

十勝川流域における 流量観測の無人化に向けた今後の展開

帯広開発建設部 治水課 ○大串 正紀
帯広開発建設部 流域治水対策官付 小泉 和久
(株)北開水工コンサルタント 水圏調査部 井上 和哉

平成28年洪水では道内各地において記録的な洪水が発生した。当部管内では崖崩れや通行止めが多数発生し、複数地点において流量観測の実施を断念した。この状況を踏まえ、観測不可能となった地点、特に山間部を中心に、流量観測の無人化に向けて検討を進めている。本報告では当部で実施している試験観測の結果や現場への実装に向けた今後の展開について報告する。

キーワード：流量観測、無人観測、画像解析

1. はじめに

平成28年8月16日から24日にかけて、観測史上初めて1週間に3つの台風が北海道へ上陸した。その後、8月29日から31日にかけて、北海道の南側を東から西へと通過した台風10号によって連続的な豪雨もたらされ、全道各地において記録的な洪水・土砂災害が発生した。帯広開発建設部管内では、先の3つの台風による降雨が前期降雨となり、十勝川水系の水位は下がりきらない状態で台風10号の影響を受け、再び水位上昇し、これまでに例を見ない記録的な洪水となった。このような状況の中、水文観測業務により流量観測が行われていたが、通

行止めやアクセス道路の冠水等により、管内の水位流量観測所全31箇所のうち、10箇所において流量観測の継続を断念した。(図-1および表-1)

国土交通省は、激甚化する豪雨の影響で施設能力を上回る洪水の発生により適切なタイミングでの流量観測データの確保や「観測員の安全性の確保」が課題となっていることを受け、『流量観測の無人化・自動化』の技術として、電波流速計や画像処理型流速計測法(以下、画像解析)を用いた非接触型流速計測法(以下、非接触法)による流量観測について「河川砂防技術基準(調査編)」¹⁾へ掲載し、全国的に導入が進められるようになった。

帯広開発建設部では、平成28年洪水で観測不可となった地点のうち、比較的高頻度で観測不可となるダム管理支所が管理する山間部の観測所を中心に、画像解析を用いた流量観測の無人化に向けて検討を進めている。

本稿では、画像解析による試験観測の結果や、今後の実用化や現場実装に向けての課題、今後の展開について整理したので報告する。

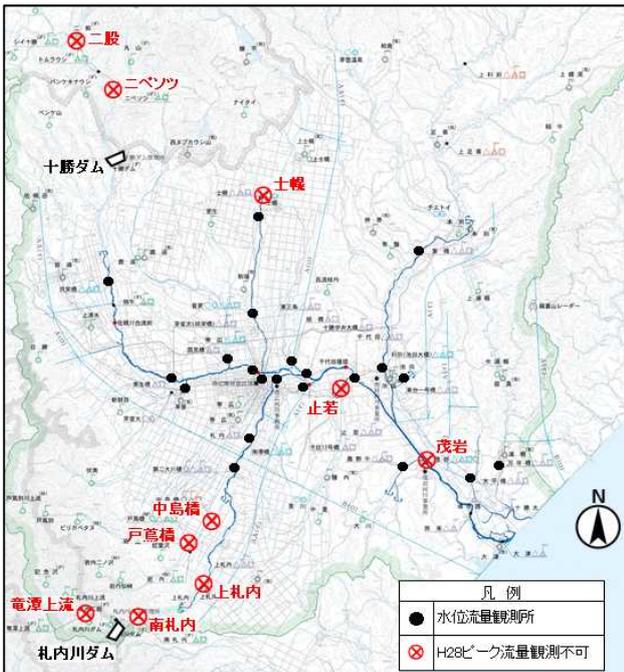


図-1 平成28年洪水におけるピーク流量観測不可地点

表-1 観測不可となった原因

河川	観測所	原因
十勝川	茂岩	茂岩橋通行止め(桁下冠水のおそれ)
	ニベソツ	事前交通規制(雨量)による通行止め
	二股	事前交通規制(雨量)による通行止め
音更川	土幌	高水敷冠水(橋梁なし)
札内川	上札内	通行止め
	南札内	アクセス道の冠水
	竜潭上流	事前交通規制(雨量)による通行止め
戸蔭別川	中島橋	事前交通規制(水位)による通行止め
	戸蔭橋	事前交通規制(水位)による通行止め
猿別川	止若	浸水被害による通行止め

2. 流量観測無人化検証の対象観測所

当部管内には十勝ダムと札内川ダムの2つの管理ダムがあり、平成28年洪水では両ダム周辺の山間部においてピーク時の流量観測が不可能であった。

流量観測無人化検証の対象地点を選定するにあたり、大規模洪水ではなくとも、連続降雨によるゲート通行止めの影響で、観測自体が実施できないことが多い観測所を中心に抽出した。

