

## **Appendix D-Ⅱ CCTV カメラを活用した流量観測（解析編）**

**Appendix D-Ⅱは、九州地方整備局が作成した「CCTV カメラを活用した水文観測ガイドライン（案）解析編」に一部変更を加えたものである**

## CCTV カメラを活用した流量観測(解析編)

### <目次>

1. 適用範囲 .....	D-II_1
2. CCTV カメラを活用した高水流量の解析 .....	D-II_4
3. CCTV カメラ録画像を用いた流速解析 .....	D-II_5
3.1 画像処理型流速測定法の選定 .....	D-II_5
3.2 幾何補正精度 .....	D-II_7
3.3 STIV による流速解析 .....	D-II_13
3.3.1 STIV における検査線の位置、長さ、解析時間 .....	D-II_13
3.3.2 水表面流速計測値の風の影響除去 .....	D-II_20
3.4 Float-PTV による流速解析 .....	D-II_22
4. CCTV カメラ録画像から得られた流速解析値による流量算出法 .....	D-II_23
4.1 STIV の流量算出手順 .....	D-II_23
4.2 Float-PTV の流量算出手順 .....	D-II_24
4.3 画像解析による欠則値の補間 .....	D-II_25

## 1. 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、高水流量観測用に撮影された CCTV カメラの録画像を対象に高水流量算出を対象とする。

- ・ 本ガイドライン（観測編・解析編ともに）では、画像処理型流速測定法として STIV と Float-PTV を対象とする。
- ・ STIV は CCTV カメラで撮影した動画を活用して水表面流速を計測する手法であり、Float-PTV は浮子流下速度を計測する手法である。
- ・ 本ガイドラインの対象者は、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する受注者とする。
- ・ 本ガイドライン（案）（解析編）は、CCTV カメラで撮影された動画（以下、CCTV 画像と呼ぶ）を活用した STIV と Float-PTV の解析に係わる事項を示すものである。

### <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（図 1）。

- 1) 河道横断形状：  
流量を算出する断面の横断形状。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<sup>1)</sup>。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る。本ガイドライン（案）（解析編）では、高水流量観測のうち流速観測に着目し、水表面流速を計測する STIV（Space-Time Image Velocimetry）<sup>1) ~7)</sup>（図 2）、あるいは浮子流下速度を計測する Float-PTV（Particle Tracking Velocimetry）<sup>1)</sup>（図 3）について、それぞれ示すものである。

『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 (LS) PIV が示されている。しかしながら、近年の画像処理型流速計測手法の技術開発により水表面流速を計測する STIV、浮子を活用する Float-PTV が実用化されつつあり、本ガイドラインでは (LS) PIV は除外している。

