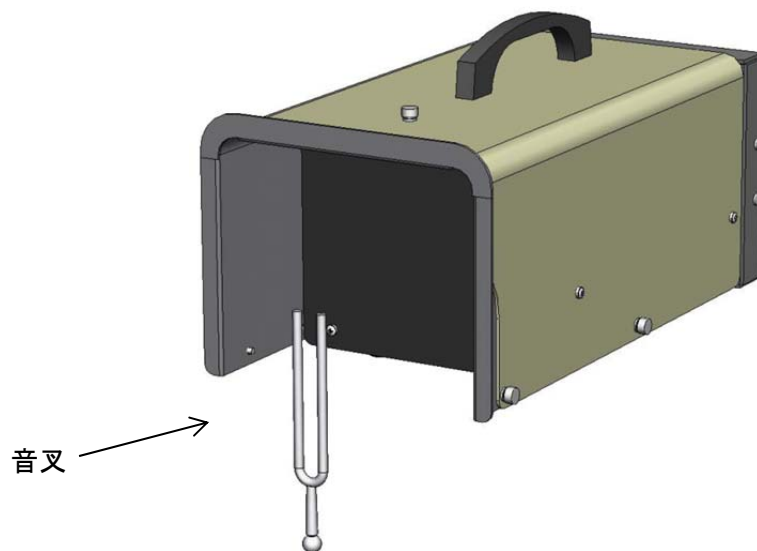
本体へ必要な電圧が供給されているかを確認する。

超音波受信特性のチェック方法

河川砂防技術基準調査編（国土交通省水管理・国土保全局）「第2章第4節 4.4.4 流速計の検定」によれば、「ADCPや電波流速計等のドップラー効果を原理とする流速計については、超音波や電波の送受信性能の確認をもって、上記の精度検証に代えてもよい」とある。

先述した通り、電波式流速計は照射する波と受信する波との周波数差に応じた流速値（基準値）が定まっている。

そこで次図に示すように特定の周波数の音波を発する音叉を受信部で鳴らし、それを受けて表示される流速値と基準値を比較して、精度検証を行う。



音叉の周波数に対応する基準値、および許容範囲については次ページの表に可搬型電波流速計、固定設置型電波流速計に分けてまとめている。

可搬型電波流速計については設定俯角を 0° に設定できない型もあるため、設定俯角 0° および 45° の場合についての数値を示した。固定設置型電波流速計は設定俯角を 0° に設定できるが、可搬型電波流速計との整合を合わせるため、設定俯角 0° および 45° の場合について掲載した。

なお、電波流速計の年に一度の点検では、送受信性能のみならず、送受信器の向きやシステムの不具合がないか等の点検も合わせて行うべきであるため、メーカーによる点検を受けることが原則必要である。

表. 可搬型電波流速計（24.15GHz）の音叉による点検での基準値と許容範囲

設定俯角 0 度，偏角 0 度のとき			設定俯角 45 度，偏角 0 度のとき		
音叉周波数 Hz	基準値 m/s	許容範囲 m/s	音叉周波数 Hz	基準値 m/s	許容範囲 m/s
128.0	0.79	±0.05	128.0	1.12	±0.05
256.0	1.58		256.0	2.24	
261.6	1.62		261.6	2.29	
277.1	1.71		277.1	2.43	
293.6	1.82		293.6	2.57	
311.1	1.93		311.1	2.73	±0.08
329.6	2.04		329.6	2.89	
349.2	2.16		349.2	3.06	
369.9	2.29		369.9	3.24	
392.0	2.43		392.0	3.44	
415.3	2.57		415.3	3.64	
440.0	2.73	±0.08	440.0	3.86	±0.10
442.0	2.74		442.0	3.88	
466.1	2.89		466.1	4.09	
493.8	3.06		493.8	4.33	
523.2	3.24		523.2	4.59	
525.6	3.26		525.6	4.61	
528.0	3.27		528.0	4.63	±0.15
554.3	3.44		554.3	4.86	
587.3	3.64		587.3	5.15	
622.2	3.86		622.2	5.46	
659.2	4.09	±0.10	659.2	5.78	
698.4	4.33		698.4	6.13	
739.9	4.59		739.9	6.49	
783.9	4.86		783.9	6.88	
830.6	5.15		830.6	7.29	

