

Appendix E 遠赤外線カメラを活用した流量観測

Appendix E は、北陸地方整備局が作成した「高水流量観測運用マニュアル（素案）」に一部変更を加えたものである。

遠赤外線カメラを活用した流量観測 < 目次 >

1. はじめに	E_1
2. 適用範囲	E_2
2.1 遠赤外線カメラを活用した高水流量観測の位置付け	E_2
2.2 遠赤外線カメラを用いた映像取得	E_9
2.3 画像処理型流速測定法とは	E_14
2.4 遠赤外線カメラの設置位置と画角設定	E_17
(1) 遠赤外線カメラの設置位置	E_18
(2) 遠赤外線カメラの適切な画角設定	E_19
2.5 遠赤外線カメラの機器性能	E_23
(1) 遠赤外線カメラの機器性能	E_24
(2) 遠赤外線カメラ映像の録画機能	E_26
(3) 自然環境依存性について	E_27
(4) 映像鮮明化装置	E_29
3. 遠赤外線カメラを活用した高水流量観測	E_35
3.1 出水前	E_38
3.1.1 標定点の設置	E_38
(1) 標定点の配置	E_39
(2) 標定点の設置工程	E_41
(3) 標定点の種類	E_41
3.1.2 標定点と遠赤外線カメラレンズ位置の三次元測量	E_43
3.1.3 横断測量（出水前）の実施	E_44
3.1.4 水位観測の準備	E_45
3.1.5 風向・風速計測	E_47
3.2 出水中	E_49
3.3 出水後	E_50
3.3.1 出水時の録画映像の保存	E_50
3.3.2 横断測量（出水後）の実施	E_50
3.3.3 水位データの回収保存	E_50
3.3.4 観測成果の保存・保管	E_51

4. 画像処理型流速測定法（STIV）を用いた流速解析	E_52
4.1 幾何補正精度.....	E_54
4.2 STIV による流速解析	E_56
4.2.1 STIV における検査線の位置、長さ、解析時間	E_56
(1) 検査線の位置：	E_56
(2) 検査線の本数：	E_57
(3) 検査線の長さ：	E_57
(4) 検査線の時間（解析時間）	E_57
4.2.2 水表面流速の風の影響除去（風と水表面流速の関係式を用いる場合）	E_61
4.2.3 水表面流速の風の影響除去（STI 画像に対し手動で水表面流速を算出する場合）	E_63
5. 画像処理型流速測定法（STIV）による水表面流速を用いた流量算出法	E_64
5.1 流量算出法の概要	E_64
5.2 浮子測法と同様の流量算出手法	E_65
5.3 DIEX 法により水表面流速を補完し流量を算出する手法	E_67
5.4 DIEX 法による流量算出手法	E_68

1. はじめに

河川の高水流量観測で得られる流量は、河川計画、防災計画などの基礎データとして重要なデータであり、これまで観測地点において出水時に高水流量観測が継続的に実施されている。信濃川下流河川事務所管内の現行の高水流量観測地点では（平成 28 年 3 月現在）、全国的に広く一般的に活用されかつ技術体系が整理された浮子測法が採用されている（帝石橋水位・流量観測所では、別途、H-ADCP を用いた流量観測手法を検討中である（平成 28 年 3 月現在））。

しかし、浮子測法による高水流量観測について、(1) 超過洪水時などでは流量観測で使用する橋梁が“もぐり橋”状態になること、(2) 高水敷利用により浮子が見通断面区間を流下しないため高水敷の流量把握が困難であること、(3) 橋梁上が通行止めになり観測員が浮子を投下できないこと、など多くの課題が平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨、平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨で明らかとなった。このため、信濃川下流河川事務所管内における今後の高水流量観測では、新たな技術を用いた高水流量観測が要望されている。

このような観点から近年においては、主要な流量観測手法¹⁾のうち非接触型流速計測法であるドップラー型（電波流速計）や画像処理型（以下、画像処理型流速測定法と呼ぶ）の技術開発が行われている。その中で画像処理型流速測定法については、多くの研究事例が報告され^{2) ~4)}、九州地方整備局管内では既設 CCTV カメラや遠赤外線カメラの録画映像を活用した画像処理型流速測定法による流速観測の実用化も報告されている⁵⁾。特に、現行の CCTV カメラでは夜間の流況把握が困難であるものの、遠赤外線カメラは昼夜問わず流況撮影が可能である。このため、現行の CCTV カメラに比べて遠赤外線カメラは画像処理型流速測定法に適している⁵⁾。

映像を活用した画像処理型流速測定法から流速を算出する手法では、既設 CCTV カメラのように、遠赤外線カメラを設置することでカメラが比較的高い位置に設置されるため、超過洪水時などにおいても浮子測法に比べてより確実な観測が可能であり（確実性の向上）、省力化、安全性にも優れると判断される。流速計測精度についても、現行の浮子測法に比べて、浮子投下横断位置や浮子流下速度に係る観測員の人為的誤差がなくなるため、精度向上が可能である。

上記のような状況を鑑み、本ガイドラインは、遠赤外線カメラ映像を活用した画像処理型流速測定法による高水流量観測を行う場合の考え方を示し、解説を行ったものである。

本書の主旨が正しく理解され、高水流量観測の高度化に活用されることを期待するものである。

<参考となる資料>

- 1) 河川砂防技術基準 調査編、pp.第 2 章 第 4 節-3、平成 26 年 4 月。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 原田隆史：CCTV 画像を活用した PIV 法による流速・流量観測について～（粒子画像速度計測法 [Particle Image Velocimetry]）～、2003。
- 5) 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. 適用範囲

<考え方>

対象とする流量観測は高水流量観測であり、画像処理型流速測定法による高水流量観測で用いる撮影映像は遠赤外線カメラで撮影されたものを対象とする。

本ガイドラインの対象者は、以下のものとする。

- ・ 水文観測業務を発注し、水文データを管理する水文観測担当者職員
- ・ 水文観測業務を受注し、高水流量観測を実施する観測者

2.1 遠赤外線カメラを活用した高水流量観測の位置付け

<考え方>

遠赤外線カメラ映像を活用した画像処理型流速測定法による高水流量観測は、以下の目的、使用法での活用として位置づける。

1. 浮子測法が困難な地点（洪水時潜橋、遠方でピークに間に合わない等）における浮子法を補完する高水流量観測手法として位置付ける。
2. 画像処理型流速測定法は、**STIV** を対象とする。
3. 赤外線カメラは常設の場合と洪水時に現場設置する場合の両方を想定する。
4. 画像処理型流速測定法によるリアルタイム性は、平成 28 年 3 月現在、想定していない。

<解 説>

『河川砂防技術基準 調査編（平成 26 年 4 月改定）』において、高水流量観測手法として浮子測法、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、非接触型流速計測法、超音波流速計測法、水理構造物を用いる方法が記載されている⁹⁾。

信濃川下流河川事務所管内の流量観測所では、全観測所において浮子測法による高水流量観測を実施している（帝石橋水位・流量観測所では別途 **H-ADCP** による流量観測手法を検討中）（平成 28 年 3 月現在）。

信濃川下流河川事務所管内における従来から実施されている浮子測法による高水流量観測の課題は、以下のとおりである。

【高水流量観測の実施自体に係る課題】

1. 計画規模相当の大洪水時には、橋梁が通行止めになり、そもそも浮子投下自体ができない。
2. 高水敷が冠水する規模の洪水時には、浮子を投下する橋梁が“もぐり橋”状態になり高水敷部の流速観測が出来ない（図 1 及び図 2）。
3. 高水敷利用が成されている側は浮子流下状況を堤防上から把握することが困難であり高水敷内に観測員が入る可能性があり、観測員の危険性が高まることから高水流量観測の実施ができない。

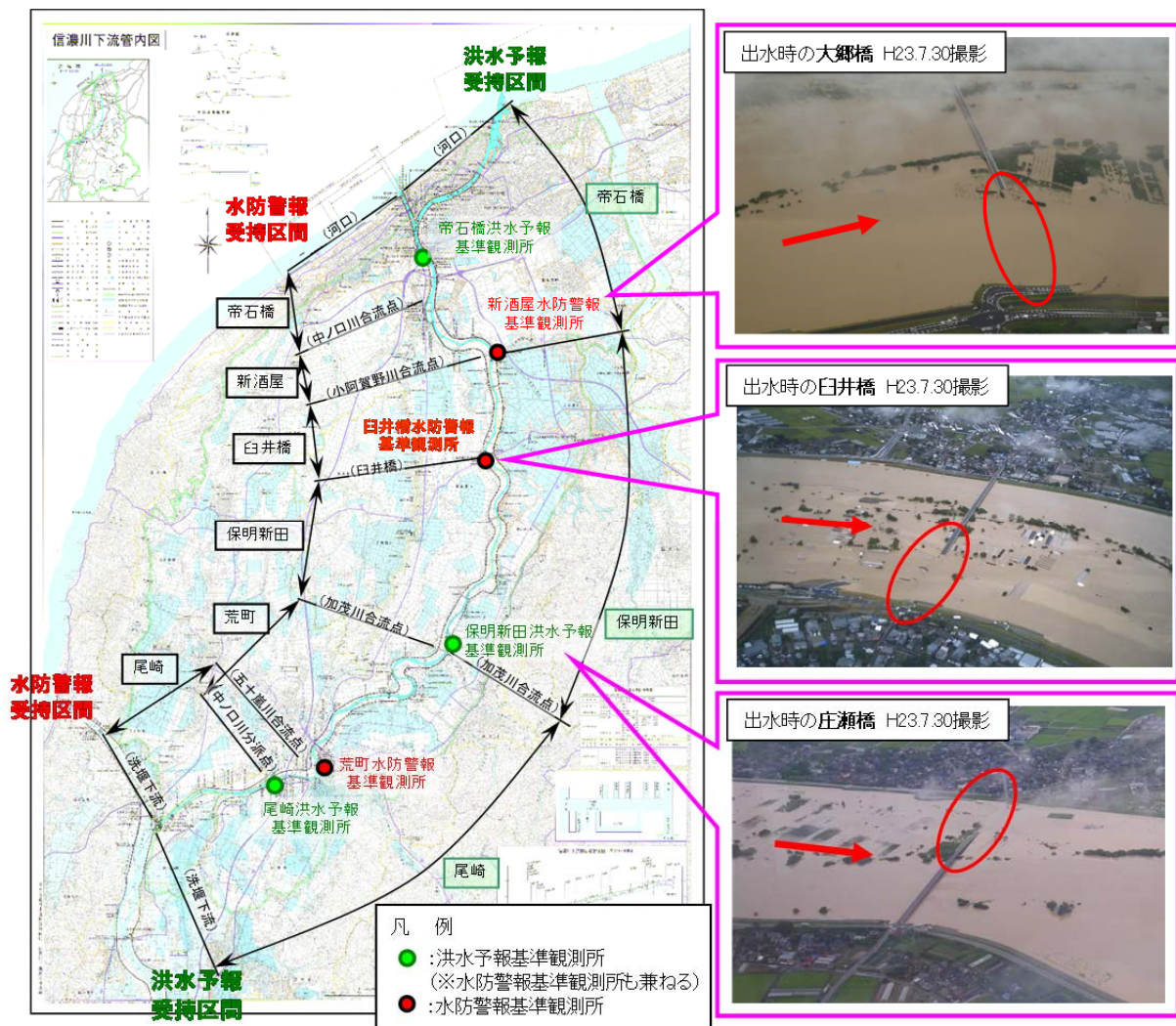
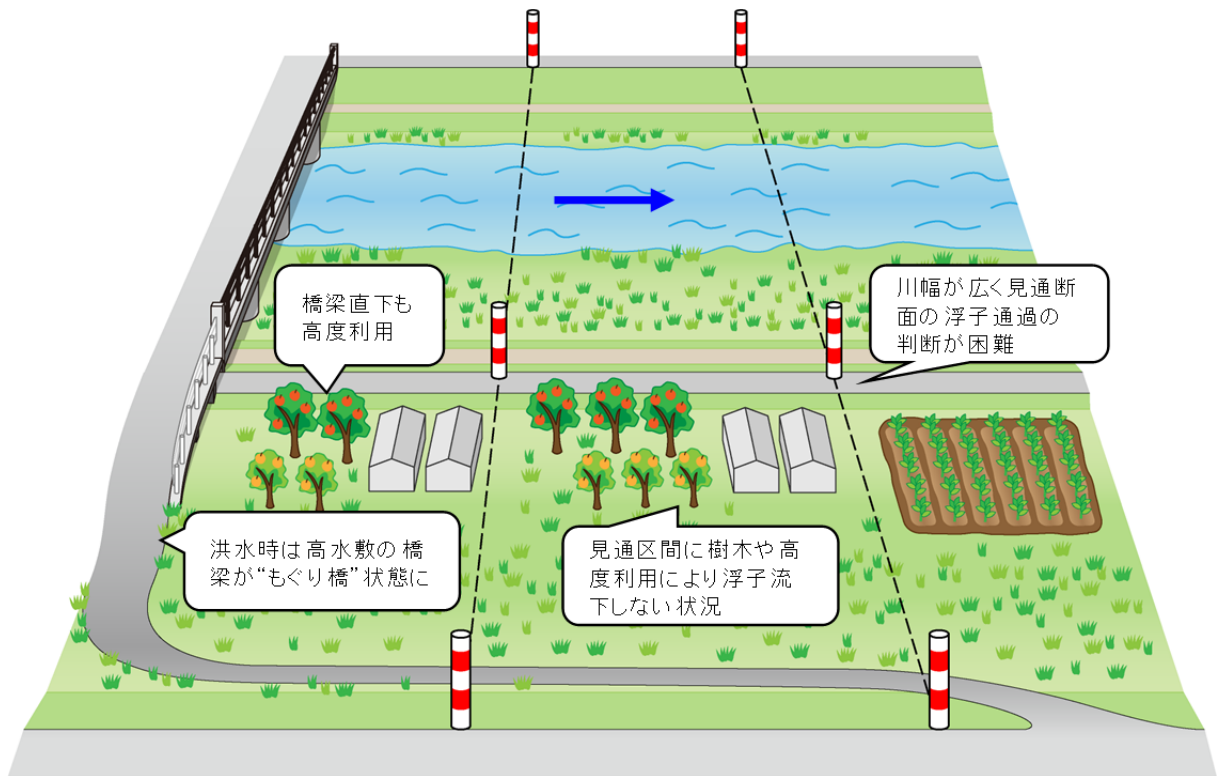
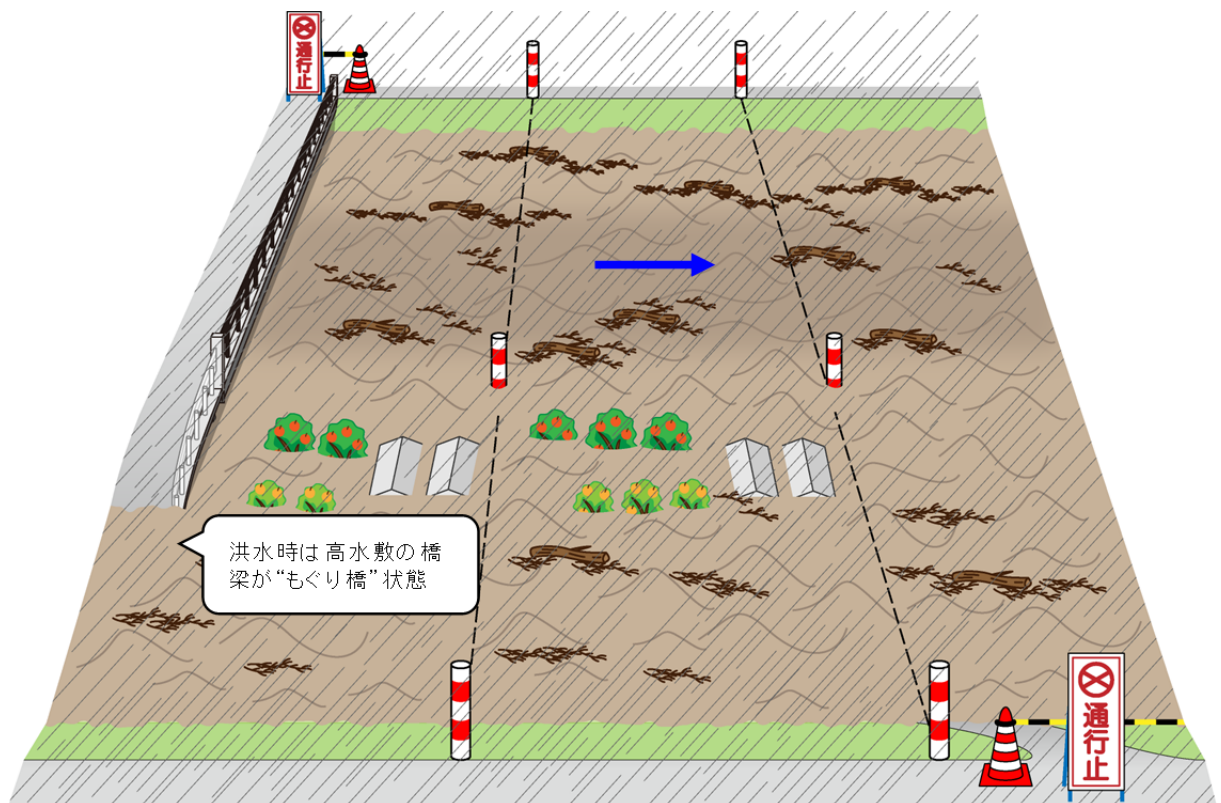