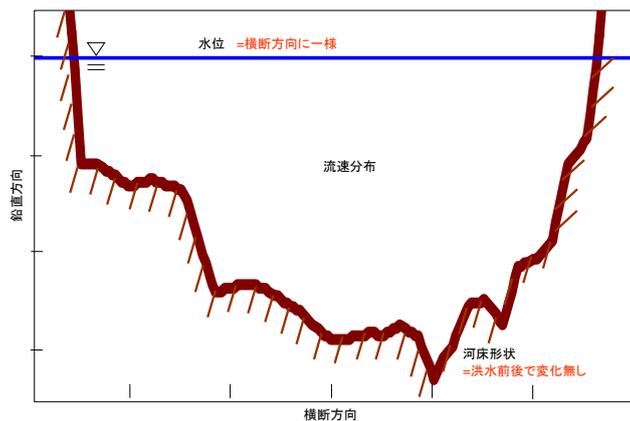


図 1 高水流量観測に必要な計測項目

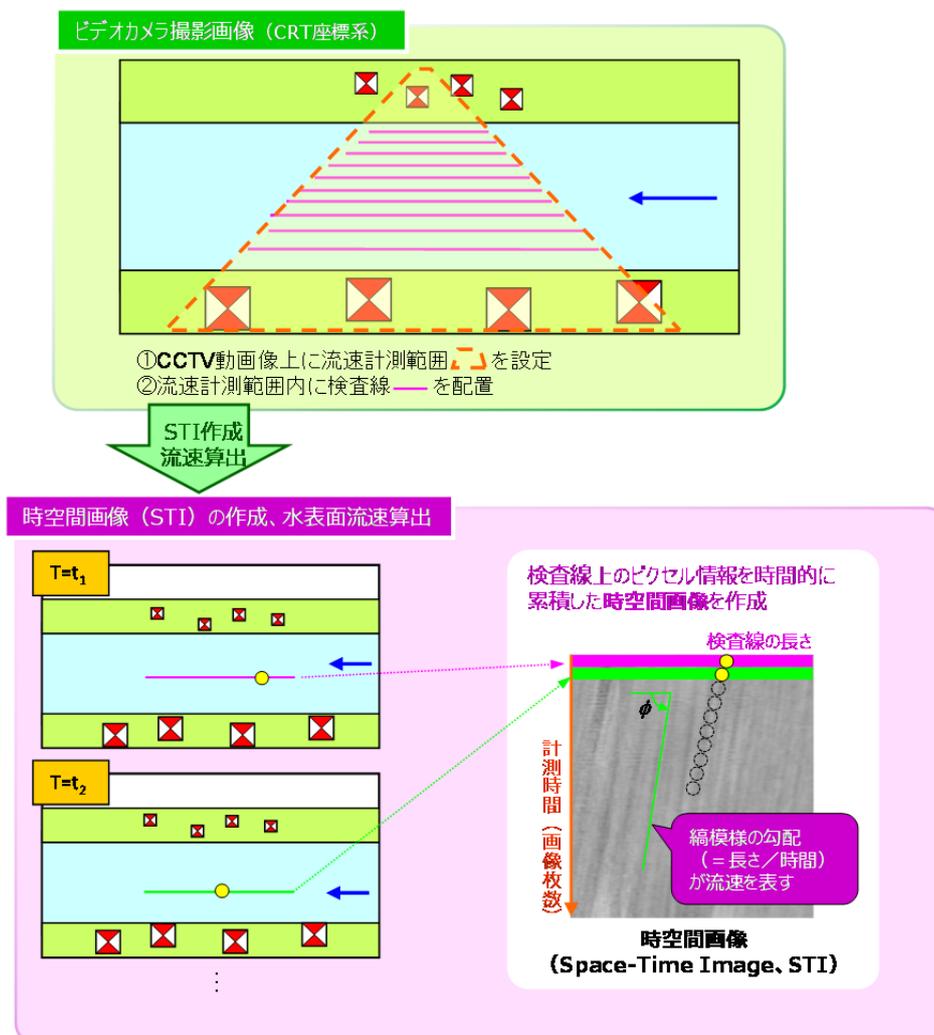


図 2 STIV の概念図

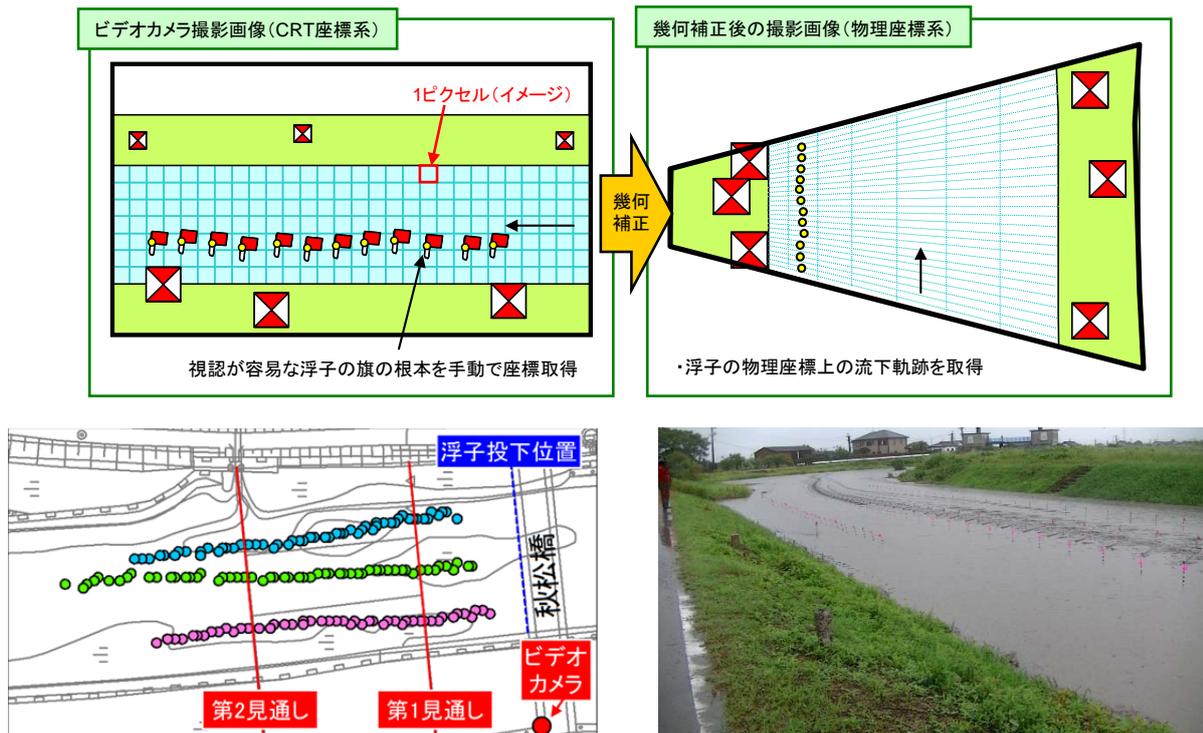


図 3 Float-PTV の概念図

<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-16～第4節-28、平成26年4月。
- 2) 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。
- 3) 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。
- 4) 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。
- 5) 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。
- 6) 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。
- 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・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。
- 9) 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。
- 10) 原田隆史：CCTV 画像を活用した PIV 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。

## 2. CCTV カメラを活用した高水流量の解析

CCTV カメラを活用した高水流量算出は、大きく分けて幾何補正、流速算出、流量算出に分けられる。それぞれの時期に実施すべき事項は図 4 の実施フローのとおりである。

高水解析の実施フローに示される STIV と Float-PTV のそれぞれの解析は、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 27 年 2 月時点のものを示す。