表. 固定型電波流速計（10.525GHz）の音叉による点検での基準値と許容範囲

設定俯角 0 度，偏角 0 度のとき			設定俯角 45 度，偏角 0 度のとき		
音叉周波数 Hz	基準値 m/s	許容範囲 m/s	音叉周波数 Hz	基準値 m/s	許容範囲 m/s
128.0	1.82	±0.05	128.0	2.57	±0.05
256.0	3.64	±0.08	256.0	5.15	±0.10
261.6	3.72		261.6	5.16	
277.1	3.94		277.1	5.46	±0.15
293.6	4.18	±0.10	293.6	5.79	
311.1	4.43		311.1	6.14	
329.6	4.69		329.6	6.50	
349.2	4.97		349.2	6.89	
369.9	5.26	±0.15	369.9	7.30	
392.0	5.58		392.0	7.73	±0.18
415.3	5.91		415.3	8.19	
440.0	6.26		440.0	8.68	
442.0	6.29		442.0	8.72	

【観測値の平均化処理について】

近年の観測機器の発達により、長期間かつ短周期の観測結果の出力や保存が可能になってきている。一方で、このような新しい観測機材を用いた流量観測においては 10 分に 1 回や 1 時間に 1 回の瞬間値が採用されている。この瞬間値は様々なスケールの物理現象が生み出す周期変動の中から抽出された上に、時にはエラー値が含まれることもある。そのため、観測された瞬間値から流況の代表値を得るためには、エラー値を取り除いた後に、ある時間間隔で平均化処理を行うことが望まれる。本稿では、可搬型電波式流速計の観測値を例として、観測値から代表値を決定する際の考え方について提案する。

可搬型電波式流速計から 2 秒間隔で計測された約 80 分間の流速値を図. 4-2 に示す。同図を見ると、観測値は 6～7

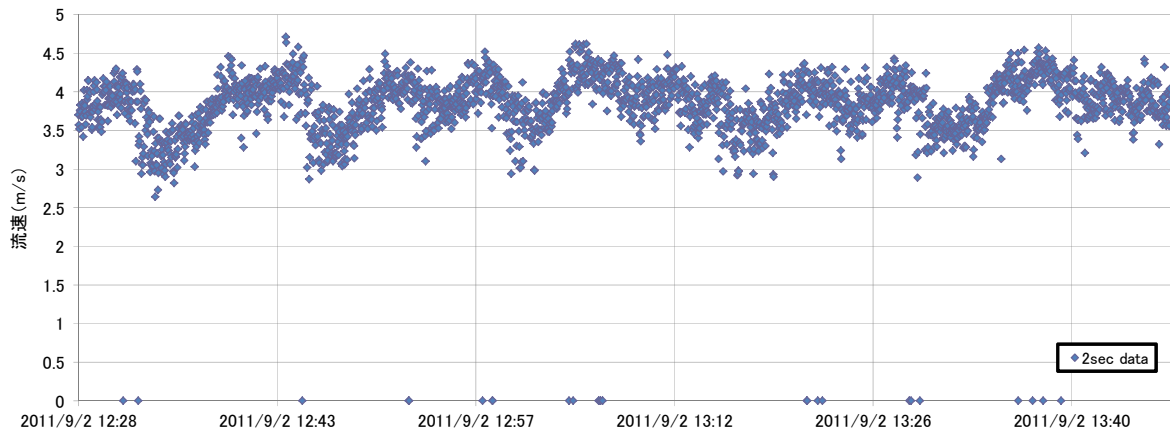


図. 4-2 可搬型電波流速計の観測値（2 秒間隔）

分程度の周期を持ち 3～4.5 m/s の間で変動したり、数秒から数十秒の間に最大 1 m/s 程度の変動を示す等、様々な変動を含んでいる。また時折 0 m/s の値も存在するが、これはエラー値の一つであろう。上記の変動要因として、主に河川水の流体现象としての乱流成分が考えられ、その他に車の通過による橋及び観測機器の振動や風による波の発生等も考えられる。図. 4-2 のように様々な周期変動やエラー値を含む観測結果から代表値を得るためには、以下の手順を行うことが望ましいと思われる。

- 1) エラー値（例えば 0 m/s）の有無の確認と、除去を行う。
- 2) 一周期以上の時間平均値を算出し、その時間の代表値とする。

上記の手順において、2)の平均値を算出するために採用する周期の数は、求めたい時間スケールや、周期変動の要因となる乱流の特性によって異なるため、一律に決められないことに留意したい。