(1) 十勝川・ニペソツ観測所（図-2）

十勝ダムから11.4km上流に位置し、堀込河道で河道幅は洪水時の想定で最大約80mである。アクセスする道路の道道718号忠別清水線は、十勝ダム、パンケキナウシ、二股いずれかの雨量観測所で連続雨量120mmを超過すると道道が通行止めとなる。大規模出水まで行かなくても、通行止めとなることが多く、高水流量観測の実施の機会が限定される。

(2) 十勝川・二股観測所（図-3）

十勝ダムから24.2km上流に位置し、堀込河道で河道幅は洪水時の想定で最大約50mである。アクセスする道路はニペソツ観測所と同じく道道718号忠別清水線であるため、通行止めのタイミングも同じである。

(3) 札内川・南札内観測所（図-4）

札内川ダムから6.5km下流に位置し、堀込河道で低水路幅は約50mである。道道111号静内中札内線から、札内川頭首工の管理用道路により観測所へアクセスする。札内川ダムの全放流量がおよそ300m³/sを上回った時点で、低水路から溢水し、管理用道路が冠水するため、観測所へのアクセス不能となるが、その頻度は極めて少ない。抽出観測所のうち、唯一、浮子観測データが存在する。

(4) 札内川・竜潭上流観測所（図-5）

札内川ダムから7.0km上流に位置し、堀込河道で河道幅は洪水時の想定で最大約60mである。アクセスする道路の道道111号静内中札内線は、札内川ダム雨量観測所が連続雨量50mmを超過すると道道が通行止めとなる。小規模な降雨でも通行止めとなるため、高水流量観測の実施機会はかなり限定される。

3. 流量観測無人化検討の実施方法

流量観測の無人化は、非接触法によるものとするが、前項で抽出した地点の付近には橋梁がなく、電波流速計の設置計測を行うことができない。そのため、今回の地点では画像解析による観測を適用する。



図-2 十勝川・ニペソツ観測所 平常時と出水時
(左：平常時令和6年9月、右：出水時令和6年10月)



図-3 十勝川・二股観測所 平常時と出水時
(左：平常時令和6年10月、右：出水時令和6年11月)



図-4 札内川・南札内観測所 平常時と出水時
(左：平常時令和6年6月、右：出水時令和6年10月)



図-5 札内川・竜潭上流観測所 平常時と出水時
(左：平常時令和6年9月、右：出水時令和6年11月)

(1) 機器選定

画像解析はビデオカメラ動画を解析して河川流速を計測するものであり、既設のCCTVカメラを利用することも可能である。今回の対象地点では、CCTVカメラがないため、別途、設置機器の選定を行った。

また、観測は昼夜問わず可能なものとするため、遠赤外線カメラまたは、近赤外線カメラが妥当と考えた。遠赤外線カメラは、コストが高いことに加え、安定した電源を確保する必要があること等の問題があり、不適と判断した。近赤外線カメラは、トレイルカメラ（ハイカムLS4G Hyke社製）がコストが低いこと、設置が容易なことを理由に選定した。

トレイルカメラの夜間撮影は、カメラ本体に赤外線照明が備わっているが、その照射距離は20m程度であり、大規模出水時の水面幅全体を照射することが困難である。そのため、100mまで照射可能な赤外線照明（波長850nm）を別途設置した。トレイルカメラと照明の電力を確保するソーラーパネルとバッテリー、トレイルカメラと照明

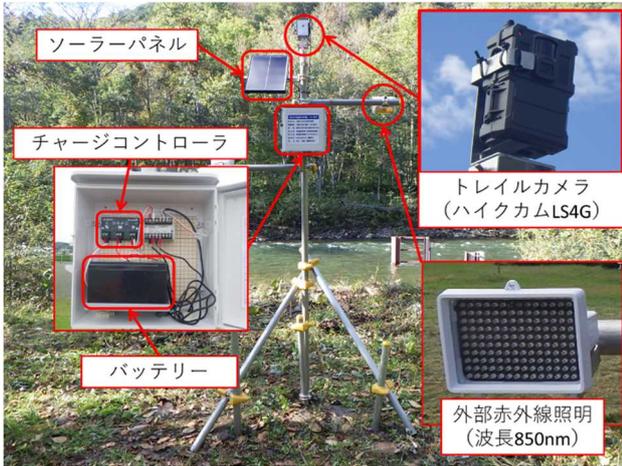


図-6 トレイルカメラシステム



図-7 トレイルカメラ歪み補正 (左:補正前 右:補正後)

の動作を同期させるコントローラーをひとつに組み込み、トレイルカメラシステムを構築した。(図-6)

また、使用したトレイルカメラのレンズの曲率が高く、画像の端の歪みが強いので、歪み補正を行い、幾何補正の精度向上を図った。(図-7)