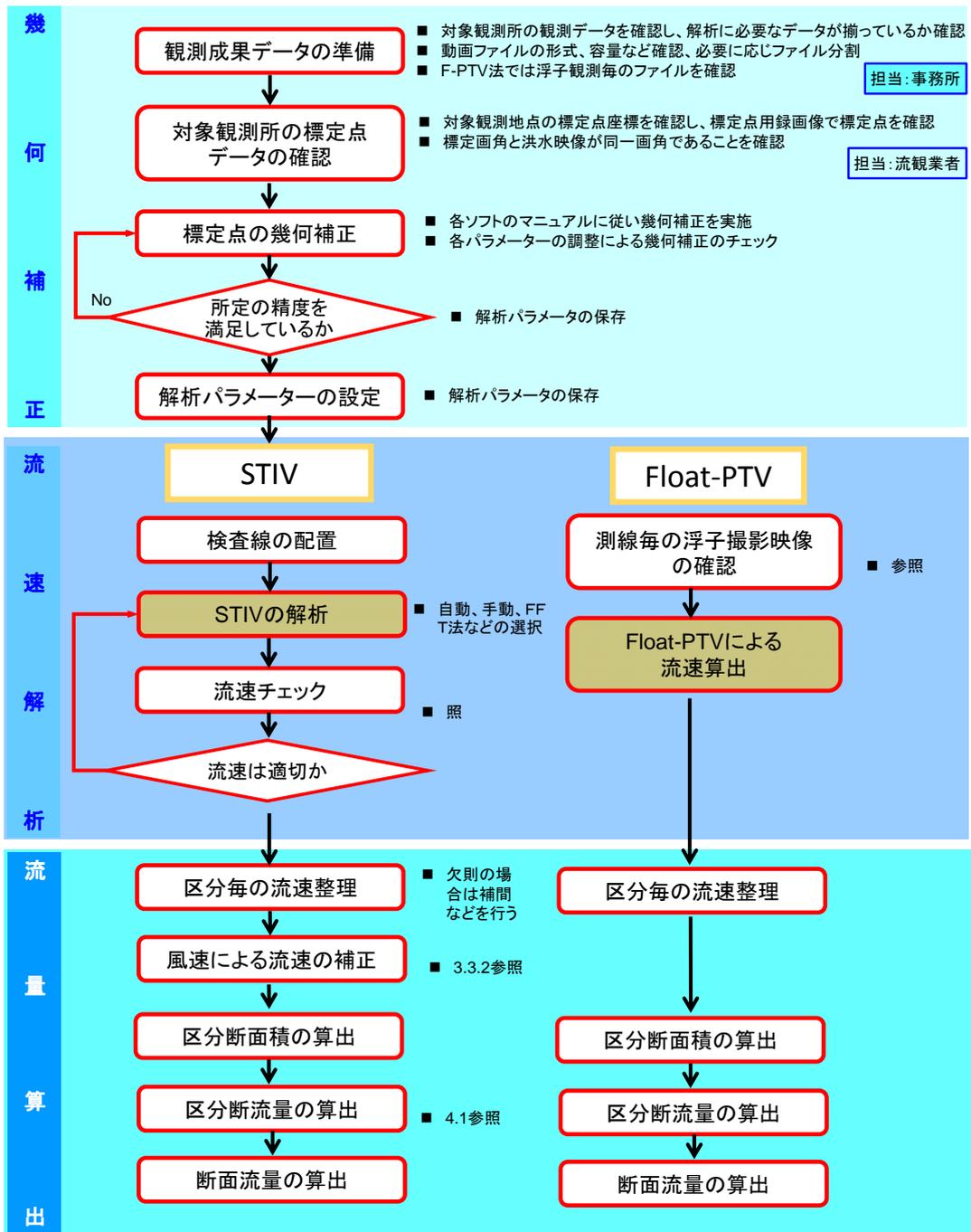


図 4 「CCTV カメラを活用した高水流量の解析」の実施フロー

### 3. CCTV カメラ録画像を用いた流速解析

#### 3.1 画像処理型流速測定法の選定

##### <考え方>

画像処理型流速測定法として、LSPIV、STIV、Float-PTV の 3 つの手法がある。近年の画像処理型流速計測手法の技術開発により STIV、PTV として浮子を活用する Float-PTV が実用化されつつあり、本ガイドラインでは LSPIV は除外している。

画像処理型流速測定法の STIV および Float-PTV は、以下の着眼点で選定する。

##### STIV :

- ・ 計画規模の洪水や超過洪水発生時などにおいて、浮子測法による高水流量観測が不可能な場合におけるフェールソフトの 1 手法
- ・ 浮子測法による観測の補填

##### Float-PTV :

- ・ 浮子測法による観測精度の向上

##### <解説>

画像処理型流速計測法として、当初 PIV が開発され、河川砂防技術基準（調査編）においても画像処理型として PIV が示されている。しかし、近年の画像処理型流速計測手法の技術開発により時空間画像を用いる STIV、PTV として浮子を活用する Float-PTV が実用化されつつある。

PIV は表 1 に示すように俯角が少ない CCTV 映像による録画像では十分な精度を担保できないと判断されるため、本ガイドラインでは LSPIV は除外している<sup>7) ~10)</sup>。

表 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ビデオ画像を幾何補正して無歪み画像を作成し、その画像に 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ビデオ画像を幾何補正して無歪み画像を作成し、その画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、トレーサーとして浮子を対象とするものが Float-PTV	ビデオ画像から得られた連続した画像を用いて、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	連続撮影された複数枚の画像	連続撮影された複数枚の画像	連続撮影された複数枚の画像
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>トレーサー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。</li> <li>ビデオ画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。</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>波紋の移動速度から流速を算出するため、トレーサー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。</li> <li>撮影点からの距離による幾何補正の精度低下の影響、撮影画像のノイズや遮蔽物による影響が小さい。</li> <li>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。</li> </ul>
課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>撮影点から遠ざかるにつれ、幾何補正後の画像の歪みが大きくなり横断方向成分の精度が低下</li> <li>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</li> <li>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。</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>トレーサが流下する必要がある。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> </ul>		

### 3.2 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）。

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。

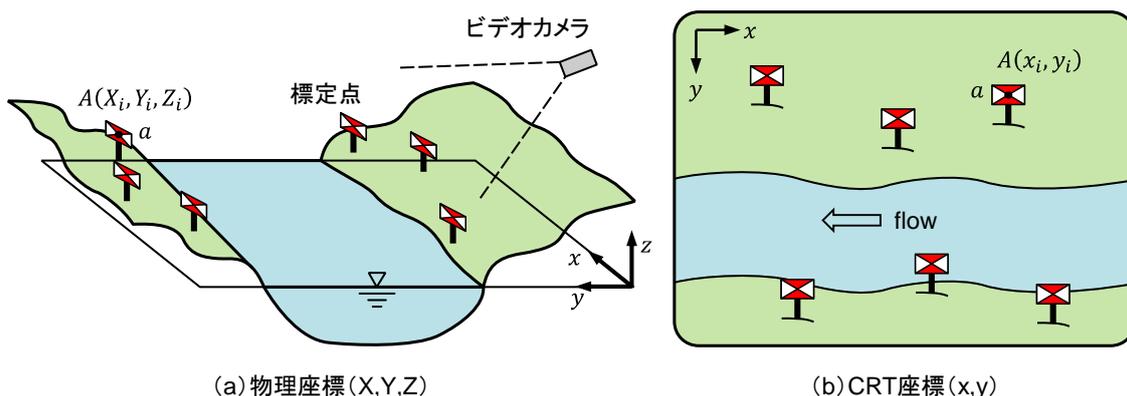


図 5 標定点の物理座標と CRT 座標

平成 25 年度に実施した流量観測業者への画像処理型流速測定法に対するヒアリングでは、画像処理型流速測定法の課題として、事務所が幾何補正の標準パラメータを用意することが望ましいとの意見が多かった。

< 解 説 >

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。

これら3つの誤差指標の事例を表2（幾何補正精度が高精度な場合）と表3（幾何補正精度が低精度な場合）にそれぞれ示す。

幾何補正精度が高精度な場合は CCTV カメラ画像の画角が堤防法線方向に（表2）、幾何補正精度が低精度な場合は CCTV カメラ画像の画角が流下方向を向いている場合に（表3）、それぞれ多い。

表 2 幾何補正誤差の算出結果（高精度な幾何補正精度の場合）

水系名	肝属川	河川名	肝属川	カメラ名	王子橋
<p>平面図</p>					
幾何補正で使用した標定点	2、3、4、5、7、8、 9、10、11、12、13	流下方向の誤差で使用する標定点	7、11		
横断方向の誤差で使用する標定点	2、12	多角形閉合面積で使用する標定点	2、3、4、11、12、 13		
項目				物理座標	CRT 座標
流下方向距離 (m)				10.38	10.61
横断方向距離 (m)				33.58	34.22
多角形閉合面積 (m <sup>2</sup> )				190.28	197.50
幾何補正誤差 (%)					
流下方向距離	2.19	横断方向距離	1.87	多角形閉合面積	3.65