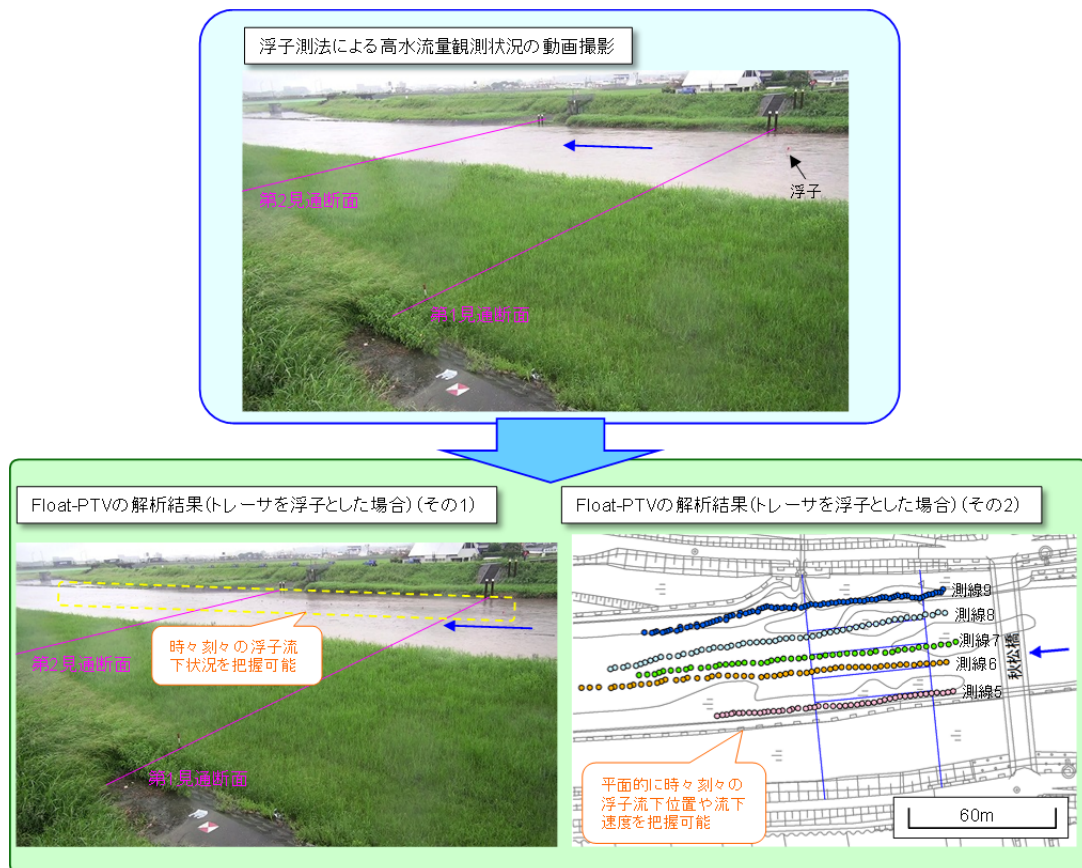


図 5-2 Float-PTV の概念図

また、表 5-1 に LSPIV (Large-Scale Particle Image Velocimetry) を含めた各画像処理型流速測定法の概要を示す。なお、本マニュアルではカラーCCDカメラのみならず遠赤外線カメラによる観測も紹介する。Appendix E を参照されたい。特に、カラーCCDカメラと遠赤外線カメラによる観測では、設置位置及び画角設定において留意点異なる。詳細は Appendix E の E_17 ページに示す。

画像処理型流速測定法において要求されるカメラの性能については以下のようなものである。

- 1) フレームレートは 30fps を標準とし、最低 7.5fps は確保する。
- 2) HD カメラは画素数が 200 万画素以上と規定されていることから、これが望ましい。
- 3) 遠赤外線カメラの性能は Appendix E の E_23 ページに示す。

なお、画像処理型流速測定法については、九州地方整備局が「CCTV カメラを活用した水文観測ガイドライン (案) 観測編、(同) 解析編」を作成した。CCTV カメラを活用する場合のみならず、ビデオカメラを用いる場合でも共通に活用できる知見が詳細に記されている。一部変更を加えた上で、本マニュアルの Appendix D として掲載した。また、画像処理型流速測定法のうち、遠赤外線カメラを活用する場合について、北陸地方整備局が「高水流量観測運用マニュアル (素案)」を作成した。一部変更を加えた上で、本マニュアルの Appendix E として掲載した。