図 1 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨時の流量観測所周辺の状況



(a) 平常時



(b) 洪水時

図 2 信濃川下流河川事務所管内の流量観測所の特性

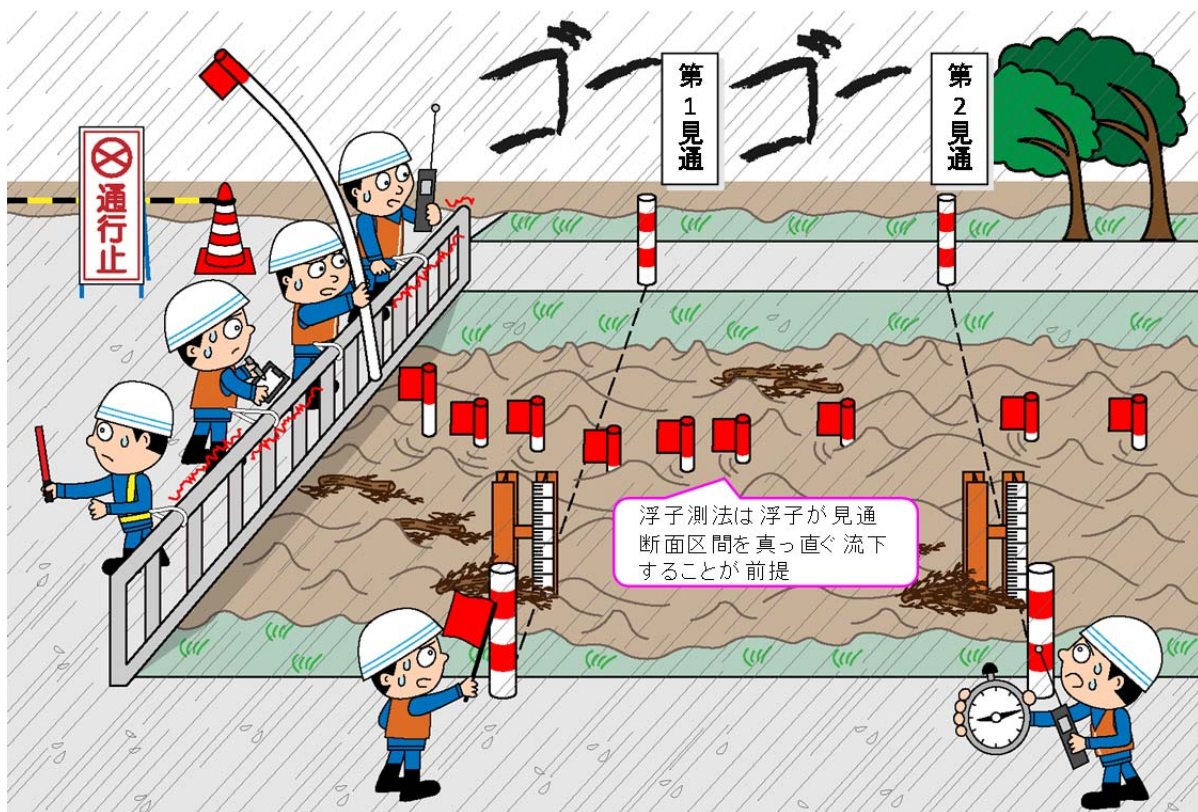


図 3 従来からの浮子測法による流速観測概念図とその課題

浮子測法について、『河川砂防技術基準 調査編』には以下のように記載されている。この考え方自体が信濃川下流河川事務所管内の多くの観測所で適用できないため、本当に必要な計画規模やそれより規模の大きい洪水時の高水流量を得ることができていない（表 1）。

4.6 浮子による流速計測法（浮子測法）

4.6.1 総説

<考え方>

浮子測法は、浮子を投下して、ある区間を流下する時間を計測し、その区間の平均流速を求める方法である。急峻な日本の河川は、洪水時の流速が速く、ゴミや流木等の流下物も多い。**浮子測法はこのような洪水時の厳しい条件下においても河川の流速を確実に計測することができる**という特長がある。

本項では浮子測法の標準的な手法を示すが、洪水時の水理条件の変動が特に大きい地点や橋脚やその周辺の構造物等の影響による流れの乱れ（橋脚後流）の影響が無視できないと想定される場合は、浮子の流下状態に注意し、適切な観測値が得られるように実施する必要がある。

出典：河川砂防技術基準 調査編、pp.第 2 章第 4 節－16～4 節－17、平成 26 年 4 月。

表 1 主要洪水時の高水流量観測の実施状況一覧

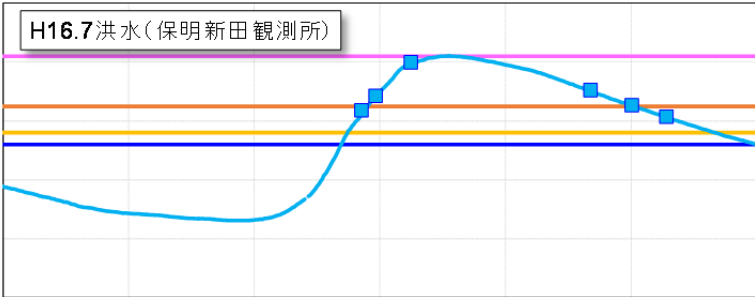
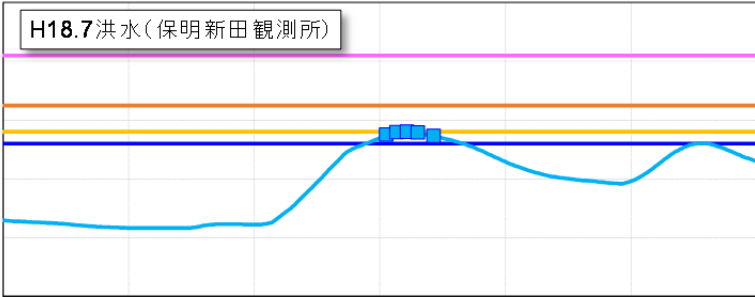
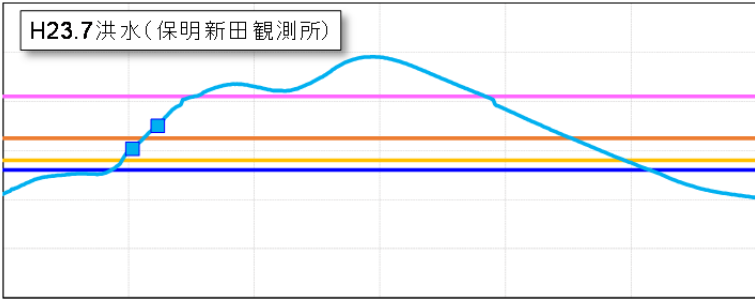
地区名	関屋	河川名	信濃川下流	観測所名	保明新田（庄瀬橋）
対象出水		平成 16 年 7 月 13 日出水	観測最大流量（m ³ /s）		2135.83
H16.7洪水（保明新田 観測所）  はん濫危険水位 避難判断水位 はん濫注意水位 水防団待機水位 10分水位 観測水位					
対象出水		平成 18 年 7 月 12 日出水	観測最大流量（m ³ /s）		896.98
H18.7洪水（保明新田 観測所）  はん濫危険水位 避難判断水位 はん濫注意水位 水防団待機水位 10分水位 観測水位					
対象出水		平成 23 年 7 月 30 日出水	観測最大流量（m ³ /s）		1569.91
H23.7洪水（保明新田 観測所）  はん濫危険水位 避難判断水位 はん濫注意水位 水防団待機水位 10分水位 観測水位					
評価					
■観測実施状況： 既往主要洪水時は、増水期と減水期は高水流量観測を実施できている。ピーク水位がはん濫危険水位を超過するような洪水では“もぐり橋”状態になるため観測できていない。 ■観測回数： 観測回数は 1 出水で 2～6 回となっている。					

表 1 主要洪水時の高水流量観測の実施状況一覧

地区名	関屋	河川名	信濃川下流	観測所名	臼井橋
対象出水	平成 16 年 7 月 13 日出水		観測最大流量 (m ³ /s)	1112.19	
H16.7洪水(臼井橋観測所) はん濫注意水位 水防団待機水位 10分水位 観測水位					
対象出水	平成 23 年 7 月 30 日出水		観測最大流量 (m ³ /s)	1147.55	
H23.7洪水(臼井橋観測所) はん濫注意水位 水防団待機水位 10分水位 観測水位					
対象出水	平成 25 年 8 月 1 日出水		観測最大流量 (m ³ /s)	1027.29	
H25.8洪水(臼井橋観測所) はん濫注意水位 水防団待機水位 10分水位 観測水位					
評価					
■観測実施状況： 既往主要洪水時は、増水期とピーク時は高水流量観測を実施できている。臼井橋が“もぐり橋”状態になる洪水（水位が 4.30m 以上）ではピーク時は観測できていない。 ■観測回数： 観測回数は 1 出水で 3～4 回となっている。					

表 1 主要洪水時の高水流量観測の実施状況一覧

地区名	関屋	河川名	信濃川下流	観測所名	新酒屋（新瀬橋）
対象出水	平成 16 年 7 月 13 日出水		観測最大流量（m ³ /s）	220.79	
H16.7洪水(新酒屋観測所) はん濫注意水位 水防団待機水位 10分水位 観測水位 7/12 0:007/12 12:007/13 0:007/13 12:007/14 0:007/14 12:007/15 0:00					
対象出水	平成 23 年 7 月 30 日出水		観測最大流量（m ³ /s）	315.75	
H23.7洪水(新酒屋観測所) はん濫注意水位 水防団待機水位 10分水位 観測水位 7/29 0:007/29 12:007/30 0:007/30 12:007/31 0:007/31 12:008/1 0:00					
対象出水	平成 25 年 8 月 1 日出水		観測最大流量（m ³ /s）	105.96	
H25.8洪水(新酒屋観測所) はん濫注意水位 水防団待機水位 10分水位 観測水位 7/31 0:007/31 12:008/1 0:008/1 12:008/2 0:008/2 12:008/3 0:00					
評価					
■観測実施状況： 既往主要洪水時は、新瀬橋が“もぐり橋”状態になる洪水ではピーク時は観測できていない。					
■観測回数： 観測回数は 1 出水で 3 回となっている。					

2.2 遠赤外線カメラを用いた映像取得

<考え方>

高水流量観測時のカメラ映像を用いた画像処理型流速測定法による流速観測を実施する際、使用するカメラとして、CCTV カメラ、市販のハンディタイプのビデオカメラ、遠赤外線カメラ等がある。

このうち、夜間でも流況（水面の波紋）を視認できる遠赤外線カメラによる高水流量観測が望ましい。

<解説>

光は、図 4 に示すように、様々な波長を持っている。このうち、赤外線は可視光線の赤色より波長が長く（周波数が低い）、電波より波長の短い電磁波であり、人の目では見ることができない光である。

赤外線は、さらに、近赤外線、中赤外線、遠赤外線に分けられる（図 4）。

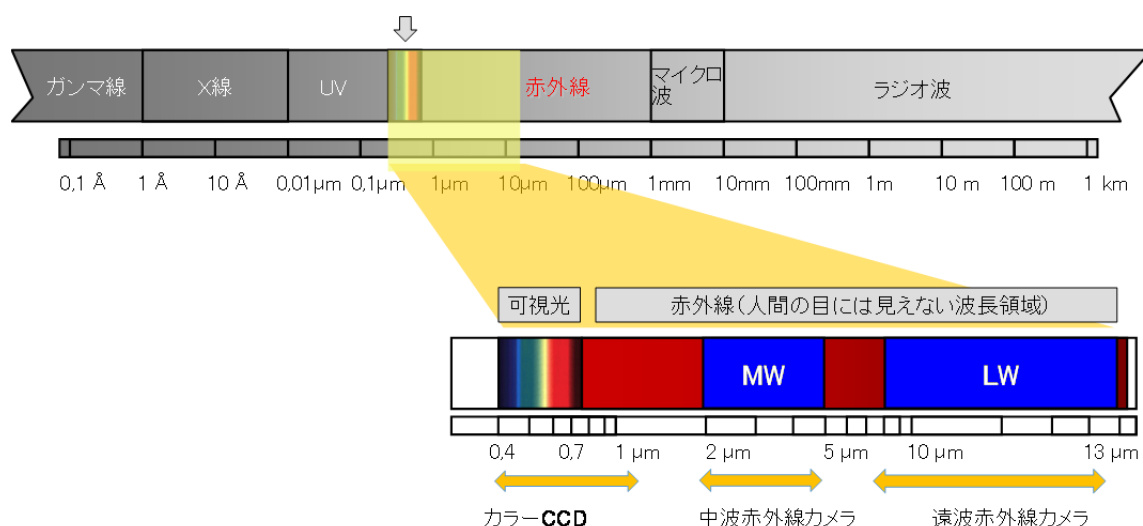


図 4 光の波長による分類

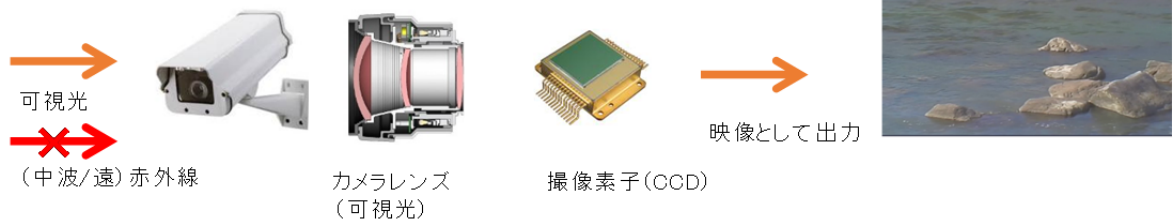
表 2 赤外線の一般的な分類とその特性一覧

名称	波長	特性
可視光	0.4~0.7μm	可視光線は、電磁波のうち人の目に見える波長を持つ。
近赤外線	0.7~2.5μm	近赤外線は赤色の可視光線に近い波長を持つ。性質も可視光線に近い特性を持つため「見えない光」として、赤外線カメラや赤外線通信、家電用のリモコンなどに応用されている。
中赤外線	2.5~4μm	中赤外線は、近赤外線の一部として分類されることもある。赤外分光の分野では、単に赤外と言うとこの領域を指すことが多い。
遠赤外線	4~1,000μm	遠赤外線は、電波に近い性質も持つ。赤外線は物体からは必ず放射されていて、この現象を黒体放射と呼ぶ。高い温度の物体ほど赤外線を強く放射し、放射のピークの波長は温度に反比例する。室温 20℃の物体が放射する赤外線のピーク波長は 10 μm 程度である。熱線とも呼ばれる。

【カメラの原理】

カラーCCD、赤外線カメラも原理原則は同じです。

【カラーCCDカメラ】



【赤外線カメラ】



図 5 カメラが映像を映す原理

河川の波紋は、周囲からの可視光/赤外線の反射光を可視化している。【共通原理】

【カラーCCDカメラ】



【赤外線カメラ】



図 6 カメラの原理

カラーCCD カメラと遠赤外線カメラを用いた河川監視における課題を表 3 に示す。

表 3 CCTV カメラと遠赤外線カメラによる河川監視の比較一覧

評価項目	カラーCCD カメラ	遠赤外線カメラ
昼間の監視	特に問題ない ○	特に問題ない ○
夜間の監視	真っ暗でみえない 高感度モードの為フレーム落ち（コマ落ち） ×	特に問題ない ○
豪雨時の監視（昼間）	河川監視上は問題ない ○	豪雨の影響で多少は減衰するが河川監視上は問題ない ○
豪雨時の監視（夜間）	真っ暗で見えない 高感度モードの為、フレーム落ち（コマ落ち）カメラライトの反射を雨が拾い白抜けする ×	豪雨の影響で全体がぼやける 【改善策】 映像鮮明化装置で大幅な改善 ○
画像処理型流速測定法への適用	夜間はほぼ不可能 （画角内全体を光で当てれば可能） ×	夜間も波紋を撮影可能 ○



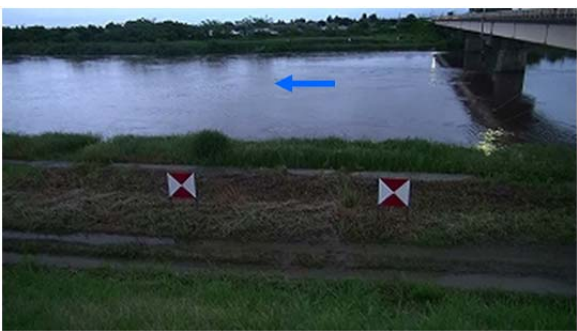
光源



熱源のない場所ない=全て熱を持っている

写真 1 カラーCCD カメラと遠赤外線カメラの映像比較

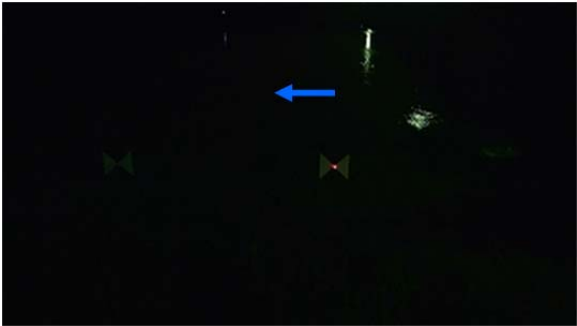
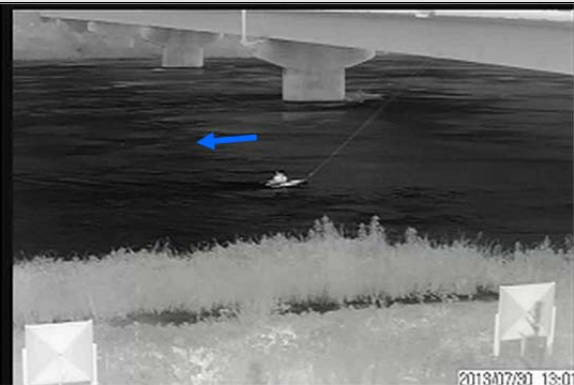
表 4 カラーCCD カメラと遠赤外線カメラの映像比較（臼井橋観測所、臼井橋下流左岸）

カラーCCD カメラ※	遠赤外線カメラ※※
平成 25 年 9 月 16 日 1 回目	
	
評価	
昼間であるため、カラーCCD カメラ・遠赤外線カメラともに水面の波紋を明瞭に視認可能	
平成 25 年 6 月 19 日 5 回目	
	
評価	
日照であるため、カラーCCD カメラ・遠赤外線カメラともに水面の波紋を明瞭に視認可能	
平成 25 年 7 月 13 日 2 回目	
	
評価	
日照が少ない夕方のため、カラーCCD カメラは水面の波紋視認が困難。一方、遠赤外線カメラは水面の波紋を明瞭に視認可能	

※カラーCCD カメラ映像は HDR-CX720V（SONY 社製）

※※遠赤外線カメラ映像は信濃川下流河川事務所所有の低解像度カメラ

表 4 カラーCCD カメラと遠赤外線カメラの映像比較（臼井橋観測所、臼井橋下流左岸）

カラーCCD カメラ※	遠赤外線カメラ※※
平成 25 年 7 月 13 日 3 回目	
	
評価 日照のない夜間であるため、カラーCCD カメラは水面の波紋視認が不可能。一方、遠赤外線カメラは水面の波紋を明瞭に視認可能	
平成 25 年 7 月 30 日 3 回目	
	
評価 昼間であるため、洪水時でもカラーCCD カメラ・遠赤外線カメラともに水面の波紋を明瞭に視認可能	

※カラーCCD カメラ映像は HDR-CX720V（SONY 社製）

※※遠赤外線カメラ映像は信濃川下流河川事務所所有の低解像度カメラ

2.3 画像処理型流速測定法とは

<考え方>

本マニュアルでは、高水流量観測時に観測すべき流速、横断形状、水位のうち特に流速計測法について示したものであり、流速を計測するための画像処理型流速測定法として STIV (Space-Time Image Velocimetry) を対象とする。

STIV は遠赤外線カメラ映像を活用して水表面流速を計測する手法である。

<解説>

「流量」とは、任意の横断面を単位時間あたりに通過する水質量であり、流量を算出するには以下の 3 つが必要である。

- 1) 河道横断形状：
流量を算出する断面の横断面形状。一般的に出水中の横断形状は変化しないと仮定。
- 2) 河道水位：
流量を算出する横断面の水位。一般的に流量算出する横断面内の水位は一樣と仮定。
- 3) 流速：
流量算出する横断面内の流速横断面分布。