表 3 幾何補正誤差の算出結果（低精度な幾何補正精度の場合）（1/3）

水系名	筑後川	河川名	巨瀬川	カメラ名	中央橋
平面図					
<p> <span style="color: pink;">●</span> : 標定点(物理座標)(実際の測量結果)  <span style="color: green;">●</span> : 標定点(CRT座標)(幾何補正後の標定点位置)  <span style="color: red;">★</span> : CCTVカメラ位置                      1~11 : 標定点番号                 </p>					
幾何補正で使用した標定点	4、5、6、8、9、10、11	流下方向の誤差で使用する標定点	8、11		
横断方向の誤差で使用する標定点	6、11	多角形閉合面積で使用する標定点	4、5、6、8、9、10、11		
項目			物理座標	CRT座標	
流下方向距離 (m)			60.02	69.92	
横断方向距離 (m)			38.03	47.38	
多角形閉合面積 (m <sup>2</sup> )			1909.89	2615.61	
幾何補正誤差 (%)					
流下方向距離	14.15	横断方向距離	19.73	多角形閉合面積	26.98

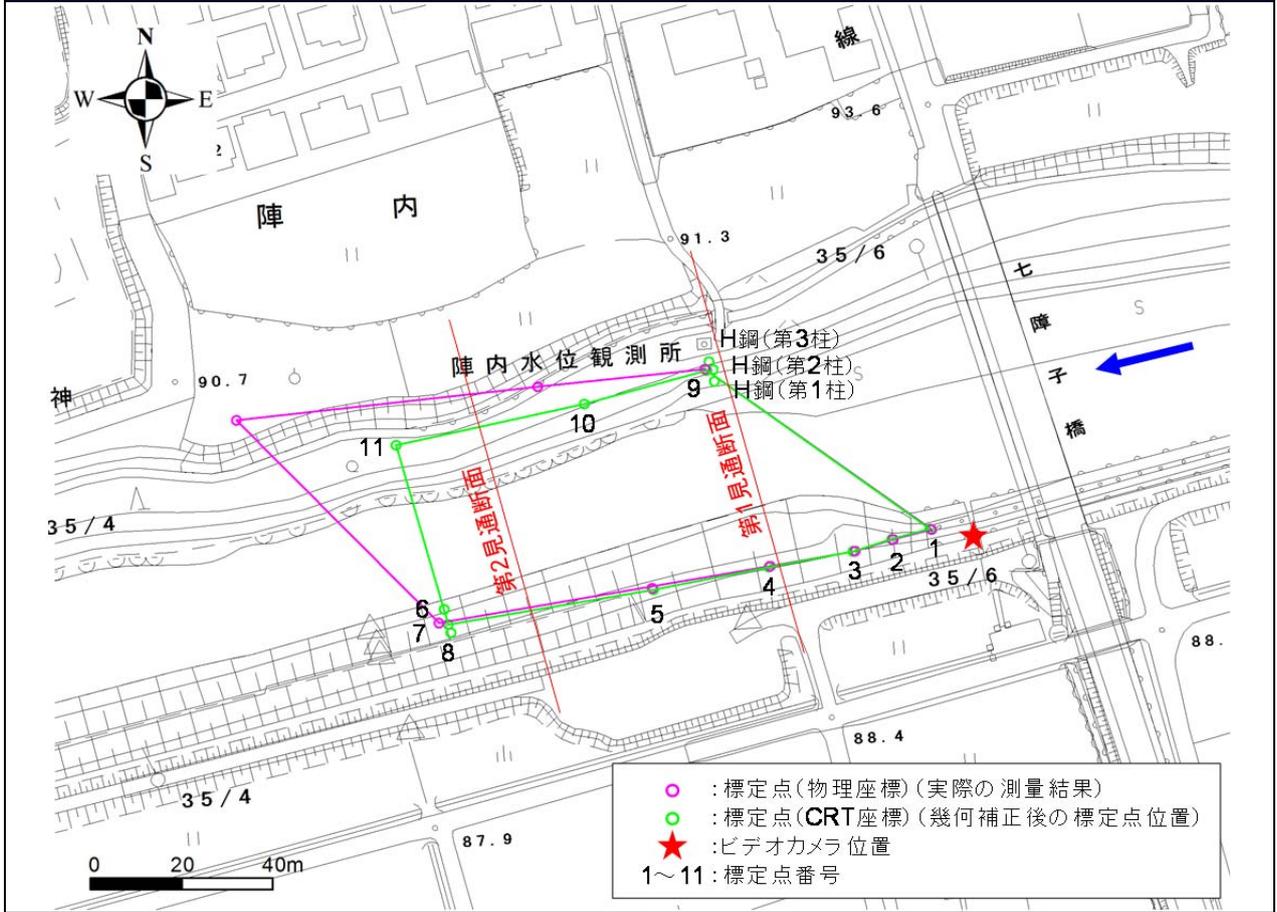
表 3 幾何補正誤差の算出結果（低精度な幾何補正精度の場合）（2/3）

水系名	肝属川	河川名	肝属川	カメラ名	俣瀬
平面図					
幾何補正で使用した標定点	1、2、3、4、5、6、 7、8、9、10	流下方向の誤差で使用する標定点	6、10		
横断方向の誤差で使用する標定点	6、8	多角形閉合面積で使用する標定点	5、6、7、8、9、10		
項目			物理座標	CRT 座標	
流下方向距離 (m)			125.55	126.75	
横断方向距離 (m)			178.33	240.56	
多角形閉合面積 (m <sup>2</sup> )			12997.88	16408.97	
幾何補正誤差 (%)					
流下方向距離	0.95	横断方向距離	25.87	多角形閉合面積	20.79

表 3 幾何補正誤差の算出結果（低精度な幾何補正精度の場合）（3/3）

水系名	白川	河川名	白川	カメラ名	陣内
-----	----	-----	----	------	----

平面図



○ : 標定点(物理座標)(実際の測量結果)  
 ● : 標定点(CRT座標)(幾何補正後の標定点位置)  
 ★ : ビデオカメラ位置  
 1~11 : 標定点番号

