

平成25年台風18号を踏まえた防災対策の高度化

寺内 夕希¹・木瀬 龍也²

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 西大阪維持出張所（〒551-0002大阪府大阪市大正区三軒家東5-6-4）

²近畿地方整備局 淀川河川事務所（〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10）

淀川河川事務所では、「水防災意識社会 再構築ビジョン」に基づき、被害最小化を目指した取り組みを行っている。本報告では、SNSやタイムラプスカメラを活用した「住民目線のソフト対策」の取り組み状況を報告する。また、洪水時の観測員の安全確保や省力化を目的とした、高度流量観測の実用化に向けた観測環境の整備状況を示す。このような従来手法に捉われない新たな手法、取り組みを今回「防災対策の高度化」と称し、報告を行うものである。

キーワード 防災、高度化、住民目線のソフト対策、SNS、高度流量観測

1. はじめに

淀川河川事務所（以下、「事務所」）は、宇治川、木津川、桂川とこれら三川が合流した淀川（本川）の維持管理を行っている。事務所の防災対策は、ハード対策として、堤防決壊による被害の回避・軽減を目指した堤防強化、桂川の治水安全度向上に向けた緊急的な河道掘削や井堰撤去工事などを実施している。また、いかなる洪水に対しても氾濫等による被害の最小化を目指すべく、河川管理者・自治体等で構成した「水害に強い地域づくり協議会」において、マイ防災マップ作成、まるごとまちごとハザードマップ、他機関連携型タイムラインなど、ソフト対策を推進している。

ソフト対策は関東・東北豪雨を踏まえ2015年12月に策定された「水防災意識社会 再構築ビジョン」に基づき、「住民目線」のわかりやすいものへと転換している。

具体的には、住民等の行動につながるリスク情報の周知として、立ち退き避難が必要な家屋倒壊区域等の公表や、避難行動のきっかけとなる情報のリアルタイム提供として、水位計・ライブカメラの設置やスマートフォン等によるプッシュ型洪水予報等の提供などで、水害リスクの高い地域を中心に、住民が自らリスクを察知し自主的に避難できるよう、重点的に取り組んでいる。

この背景として、近年豪雨や大規模台風による災害が頻発している一方で、河川改修を進めてきた結果、堤防が高くなり安全神話ができ、川の様子を見に行ったり、避難情報が出されても逃げないといった正常性バイアスが働いていることが考えられる。

2013（平成25）年台風18号洪水時には、桂川・嵐山地

区で激流の間近で撮影する一般人と思われる方が確認されている。また、HWLを超える水位となった宇治川沿川においても、久御山町で町内全域に避難勧告が出されたにも拘らず、避難者は15世帯42名と少数であった。

さらにこのような水害経験もすぐに風化してしまうことが危惧され、社会全体での水防災意識の高揚が喫緊の課題であると言える。



写真-1 桂川・嵐山地区

2. 情報提供手法の多様化 ～「住民目線のソフト対策」～

事務所では、2013（平成25）年台風18号での課題を踏まえ、既設CCTVカメラや新たに設置したタイムラプスカメラを活用した洪水時の状況把握を行っており、それらの情報をSNS（Facebook等）を用いて即時的に住民へ発信している。

(1) SNS（Facebook）と連携したCCTVカメラの活用

「住民目線のソフト対策」を推進するにあたり、避難行動のきっかけとなる情報をリアルタイムで提供するこ

とが非常に重要となる。事務所では、これまでもホームページで水位情報を提供している他、「淀川ライブカメラ」として桂川18.2k地点（嵐山渡月橋）の他、静止画も含め合計7地点に設置されたCCTVカメラ画像の提供を行ってきた。2018年3月には、宇治川・木津川・桂川が合流する三川合流域「さくらであい館」にもCCTVカメラを設置、宇治川37.3k地点が新たに加わり、同画像はさくらであい館ホームページでも閲覧が可能である。