流量を算出するのに必要な 3 つの観測値のうち、河道横断形状は出水中の横断形状は変化しないと仮定するため、出水前後に計測した横断面形状のうち断面積が大きな横断形状を採用する⁹⁾。

河道水位は一般的に流量を算出する横断面内の水位は一樣と仮定されているため、流量を算出する横断面内のいずれか 1 点の水位を計測すればよい。

このため、高水流量観測とは、流速横断面分布を把握するための観測であると考えられ、この流速を得るために画像処理型流速測定法を用いる。

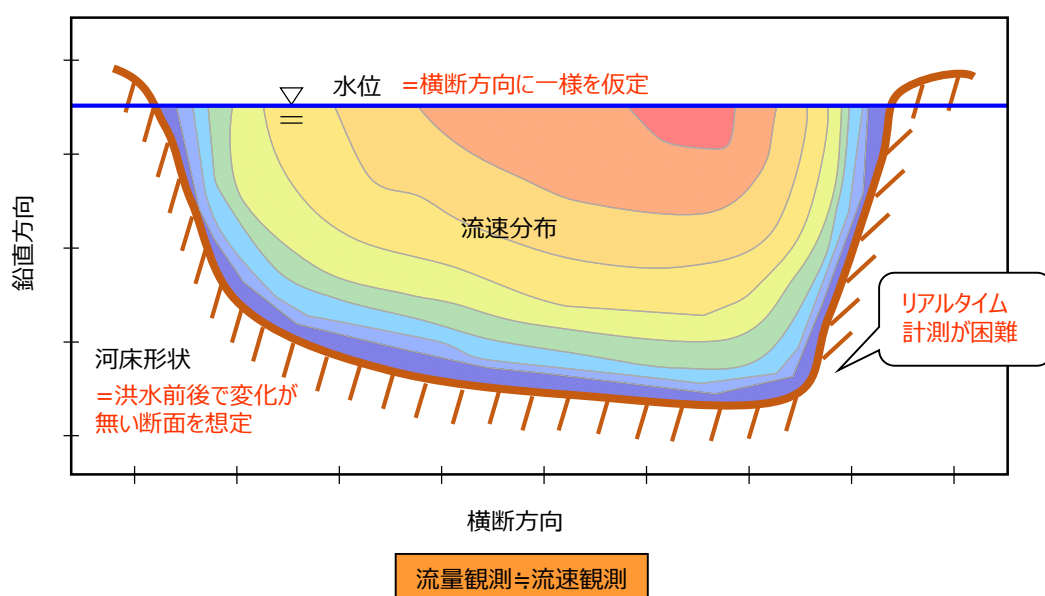


図 7 高水流量観測に必要な計測項目

画像処理型流速測定法とは、洪水流を撮影した映像を解析することで流速を計測する手法である。画像処理型流速測定法には複数の解析手法があるが、本ガイドラインでは、STIV（Space-Time Image Velocimetry）^{1)～8)}を対象とする。

『河川砂防技術基準 調査編、第2章 第4節-3、平成26年4月』には、画像処理型流速計測法としてLSPIVが示されている。しかし、LSPIVはパラメータ設定や撮影映像の分解能に計測精度が依存するため、河川流速計測法として近年ではほとんど用いられていない。一方、LSPIVに替わる画像処理型流速計測法としてSTIVとともにFloat-PTV（浮子流下軌跡を把握する手法）が実用化されつつあるが、本マニュアルではLSPIVとFloat-PTVは除外する。

STIVとは、撮影映像上の水面に流速を計測したい位置に検査線を配置し、その検査線上の波紋の移動速度を解析することで水表面流速を計測する手法である（図8）。

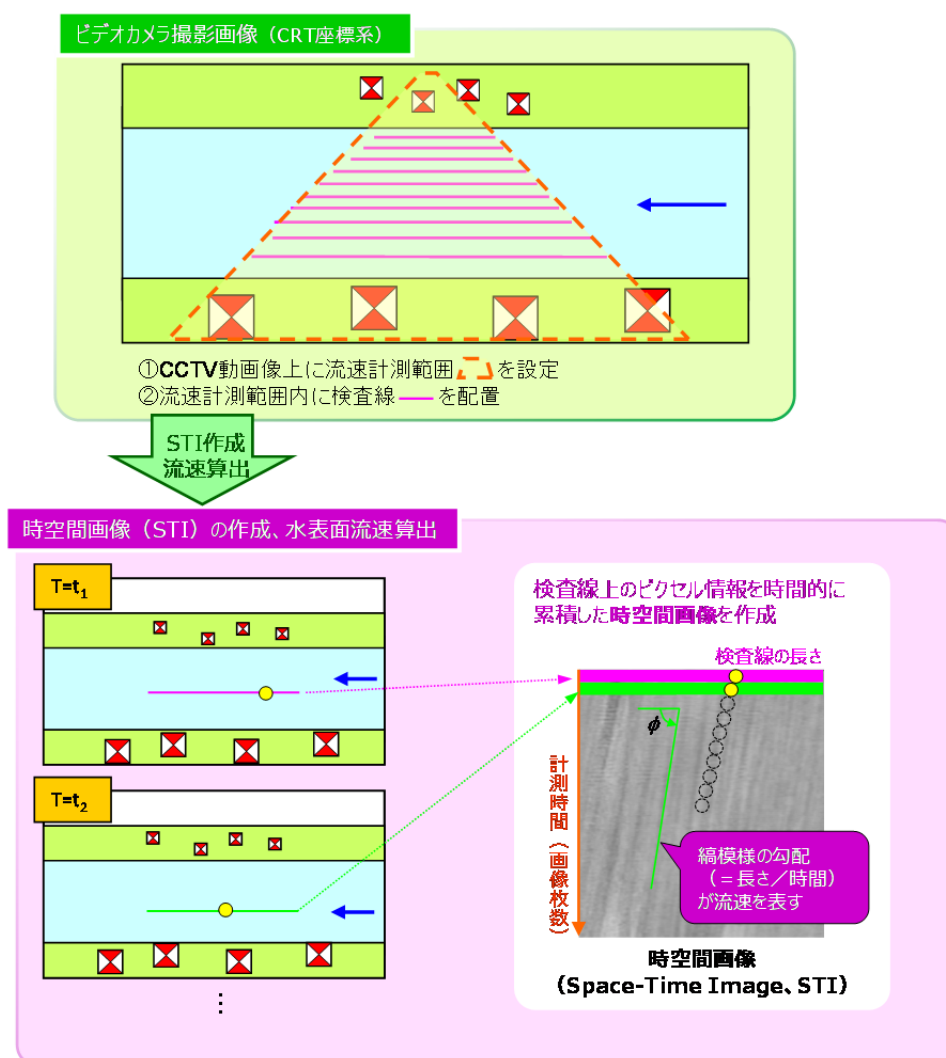


図 8 STIV の概念図

表 5 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必要があ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		

2.4 遠赤外線カメラの設置位置と画角設定

<考え方>

■遠赤外線カメラの設置・用途

画像処理型流速測定法による高水流量観測に用いる遠赤外線カメラは、高水流量観測用のみに用いられることが望ましい。

■遠赤外線カメラの設置場

画像処理型流速測定法として **STIV** を想定しているため、遠赤外線カメラ映像で水表面の波紋を撮影できなければならない。このため、遠赤外線カメラの設置場として以下の条件を満たすことが望ましい。

- ・ 遠赤外線カメラの設置場は、遠赤外線カメラ映像内に熱源となる河川構造物や堤内地のマンション・ビル等が確保できる場合は基準断面とする。熱源が確保できない場合は、流量観測所近傍の橋梁直上流側に設置する。
- ・ 水表面流速計測したい範囲を出来る限り撮影できる位置に遠赤外線カメラを設置する。なお、遠赤外線カメラ映像による画像処理型流速測定法で流速計測できる範囲がカメラ位置から **150m** 程度までであるため、出来る限り計測したい位置近くに設置することが望ましい。
- ・ 流量を算出するためには水位と横断測量成果も必要であるため、流速計測範囲の横断面と水位も計測する。

■遠赤外線カメラの設置方法

遠赤外線カメラの設置は、河川系 **CCTV** カメラのように、高い位置に設置できる固定型が望ましい。固定化できない場合は、高水流量観測の度に遠赤外線カメラを流量観測に運び設置する。

■遠赤外線カメラの設置高さとは画角設定

遠赤外線カメラの画角設定は、以下の手順で設定する。

1. カメラの設置高さは、高い位置に設置するのが望ましいということではない。遠赤外線の水表面での反射角と遠赤外線カメラへの入射角を考慮して設置することが必要である。
2. 水表面流速観測だけでなく流量算出まで考えた上で、水表面流速の計測範囲を予め想定し、遠赤外線カメラでその計測範囲が撮影できるか確認する。
3. 水表面流速計測する横断線が撮影できるかを確認する。**STIV** の画角は一般的に堤防法線方向に画角を向けることで、高精度な水表面流速計測が可能となる。
4. 俯角を確保するあるいはホワイトバランスへの悪影響を避けるため、画像処理型流速測定法で必要のない（解析対象外の）空は画角に入らないことが望ましい。
5. **STIV** では水面の波紋を明瞭に視認できる映像が必要であるため、熱源となる河川構造物あるいは堤内地のマンション等が映像内に写っていることが望ましい。
6. 高水流量を対象とするため、計画規模を超えるような大洪水などでも左右岸水面際まで撮影できる画角が望ましい。

<解 説>

本マニュアルでは、遠赤外線カメラ映像と STIV を活用した高水流量観測の実施が目的であるため、(水表面) 流速計測だけでなく、高水流量の算出まで考慮する必要がある。

このため、流量(流速)「観測」だけでなく、流量「算出」まで考慮した遠赤外線カメラの設置位置とカメラ画角設定をする。

(1) 遠赤外線カメラの設置位置

画像処理型流速測定法(STIV)による高水流量観測を実施する場合、遠赤外線カメラを適切な位置に設置し、かつ、適切な画角設定を行う必要がある。

遠赤外線カメラの設置場所を考える際の着眼点は表 6 に示すとおりである。具体的な遠赤外線カメラの設置イメージを図 9 に示す。同図は、固定設置型の遠赤外線カメラした場合を想定している。

表 6 遠赤外線カメラの設置場所選定の着眼点一覧

着眼点	具体的な着眼理由	推奨されるカメラ設置位置
流量算出断面	・ 流量を算出するには、水位と横断測量成果も併せて必要 ・ 一般的に、流量観測所には基準断面・第 1・第 2 見通断面があり、基準断面では常時水位を計測	・ 基準断面が最も望ましい。 ・ 遠赤外線カメラ映像内に河川構造物・マンション等の熱源が確保できない場合は、流量観測所の橋梁上流側とする。
橋梁による乱れが極力少ない範囲	橋脚がある場合は橋脚後流の影響により水面の波紋に乱れが入り、計測したい流下方向成分の水表面流速計測が困難	
撮影範囲	計画規模あるいはそれより規模の大きい洪水時でも水表面流速横断分布をできるだけ把握可能なカメラ設置位置	
水表面流速計測の範囲	画像処理型流速測定法で得られる水表面流速の横断分布を出来る限り得る必要	堤防近傍に設置し、流量算出断面にほぼ平行方向に画角を向けることが望ましい。
水面の波紋を明瞭に視認できる映像を撮影するための熱源の確保	撮影する映像上で明瞭な水面の波紋が視認できる必要	・ 基準断面が最も望ましい。 ・ 遠赤外線カメラ映像内に河川構造物・マンション等の熱源が確保できない場合は、流量観測所の橋梁上流側とする。 ※ 観測所近傍にある橋梁(橋脚)・護岸、あるいは近傍のマンションやビルなどを熱源として活用 ※ 河川構造物・マンション等の熱源がない場合は、後述する映像鮮明化装置やサーマルプライトを活用

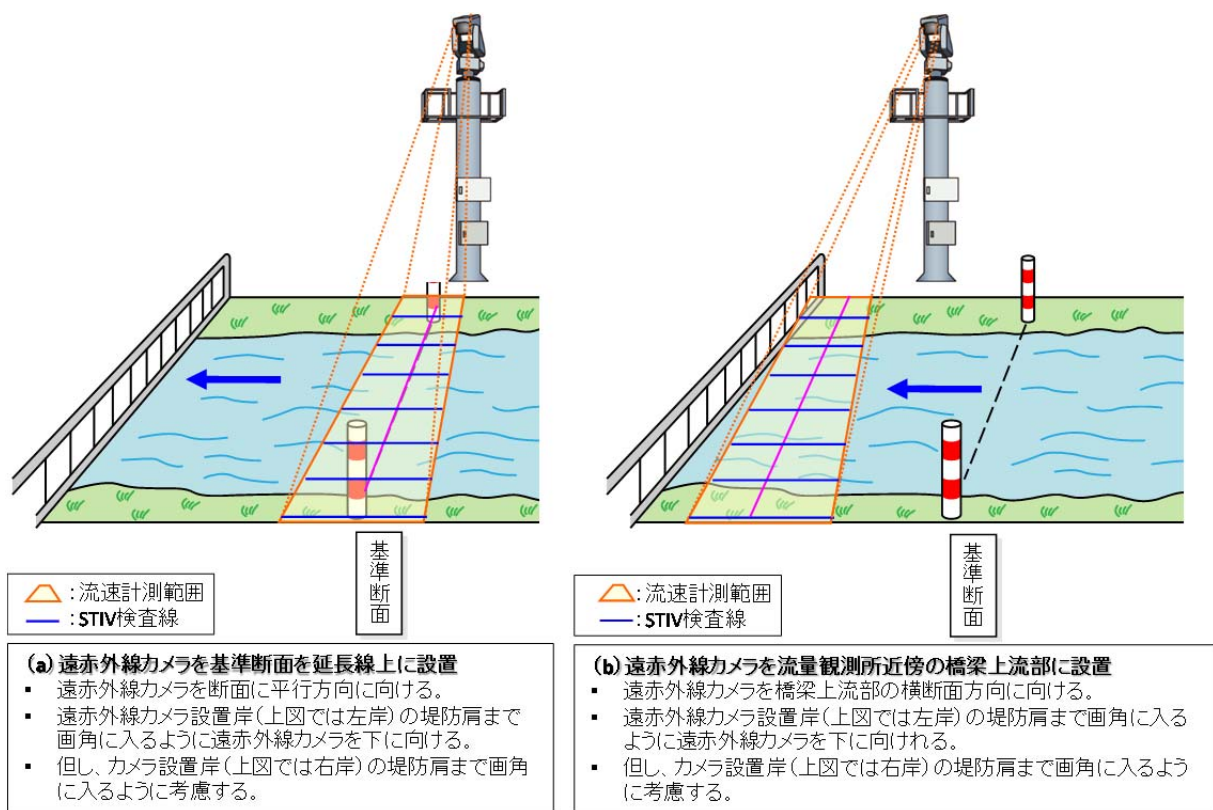


図 9 遠赤外線カメラの望ましい設置位置イメージ図

(2) 遠赤外線カメラの適切な画角設定

遠赤外線カメラの適切な画角を設定する考え方は、＜考え方＞に記載したとおりである。

カメラの設置高さは、高い位置に設置するのが望ましいということではない。遠赤外線の水面上での反射角と遠赤外線カメラへの入射角を考慮して設置することが必要である(図 10)。

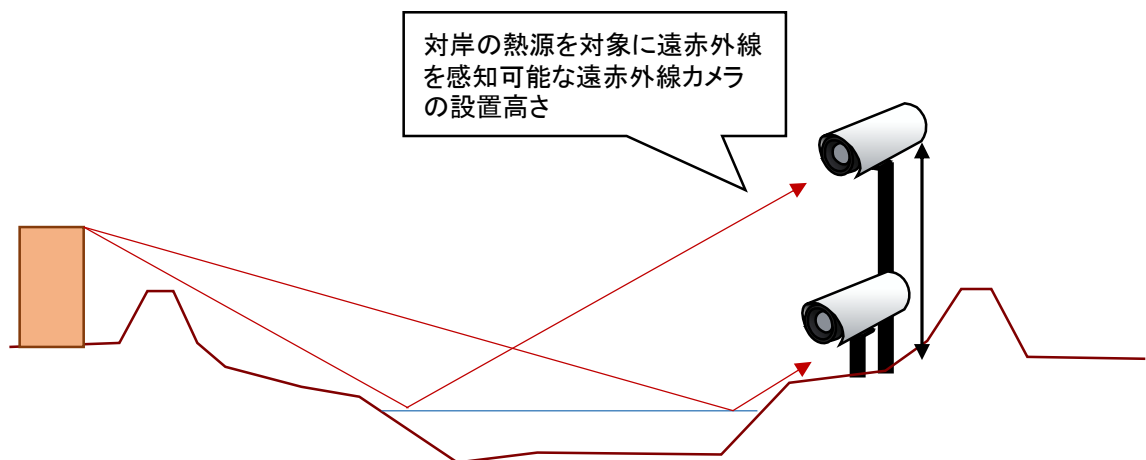


図 10 遠赤外線カメラの高さに係わる考え方概念図

ここでは、遠赤外線カメラ映像に対する河川構造物や堤内地のマンション等の熱源の重要性について示す（表 7）。

表 7 河川構造物等の熱源の有無による水表面の波紋の視認性の違い一覧（1/2）

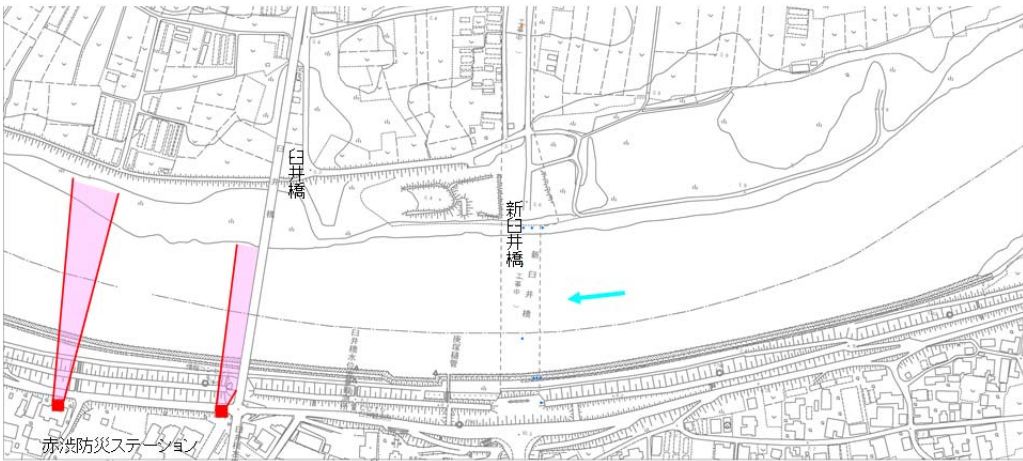
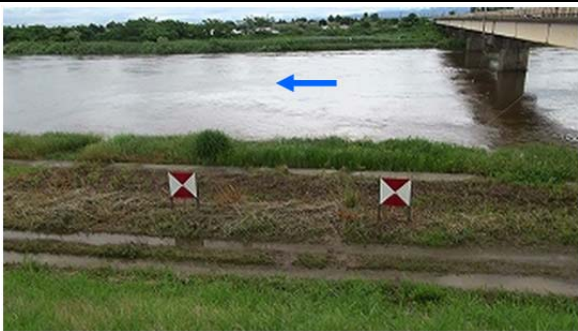
平面図	
	