幾何補正で使用した標定点	1、2、3、4、7、9、 10、11	流下方向の誤差で使用する標定点	1、7
横断方向の誤差で使用する標定点	4、9	多角形閉合面積で使用する標定点	1、2、3、4、7、9、 10、11
<b>項目</b>	<b>物理座標</b>		<b>CRT座標</b>
流下方向距離 (m)	107.77		110.07
横断方向距離 (m)	45.53		45.78
多角形閉合面積 (m <sup>2</sup> )	3884.70		5075.62
<b>幾何補正誤差 (%)</b>			
<b>流下方向距離</b>	2.09	<b>横断方向距離</b>	0.55
		<b>多角形閉合面積</b>	23.46

※CCTV カメラではなく、ビデオカメラを用いた場合

### 3.3 STIVによる流速解析

#### 3.3.1 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。

- 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 4）以上とすることが望ましい。

表 4 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や流速に依存する。可能な限り、検査線の長さや検査時間は 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や流速に依存する。可能な限り、検査線の長さや検査時間は 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 4）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。

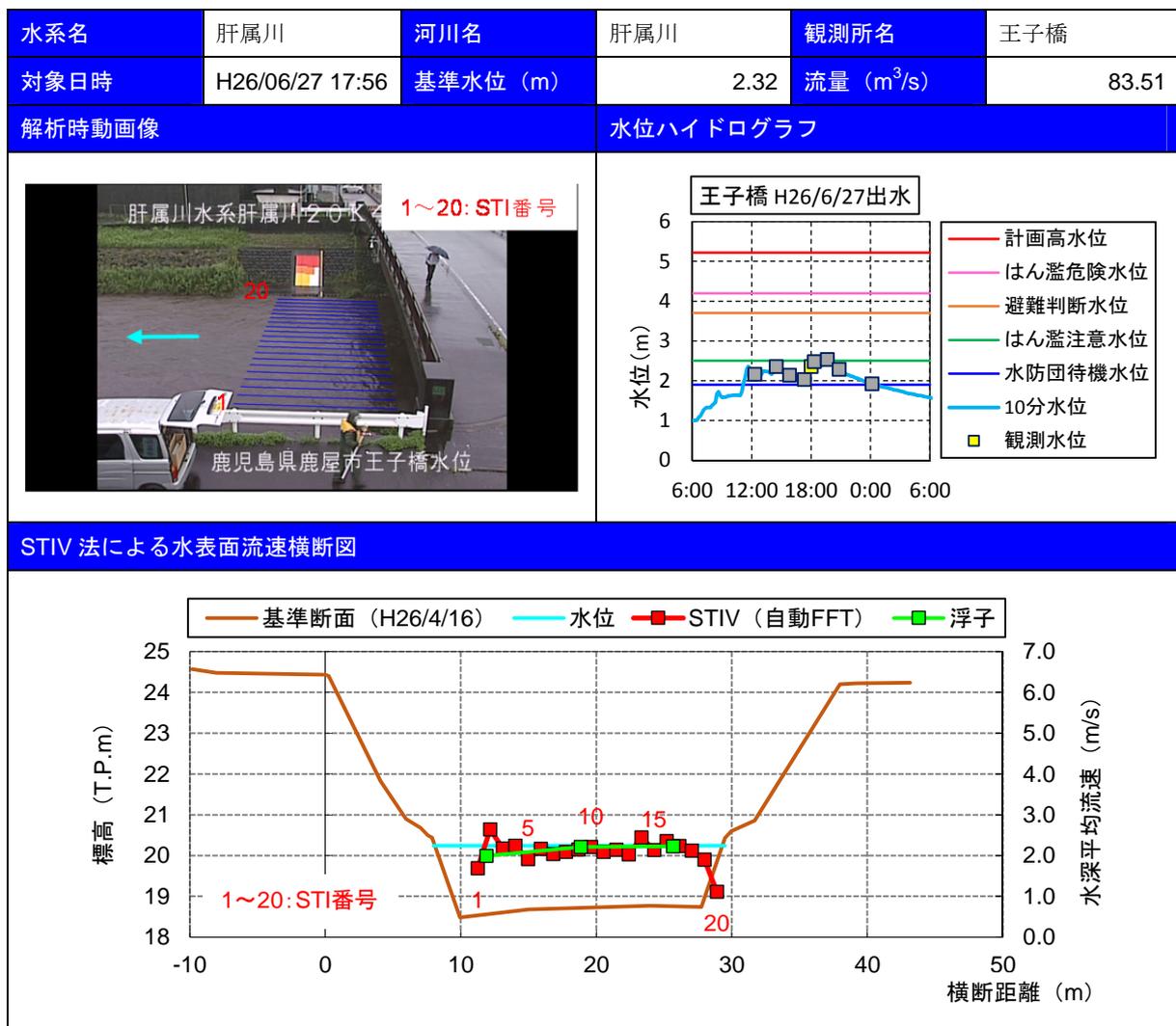
検査線の本数が増加することで、詳細な水表面流速の横断分布が把握可能となり、流量算出精度の向上が期待できる（表 5）。

表 4 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 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 :

図 2 に示したように、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 6)。このため、検査線の長さや検査線の時間 (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。