「避難行動のきっかけとなる情報」という観点から水位情報とライブカメラ画像を比較した場合、水位情報は平常時の水位を把握していなければ、洪水時に今どのくらい水位が上昇し危険な状況であるか把握しがたいのに対し、ライブカメラ画像は視覚的に堤防に対する水面高を把握できるため、より住民が自らリスクを察知し、主体的に避難するきっかけになるものと考えられる。

2017年10月の台風21号に伴う洪水時には、近畿地方整備局及び各事務所ホームページへのアクセスが急増し、繋がりにくくなる事象が発生した。このことから、近年インターネットによる情報収集が主流となっていることが改めて見て取れる。

事務所では、2017年5月22日よりFacebookを活用した情報発信を始めており、2017年10月の台風21号接近時には、「台風21号の接近に伴う水位上昇について」と題し、10月22日18時18分に災害対策状況や今後の見込み等の情報を、また「台風21号の接近に伴う水位状況」と題し、10月23日2時24分に同日1時現在の水位状況を投稿している。その中で、図-1のようにこれまでのホームページでは即時に対応しがたい、洪水時の状況を平常時のCCTVカメラ画像と対比する情報提供を行った。前述のように、ホームページが一時的なアクセスの集中により閲覧しがたい場合にも、このように異なるツールを用いた情報発信を試みているところである。



図-1 投稿記事 (10月22日)

今後もこのような社会的に関心の高いSNS (Facebook等) と既設CCTVカメラ画像を連携させた即時的な情報提供を行うことにより、幅広い方々に対し「避難行動のきっかけとなる情報」の伝達ができるものと思われ、水防災意識の高揚が期待できるものと考えている。

(2) タイムラプスカメラの活用

前述(1)のCCTVカメラとは異なり、リアルタイムでの提供には現状は適さないものの、事務所管内では2017年より、タイムラプス動画（静止画をつなぎ合わせて作成したコマ送り動画）の撮影を実施している。工事の進捗状況の他、宇治川の「三川合流部」、木津川の「流れ橋」、桂川の「渡月橋」などにおいて洪水時の状況撮影を行い、通常CCTVカメラだけでは把握しがたい長時間にわたる動画記録の保存を図った。このようなタイムラプス動画を用いた不可視情報を、YouTubeに投稿し広く情報発信を行う他、事業説明等の機会に関係住民の方々へ提供することにより、治水事業の必要性について理解が促進するものと期待できる。



図-2 YouTube 投稿画像 (淀川レポート)

また、前述(1)のFacebookでは、毎年7月第1日曜日に実施される洪水・高潮に備えた防潮鉄扉操作訓練で、全国で唯一の回転式陸閘が閉鎖する状況のタイムラプス動画も投稿しており、再生回数が2,755回と多くの方に興味を持っていただけたことが分かる。このことから、今後はより住民の興味と理解を得られやすく、なおかつデータ容量及び再生時間がコンパクトでありながら、長時間にわたる実際の動画を用いることが可能である、タイムラプスカメラを活用した情報提供を更に積極的に行っていくべきと考える。

3. 水文観測技術の高度化

桂川・天竜寺観測所では、2013（平成25）年台風18号洪水において、浮子投下地点である渡月橋の桁上まで洪水流が迫り観測員の退避を余儀なくされ、桂川の戦後最大洪水のピーク流量を観測できない事案が発生した。

淀川・枚方観測所では、同洪水において、ゴルフ場のネットに浮子が引っ掛かり、戦後最大流量が正常に観測

できない事象が発生した。

このような課題に対し、洪水時に観測員の安全を確保すると同時に、重要な流量データを逃さず取得し、いつ生じてもおかしくない大規模洪水に備える必要がある。

(1) 事務所管内の流量観測

流量観測は、計測流速と区分断面積を基に流量を算出し、観測時水位と算出流量との間の一意の関係から作成する水位流量曲線式(H-Q式)により、各地点の流量把握を行っている。しかしながら、従来手法では正確な流量把握が困難である4地点(淀川・枚方地点、桂川・天竜寺及び請田地点、木津川・八幡地点)において、2014年より近畿地方整備局のモデル河川として、新しい流量観測手法(以下、「高度流量観測」)を用いた観測を実施、適用性を検証してきた。