熱源がない場合	熱源（橋梁）がある場合
観測日時：平成 25 年 6 月 19 日 3 回目	
ビデオカメラ映像	ビデオカメラ映像
	
遠赤外線カメラ映像	遠赤外線カメラ映像
	
評価	
・ 左側の映像は白井橋下流、右側の映像は赤渋防災ステーションからの映像である。白井橋下流は熱源として白井橋があるが、赤渋防災ステーションから望む信濃川下流周辺には熱源がない。 ・ 赤渋防災ステーションの映像でも水面の波紋を視認することができる。これは、昼間であり周囲からの熱源の効果のためである。	

表 7 河川構造物等の熱源の有無による水表面の波紋の視認性の違い一覧 (2/2)

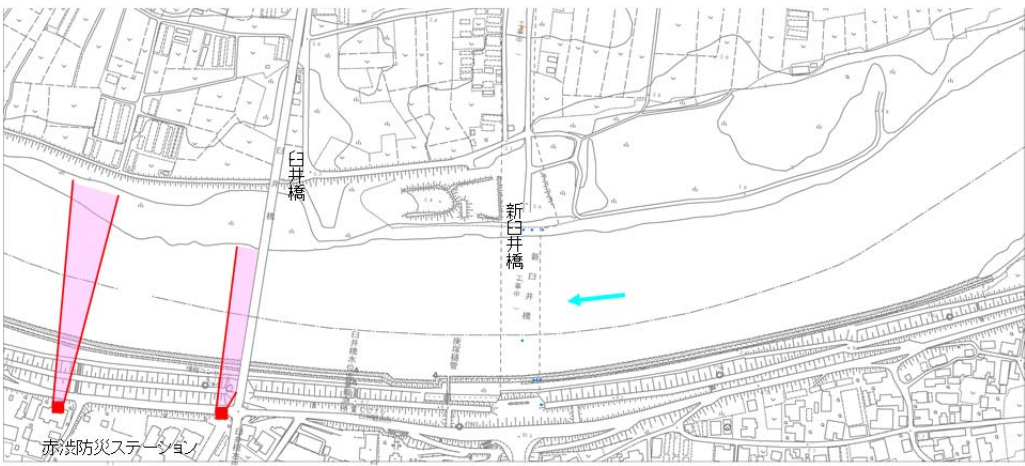
平面図	
	
熱源がない場合	熱源（橋梁）がある場合
観測日時：平成 25 年 7 月 13 日 2 回目	
ビデオカメラ映像	ビデオカメラ映像
	
遠赤外線カメラ映像	遠赤外線カメラ映像
	
評価 ・ 左側の映像は白井橋下流、右側の映像は赤渋防災ステーションからの映像である。白井橋下流は熱源として白井橋があるが、赤渋防災ステーションから望む信濃川下流周辺には熱源がない。 ・ 一方、赤渋防災ステーションの映像では水面の波紋を視認することが困難である。これは、夜間であり周囲からの熱源の効果がほとんどないためである。	

表 8 他河川での遠赤外線映像の事例一覧

由良川	淀川・枚方水位観測所
	
橋脚部付近における映像。橋脚からの遠赤外線放射により水面の波紋視認が可能。	淀川・枚方水位観測所のように川幅が非常に広い河川においても適切なカメラレンズを用いることで、空間解像度の観点からも両岸から撮影が可能である
加古川上流部	
	
周囲に河川構造物等がないため、何とか水面の波紋が視認できる	後述するように、画像鮮明化装置を用いれば、周囲に河川構造物等の遠赤外線放射が少なくとも水面の波紋を視認可能

2.5 遠赤外線カメラの機器性能

<考え方>

画像処理型流速測定法に活用できる遠赤外線カメラは、以下の条件を満たすカメラであることが望ましい。

【遠赤外線カメラの機器性能】

画像処理型流速測定法（STIV）による高水流量観測に使用する遠赤外線カメラとして望ましい機器性能は以下のとおりである。

- ・ どのような自然環境（特に降雨、気温、湿度）に対しても野外設置に耐え得ること
- ・ 水表面流速を計測すべき範囲の水面の映像を撮影可能であること

【遠赤外線カメラレンズ】

画像処理型流速測定法による解析をする際、出来うる限りレンズの歪みがないものを用いることが望ましい。

平成 28 年 3 月現在、市販されている遠赤外線カメラには光学ズーム機能がないため、遠赤外線カメラを選択する際には、遠赤外線カメラ設置場所と撮影したい範囲を撮影できるか確認した上で使用する遠赤外線カメラを選択することが望ましい。

【遠赤外線カメラ映像の録画機能】

必ず遠赤外線カメラで撮影した映像が録画できるものとする。録画可能日数は、撮影から録画終了まである程度の余裕をもち、7 日程度が望ましい（洪水時撮影で 2 日程度、洪水後の水防活動等で録画作業に着手するまで時間がかかる可能性があるため 5 日程度の余裕をみる）。

【CCTV カメラのフレームレート】

フレームレートは 30fps を標準とし、最低 7.5fps は確保する。

【映像鮮明化装置】

STIV による水表面流速計測をする際、降雨や気温・水温差といった自然条件によっては遠赤外線カメラのみでは、明瞭な水面の波紋が得られず、STIV による水表面計測が困難になる場合がある。このため、映像鮮明化装置を用いることを推奨する。

映像鮮明化装置を使用する際は、その接続法は、遠赤外線カメラ－映像鮮明化装置－録画器とする。

<解説>

以下に具体的な遠赤外線カメラの機器性能を示す。

(1) 遠赤外線カメラの機器性能

高水流量観測で用いる遠赤外線カメラの具体的な機器性能として、以下の条件を満たす必要がある。

- ・ 撮像素子と出力映像解像度が一致しているもの
- ・ 適切な画角を確保できるレンズを

具体的には、以下の条件を満たしていることが望ましい。

■使用しようとする遠赤外線カメラについて、日本国内の河川において高水流速観測とその流速から流量を算出した観測事例がある、あるいは、国内外の査読付き学术论文に掲載されたことがあるもの。

■撮像素子解像度	640×480 ピクセル
■出力映像解像度	640×480 ピクセル
■検出素子	非冷却酸化バナジウム (VOx) マイクロボロメーター/FPA
■出力映像フレームレート	30Hz
■検出対象波長領域	7～13.5 μ m 程度
■動作電源	12-38VAC/11-56VDC/PoE IEEE 802.3af-2003 または PoE+ (IEEE 802.3at-2009 規格)
■レンズ	現場に合ったレンズを選択
■視野角	レンズに依存
■ビデオ出力	NTSC/PAL コンポジットビデオおよび IP
■重量	2.2kg (サンシールド付き) 程度
■外形寸法	282mm×129mm×115mm (サンシールド付き) 程度

表 9 及び表 10 に、平成 28 年 3 月現在、日本国内で市販されている遠赤外線カメラを示す。

表 9 日本国内で遠赤外線カメラを市販しているメーカー一覧

メーカー名	主な実績
FLIR	河川の高水流量観測での使用実績多数
株式会社保全工学研究所	コンクリートひび割れ調査
Xenics	
株式会社アートレイ	サーモグラフィ（温度監視カメラ）
株式会社エーディーエステック	・画像機器及びソフトウェアの輸入並びに国内販売 - ー工業用エリアカメラ、ラインセンサカメラ - ー画像入力ボード、ソフトウェア等 ・画像機器システム製作 ・バイオテクノロジー機器製作 ・レーザ関連機器販売

表 10 FLIR の市販されている遠赤外線カメラ一覧（平成 28 年 3 月現在）

機器番号	モデル名	水平視野角（FOV）	解像度	出力
427-0081-11-00	FC-690S-7.5mm,NTSC	90 度	640×480 (307,200 画素)	MPEG-4 H.264 M-JPEG
427-0081-21-00	FC-699S-9mm,NTSC	69 度		
427-0081-31-00	FC-645S-13mm,NTSC	45 度		
427-0081-41-00	FC-632S-19mm,NTSC	32 度		
427-0081-51-00	FC-618S-35mm,NTSC	18 度		
427 - 0030 - 29 - 00	F - 612 - 50mm,NTSC	12 度		
427 - 0030 - 31 - 00	F - 610 - 65mm,NTSC	10 度		
427 - 0030 - 25 - 00	F - 606 - 100mm,NTSC	6 度		
外観				
FLIR FC シリーズ		FLIR F シリーズ		
				

※価格は全てオープン価格

(2) 遠赤外線カメラ映像の録画機能

遠赤外線カメラの映像を録画するための録画装置が必要になる。

この録画装置は、通常、屋外環境で使用することが想定されることから汎用の製品ではなく高温特性に高く解析業務において運用実績を有する機器が望ましい。

また、流速解析ソフト **KU-STIV** で解析するための適切な機能を有するソフトウェアが付属されていることが望ましい。

これらの条件を満たす、具体的な録画装置は以下のとおりである。

■使用しようとする遠赤外線カメラについて、日本国内の河川において高水流速観測とその流速から流量を算出した観測事例がある、あるいは、国内外の査読付き学术论文に掲載されたことがあるもの。

■ハードディスク 2.5 インチ内臓 HDD (SATA)

■画像圧縮方式 H.264

■映像入力 NTSC 4CH 入力

■対応プロトコル HTTP、RTP、TCP/IP 等

(3) 自然環境依存性について

高水流量観測で遠赤外線カメラを用いる場合、遠赤外線カメラ映像には必ず水面の波紋が写っている必要がある。

ここで、遠赤外線カメラによる観測が不能になる、すなわち、遠赤外線カメラ映像に水面の波紋が写らなくなる条件は、表 11 に示すとおりである。平成 26 年度の遠赤外線カメラ映像の自然環境への依存性検討結果を表 12 に示す。

これより、自然環境により遠赤外線カメラによる観測が不能になる可能性があるため、「2.4 遠赤外線カメラの設置位置と画角設定」と「2.5 遠赤外線カメラの機能性能」に示したように、熱源となるものの近傍で遠赤外線カメラによる撮影を実施し、かつ、映像鮮明化装置による対応をする。

表 11 遠赤外線カメラによる観測が不能になる条件一覧

条件	具体的な内容
遠赤外線	遠赤外線カメラは、物体から放射される遠赤外線が水面に反射し、赤外線カメラに取り込まれることで映像として出力している。 このため、遠赤外線カメラを用いて高水流量観測を実施したい観測所近傍に遠赤外線を常に放射し続けることが可能な構造物（橋梁・橋脚、コンクリート護岸、マンション等の住宅など）が必要となる。
降雨	・ 既往検討において、降雨強度の影響は確認されており、20mm/hr 以上では波紋視認が可能な範囲でやや不明瞭となる。 ・ 夜間において、少雨量であっても映像品質が低下した例（8～9 時間、2～5mm/hr）もあり、時間の経過とともに映像品質が低下する傾向にある。 ・ これまでの観測結果から、日没後 9 時間経過または降雨強度 20mm/hr 以上が波紋視認が困難となる閾値と言える。
気温・水温差	・ 水温に比べて気温が高く、かつ、その差が大きい場合は昼夜を問わず波紋視認性が極めて高い。 ・ 一方で、気温よりも水温が低く、かつ、その差が大きい場合には、視認性は日中では概ね良好であるものの、夜間ではやや不良という結果となる。上記の相違は、遠赤外線カメラによる撮影画像では低温が黒・高温が白で表現されるため、気温よりも水温が高い場合では水面が白く映り、微細な波紋が表現されづらいためである。 ・ 気温水温差が小さい（±1 度）場合には、昼夜を問わず、概ね良好に波紋を視認可能であった。
高水敷での撮影	・ 信濃川下流の高水敷は、流量観測所近傍だけでなくそれ以外の区間についても高度利用されている。 ・ このため、遠赤外線カメラで撮影した映像に対し画像処理型流速測定法（STIV）の解析を実施した場合、高精度な水表面流速が得られるか分かっていない。

表 12 遠赤外線カメラの環境依存性（安全側に内外挿）

(a) 日中における降雨・日の出からの経過時刻への依存性

日の出からの 経過時間	雨量(mm/hr)						
	0	0.5～2	2～5	5～10	10～20	20～50	50～
0～1 時間							
1～2 時間							
2～3 時間							
3～4 時間							
4～6 時間							
6～12 時間							

(b) 夜間における降雨・日没からの経過時刻への依存性

日没からの 経過時間	雨量(mm/hr)						
	0	0.5～2	2～5	5～10	10～20	20～50	50～
1～4 時間							
4～6 時間							
6～8 時間							
8～9 時間							
9～10 時間							
10～11 時間							
11～12 時間							

(c) 日中・夜間における気温水温差への依存性

	気温－水温（℃）							
	－4～－3	－3～－2	－2～－1	－1～0	0～＋1	＋1～＋2	＋2～＋3	＋3～＋4
日中								
夜間								

- 波紋を特に鮮明に確認できる
- 波紋は確認できるがやや見えにくい
- 波紋は確認できるが見えにくい
- 波紋は確認できない

(4) 映像鮮明化装置

平成 24 年度から平成 26 年度にかけて実施してきた信濃川下流河川事務所発注業務「赤外線カメラ画像解析等による高水流量観測検討業務」のうち、平成 26 年度実施時から映像鮮明化装置を使用するようになった。

水面が“鏡面”状態になる、あるいは、遠赤外線カメラ映像上で水面の波紋が視認困難な場合、画像処理型流速測定法（STIV）による水表面流速計測は難しい。

このため、図 11 に示すように、映像鮮明化装置を用いることで水面の波紋の視認性を向上させることが可能である。

映像鮮明化装置を活用する場合は、表 13 に示すように、デジタル映像に映像鮮明化処理をかけた際に一定の効果はある。しかしながら、録画器の保存したデジタル映像に対し映像鮮明化処理をかけるよりも、録画器に保存する前のアナログ映像に対し映像鮮明化処理をかけることが望ましい。

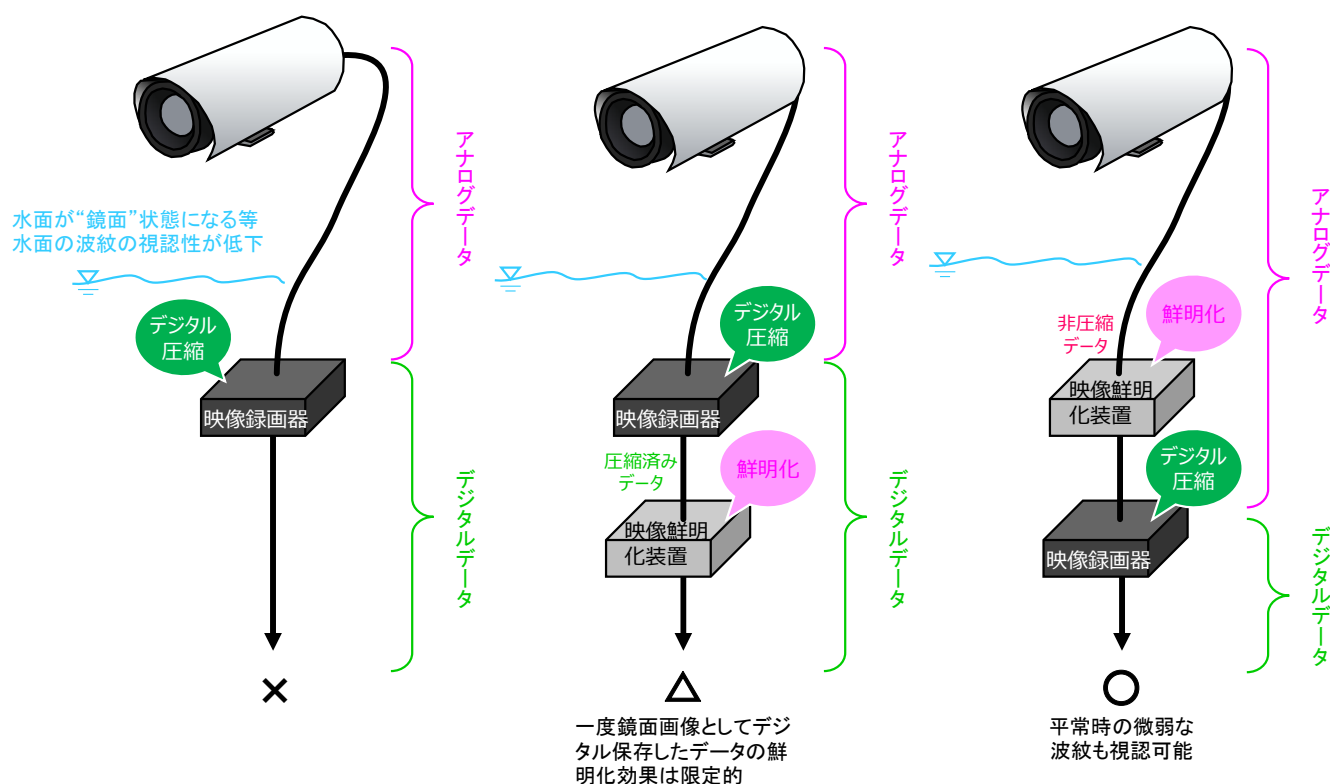
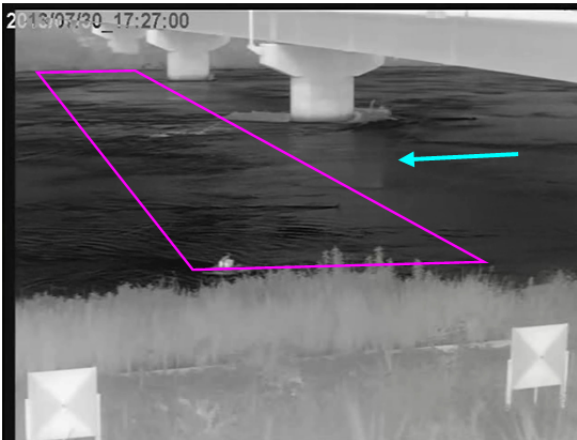
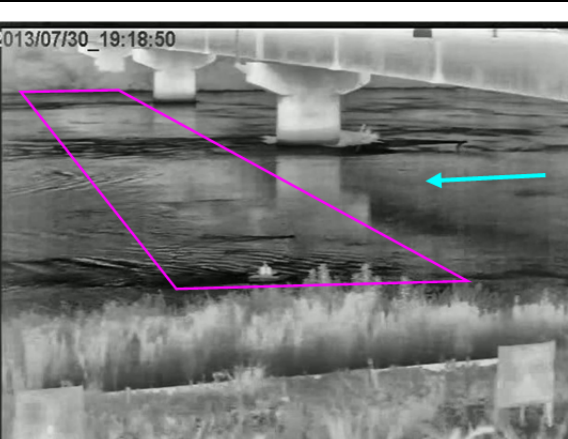