表 5-1 画像処理型流速測定法の概要一覧

解析手法	LSPIV (Large-Scale Particle Image Velocimetry)	PTV (Particle Tracking Velocimetry)	STIV (Space-Time Image Velocimetry)
解析手法の概要	橋の上や河岸から斜め撮影されたカメラ映像を幾何補正して無歪み映像を作成し、その映像に PIV (Particle Image Velocimetry) の適応を行う解析手法	橋の上や河岸から斜め撮影されたカメラ映像を幾何補正して無歪み映像を作成し、その映像上のトレーサを手動追跡し、流跡を捉える解析手法 PTV の内、トレーサとして浮子を対象とするものが Float-PTV	カメラ映像から得られた連続した映像を用いて、検査線上の輝度値を時間軸方向に積み重ねた時空間画像に生じる縞パターンから解析を行い、平均速度場を求める手法
解析対象	連続撮影された映像	連続撮影された映像	連続撮影された映像
出力値	水表面流速ベクトルの平面分布	トレーサの流下速度ベクトル	時間平均水表面流速の横断分布
特徴	- 水表面に生じる輝度変化などの画像のパターンの変化、移動から流速を算出する方法。 - 水表面に現れる濁度、浮遊物などによる輝度パターンを追跡するため、渦や剥離流などの平面的な流れの解析が可能。 - 流れに対し垂直方向で撮影された画像の解析に適している。	- トレーサとして浮子を用いることで、現在の浮子測法に準拠した流量算出が可能。 - カメラ映像を用いてトレーサの流跡を捉えることができるため、浮子の流下状況等の定量的な把握が可能である。 - トレーサを手動で追跡することから、幾何補正による輝度の希釈等の影響を受けづらい	- 波紋の移動速度から流速を算出するため、トレーサの投入などが不要で、録画された映像のみから流速の算出が可能である。 - 撮影点からの距離による幾何補正の精度低下の影響、撮影映像のノイズや遮蔽物による影響が小さい。 - 計算アルゴリズムも比較的簡単であるため計算の高速化が図れる。
課題	- 撮影点から遠ざかるにつれ、幾何補正後の映像の歪みが大きくなり横断方向成分の精度が低下 - 検査窓の大きさ、画像解析対象の 2 枚の画像の時間間隔等を任意に設定するため解析精度が解析者の技術に依存 - 解析の際に、ノイズ・遮蔽物などを考慮しなくてはならない上に、幾何補正後の画像の輝度がはっきりしていないと正確な流速が得にくい。 - 洪水時に現れる水面波紋等が現われなければ計測不能である	- トレーサが流下する必要がある。 - Float-PTV では河川砂防技術基準 調査編に示される浮子を用いる。 - 手動でトレーサを追跡するため、解析に多大な時間を要する。 - 手動でトレーサを追跡するため、解析結果には少なからず人為誤差が含まれる。	- 水表面の波紋移動速度で流速を算出するため、風の影響を受ける。 - 洪水時に現れる水面波紋等が現われなければ計測不能である。
	- 現在のビデオシステムのままでは夜間計測が不可能である - 本手法の本質的な欠点は表面流しか計測できない点であり、流れの内部構造を捉えるには多点プローブ計測あるいは ADCP 等の計測機器が必要である		

参考文献：

- 1) 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、土木学会河川技術論文集、第 20 巻、2014.
- 2) 藤田一郎・小阪純史・萬矢敦啓・本永良樹：遠赤外線カメラを用いた融雪洪水の昼夜間表面流画像計測、土木学会論文集 B1（水工学）Vol.69 No.4、pp. I_703～I_708、2013.
- 3) 藤田一郎・霜野充・本田将人・小阪純史・萬矢敦啓・本永良樹：河川流速計測の汎用化に向けた STIV システムの精度検証、河川技術論文集、第 19 巻、pp.141～146、2013.
- 4) 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、土木学会水工学論文集、第 55 巻、pp.1177～1182、2011.
- 5) 原浩気・藤田一郎：時空間画像を用いた河川表面流解析における二次元高速フーリエ変換の適用、土木学会水工学論文集、第 54 巻、pp.1105～1110、2010.
- 6) 藤田一郎：実河川を対象とした画像計測技術
- 7) 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計測、土木学会水工学論文集、第 53 巻、pp.1003～1008、2009

5.2 標定点の設置

定点が満足すべき条件は以下のとおりです。

- ・ 高水流量観測用にプリセットしたビデオカメラ画像上で「標定点」であると指し示すことができるものを標定点とする。
- ・ 標定点は少なくとも6点以上設置する。
- ・ 画像処理型流速測定法を決定した後に流速計測範囲を決める。標定点の配置方法は、その流速計測範囲の周囲に満遍なく配置する。併せて、平面・鉛直方向の両方向にジグザグに標定点を配置することが望ましい。
- ・ 標定点は、①既設構造物、②測量赤白ポール・木杭、③ベニヤ板等で作成した標定点、の順番で選定すればよい。
- ・ ②はビデオカメラ設置岸に、③はビデオカメラ対岸に用いられることが想定される。なお、標定点として①を選択した場合と②・③を選択した場合では作業工程が異なるため注意する。
- ・ 画像処理型流速測定法を確実に実施するため、標定点は原則出水前に設置し三次元座標測量まで終了させる。