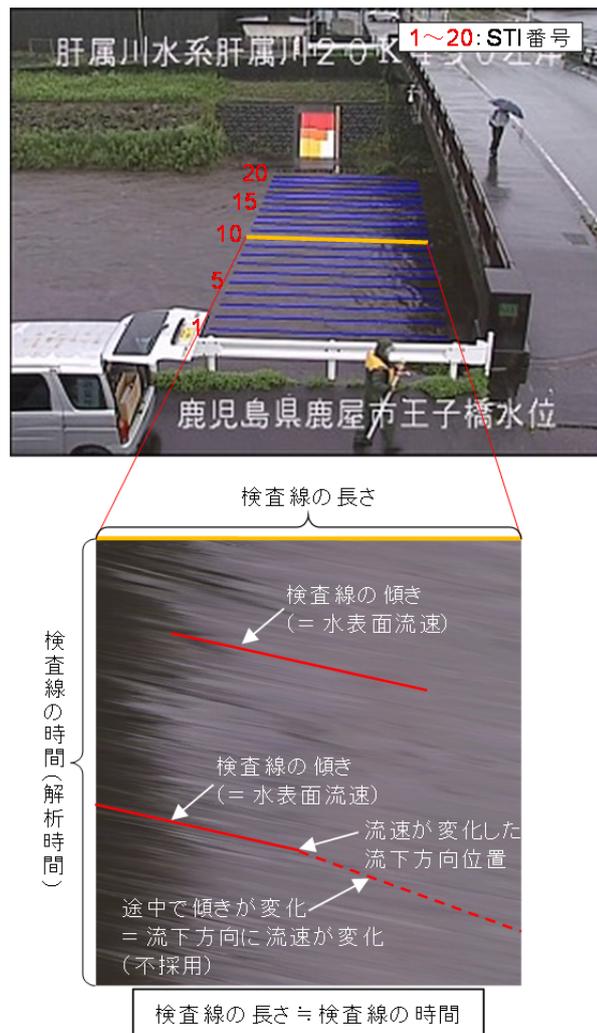


図 6 STI の概念図

#### (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（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。

**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

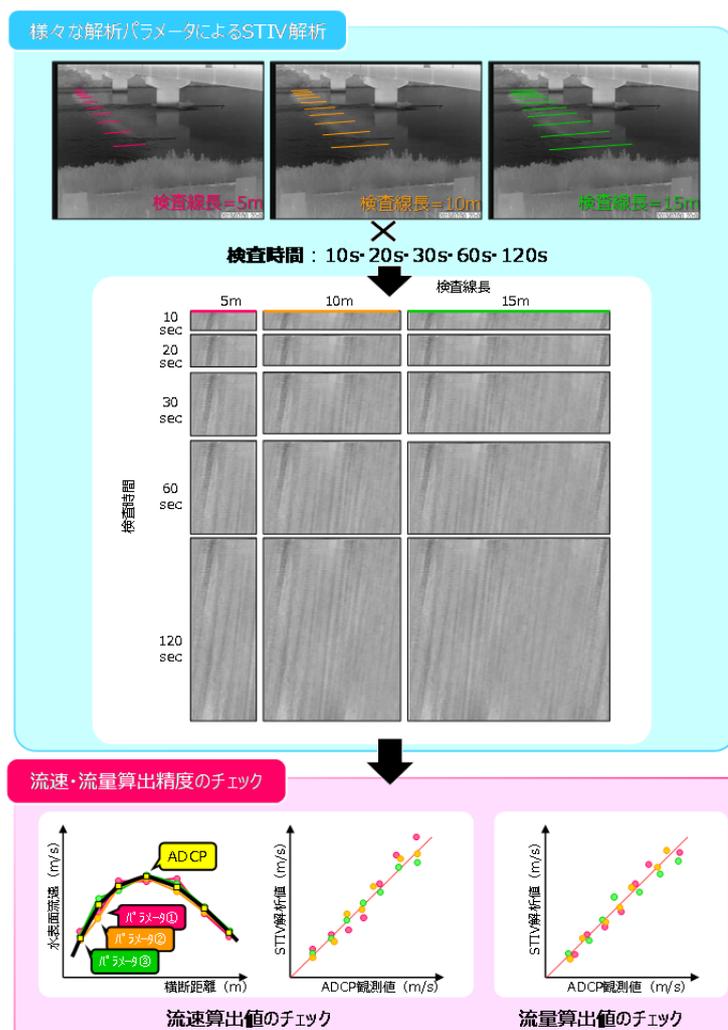
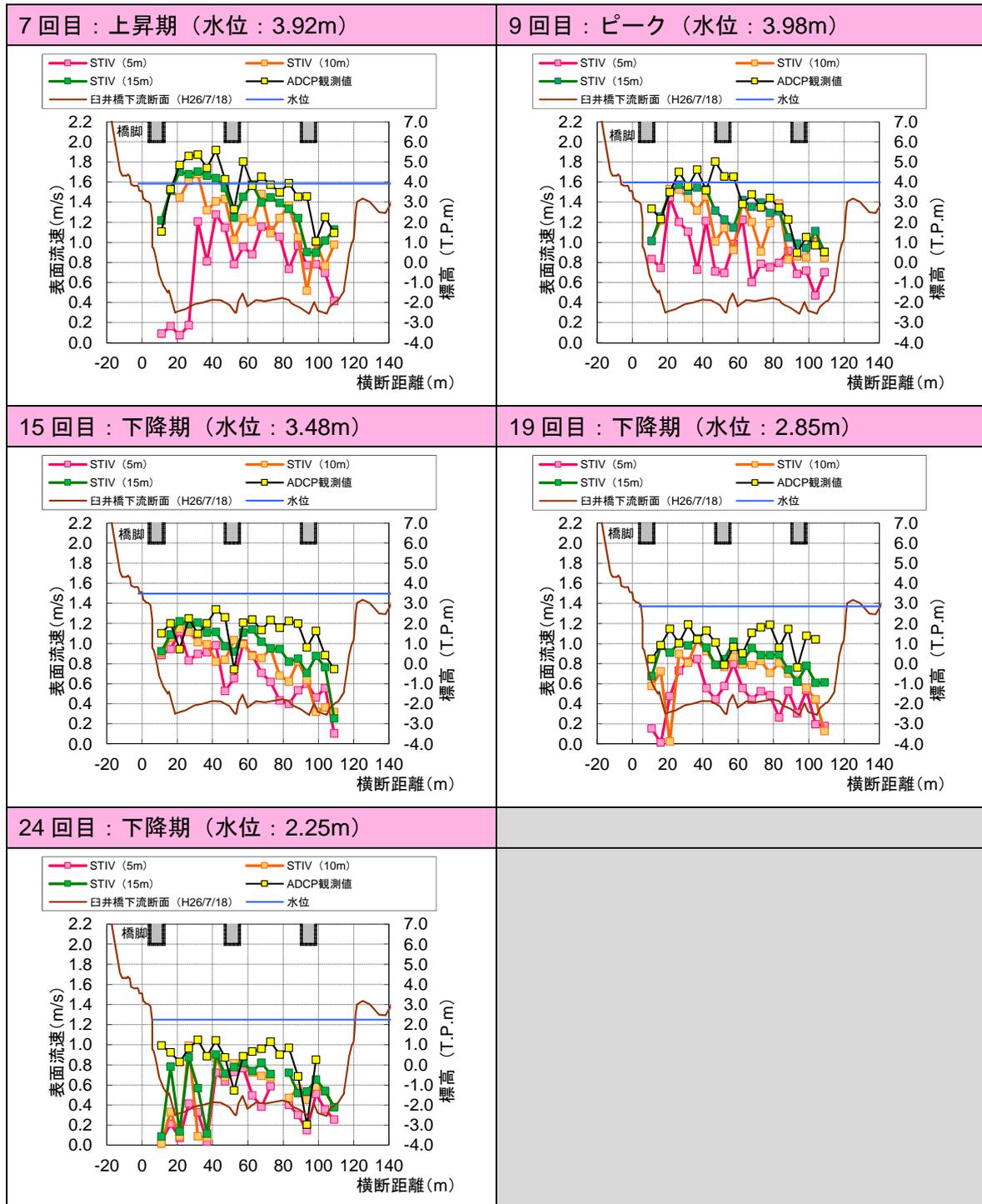