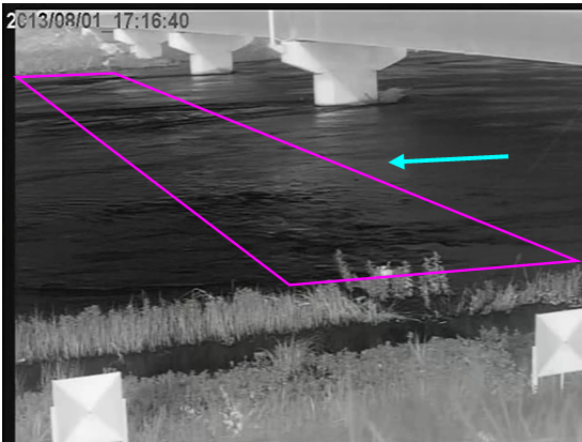
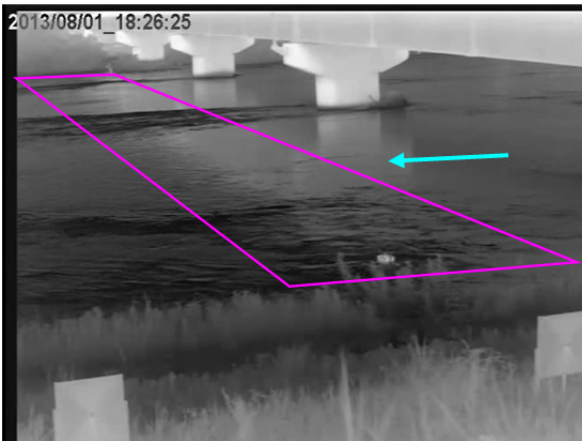
図 11 映像鮮明化装置を活用した水面の波紋視認性の向上対策

表 13 映像鮮明化装置の効果一覧（平成 25 年 7 月 30 日出水）

映像鮮明化処理前	映像鮮明化処理後※
	
	
	
評価 ・ 出水時の遠赤外線カメラ映像を録画器に保存後（のデジタル映像に対し）、映像鮮明化処理を実施 ・ 水表面流速計測エリア□をみると、映像鮮明化処理前（左）は水面が“鏡面”状態であり波紋の視認性が困難であるものの、映像鮮明化処理後（右）は水面の波紋の視認性が向上している。	

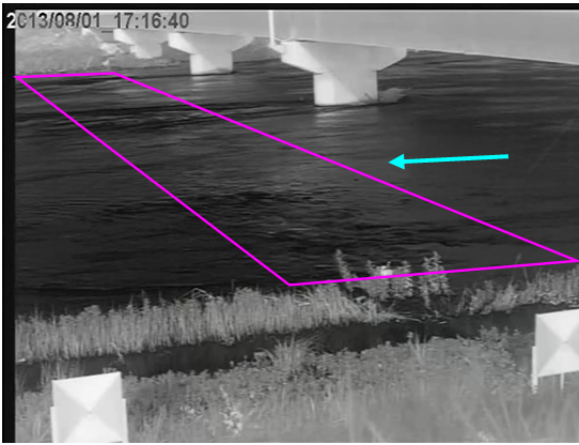
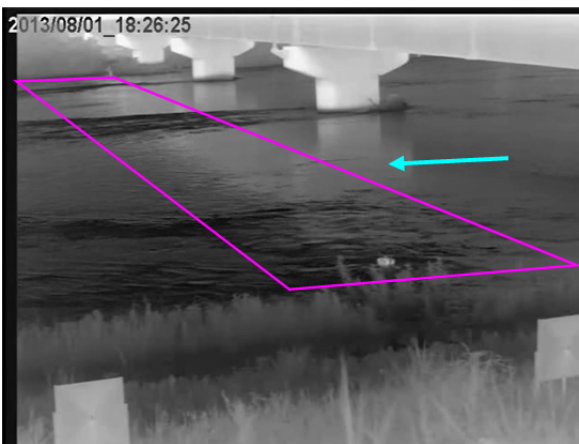
※図 11 の中央図による映像鮮明化後の映像（デジタル映像に対し映像鮮明化処理を実施）

表 13 映像鮮明化装置の効果一覧（平成 25 年 8 月 1 日出水）

映像鮮明化処理前	映像鮮明化処理後※
	
	
	
評価	
・ 出水時の遠赤外線カメラ映像を録画器に保存後（のデジタル映像に対し）、映像鮮明化処理を実施 ・ 水表面流速計測エリア□をみると、映像鮮明化処理前（左）は水面が“鏡面”状態であり波紋の視認性が困難であるものの、映像鮮明化処理後（右）は水面の波紋の視認性が向上している。	

※図 11 の中央図による映像鮮明化後の映像（デジタル映像に対し映像鮮明化処理を実施）

表 13 映像鮮明化装置の効果一覧（平成 26 年 8 月 26 日出水）

映像鮮明化処理前	映像鮮明化処理後※
	
	
	
評価	
・ 水面が“鏡面”化しやすい平常時の遠赤外線カメラ映像（アナログ映像）に対し映像鮮明化処理を実施 ・ 水表面流速計測エリア□をみると、映像鮮明化処理前（左）は水面が“鏡面”状態であり波紋の視認性が困難であるものの、映像鮮明化処理後（右）は明瞭に水面の波紋の視認性が向上している。	

※図 11 の右図による映像鮮明化後の映像（アナログ映像に対し映像鮮明化処理を実施）

平成 28 年 3 月現在、市販されている映像鮮明化装置を表 14 に示す。ここでは、上記業務内で使用した株式会社インフォテック社製と遠赤外線カメラと同じメーカーである FLIR 社製の 2 社を挙げる。

表 14 市販されている映像鮮明化装置一覧（平成 28 年 3 月現在）（1/2）

機器番号	RSE-HDSD-S	
メーカー	株式会社インフォテック	株式会社インフォテック
Video 入力	NTSC/PAL : CVBS 75Ω BNC 1CH	NTSC/PAL : CVBS 75Ω BNC 1CH
Video 出力	NTSC/PAL : CVBS 75Ω BNC 1CH	NTSC/PAL : CVBS 75Ω BNC 1CH
対応最大解像度	1920×1080（インターレース）	1920×1080（インターレース）
フレームレート	1 フィールドあたり 1/60 秒（リアルタイム）	1 フィールドあたり 1/60 秒（リアルタイム）
映像遅延（タイムラグ）	1～2 フィールド未満	約 20 μ 秒
外観		

※価格は全てオープン価格

表 14 市販されている映像鮮明化装置一覧（平成 28 年 3 月現在）（2/2）

機器番号	SSOG-Ⅲ	VM-100
	- FLIR 社遠赤外線カメラ映像の鮮明化（低コントラスト映像に発揮） - 汎用的な可視カメラ映像の鮮明化装置（低照度映像に効果発揮）	- FLIR 社 遠赤外線カメラ映像の鮮明化 - 汎用的な可視カメラ映像の鮮明化 - 軍用途レベルの鮮明化装置で、ノイズレベルが非常に低い
メーカー	FLIR	FLIR
Video 入力	NTSC/PAL : CVBS 75Ω BNC 1CH	NTSC/PAL : CVBS 75Ω BNC 1CH
Video 出力	NTSC/PAL : CVBS 75Ω BNC 1CH	NTSC/PAL : CVBS 75Ω BNC 1CH
対応最大解像度	NTSC : 720x480 / PAL : 720x576	NTSC : 720x480 / PAL : 720x576
フレームレート	NTSC : 30fps / PAL : 25fps	NTSC : 30fps / PAL : 25fps
映像遅延（タイムラグ）	0.0001s/frame 未満	0.0001s/frame 未満
外観		

※価格は全てオープン価格

映像鮮明化装置を選ぶ際の基準は、以下の条件を満足するものである。

概要：遠赤外線カメラのから赤外線映像をより、鮮明に処理し、流速解析を適切に実施できるように映像品質を向上させる為の機器である。

■使用しようとする映像鮮明化装置について、日本国内の河川において高水流速観測とその流速から流量を算出した観測事例がある、あるいは、国内外の査読付き学術論文に掲載されたことがあるもの。

■映像入力	NTSC コンポジット (BNC) 1CH
■映像出力	NTSC コンポジット (BNC) 1CH
■使用温度範囲	-25℃～+75℃
■使用湿度範囲	90%以下
■重量	0.65kg 程度
■通信方式	RS-485
■エリア設定	12 種類程度
■モード設定	4 種類程度
■レベル設定	16 段階程度

<参考となる資料>

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・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.
7. 藤田一郎：実河川を対象とした画像計測技術
8. 藤田一郎・椿涼太：時空間画像を利用した河川表面波紋の移流速度計測、土木学会河川技術論文集、第 9 巻、pp.55～60、2003.
9. 河川砂防技術基準 調査編、pp.第 2 章 第 4 節－16～第 4 節－28、平成 26 年 4 月.

3. 遠赤外線カメラを活用した高水流量観測

<考え方>

遠赤外線カメラを活用した高水流量観測は、遠赤外線カメラを既存の CCTV カメラのように、固定設置した場合と、洪水時に遠赤外線カメラを持参し現場に設置することで撮影する場合の 2 パターンがある。

<解説>

遠赤外線カメラを固定化した場合としない場合において、遠赤外線カメラを活用した高水流量観測の手順が異なる。それぞれの手順を図 12 と図 13 にそれぞれ示す。

両者については、標定点・遠赤外線カメラレンズの設置と三次元測量が大きく異なる点である。



図 12 遠赤外線カメラを固定化した場合の実施フロー図



図 13 遠赤外線カメラを固定化しない場合の実施フロー図

3.1 出水前

3.1.1 標定点の設置

<考え方>

標定点が満足すべき条件は以下のとおりです。

- ・ 高水流量観測で使用する遠赤外線カメラ映像上で「標定点」であると指し示すことができるもの（遠赤外線カメラ映像上で明瞭に視認できるもの）を標定点とする。
- ・ 標定点は少なくとも 6 点以上設置する。
- ・ 遠赤外線カメラ映像上で流速計測範囲決める。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は遠赤外線カメラ設置岸に、③は遠赤外線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>

遠赤外線カメラ映像は、垂直航空写真のように河川の真上から撮影した映像ではなく、一般的に、斜めから撮影された大きな歪みを伴った画像である。

このような遠赤外線映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、必ず録画映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 14）。その際に、標定点（座標のある目印）が必要になる。

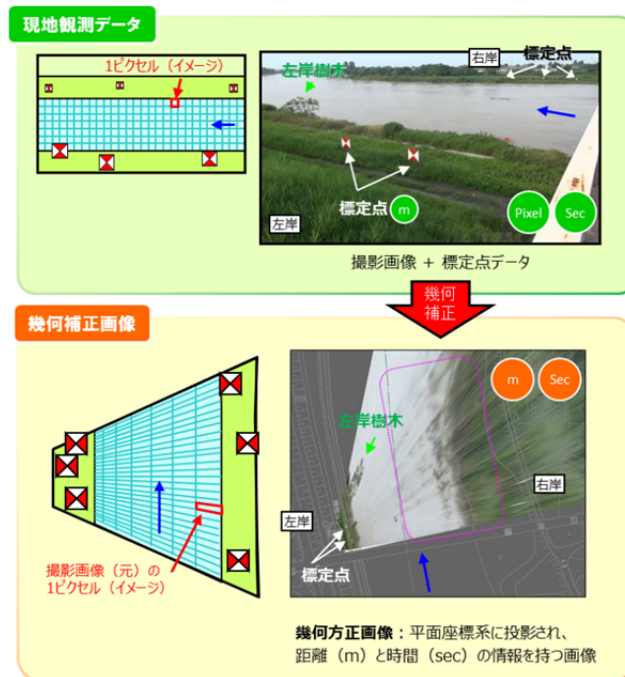


図 14 幾何補正の概念図

(1) 標定点の配置

<考え方>

標定点の設置は、下記の点に留意して配置する。

1. 流速計測範囲周辺部の手前、対岸などに少なくとも 6 点、可能であれば 10 点程度配置する。
2. 標定点の配置は、流速計測範囲の周辺部に満遍なく（均等に）配置され、かつ、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。
3. 対岸、遠方の標定点は CCTV 画像上で視認がしにくいいため、確実に確認可能な対象物を標定点として設定する。
4. 標定点を画面の端（縁）に設置した場合、遠赤外線カメラレンズの歪みの影響を受ける可能性がある。このため、標定点はできるだけ画面の中心部に配置し、画面の端（縁）に相当するところには配置しないようにすることが望ましい。

<解説>

標定点の設置位置、設置個数は画像解析の精度に大きく影響する。

画像処理型流速測定法（STIV）を実施する際、一般的には斜めから撮影される遠赤外線カメラ映像を真上からみた映像に変換する必要がある。この幾何補正は、遠赤外線カメラ映像上に「長さ」という物理量をあてはめることにもなる。

幾何補正を実施する際は、物理座標（実空間座標）と遠赤外線カメラ映像上の座標（CRT 座標）がそれぞれ既知である“点”すなわち標定点を用いる（図 15）。

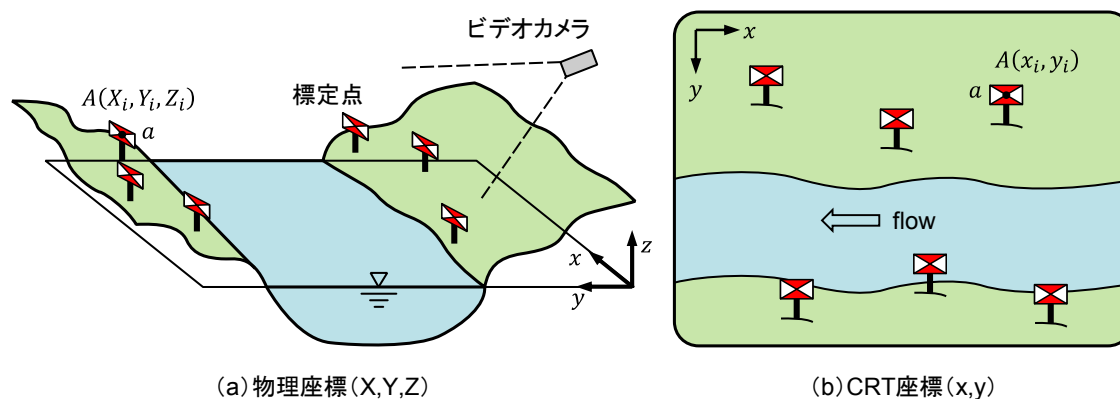


図 15 標定点の物理座標と CRT 座標の関係図

標定点の個数は、最低 6 点は必要である。

画像処理型流速測定法（STIV）の幾何補正に用いる標定点は、最小で 6 点であるが、幾何補正に用いる標定点の位置を変化させることで、幾何補正精度を高めることが可能となる。そこで、10 点程度の標定点から複数組で 6 点を抽出し幾何補正精度の検証を行い、最も精度の高い標定点の組み合わせを用いることも有効的である。

精度良く幾何補正する必要があるのは遠赤外線カメラ映像の全範囲ではなく、流速計測範囲だけで十分である。

このため、標定点は流速計測範囲の周辺部に満遍なく（均等に）配置する。また、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（図 15 及び図 16）。

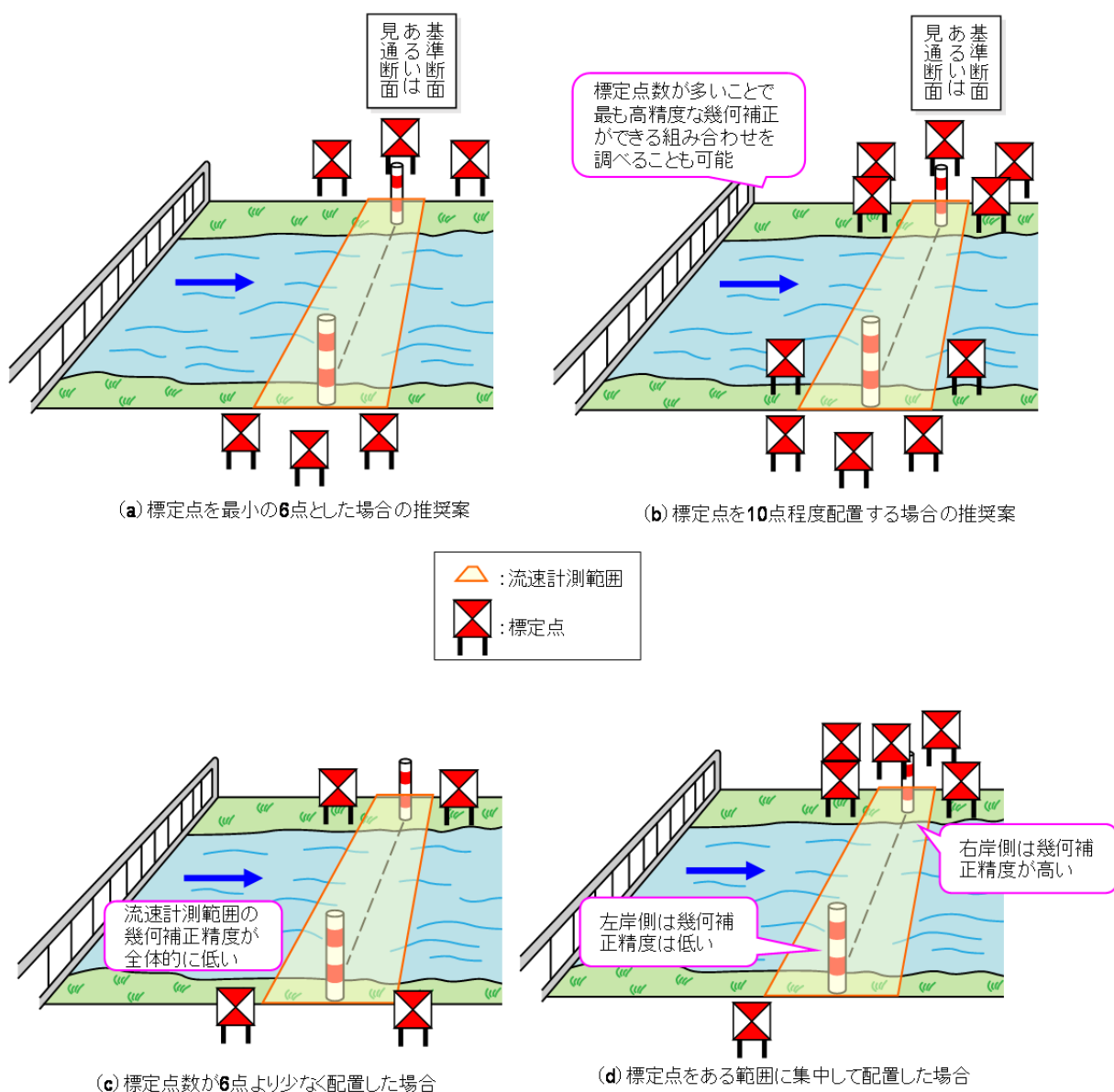


図 16 標定点配置の概念図

(2) 標定点の設置工程

<考え方>

標定点の設置工程は、使用する遠赤外線カメラが固定設置型なのかそうでないのかで異なる。

■遠赤外線カメラが固定設置型の場合：

標定点設置は、出水前と出水後のどちらでもよいが、出来る限り出水前が望ましい。

■遠赤外線カメラが固定設置型でない場合：

標定点設置は、必ず出水前に実施する。

(3) 標定点の種類

<考え方>

標定点に①既設構造物を標定点とした場合は、出水時における遠赤外線カメラ映像があればよい。

一方、標定点として②測量赤白ポール・木杭あるいは（又は）③ベニヤ板等で作成した標定点を用いる場合は、出水時における遠赤外線カメラ映像の画角と同じ状態で遠赤外線カメラ映像上に標定点が撮影された映像を用意する必要がある。