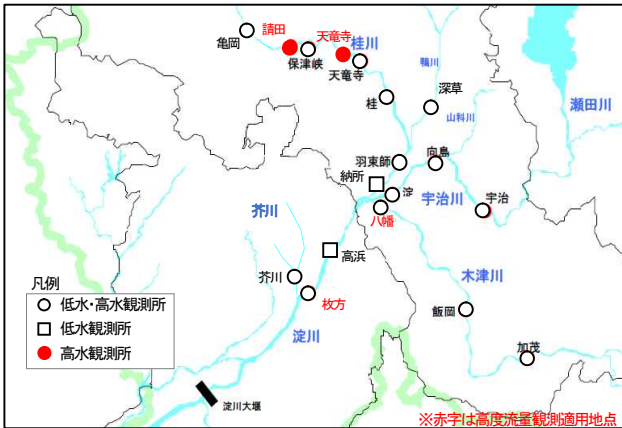


図-3 観測所位置図

(2) 高度流量観測手法の概要

高度流量観測手法として、橋梁係留船等に搭載し移動しながら、超音波のドップラー効果を応用し断面内の三次元流向・流速分布を測定するADCPや、橋梁上から電波を発射し、その反射波の周波数変化から表面流速を測定する電波流速計がある。これらは固定式でないため、

多地点で兼用することが可能であるものの、観測員が現地に行く必要がある点で安全性や省力化に劣る。

これに対し、観測員の安全確保や省力化を実現する、流量観測の自動連続化が可能な高度流量観測手法の内、主なものとして、電波流速計(固定式)、画像解析(STIV)、H-ADCPがある。各手法の詳細は表-1に示すとおりであり、それぞれに得られるデータ、利点、欠点、機器コストなどが異なるため、地点毎に適切な観測手法を選定した。

(3) 高水流量観測の高度化

a) 高度流量観測手法の選定(桂川・天竜寺観測所)

天竜寺観測所は、風致地区に位置し、また保津峡の出口にあたり保津川下り等観光船の航行があることから、景観上の配慮が必要となる。



写真-2 桂川・天竜寺観測所付近

前述(2)の高度流量観測手法の内、電波流速計(固定式)は、橋梁等横断的に複数台の機器を設置する必要があるため景観面に劣る。次に、画像解析(STIV)は、河道全幅を捉えられ、洪水時にカメラ等機器が水没しない設置位置の確保や、商用電源の確保が必要であり採用に至らなかった。これに対し、H-ADCPは、バッテリー稼働のため商用電源が不要であり、電源設備を含め機器がコンパクトである点は景観上優位である。また、1台の

表-1 高度流量観測手法の比較表

観測手法	電波流速計(固定式)	画像解析(STIV)	H-ADCP
事例写真			
手法概要	電波のドップラー効果(空气中の伝播)	動画による波紋の追跡	超音波のドップラー効果(水中の伝播)
計測原理	橋梁等に設置したセンサから電波を発信し、反射波の周波数変化より表面流速を計測。	流下する波紋を追跡し、画像解析により表面流速を計測。	超音波のドップラー効果(水中の伝播)により、設置高における流速の横断分布を計測。
得られるデータ	1点の表面流速	表面流速の横断分布	設置高の流速の横断分布
利点	流下物の影響を受けずに安定した流速計測が可能。	遠赤外線カメラを用いれば、夜間においても観測が可能。	1台で流速横断分布を計測可能。波立ち・波紋の影響を受けない。
欠点	複数台設置、風補正が必要。	風補正が必要。	濁りや超音波の河床干渉による超音波減衰で計測範囲が狭められる。
電源	自動連続化には商用電源要	商用電源要	バッテリー
機器コスト	10,000千円(複数設置)	1,000千円(カメラ1台)	9,000千円(ナロータイプ)