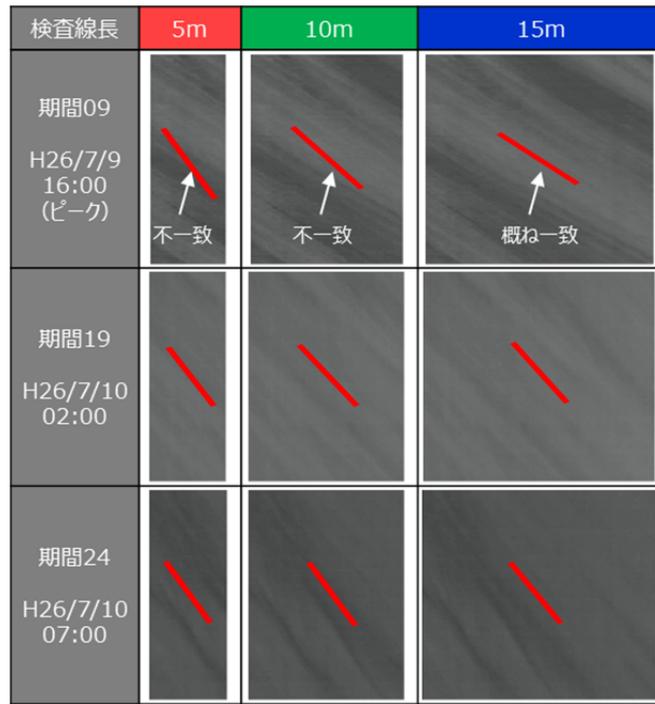
図 7 検査線の長さや時間の検証方法概念図

【検証結果】

- ・ 表 6 と図 8 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 9 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 6 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 8 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

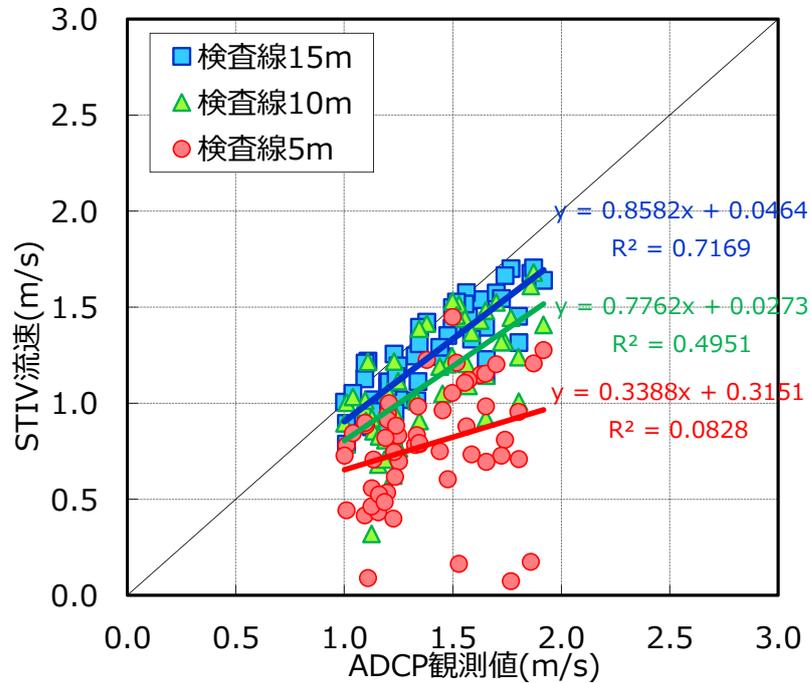


図 9 各検査線長における STIV 流速と ADCP 流速の相関

### 3.3.2 水表面流速計測値の風の影響除去

#### <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）】<sup>1)</sup>

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 10）。

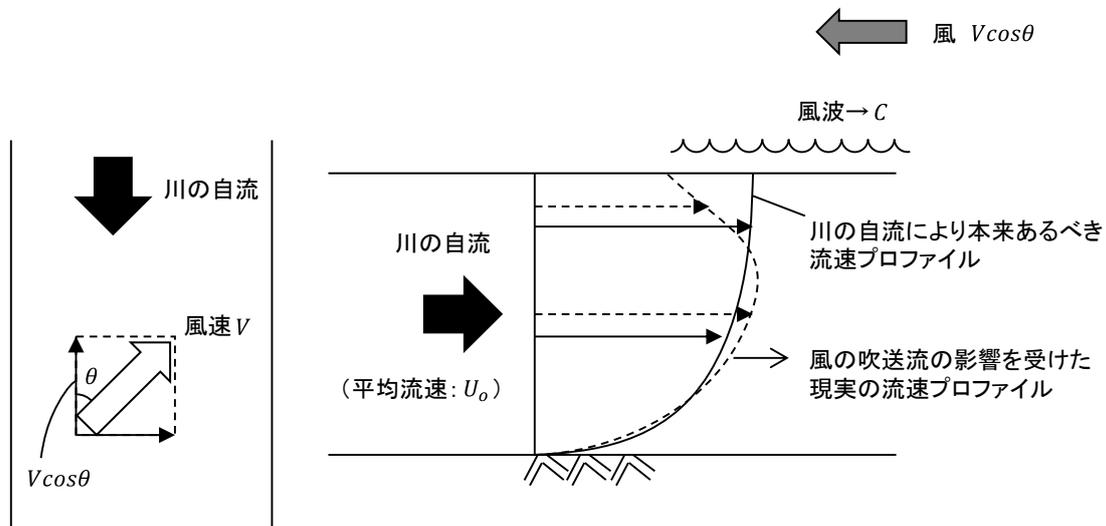


図 10 風による流れへの影響イメージ（逆風の場合）

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 11 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。

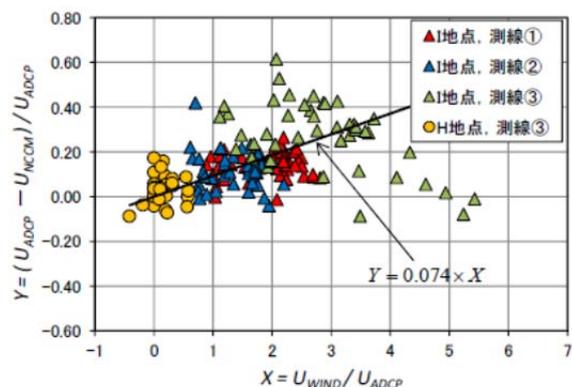


図 11 流速差と風速の相関図（土木研究所の観測結果）

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.