また、標定点の視認性向上のため、熱放射が 0 となるサーマルブライトを活用することが望ましい。

<解説>

標定点として、①既設構造物を標定点とした場合と、②測量赤白ポール・木杭あるいは（及び）③ベニヤ板等で作成した標定点を選択した場合とでは、作業工程が異なる。これは、画像処理型流速測定法による解析をする出水時の遠赤外線カメラ映像上に標定点が映っているか映っていないかの違いによる。

既設構造物を用いる場合は、出水時の遠赤外線カメラ映像上に常に標定点（既設構造物）が映っているため、録画映像上で標定点を指し示すことが可能である。一方、赤白ポール・木杭あるいはベニヤ板等で作成した標定点を用いる場合は、出水時の遠赤外線カメラ映像上に標定点は映っていない場合があるため、録画映像上で標定点を指し示すことが不可能である。

標定点として利活用できる既設構造物は、例えば、以下が考えられる。

- ・ 基準断面、第 1 見通断面、第 2 見通断面の H 鋼の先端部
- ・ 水位標の先端部
- ・ 橋梁の欄干や橋脚の目印となる箇所
- ・ ガードレール
- ・ 高水敷護岸や低水路護岸などの角や階段
- ・ 水位観測所局舎等の建物（例えば、屋根の角部など分かり易い箇所）

新たに標定点を設置する場合、現場作業労力の軽減を目的として、測量赤白ポール・木杭を用いることができる。その際はその先端部を標定点とするとよい。

測量赤白ポール・木杭はそのサイズが小さいため遠赤外線カメラ映像上で視認しづらいことが想定される。その際は、サーマルブライトを活用することが望ましい。

特に、遠赤外線カメラから遠い位置に新たに標定点を設置する場合、ベニヤ板等で作成した標定点を用いることが望ましい。標定点の配色については、赤白を標準とする。遠赤外線カメラ映像上で視認しづらい場合は、サーマルブライトを活用することが望ましい。

ベニヤ板を用いた標定点の作成方法は以下のとおりである。

- ・ 標定点は高さ **90cm**×幅 **90cm** として、**3 本**の **50cm** の足を固定する。
- ・ 中央に×印を書き、その上下を赤色に、左右を白色に塗りつぶす。ここで、×に書く理由は、×印中心部を標定点座標（三次元座標を測量）とするため、赤色と白色で×印を描くことでその位置を明確にするためである。

3.1.2 標定点と遠赤外線カメラレンズ位置の三次元測量

<考え方>

標定点と遠赤外線カメラレンズ位置の三次元測量について、測量種別はトータルステーション等現地測量、縮尺は地図情報レベル **2,500** とする。等級は **3** 級を想定している。

測量座標は世界測地系に準拠する。

測量機器は（**1 級、2 級、3 級**）トータルステーション（**TS**）が挙げられる。

<解説>

画像処理型流速測定法（**STIV**）を実施する場合、標定点と遠赤外線カメラレンズの三次元座標が必要となる。

遠赤外線カメラの三次元座標測量位置は、高水流量観測時の遠赤外線カメラのレンズ中央部であることが望ましい（**写真 2**）。

標定点座標の測量においては、トータルステーションなどを用いて測量することが多い。そこで、測量時に遠赤外線カメラのレンズ中央部の三次元座標を計測する。

なお、座標系は標定座標測量、横断測量に用いた座標系と同一座標系を用いる。



写真 2 遠赤外線カメラレンズの三次元測量位置

3.1.3 横断測量（出水前）の実施

<考え方>

流量観測においては、流速計測断面位置での河道横断測量データが必要となる。通常の浮子測法と同様、出水前後に河道の横断測量を実施し、断面積の大きいほうを流量算出に採用する。

横断測量をする対象断面は流量算出断面であり、**STIV** の場合は流量を算出する 1 断面を計測する。

横断測量（出水前）は、通常の浮子測法と同様の方法、精度とする。

<解説>

画像処理型流速測定法を用いた高水流量観測を実施する場合、通常の高水流量観測と同様、流量を算出する横断面の横断形状が必要になる。

画像処理型流速測定法のうち **STIV** を用いる場合、流量は検査線上の流速から流量を算出するため、検査線に直交した横断面を検査線上に設け、横断測量を実施する。

基準断面を用いる場合は、通常の流量観測業務内で実施している観測値を用いればよい。

3.1.4 水位観測の準備

<考え方>

画像処理型流速測定法により流速計測をする近傍で水位観測値がない場合、水位観測を実施する必要がある。水位は画像処理型流速測定法の幾何補正と流量算出のために必要である。

水位観測方法はカプセル型水位計等の簡易水位計により水位を観測するとし、10分間隔で水位記録が行われることが望ましい。観測位置は流量を算出する断面上であることが望ましい。簡易水位計を設置した場合は、零点高を計測するとともに保守点検を実施することが望ましい。併せて、簡易水位計と同一地点に水位標を設置することが望ましい。

<解説>

画像処理型流速測定法を実施する場合、水位高を考慮した幾何補正を行うため、流速計測範囲近傍の水位データが必要になる。併せて、流量を算出する際にも水位が必要となる。一方、流速計測範囲近傍に水位観測所がない場合は、画像処理型流速測定法の実施や流量算出のために、新たに、水位計を設置する必要がある。

このため、カプセル型水位計等の簡易水位計を設置することで水位を計測すればよい(写真 3) 水位の計測時間間隔は、水位観測所の水位計測と同様、10分間隔とすることが望ましい。

なお、既存の水位計が流速計測範囲内の流量算出断面に設置されていない場合は、近傍の既存水位データ(例えば、基準断面水位)を活用できるか確認する。既存水位データの使用が困難な場合は、流量算出断面に簡易水位計などを設置することでより高精度な流量算出が可能である。



写真 3 簡易水位計とその設置事例

簡易水位計は基本的に絶対圧力（水圧と大気圧の合計値）あるいは水深を計測するため水位に換算するためには零点高が必要になるため、零点高を計測する。計測する頻度は、年に1回以上が望ましい。表 15 に簡易水位計の保守点検（案）を示す。

表 15 簡易水位計の保守点検実施（案）

点検項目 \ 月	04 月	05 月	06 月	07 月	08 月	09 月	10 月	11 月	12 月	01 月	02 月	03 月
点検日時の記入			○			○※2						
水位標の読み値確認・記入			○			○※2						
保護管等の確認※1			○			○※2						
水位計の取外し			○			○※2						
データ回収			○			○※2						
電池残量確認・電池交換			○			○※2						
水位計の再設置			○			○※2						
零点高計測			○									

○印：保守点検実施月

※1：ゴミ等による管の詰まり、簡易水位計の損傷等

※2：簡易水位計のデータロガーあるいは電池により出水期間中（6 月 1 日～10 月 31 日）の観測に支障がない場合は実施しなくてもよい。

簡易水位計の観測値が正しい値を観測しているのか保守点検するために、水位標を設置することが望ましい。水位標の設置箇所は、簡易水位計と同一地点（無理であれば可能な限り簡易水位計の近傍）であることが望ましい。簡易水位計と離れた地点あるいは同一断面内に設置したとしても簡易水位計と水位標に水位差が生じる可能性があり好ましくない。

3.1.5 風向・風速計測

<考え方>

画像処理型流速測定法として STIV を採用する場合、付帯設備として、風向風速計も設置しなければならない。

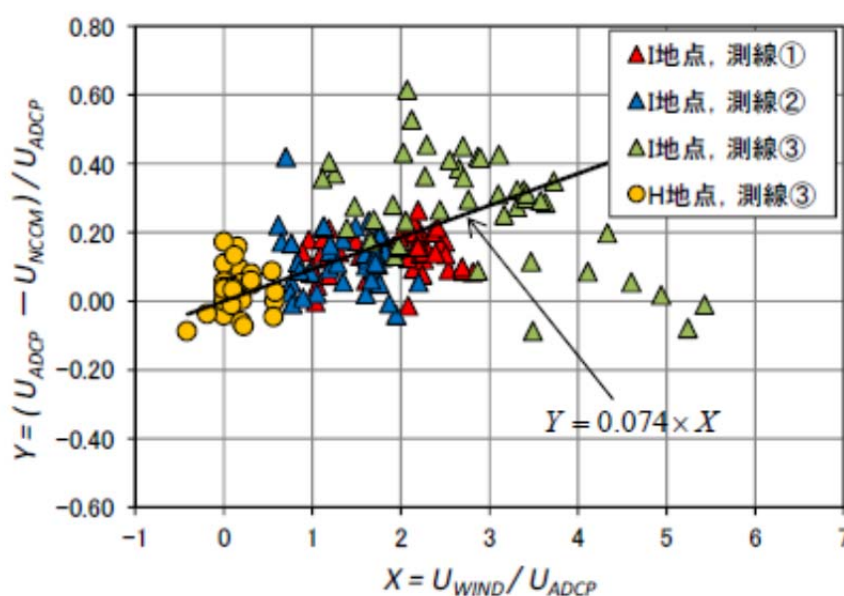
風向風速計の設置位置は河道内水面近傍が望ましい。風向風速観測は 1 秒間隔で計測することが望ましい。

<解説>

電波流速計と同様、画像処理型流速測定法の STIV は非接触型の水表面流速計測であるため、風による吹送流の影響を受けるため、観測所の近傍に併せて設置する風向風速計のデータを用いて風の影響を除去することを標準とする¹⁾。風向風速は観測所ごとに異なり観測所の場に依存するため、例えば気象庁などの観測値を代用することは望ましくない。

水表面流速に対する風の影響は、<参考となる資料>を参照されたい(図 17)。なお、水表面流速に対する風の影響は、研究中の課題であり、STIV で計測される水表面流速にどのように風が作用しているかは未だ解決できていない(平成 28 年 3 月現在)。

水表面流速計測に対する風の影響は、今後、知見が増え、STIV による水表面流速計測方法などが改良された場合は、その方法に基づいて修正していかなければならない。

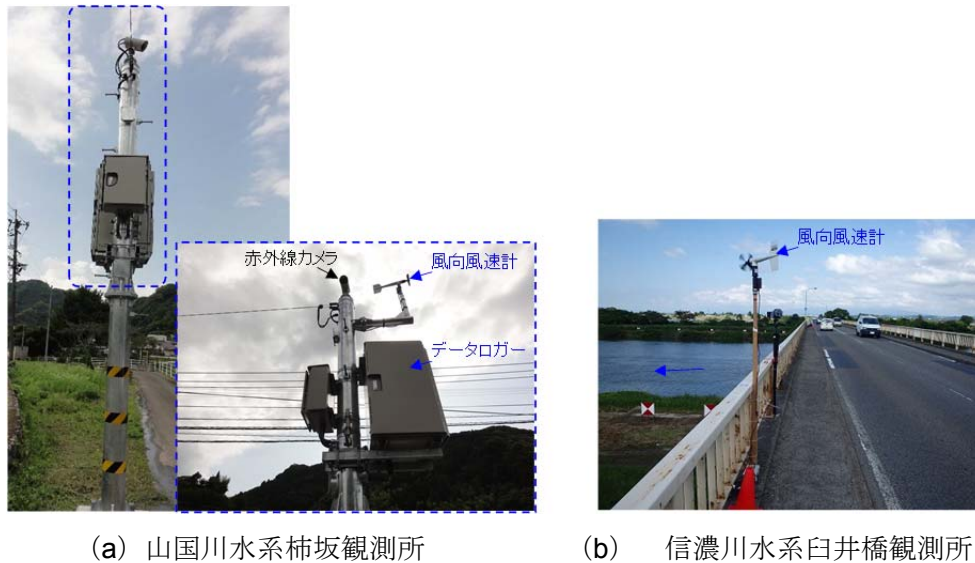


出典：流量観測の高度化マニュアル（高水流量観測編）Ver1.0、p.40²⁾

図 17 水表面流速観測値への風の影響

風速計の設置位置については河道内水面近傍が望ましいが、そのような地点では機器の設置が困難な場合が多いため、遠赤外線カメラの鉄塔などに添加して設置する（写真 4 の左写真）。

風向・風速の計測は、機器のデータ容量などにも依存するが、1 秒間隔で計測することが望ましく、洪水時の風向・風速データを保存できる機器（データロガー）を設置することが望ましい（例えば、写真 4 の右写真）。設置型の風向風速計（写真 4 の（a））を使用する場合、保守点検費用や保守点検員が新たに必要となる。このため、可搬式の風向風速計（写真 4 の（b））を用いることが望ましい。



(a) 山国川水系柿坂観測所

(b) 信濃川水系臼井橋観測所

写真 4 風向風速計の設置事例

<参考となる資料>

1. 河川砂防技術基準 調査編、p.第 2 章 第 4 節－24、平成 26 年 4 月.
2. 流量観測の高度化マニュアル（高水流量観測編）Ver1.0、独立行政法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター、pp.38～41.

3.2 出水中

<考え方>

出水中は、対象の遠赤外線カメラで所定の映像を録画する。

3.3 出水後

3.3.1 出水時の録画映像の保存

<考え方>

遠赤外線カメラの動画保管については、下記の諸元が分かるように記録を行う。

- ・遠赤外線カメラの観測所名
- ・洪水名
- ・記録開始時刻と記録時間（年月日、時刻は秒まで記載することが望ましい）

<解説>

洪水後、出水規模に応じて記録された遠赤外線カメラ映像を用いて STIV により流量算出を行うかどうかの判断を行い、必要に応じて記録されている洪水時の対象遠赤外線カメラ映像について保存を行う。

3.3.2 横断測量（出水後）の実施

<考え方>

流量観測においては、流速計測断面位置での河道横断測量データが必要となる。通常の浮子測法と同様、出水前後に河道の横断測量を実施し、断面積の大きいほうを流量算出に採用する。

横断測量をする対象断面は流量算出断面であり、STIV では流量を算出する 1 断面を計測する。

横断測量（出水後）は、通常の浮子測法と同様の方法、精度とする。

<解説>

画像処理型流速測定法を用いた高水流量観測を実施する場合、通常の高水流量観測と同様、流量を算出する横断面の横断形状が必要になる。

3.3.3 水位データの回収保存

<考え方>

遠赤外線カメラ映像と STIV により流量算出する場合は、出水後に水位データの回収・保存を行う。

【基準水位を用いる場合】

テレメータシステムや統一河川情報システムにて水位データが保管されている場合は、保管データからデータを検索・抽出する。

【新たに水位計（カプセル型などの簡易水位計）を設置】

簡易水位計を用いて水位を観測している場合は、水位計を回収し観測データを回収する。継続して水位を計測する必要がある場合は、水位計を再設置し水位を計測する。

<解説>

洪水後、出水規模に応じて記録された遠赤外線カメラ映像と STIV により流量算出を行う場合、対象期間内の流量算出断面での水位記録について回収を行い、保管を行う。

テレメータシステムや統一河川情報システムにて水位データが保管されている場合は、保管データからデータを検索・抽出する。

簡易水位計の観測データは、ロガーの保存期間やバッテリー容量に限界があるため、必要に応じ水位データの回収と再設置を行う。

3.3.4 観測成果の保存・保管

<考え方>

画像処理型流速測定法による高水流量観測をするために、表 16 に示す一連の資料を収集整理する。

これら全ての資料は、事務所の水文観測担当者が関係者から資料を収集し、保存・保管する。

表 16 画像処理型流速測定法で必要となる資料一覧

No.	項目	資料	ファイル形式
1	洪水時の遠赤外線カメラで撮影された映像	洪水時の遠赤外線カメラ映像	mp4、mts、m2ts、avi
2	標定点の三次元座標	幾何補正に用いる標定点の三次元座標。座標は横断測量などと同一座標系（世界測地系）	Excel、txt
3	遠赤外線カメラレンズの三次元座標	幾何補正に用いる遠赤外線カメラレンズ中心部の三次元座標。高水流量観測用プリセットになっているときの遠赤外線カメラレンズ位置を測量することを留意する。座標は横断測量などと同一座標系（世界測地系）	Excel、txt
4	標定点と遠赤外線カメラ位置をプロットした平面図	地図情報レベルが 2,500 の平面図を原則とする。	dwg、p21
5	流量算出横断面形状	流量算出をする断面形状	CAD（dwg、p21）、Excel、txt
6	流量算出断面水位	流量算出断面において洪水時の時系列水位データ横断座標に応じて機器設置高から水位に換算された水位	Excel、txt
7	全ての標定点が録画された動画	高水流量観測用にプリセットされた遠赤外線カメラで測量された標定点が記録された動画。全ての標定点が映っている動画が望ましい。	mp4、mts、m2ts、avi
8	洪水時のカメラ映像の撮影時刻、撮影時間	高水流量観測用にプリセットされた洪水時の遠赤外線カメラ映像の撮影時刻、撮影時間	特に指定なし
10	風向・風速データ	遠赤外線カメラ近傍で計測された風向・風速データ	Excel、txt

4. 画像処理型流速測定法（STIV）を用いた流速解析

<考え方>

画像処理型流速測定法（STIV）を活用した水表面流速計測は、以下の手順で実施する。

- ① 幾何補正
- ② 流速計測範囲と検査線の設定
- ③ STI 画像の取得
- ④ STIV による水表面流速算出
- ⑤ STIV により得られた水表面流速に対する風の補正

画像処理型流速測定法（STIV）による水表面流速解析は、市販されている画像処理型流速解析ソフト『KU-STIV（発売：株式会社ビーシステム）』を用いて実施する。市販されているソフトについて、平成 28 年 3 月時点のものを示す。