機器で設置高における流速横断分布を計測可能であることから、機器コストも勘案し本手法を採用した。

b) 高度流量観測手法の選定（淀川・枚方観測所）

淀川・枚方観測所は、左右岸共に高水敷が広く、平常時は淀川河川公園、ゴルフ場といった一般利用者の多い開かれた場所である。そのため、高水敷も含む河道全幅を捉えられるH-ADCPの複数台設置は、機器の維持管理や機器コスト総額からも好ましくなく、電波流速計（固定式）は、付近に橋梁があるものの複数台設置による機器コストが高額である等、採用に至らなかった。これに対し、画像解析（STIV）は、機器コストが最も安価であり、洪水時にカメラ等機器が水没しない設置位置や商用電源の確保が可能な枚方出張所屋上に設置、洪水時の高水敷部を含む範囲を対象とする観測手法として採用し、低水路部分はH-ADCPを採用した。



写真-3 淀川・枚方観測所付近

c) 新たな課題と実用化に向けた整備状況

枚方観測所では、画像解析（STIV）において、遠赤外線カメラ画像が距離による減衰や、気温・強雨によるカメラ画質の低下により、観測精度が低下する事象が見られた。この課題を解決すべく、2017年度に枚方出張所屋上（左岸）に設置されていた50mmタイプ遠赤外線カメラを、対岸高槻出張所（右岸）のマイクロ波電波回線用鉄塔に移設すると共に、枚方大橋下流の枚方水質観測所（左岸）に19mmタイプ遠赤外線カメラを追加設置した。これにより、これまで低水路部分も含め1台のカメラでの撮影から、設置河岸側の高水敷を中心とした中・大規模洪水時のみの撮影とすることで、観測精度の向上を図ることができると考えられる。また2台の遠赤外線カメラについては、4年間にわたる観測の中でその効果が確認された、画像鮮明化装置を設置することで、より解析に適した画質を保つことができると考えられる。

d) 高度流量観測手法導入の利点

高水流量観測の高度化となる、桂川・天竜寺観測所他におけるH-ADCP及び画像解析（STIV）導入の利点として、以下が挙げられる。

まず、洪水時に観測員の安全を確保すると同時に、重要な流量データをいかに取得するかという点について、観測の自動連続化及び無人化により実現が可能となった。

また、観測の自動連続化及び無人化は、観測自体（外業）、流量算出に必要な多断面の横断測量（外業）、その後の流量算出及び水位流量曲線式の作成（内業）においても省力化に繋がるものである。

更に、従来手法の高水流量観測における浮子が不要となることから、購入及び在庫管理の省力化が可能となる。浮子は観測時の水位（水深）により、浮子表で定められた種類のものを使用する必要があるが、大規模洪水時に使用する最長4mのものは1本当たり4,000円程と高額である一方で、材質が紙や砂等自然に戻りやすいものであるため、劣化しやすく使用に適さないことがある。年によっては洪水が全くない一方で、2017年のように2週続けて台風が接近するケースもあり、浮子の確保にも苦慮しているところである。高度流量観測が浮子測法に完全に代替する手法となれば、浮子購入に必要な予算削減にも繋がるものと考えられる。

(4) 新たな流量算出手法（簡易法）

H-ADCPや画像解析（STIV）の計測流速を用いた流量算出は、「区分求積法」を基本としている。これは、実際の計測値から対数分布測により水深平均流速（区分幅における断面平均流速）を算出し、区分断面積と乗じた区分流量を合算する手法である。

一方で、例えば図-4のようにH-ADCPにおいて超音波ビームが河床に干渉する等、未計測エリアが広範囲に及ぶ場合は、当該エリアで得られたであろう計測流速を推定し流量算出を行う必要がある。

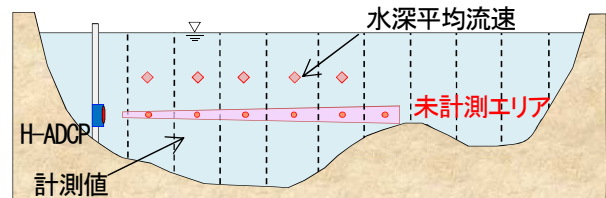


図-4 区分求積法による流量算出（H-ADCP）

未計測エリアの外挿を行う場合、未計測エリアがわずかであり、なおかつ同一低水路内で河床形状も同様である等、近傍で得られる計測流速で代替が可能である場合は、同流速より区分流量の外挿が可能である。