【解説】

一般的にビデオカメラ画像は、河川を垂直航空写真のように、河川の真上から撮影した画像ではなく、一般的には斜めから撮影された大きな歪みを伴った画像である。これらビデオカメラ画像を用いて画像処理型流速測定法による流速解析を実施する場合、必ず録画像を真上から見下ろした画像に変換（幾何補正）する必要がある（図 5-3）。その際に、標定点（座標のある目印）が必要になる。

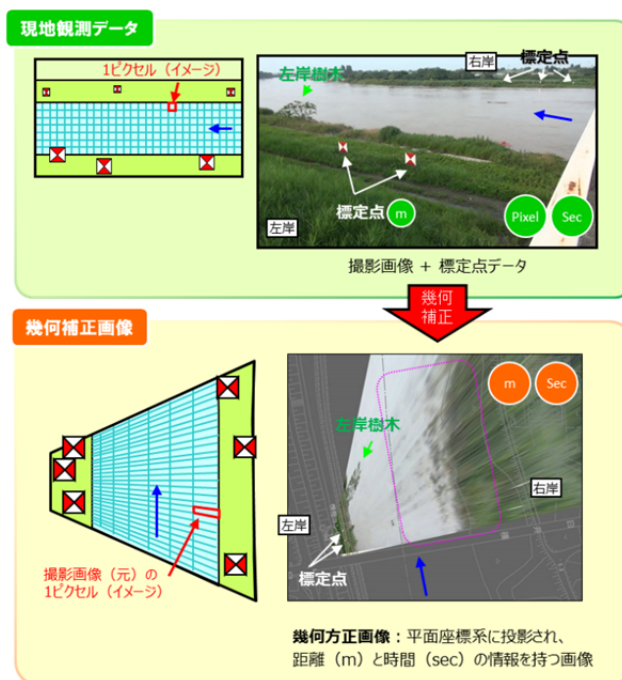


図 5-3 幾何補正の概念図

5.3 幾何補正精度

画像処理型流速測定法による流速解析を実施する際、一般的に、ビデオカメラ動画は斜めから撮影された動画である。これを真上から撮影した動画に変換するために、ビデオカメラ動画上の座標（CRT 座標）と物理座標の対応関係を明らかにしなければならない。

この一義的な対応関係を明らかにすることを幾何補正と呼ぶ。

標定点の座標を用いて行う幾何補正は、流速計測の精度に影響するため幾何補正では以下の精度を担保することが望ましい。

【高精度な流速計測に直接影響する評価項目】

流下方向の標定点間距離の誤差 5%以内

【高精度な流速計測に影響する評価項目】

横断方向の標定点間距離の誤差 5%以内

標定点による多角形の閉合誤差 5%以内

【解説】

幾何補正は、ビデオカメラ録画像の座標上（CRT 座標上）での標定点の位置と物理座標上での同一の標定点の対応関係を示す座標変換の連続方程式を満たす最も誤差の少ないパラメータを選定する（図 5-4）。