<解説>

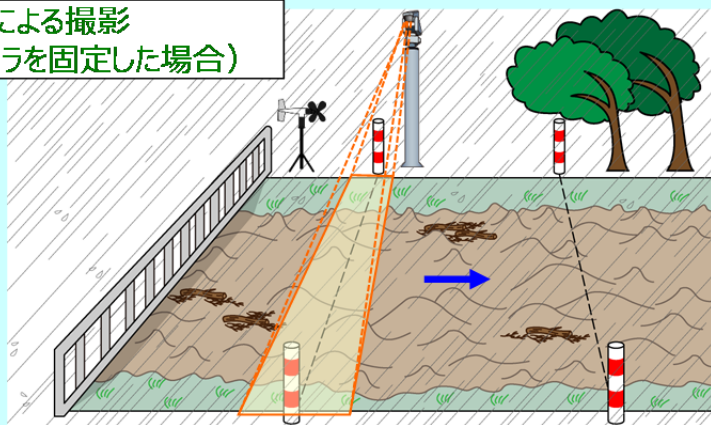
画像処理型流速測定法「KU-STIV」に係わる情報は、表 17 に示すとおりである。

表 17 画像処理型流速測定法（STIV）の解析ソフト一覧

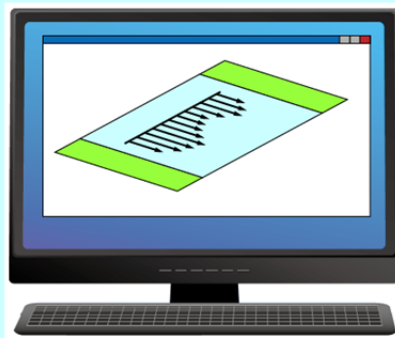
販売元	株式会社 ビーシステム 〒060-0809 札幌市北区北 9 条西 3 丁目 10 番地 1 小田ビル 7F TEL : 011-700-3100 FAX : 011-700-3003 info@be-system.co.jp
システム要件	OS : Windows7 SP1/8.1 (X64 では WOW64 で動作)
映像要件	➤ 形式 : avi、mp4、m2ts ➤ 走査 : プログレッシブ ➤ 時間 : 10 秒～30 秒程度 ➤ 映像推奨要件 : - フレームレート : 30fps 以上 - 解像度 : 720p、1080p - 高ビットレート ➤ 映像撮影推奨条件 - 座標点数 : 6 点以上 (両岸に各 3 点以上) - カメラ位置座標 - 水位

現地観測

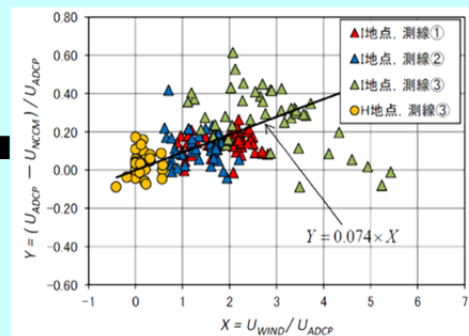
遠赤外線カメラによる撮影
(遠赤外線カメラを固定した場合)



画像解析 (STIV)



STIVによる水表面流速解析



風による水表面流速の影響除去

風の影響を除去した水表面流速の計測

流量「算出」

方法1:

- STIVにより所定の水表面流速横断分布が得られた場合は、『河川砂防技術基準 調査編』に記載されている浮子測法の更正係数(=0.85)を乗じ水深平均流速を算出
- 上記の水深平均流速と区分求積法により流量を算出
- 現行の浮子測法と流量“算出法”と同一である。

方法2:

- STIVにより所定の水表面流速横断分布が得られなかった場合(どこかの区分流速に欠測がある場合)、DIEX法により欠測箇所の水表面流速を推定
- STIVにより計測した水表面流速とDIEX法により推定した水表面流速に『河川砂防技術基準 調査編』に記載されている浮子測法の更正係数(=0.85)を乗じ水深平均流速を算出
- 上記の水深平均流速と区分求積法により流量を算出
- 現行の浮子測法と流量“算出法”と同一である。

方法3:

- STIVにより得られた水表面流速とDIEX法により流速横断面分布を算出し、それに断面積を乗じることで流量を算出

図 18 遠赤外線カメラを活用した高水流量観測高度化の概念図

4.1 幾何補正精度

<考え方>

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、CCTV 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、CCTV 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、CCTV カメラ録画映像の座標上（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 19）。

幾何補正については、CCTV カメラのプリセット画角が変わらなければ、水位毎に一度設定し、そのパラメータを用いることが可能である。

幾何補正精度は解析精度に影響するため、事務所において対象 CCTV について事前に幾何補正を行い、標準パラメータを用意することが望ましい。幾何補正パラメータを事前に用意することで流量算出を行う流量観測業者による流速観測への誤差、影響を排除することが可能である。

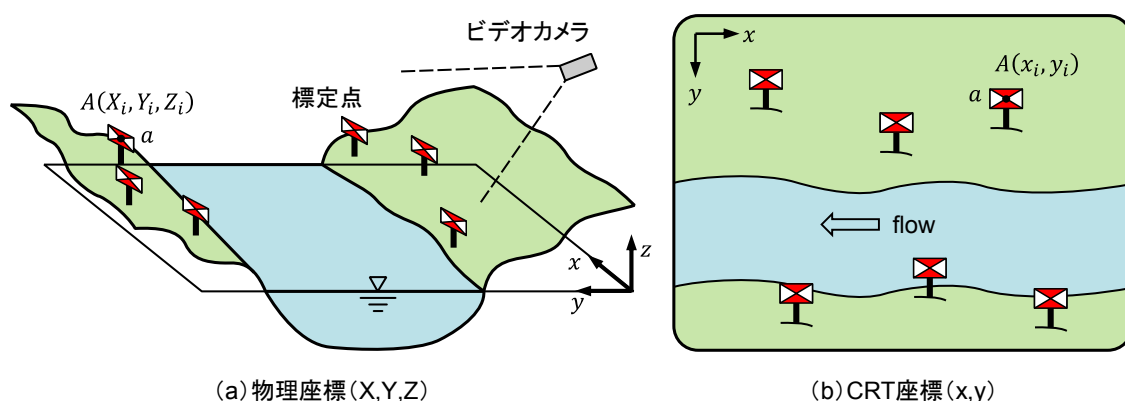


図 19 標定点の物理座標と CRT 座標

画像処理型流速測定法の幾何補正精度を確認する方法として、以下の 3 つの指標が考えられる。

■ 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

画像処理型流速測定法である STIV と Float-PTV とともに、流下方向流速を算出するため流下方向の標定点間距離の誤差は、直接、流速計測誤差になる。一方、横断方向の標定点間距離の誤差は、流速計測横断位置がずれることを意味するため、流下方向の幾何補正精度に比べて優先順位は落ちる。標定点による多角形の閉合誤差は、距離だけでなく角度の誤差も把握するため実施することが望ましい。多角形の閉合誤差は測量における閉合トラバースの考え方を模倣している。

定量的な許容誤差は、流下方向の幾何補正精度は 5% よりも高精度であることが望ましい（最低限でも 5% 以内を満足する）。一方、横断方向と多角形の閉合誤差は 5% ではなく、7~8% 程度でもよい。ここでは、可能な限り流下方向の幾何補正精度が高いことが望ましく、その他 2 項目は流下方向よりも優先順位が低い。

4.2 STIV による流速解析

4.2.1 STIV における検査線の位置、長さ、解析時間

<考え方>

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。

(1) 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 18）以上とすることが望ましい。

表 18 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）

(2) 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。

(3) 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 18）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 18 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）

(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。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。

(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（あるいはスパイク的に高流速あるいは低流速が生起）。

このため、検査線の時間は、検査線の長さと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。

参考資料：STIV の検査線の長さや検査線の時間の違いによる水表面流速の違い

STIV の検査線の長さや検査線の時間（解析時間）の違いによって、STIV で解析される水表面流速がどの程度異なるのか感度分析した。その際、参照値（真値）として、ADCP による観測値を用いた。

【検証目的】

- ① 検査線の長さ（空間的に縦断方向の何 m の平均流速を算出することが最適か）
- ② 検査時間（時間的に何秒の平均流速を算出することが最適か）

【検討方法】

- ① 検査線の長さを 4 パターン（5m、10m、15m、20m）に設定し STIV を実施し、STIV により算出された水表面流速と ADCP により観測された表層流速の比較を通して、最適な検査線長を把握
- ② 検査線の時間を 5 パターン（10s、20s、30s、60s、120s）に設定し、STIV により算出された水表面流速と ADCP により得られる表層流速の比較を通して、最適な検査時間を把握

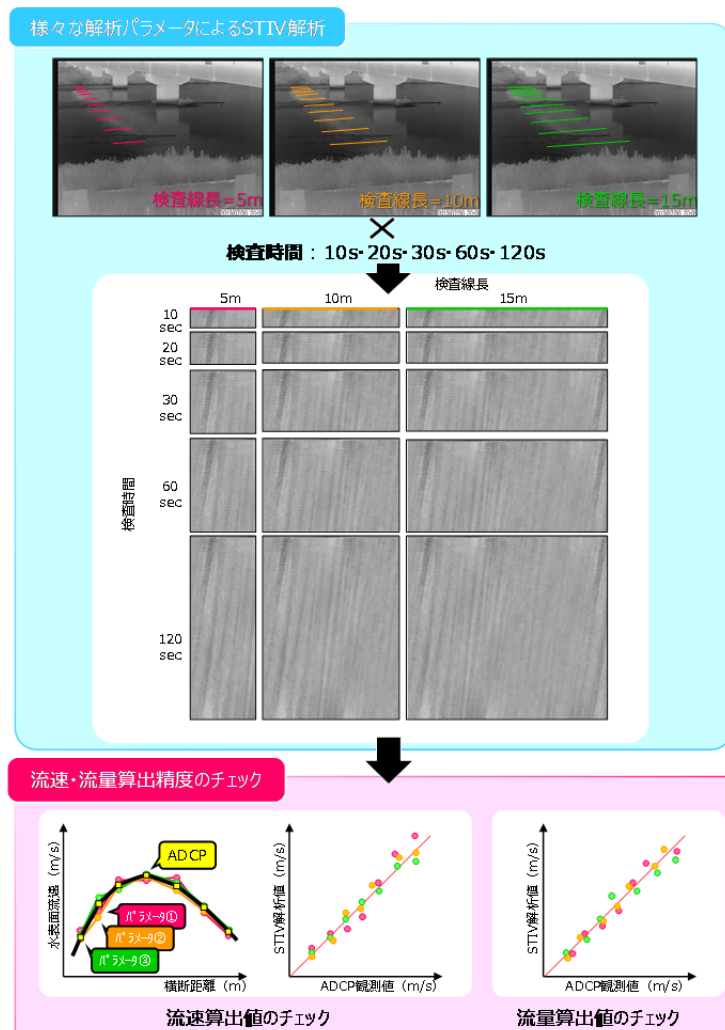
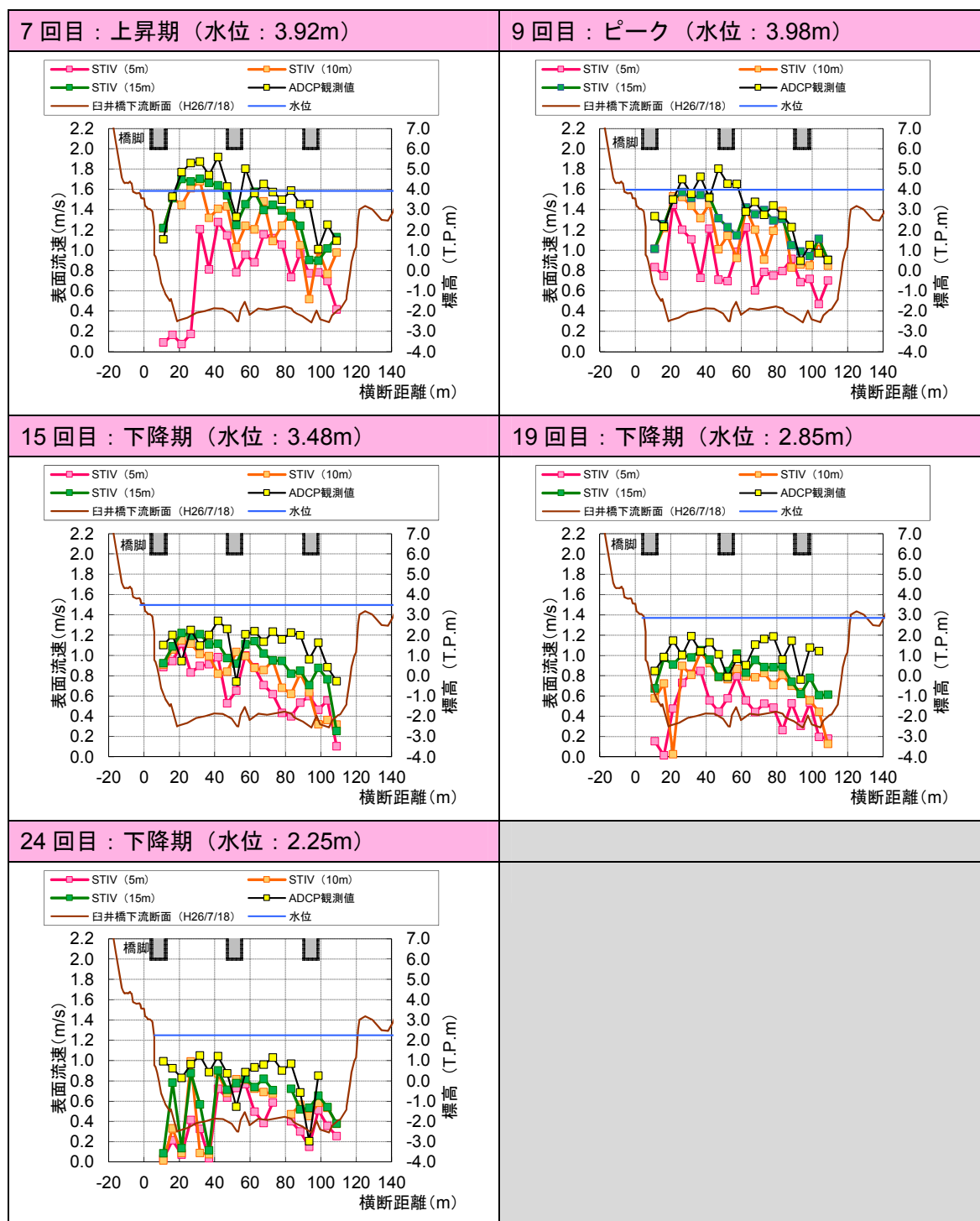


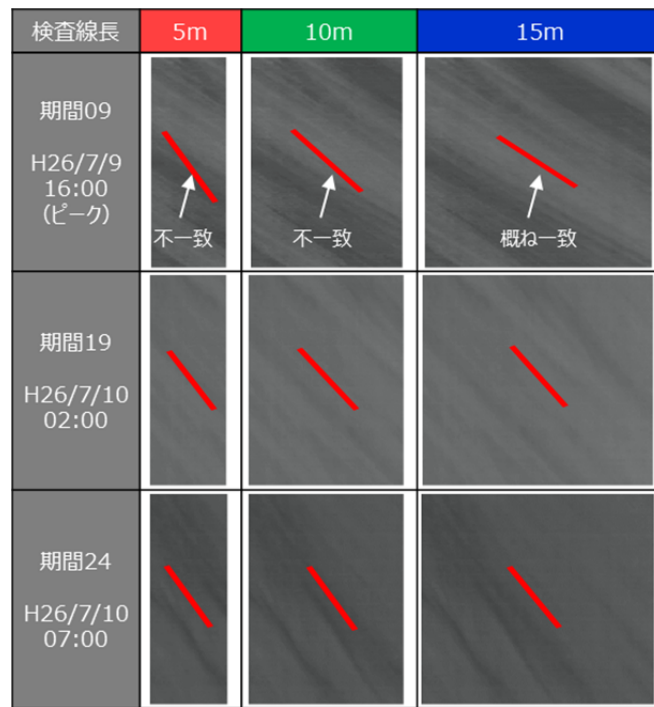
図 20 検査線の長さや時間の検証方法概念図

【検証結果】

- ・ 表 19 と図 21 に検査線の時間を変えることによる水表面流速の変化を示す。
- ・ これより、同じ動画を用いた場合においても、検査線の長さを変えることで水表面流速の解析値が異なることが分かる。
- ・ ADCP（表層流速）と STIV（水表面流速）の相関図を図 22 に示す。これより、STI（時空間画像）のカタチがほぼ正方形に近い検査線の長さが 15m の場合が、最も高精度な流速であることが分かる。

表 19 検査線の長さの違いによる水表面流速と ADCP 表層流速の横断比較図





※赤線は、STIVソフトウェアが自動認識した縞模様の勾配の平均値

図 21 STI（時空間画像）の検査線の長さの違いによる水表面流速の違い

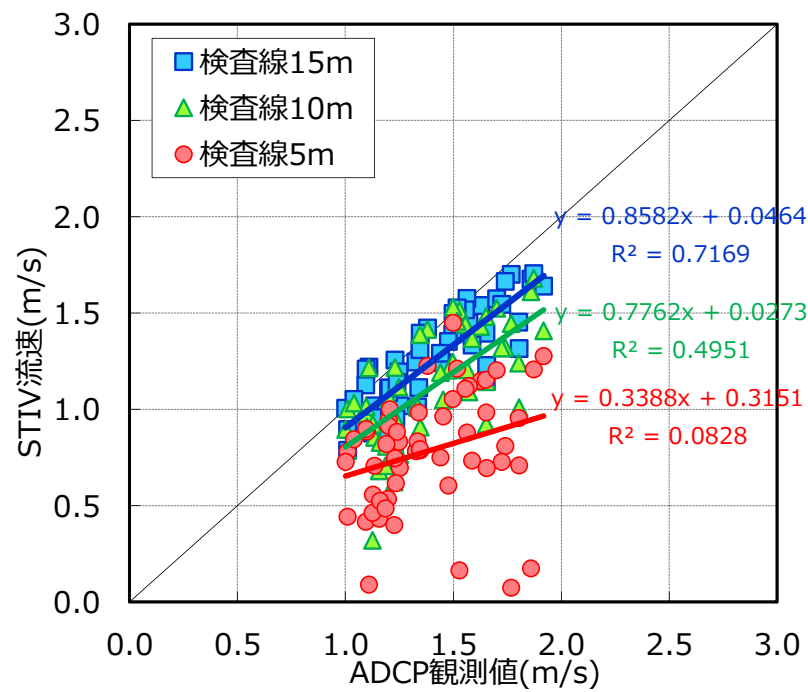


図 22 各検査線長における STIV 流速と ADCP 流速の相関

4.2.2 水表面流速の風の影響除去（風と水表面流速の関係式を用いる場合）

<考え方>

画像処理型流速測定法のうち STIV は、電波流速計と同様、水表面流速を計測するため風による吹送流の影響を受けるため、観測所の近傍に併せて設置する風向風速計のデータを用いて吹送流の影響を除去することを標準とする。