しかし、未計測エリアが広範囲である場合や、同一低水路内でも左右岸で流況が異なる場合、計測流速が低水路部に対し高水敷部の外挿が必要である場合には、過小もしくは過大な計測流速の推定となる恐れがある。

このような問題を回避すべく、これまでは特許技術である「DIEX法」を用いた流量算出を行ってきた。

「DIEX法」とは、H-ADCP等から得られた横断面内での限られた計測流速データを数値解析に取り込み、合理的に流速値の横断分布を推定する手法である。当手法は順流域のみでなく、感潮域においても試行実績があるものの、今後継続的に流量算出を行うにあたり、特許使用料

が発生する流量算出手法であった。

これに対し、前述「DIEX法」に代わる新たな流量算出手法として、2017年度は対数分布測に基づく方法で流速を補間する解析を実施した（以下、「簡易法」と呼ぶ）。ここで摩擦速度は次式で算出した。

$$U_* = \frac{u(z)}{\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{k_s} \right) + A_r} \quad \dots \text{式①}$$

U_* :摩擦速度[m/s], $u(z)$:観測流速, κ :カルマン定数,

z :河床からの高さ[m], k_s :相当粗度[m], A_r :定数(粗面)

「簡易法」とは、低水路及び高水敷毎に式①から摩擦速度を算出し、未計測箇所における対数分布測に代入することで水深平均流速を推定する手法である。2017（平成29）年台風21号洪水での計測流速を基に「簡易法」を用いた流量算出を行った結果、図-5に示すとおり浮子観測と概ね一致することが分かった。このことより、今後継続的に流量観測を行うにあたっても特許使用料の発生しない流量算出が可能となった。

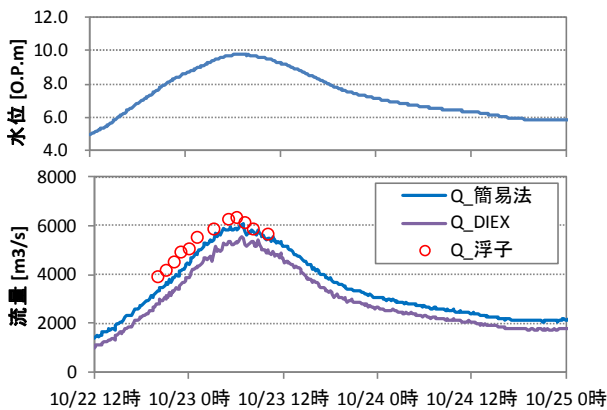


図-5 流量算出結果(2017年台風21号洪水)

(5) 既設CCTVカメラを用いた画像解析

2017年度、新たな流量観測手法として、前述(3)の遠赤外線カメラを用いたものとは別に、既設CCTVカメラを用いた画像解析 (STIV) の検討を桂川・天竜寺観測所をモデルに行った。

a) 画像解析の概要 (原理)

通常、高度流量観測手法における画像解析 (STIV) は、前述のとおり遠赤外線カメラ画像を用いるのに対し、本手法は、河川管理者が河川流況等の状況監視用に設置しているCCTVカメラの画像を用いて、画像解析 (STIV) を行うものである。具体的には、予め後述b)の標定点測量を実施した画角をプリセット登録しておき、同画角において浮子測法と同様に、1時間に1回の観測に代わる1~10分程度の画像録画を行っておくことで、画像解析により表面流速横断分布を計測し、当該地点の流量算出が可能となるものである。ちなみに、標定点測量は洪水後でも可能であり、平成25 (2013) 年台風18号洪