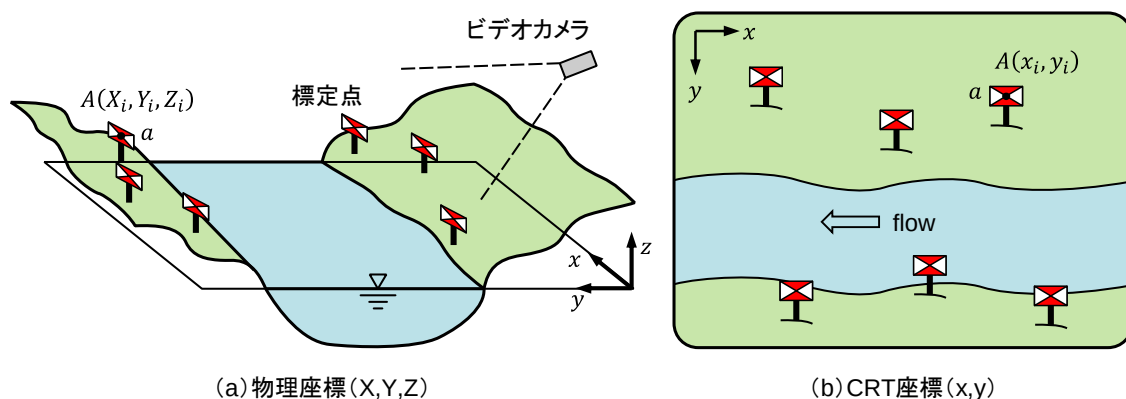


図 5-4 標定点の物理座標と CRT 座標

5.4 STIV による流速解析

画像処理型流速測定法のうち STIV を採用する場合、その検査線の位置、長さ、時間は以下のとおりとする。

- 検査線の位置と検査線の本数：

検査線の位置は、検査線の中心が流量を算出する横断面上になり、かつ、流量を算出する横断面に対し直交するように配置する。

検査線の本数は、浮子測法における標準法（表 5-2）以上とすることが望ましい。

表 5-2 水面幅に対応した浮子流速測線の目標数

水面幅	20m 未満	20～100m 未満	100～200m 未満	200m 以上
浮子流速測線数	5	10	15	20

出典：水位及び流量調査作業規程準則（昭和 29 年 10 月 9 日総理府令第 75 号）

- 検査線の長さ：

検査時間は検査線の長さと流速に依存する。可能な限り、検査線の長さと検査時間は STI がほぼ正方形になるように設定することが望ましい。検査時間を 15 秒程度とした際の検査線の長さは 10m である。

検査線の長さは、10～15m 程度が望ましい。