### 3.4 Float-PTV による流速解析

#### <考え方>

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、CCTV 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。

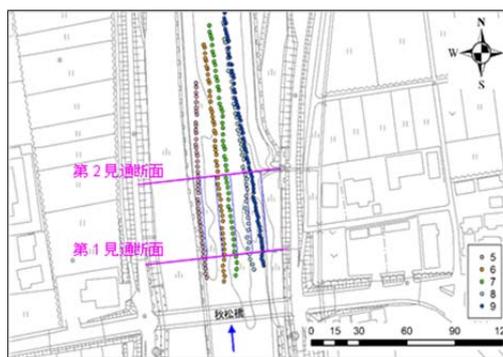
Float-PTV での流速解析では、幾何補正後に撮影された画像上で浮子と水面の境界を一定時間間隔の画像に対しプロット（画面上でクリック）することで浮子の軌跡を算出し、流下速度を計測する。浮子をプロットする時間間隔は1秒を標準とする。

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 12 Float-PTV の解析例

## 4. CCTV カメラ録画像から得られた流速解析値による流量算出法

### 4.1 STIV の流量算出手順

#### <考え方>

STIV による流量算出法は以下の手順に従って流量を算出する。

- 1) STIV により計測した水表面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。
- 2) STIV により計測した水表面流速に対し、風の影響を除去した水表面流速を算出する。風の影響の除去方法は<参考となる資料>の 2) 及び 3) を参照する。
- 3) 風の影響を除去した水表面流速に一律 0.85 を乗じることで横断区分ごとの水深平均流速を算出する (<参考となる資料>の 4) を参照)。
- 4) 流量算出に用いる横断面は、出水前後の横断測量の結果から求められる出水前及び出水後の全断面積 (出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。
- 5) 流量算出に用いる横断面に対し、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る。
- 6) 流量は、測線ごとの水深平均流速とその水深平均流速が受け持つ区分断面積との積を全測線について合計して算出する。

#### <解説>

STIV は浮子測法や Float-PTV とは以下の 3 つの点で異なる。

- ・ STIV は水表面流速を計測するため、水深平均流速を算出する際に、浮子測法の更正係数を一律 0.85 とする (表面浮子に準拠、表 7)<sup>4)</sup>。ただし、更正係数を一律 0.85 とすること自体が課題であり研究中のテーマでもあり、今後、再検討が必要である。
- ・ 浮子測法や Float-PTV は浮子の流下時間と距離から流速を計測するのに対し (ラグランジュ的方法)、STIV は流量算出する横断面上の流速を求めるため (オイラー的方法)、流量を算出する横断面は 1 断面のみで考える。
- ・ STIV は、浮子測法や Float-PTV と異なり水表面流速を計測するため、STIV で計測した水表面流速に対し風の影響を除去する必要がある。

表 7 浮子番号と吃水の適用範囲、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
吃水 (m)	表面浮子	0.5	1.0	2.0	4.0
更正係数	0.85	0.88	0.91	0.94	0.96

## 4.2 Float-PTV の流量算出手順

### <考え方>

Float-PTV による流量算出法は浮子測法と同様とする<sup>1)</sup>。

### <解説>

画像処理型流速測定法のうち Float-PTV は、浮子流下速度を観測員が現場で計測するか画像解析で計測するかの違いのみであるため、浮子流下速度から流量の算出方法まで「河川砂防技術基準 調査編」の浮子測法と同様である（図 13）<sup>1)</sup>。

Float-PTV では、浮子の流下軌跡から区分断面の流下速度を算出する。浮子の軌跡から区分断面を流下している場合はよいが、対象の区分断面以外を流下している場合は、区分断面の流速算出時には適宜補正を行うものとする。

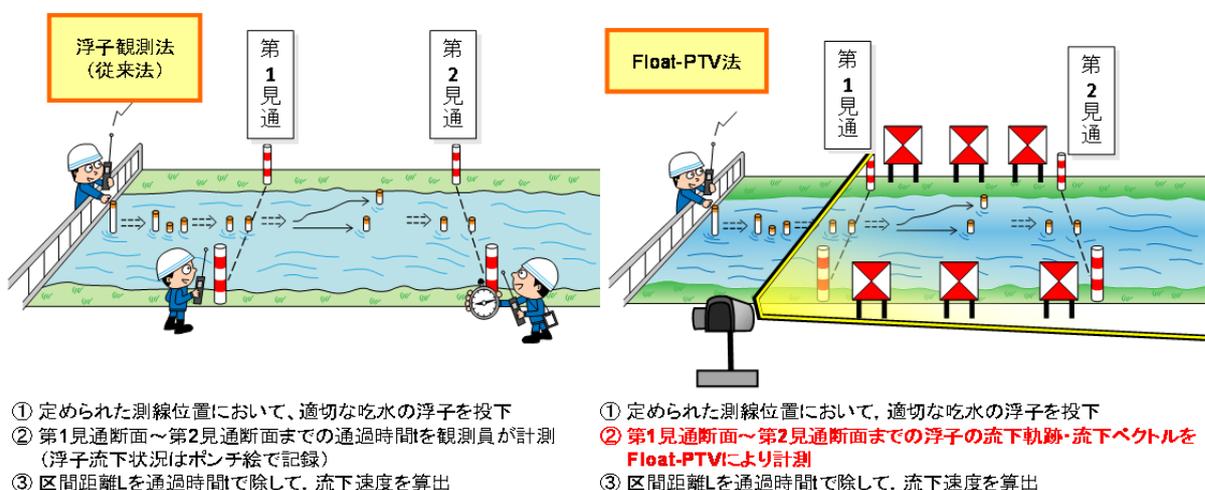


図 13 浮子測法と Float-PTV による浮子流下速度の計測法の違い

### 4.3 画像解析による欠測値の補間

#### <考え方>

画像解析による流速測定において、CCTV 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ります。

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ります。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ります。

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）<sup>5)</sup> 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。

#### <参考となる資料>

- 1) 河川砂防技術基準 調査編、pp.第 2 章 第 4 節-18～第 4 節-20、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) 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) 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
- 5) 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。