吹送流の除去方法として、例えば、下記が挙げられる。

【土木研究所の式（現地観測）】¹⁾

吹送流を除去した水表面流速を U とすると、以下のとおり算出される。

$$U = U_{obs.} - U_{wind} \times 0.074$$

ここで、 $U_{obs.}$ は STIV で計測された水表面流速、 U_{wind} は流下方向成分の風速であり、両者とも河川流下方向軸の順流方向を正とする。

なお、水表面流速計測値に対する吹送流の除去方法は、現在（平成 27 年 3 月現在）でも研究中の課題であり、今後の研究の進捗状況に合わせて修正するものとする。

<解説>

画像処理型流速測定法のうち STIV は、電波流速計と同様、水表面流速を計測するため風による吹送流の影響を受けるため、観測所の近傍に併せて設置する風向風速計のデータを用いて吹送流の影響を除去することを標準とする（図 23）。

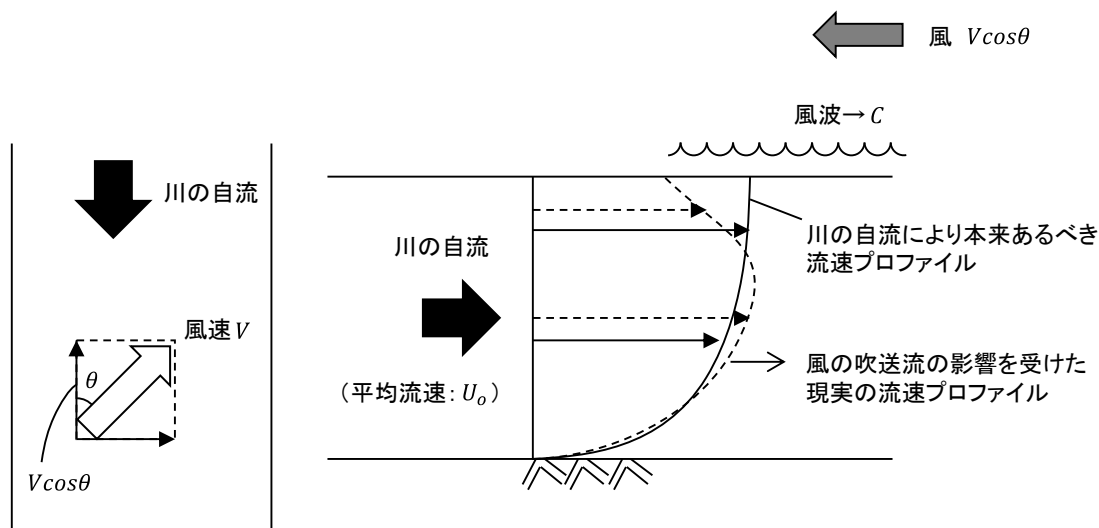


図 23 風による流れへの影響イメージ（逆風の場合）

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。

【土木研究所の式（図 24 の右図）】

吹送流を除去した水表面流速を U とすると、以下のとおり算出される。

室内実験：
$$U = U_{obs.} - U_{wind} \times 0.016$$

現地観測：
$$U = U_{obs.} - U_{wind} \times 0.074$$

ここで、 $U_{obs.}$ は STIV で計測された水表面流速、 U_{wind} は流下方向成分の風速であり、河川流下方向軸の順流方向を正とする。

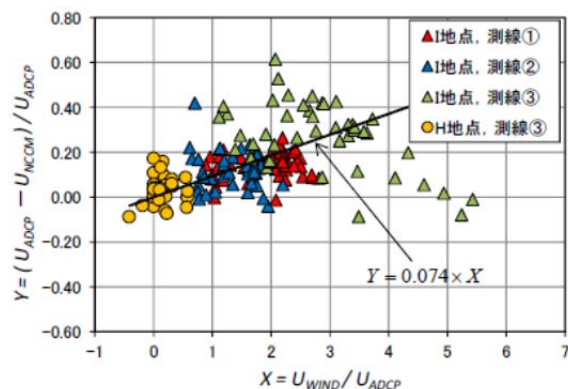


図 24 流速差と風速の相関図（土木研究所の観測結果）

具体的には、現地での風向・風速データから流下方向成分の風速（ U_{wind} ）を算出し、STIV で算出された流速（ $U_{obs.}$ ）に対し次式で $U = U_{obs.} - U_{wind} \times 0.074$ を算出し、風を考慮した流速に補正する。

現時点では、不足が STIV による表面流速の算出に及ぼす影響について不明な点もあり、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。

<参考となる資料>

- 1) 流量観測の高度化マニュアル（高水流量観測編）Ver1.0、独立行政法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター、pp.38～41.
- 2) 柏田仁・二瓶泰雄・山下武宣・山崎裕介・市山誠：電波流速計による表層流速計測と DIEX 法に基づく流量推定手法の提案、土木学会河川技術論文集、第 18 巻、2012.

4.2.3 水表面流速の風の影響除去（STI 画像に対し手動で水表面流速を算出する場合）

<考え方>

画像処理型流速測定法（STIV）による水表面流速解析は、市販されている画像処理型流速解析ソフト『KU-STIV（発売：株式会社ビーシステム）』を用いて実施する。

このソフトを用いて STIV を実施する場合、時空間画像（STI 画像）から波紋の傾きを算出する手法として、以下の 3 手法がある。

1. 手動
2. 自動
3. 自動二次元 FFT（Fast Fourier Transform）

同ソフトを用いて STIV による水表面流速を計測する際は、自動二次元 FFT を原則使用する。これは、流速を計測する際に、人為的誤差が含まれないようにするためである。

一方、強い逆風時には自動二次元 FFT を用いても計測できない場合がある。自動二次元 FFT で計測した水表面流速値が明らかに誤差を含んでいる、あるいは、計測できない場合は手動で対応する。

5. 画像処理型流速測定法（STIV）による水表面流速を用いた流量算出法

5.1 流量算出法の概要

<考え方>

画像処理型流速測定法（STIV）による水表面流速を用いた流量算出法は、以下の 3 手法が考えられる。

本マニュアルでは、手法 1 を原則とし、画像処理型流速測定法（STIV）により水表面流速分布が部分的に得られない場合は手法 2 を用いるものとする。対象流量観測所の上下流観測所に対しても手法 3 を用いた流量を採用する場合のみ、手法 3 を適用する。

➤ 手法 1 :

浮子測法と同様の流量算出法。すなわち、水表面流速に更正係数を乗じることで水深平均流速を算出し、これに区分断面積を掛け区分流量を算出し、区分流量を合算することで流量を算出する手法

➤ 手法 2 :

水表面流速分布が部分的に得られない場合、得られない水表面流速を DIEX 法により部分的に補完する手法

➤ 手法 3 :

画像処理型流速測定法により得られた水表面流速と DIEX 法により流量を算出する手法

なお、画像処理型流速測定法（STIV）による水表面流速とは風の影響を除去した後の水表面流速を意味する。

5.2 浮子測法と同様の流量算出手法

<考え方>

本手法は、「5.1 流量算出法の概要」における手法 1 に相当する。

画像処理型流速測定法（STIV）により得られた水表面流速（風の影響除去済み）に更正係数を乗じることで水深平均流速を算出し、これに区分断面積を掛け区分流量を算出し、区分流量を合算することで流量を算出手法である。

具体的な流量算出手順は以下のとおりである。

- 1) 流量算出に用いる断面は、横断面ごとに、洪水前後の横断測量の結果から求められる洪水前及び洪水後の全断面積（洪水期間中の最高水位時）を比較して、いずれか大きい方の断面を用いる。
- 2) 上記の断面積算出に用いる水位は、流量を算出する横断面上の水位とし、画像処理型流速測定法（STIV）により水表面流速を算出した開始時と終了時における水位の平均値とする。
- 3) 1つの流速測線の水深平均流速が代表する区分断面は、これと相隣り合っている流速測線との中央線までの領域とする。水深平均流速は、画像処理型流速測定法（STIV）により得られた水表面流速（風の影響除去済み）に対し、一律、0.85 を乗じることとする。
- 4) 予め決められた流量算出する横断面において、1つの流速測線それぞれに対応した区分断面の面積を求め、両者の算術平均をその流速測線の受け持つ区分断面積とする。
- 5) 流量は、測線ごとの深さ方向平均流速とその平均流速が受け持つ区分断面積との積を全
- 6) 測線について合計して算出する。

<解説>

浮子測法と同様の流量算出手法の手順は上記のとおりであり、図 25 にその概念図を示す。

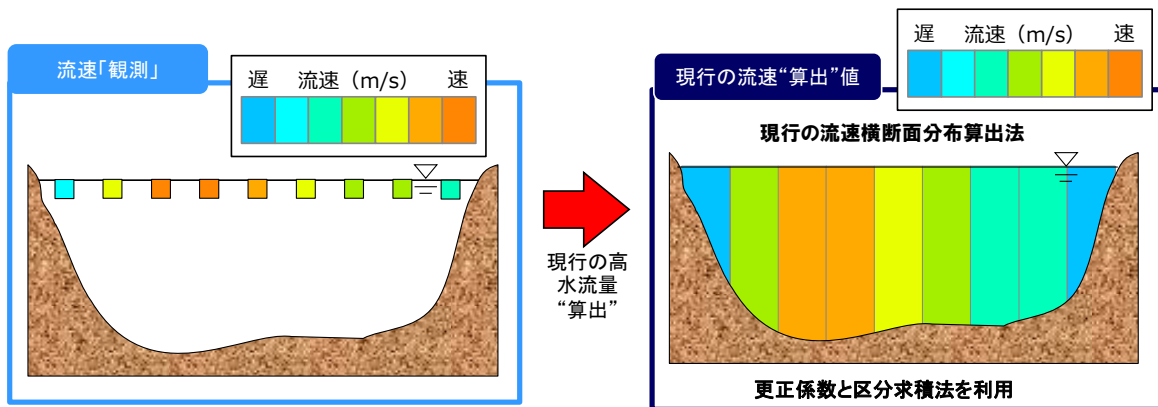


図 25 「浮子測法と同様の流量算出手法」の流量算出イメージ

表 20 浮子測法の更正係数一覧

表2-4-6 浮子番号と水深、吃水の適用範囲

浮子番号	1	2	3	4	5
水深 (m)	0.7 以下	0.7～1.3	1.3～2.6	2.6～5.2	5.2 以上
吃水 (m)	表面浮子	0.5	1.0	2.0	4.0

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2-4-7 浮子番号と水深、更正係数の関係

浮子番号	1	2	3	4	5
水 深 (m)	0.7 以下	0.7～1.3	1.3～2.6	2.6～5.2	5.2 以上
更 正 係 数	0.85	0.88	0.91	0.94	0.96

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）

但し、4.6.4 の例示に基づき、1 段階短い浮子を用いる場合には、水深と浮子の吃水深に応じて更正係数値の修正を行う必要がある。その場合の修正更正係数は、流速分布式に基づき浮子吃水部の平均流速に対する全水深平均流速の比により設定することを基本とする。

出典：河川砂防技術基準 調査編、p.第 2 章 第 4 節－19、平成 26 年 4 月版

5.3 DIEX 法により水表面流速を補完し流量を算出する手法

<考え方>

本手法は、「5.1 流量算出法の概要」における手法2に相当する。

画像処理型流速測定法（STIV）により得られる水表面流速（風の影響除去済み）について、水表面流速横断分布が部分的に得られない場合、DIEX 法により欠測している水表面流速を算出することで水表面流速の横断分布を得る。

その上で、「5.2 浮子測法と同様の流量算出手法」に示した手順どおり、水深平均流速を算出し、区分求積法により流量を算出する。

なお、DIEX 法は、次節「5.4 DIEX 法による流量算出手法」の<解説>に示す。

<解説>

「DIEX 法により水表面流速を補完し流量を算出する手法」の手順は上記のとおりであり、図25にその概念図を示す。

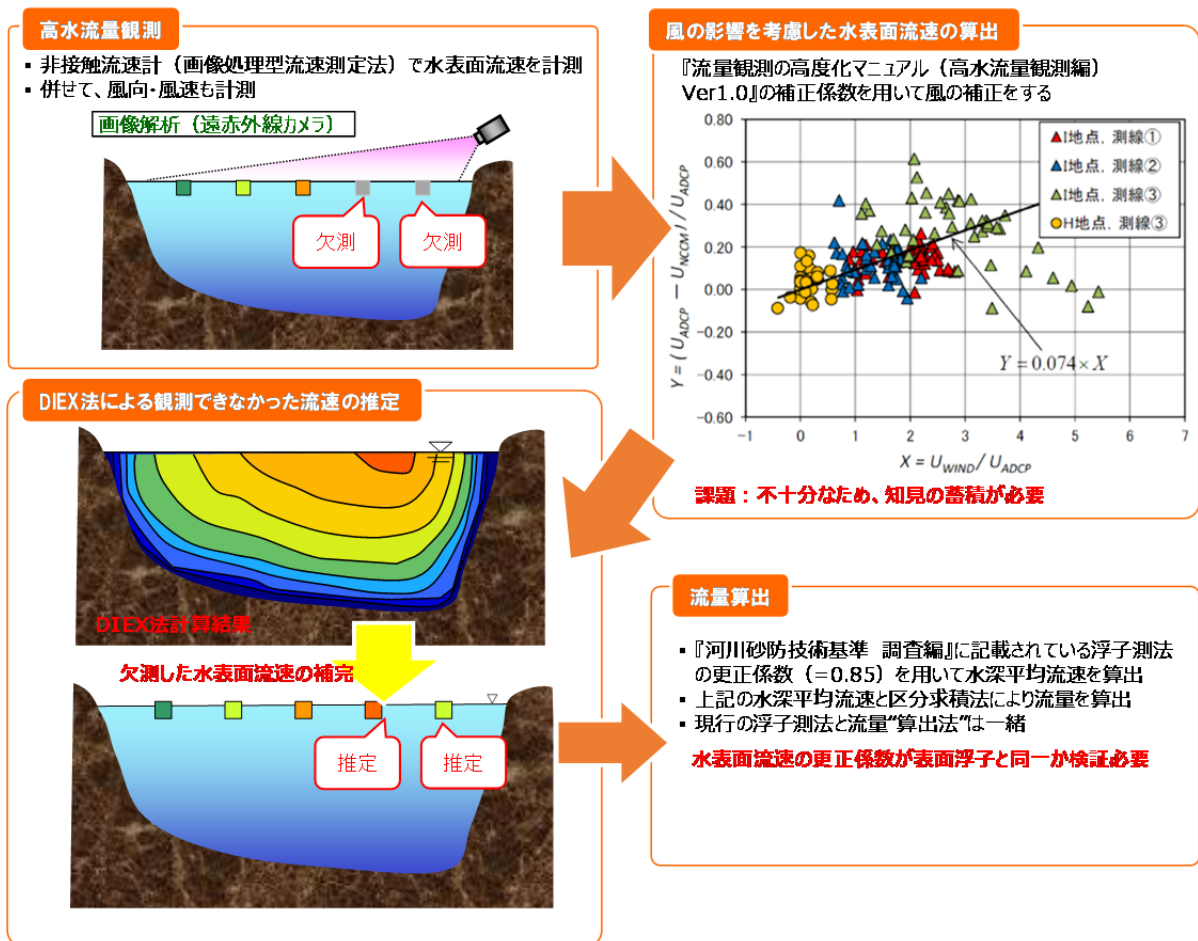


図 26 「DIEX 法により水表面流速を補完し流量を算出する手法」の流量算出イメージ

5.4 DIEX 法による流量算出手法

<考え方>

本手法は、「5.1 流量算出法の概要」における手法 3 に相当する。

DIEX 法（力学的内外挿法、Dynamics Interpolation and Extrapolation method）は、流量観測で得られた流速観測値をデータ同化し観測値を補間・補外操作することで、力学的条件（運動方程式）を満足するような流速横断面分布を算出でき、結果的に高精度な流量を算出することができる手法である。

<解説>

「DIEX 法による流量算出手法」の手順は上記のとおりであり、図 27 にその概念図を示す。

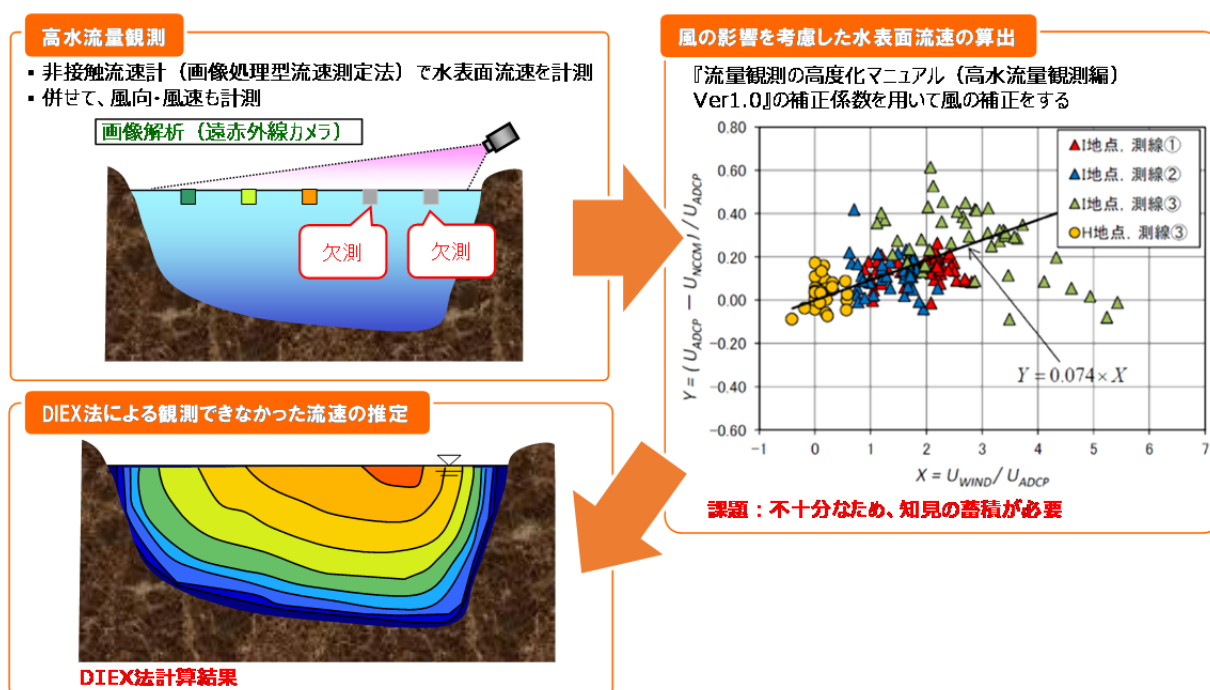


図 27 「DIEX 法による流量算出手法」の流量算出イメージ