併せて、STI 中に現れる波紋の縞模様の傾きが 30～60 度以内になるようにし、40～45 度程度が最適である。

- 検査線の時間（解析時間）：

検査時間は検査線の長さと流速に依存する。可能な限り、検査線の長さと検査時間は STI がほぼ正方形になるように設定することが望ましい。検査線の長さを 10m にした際の検査時間は 15 秒程度である。

併せて、STI 中に現れる波紋の縞模様の傾きが 30～60 度以内になるようにし、40～45 度程度が最適である。

【解説】

STIV により流速を算出する場合、検査線の設定する位置、検査線の長さ、時間は流速の算出精度に影響を及ぼす。

(1) 検査線の位置：

検査線の位置は、検査線の中心が流量を算出する横断面上になり、かつ、流量を算出する横断面に対し直交するように配置する。

(2) 検査線の本数：

検査線の本数は、浮子測法における標準法に相当する本数（表 5-2）を標準とし、可能であればその本数を上回るように配置することが望ましい。

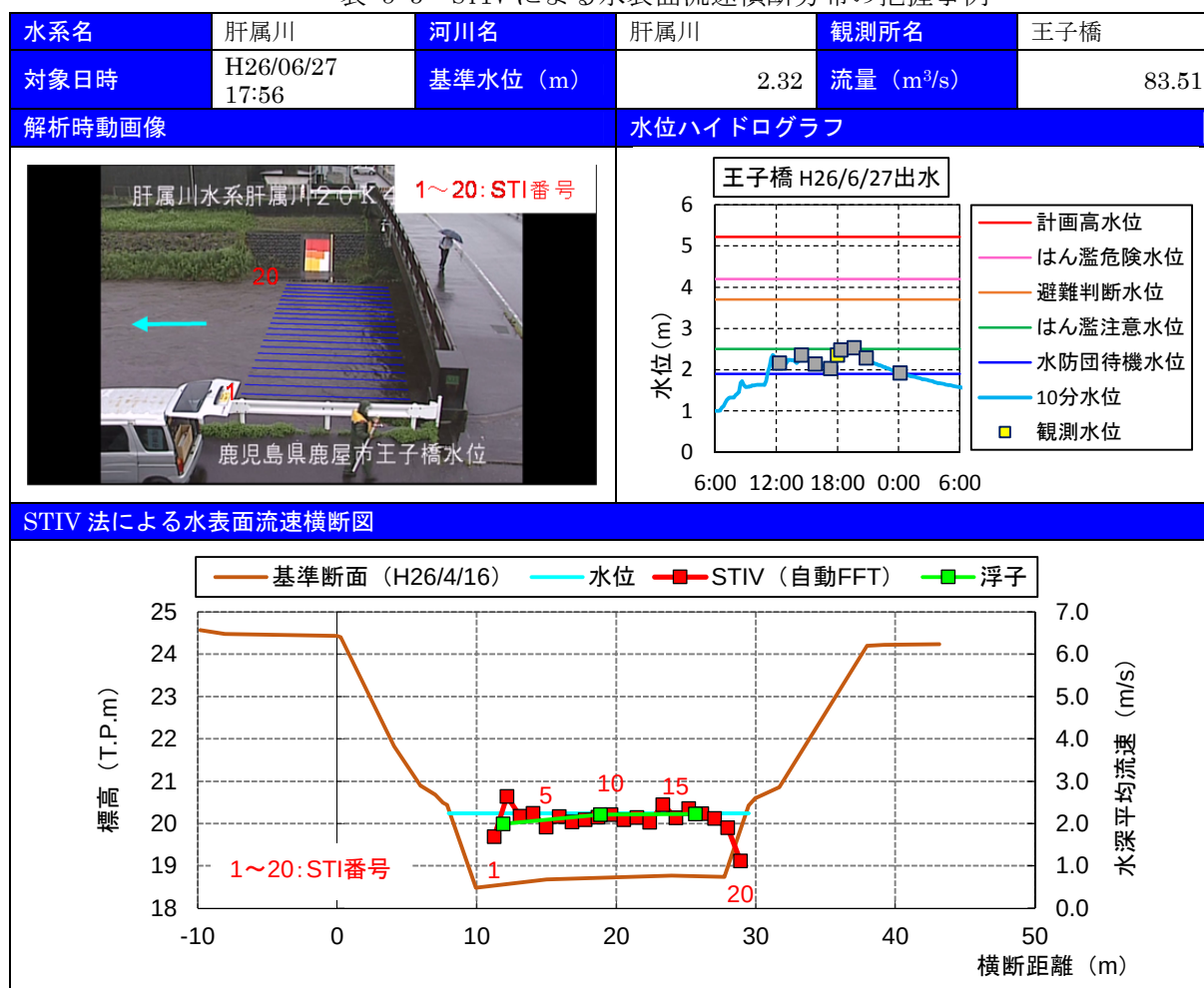
検査線の本数が増加えることで、詳細な水表面流速の横断分布が把握可能となり、流量算出精度の向上が期待できる（表 5-3）。