水時において、淀川・枚方観測所付近及び桂川・天竜寺観測所付近のCCTVカメラ画像を基に流量算出を試みている。しかし、流量算出に必要な解析時間の短縮と、算出される流量データの精度向上のためには、本試行のように事前に観測環境を整えておくことが望ましい。

b) 標定点測量の実施

画像解析では、斜め画像を上から見た画像に補正する幾何補正が必要である。幾何補正のためには画像上の複数点で平面座標・標高が必要となる。2017年度は本試行において、実際の洪水を捉えることができなかったが、次年度以降、天竜寺地点に該当する「渡月橋上流」地点のCCTVカメラを用いた画像解析が可能となるよう、標定点測量及び幾何補正操作を実施済みであり、いつでも流量解析が可能な状況である。

c) CCTVカメラを用いた画像解析実施手順の作成

本試行では、「渡月橋上流」地点のCCTVカメラに対する画像解析適用を例に実施手順を作成した。解析の流れは図-6に示す実施フローのとおりであるが、本手順書にも記載の留意すべきポイントは以下のとおりである。

①解析画像の取得に係るポイントの内、画角設定に係るものとしては、高水時に流下する範囲全体を包括する画角とすることである。一部画角内に映っていない場合は正確な流速分布把握ができず、流量算出時に未計測エリアの外挿を行う必要がある。また、夜間画像取得時に、画角内に光源を含むことも重要である。基本的には遠赤外線カメラを用いなければ、夜間時の既設CCTVカメラによる画像解析は困難である。ただし、画角内に十分な光源が存在している場合、解析が可能となるケースもあるため、前述の範囲全体を包括する画角設定を基本としながらも、定期的に1~10分程度光源を重視した画角画像も残しておくことで、後に貴重なデータの取得に繋がる可能性があることを意識しておくべきである。

次に、動画取得に係るポイントとしては、1分以上できれば10分程度の動画取得がある。洪水時には流木やごみ等の流下も生じるため、解析値に異常値が発生する場面がある。解析に適した画像を抽出するために可能な限り長時間の画像取得が望ましい。また、動画保存期間の確認も重要である。CCTVカメラ画像は一定期間事務所サーバに保存した後、容量の関係上消去されることが通常であるため、システム上の保存期間等を把握しておき速やかに別媒体へ保存しておくことが、基本的なことでありながら重要となる。

②標定点測量に係るポイントとして、標定点の設置数と設置範囲がある。解析精度を確保するためには、標定点を6点以上設置し、解析範囲を取り囲むように設置する必要がある。洪水後に標定点測量を実施する場合、画角設定の段階で、後に標定点が確保可能かという点も考慮することが望ましいが、画角内に位置が明確に認識できるような構造物がある場合は、当該構造物を標定点として用いることもできる。

このように、大規模洪水時にはとにかく画角を定め、定期的に画像を残しておくことが重要であり、そして本手順により「渡月橋上流」地点以外のCCTVカメラについても、画像解析による流量観測を展開していくことができる。このことは同様にCCTVカメラを設置している近畿地方整備局管内の他事務所に留まらず、防災用ライブカメラを設置している自治体においても展開が可能であると考えられる。前述のとおり本手法は基本的に遠赤外線カメラではないため、夜間等画像解析に耐えられない時間帯の制約があるものの、必要となる観測機器は既存のもので代替できる点においては、有効な新しい流量観測手法であると考えられる。

水文観測技術の高度化に、これまで以上に期待が寄せられるところである。

一刻も早い水防災意識社会の再構築が急がれる中、事務所においても、従来手法に捉われない「防災対策の高度化」に取り組むことによって、水防災意識社会再構築に今後一層努めていく必要がある。その新たな第一歩として、今回報告した「防災対策の高度化」の中でも「住民目線のソフト対策」の一つであるSNS（Facebook等）と連携した積極的な情報発信について、今後も継続した取り組みとしていき、その成果をぜひ皆様に「リアルタイム」で確認いただきたい思いである。