表 5-2 水面幅に対応した浮子流速測線の目標数

水面幅	20m 未満	20～100m 未満	100～200m 未満	200m 以上
浮子流速測線数	5	10	15	20

出典：水位及び流量調査作業規程準則（昭和 29 年 10 月 9 日総理府令第 75 号）

表 5-3 STIV による水表面流速横断分布の把握事例



(3) 検査線の長さ：

STIV は STI（時空間画像）上の傾きから水表面流速を算出する（図 5-5）。このため、検査線の長さと検査線の時間（解析時間）をどうとるかは非常に重要である。

STIV における水表面流速を解析するアルゴリズム上、STI（時空間画像）は以下の条件を満足することが望ましい。

- ・ 出来る限り、STI 画像自体が正方形であることが望ましい。
- ・ STI 中に現れる波紋の縞模様の傾きが 30～60 度以内になるようにし、40～45 度程度が最適である。

また、検査線の長さを決める際の留意事項は、以下のとおりである。

- ・ STI 中の波紋による縞模様が途中で曲がる場合、それは検査線上の流速が流下方向に異なっていることを意味する。
- ・ このため、検査線の長さを 10m～15m 程度にすることが望ましい。

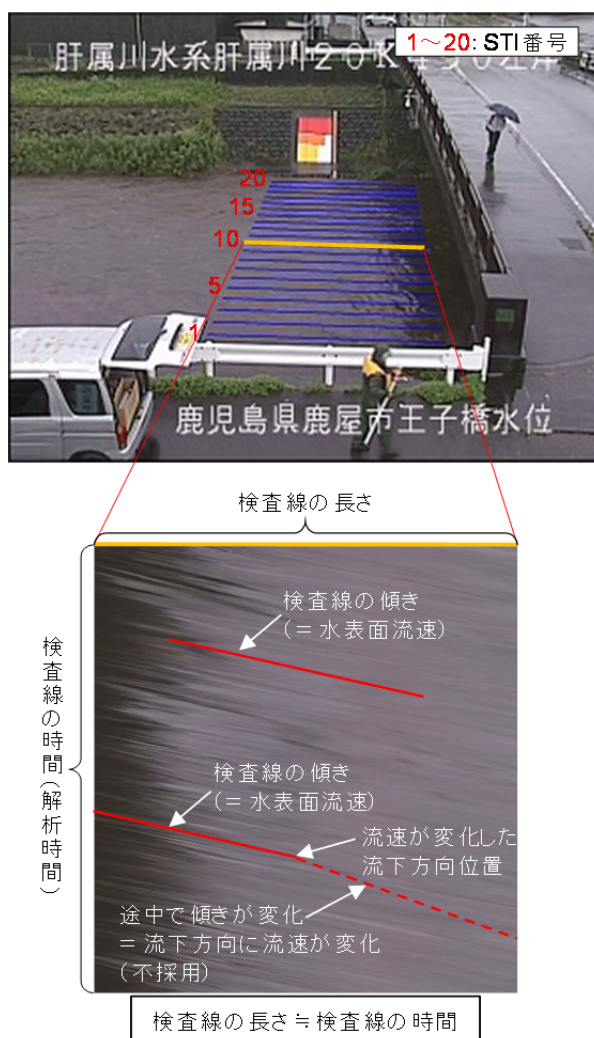


図 5-5 STI の概念図

(4) 検査線の時間（解析時間）

検査線の時間の設定は、検査線の長さにも記載したとおり、短すぎても長すぎても水表面流速の計測精度が低下する。

このため、検査線の時間は、検査線の長さとは解析時の水表面流速について以下を留意しながら決定する。

- ・ 検査時間は検査線の長さとは流速に依存する。可能な限り、検査線の長さとは検査時間は STI がほぼ正方形になるように設定することが望ましい。検査線の長さを 10m にした際の検査時間は 15 秒程度である。
- ・ 併せて、STI 中に現れる波紋の縞模様の傾きが 30～60 度以内になるようにし、40～45 度程度が最適である。

5.5 Float-PTV による流速解析

Float-PTV では、浮子の流下軌跡を画像解析により算出することで、各浮子の観測測線での流速の算出を行う。

現地において、浮子観測のためストップウォッチを用いて流下時間を計測するが、Float-PTV では、流下時間、流下軌跡を画像解析で算出するため、浮子測法に比べ流下軌跡を資料として保存することが可能なことから、浮子測法の精度向上に資することが可能である。

【解説】

画像処理型流速測定法のうち Float-PTV を採用する場合、ビデオカメラ録画像において流下する浮子が視認可能であることが必要である。そのため、観測編において浮子に目印となる旗を付け視認性の向上を図る必要がある。

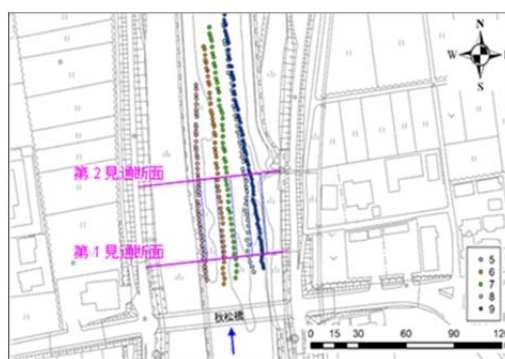
Float-PTV での流速解析では、幾何補正後に撮影された画像上で浮子と水面の境界を一定時間間隔の画像に対しプロット（解析ソフトにおける画面上でクリック）することで浮子の軌跡を算出し、流下速度を計測する。浮子をプロットする時間間隔は1秒を標準とする。

浮子測法に従い流速を算出する場合は第1見通断面から第2見通断面を通過するまで浮子の軌跡について計測を行う。

浮子の流下軌跡が第1見通断面から第2見通断面の全域で確認ができない場合は、流下速度算出断面を設定して、その断面の通過速度で流速を計測することも可能である。この場合は視認可能な範囲での1秒毎に計測された流速の平均値と比較を行い、流下速度の流速の妥当性を確認するなど流速のチェックを行うことが望ましい。



(解析画面での浮子の軌跡)



(FLOAT-PTV による浮子の軌跡図)

図 5-6 Float-PTV の解析例

5.6 欠測値の補間

画像解析による流速測定において、ビデオカメラレンズの雨滴や画像の不鮮明などによる視認性の低下、Float-PTV による浮子の視認困難などの状況により一部流速が欠測する場合がある。

このような場合、断面流速を欠測として流量算出を行うと流量値に大きな誤差が生じる可能性があり、欠測が生じた場合は補間を行うことが望ましい。

【解説】

画像解析では、撮影された画像により流速の算出が困難な状況が生じる場合がある。計測が困難な区分断面において欠測扱いとなった場合、欠測とした場合に流量値が大きく異なる場合が生じるため、区分断面での流速値の補間を行うことが望ましい。

STIV では、複数の測線で観測された流速分布から補間を行うことが可能な場合がある。

また、STIV 及び Float-PTV に対し、各点の流速計測値に代表させる区分断面ごとの区分流量を単純にそのまま足し合わせるのではなく、それらの計測値群が満足すべき水理学的条件を同時に考慮して流量を算出する方法（DIEX 法、Dynamic Interpolation and EXtrapolation method）¹⁾も近年提案されており、このような手法を用いて欠測値を含む流速観測データから流量算出を行うことも可能である。

参考文献：

- 1) 二瓶泰雄・木水啓：新しいデータ同化手法に基づく河川流速・流量推定法の提案、土木学会論文集、No.803／Ⅱ-73、pp.155-160、2005.