最後に、本報告は発表者が2017年度まで所属した、淀川河川事務所調査課における所掌内容について取りまとめたものであることを申し添える。

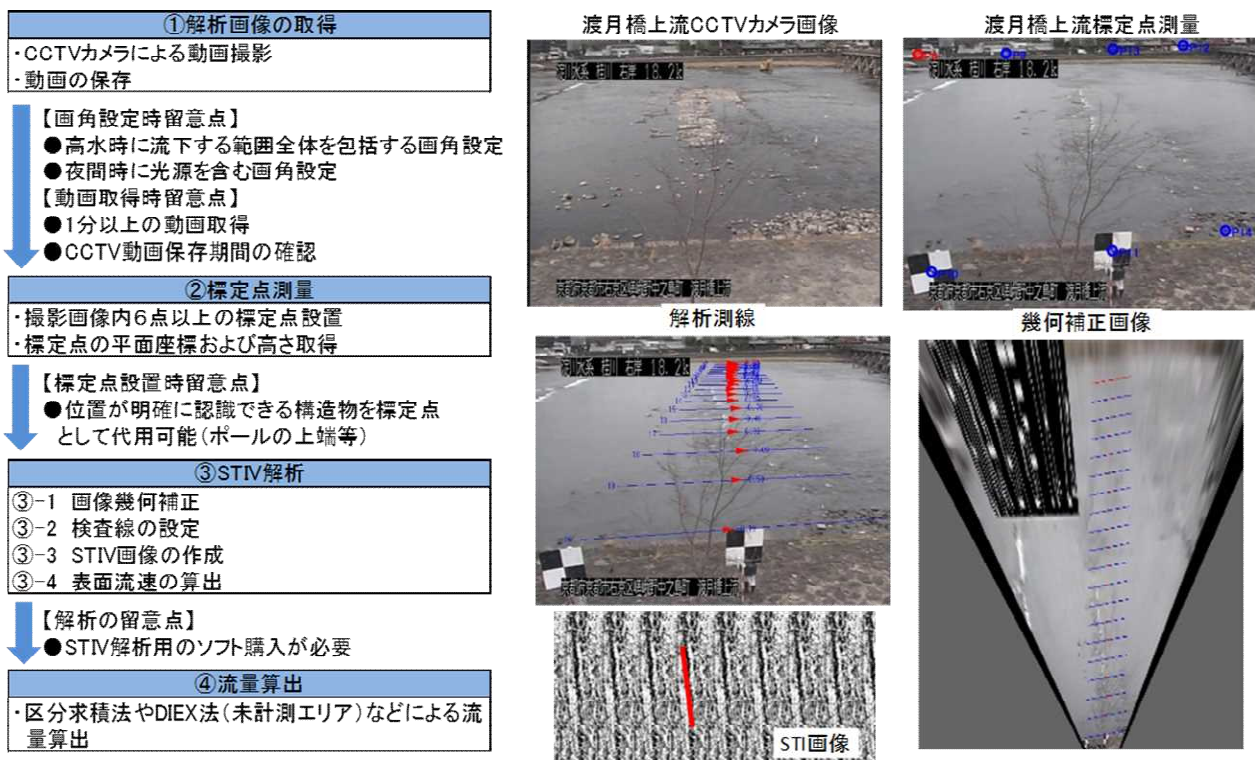


図-6 CCTVカメラ画像を用いたSTIV解析の実施フロー

4. おわりに

2017年3月31日付け水文観測業務規程及び同細則の改正により、施設能力を上回る洪水発生時などで浮子測法では観測を一時的に中断せざるを得ない場合でも、非接触型流速計測法（ドップラー型・画像処理型）で観測を継続し、観測データを補間できるよう、また、河口感潮域の低水流量観測等において水理学的知見に基づく手法（例：DIEX法）の使用が可能となるよう定められた。このことは、事務所において2014年より4年間にわたり検証を行ってきた高度流量観測が、規程上においても実用化への道が開かれたことを意味するものであり、今後

謝辞：本報告にあたり、ご助言、ご協力をいただきました皆様に、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 淀川管内高度流量観測検証業務, 2018.3
- 2) 淀川河川事務所における高度流量観測の取り組み・課題について, 2016
- 3) 流量観測の高度化マニュアル（高度流量観測編）Ver1.2, 2016.6