動画撮影設定はメモリ容量とデータ回収頻度を考慮し、撮影インターバルは30分、撮影時間は30秒、解像度はフルHD (1920×1080) とした。

(2) 画像解析方法

撮影した動画から流速を求める手法として、時空間画像(以下、STI画像)を用いるSTIV法(Space-Time Image Velocimetry)を採用し、動画からの流速解析には流速・流量計測ソフトウェア『Hydro-STIV』²⁾を使用した。STIV法については図-8(ハイドロ総合技術研究所HPより)に示す。STIV法は、動画の河川水面に検査線(図-8、黄色線)を配置し、その検査線上の波紋(図-8、黄色線上の赤点)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。動画から得られた連続した静止画を用いて、検査線上の輝度値を時間軸方向に積み重ねたSTI画像(図-8内右図、横軸:長さ、縦軸:時間の次元)に見られる縞パターンの傾き ϕ から水表面流速を求める。流量算出時に用いる流速は水表面流速に画像解析において一般的に使用されている0.85³⁾を乗じた更正流速を使用し、流量は浮子観測と同様に「区分(測線毎)流速」に「区分断面積」を乗じて算出する「区分流量」を合算し算出した(図-9)。

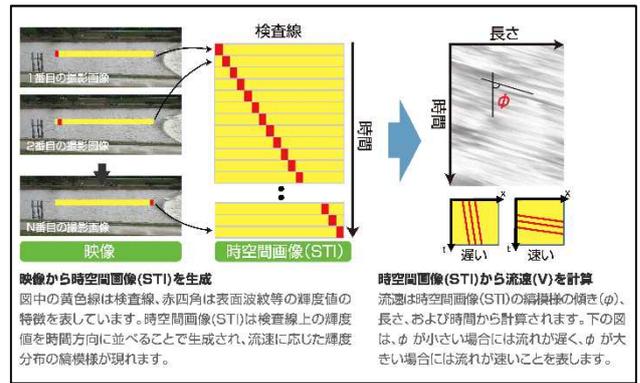


図-8 STIV法の概念

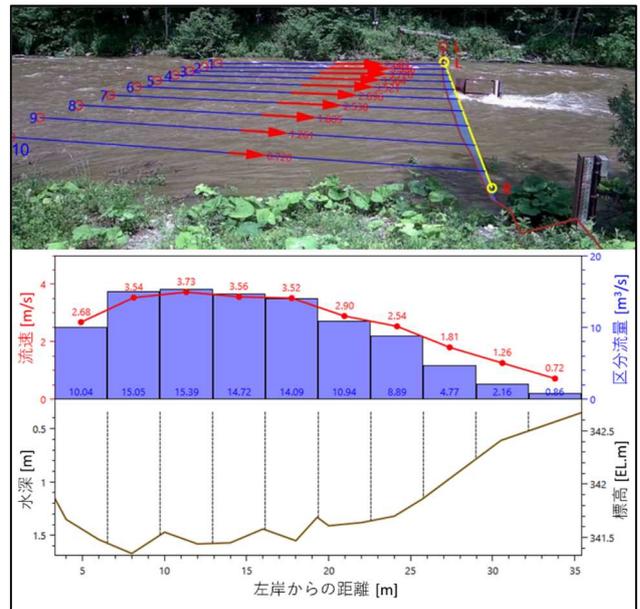


図-9 南札内画像解析結果 上:検査線配置 下:横断面(令和6年6月25日10時 H=343.02m ピーク)

(3) 現地事前準備

撮影した動画からSTI画像を作成する際、撮影した動画を垂直撮影(真上から)の動画へ変換する(幾何補正と称される)。幾何補正にあたっては、解析精度を確保するために最小限必要な6点以上³⁾(左右岸別に3点以上)の標定点を動画の画角内に設置し、現地測量により標定点の測量座標を取得した。

幾何補正には撮影時の水位が必要であるため、基準水位を測定している基準水位断面がカメラ画角内に収まるようにトレイルカメラを設置した。また、流量算出には測線の断面積が必要となるため、浮子観測と同様に出水前後の基準水位断面の横断深浅測量を行った。

4. 試験観測結果(南札内観測所)

(1) 画像解析の試験観測結果

流量観測の無人化・自動化は、「適切なタイミングでの流量観測データの確保」や「観測員の安全性の確保」

を目的として検討している。また、河川計画は、浮子による高水流量観測結果を基に、検討している。

画像解析は、抽出した4観測所において年最大規模の出水を対象に実施したが、本報告では、6月25日の札内川ダム放流において浮子観測を実施した南札内観測所での試験結果について整理した。南札内観測所のトレイルカメラは、**図-10**のとおり、令和6年5月31日に設置し、11月26日に撤去した。画像解析は、**図-11**に示した赤プロットの1時間ピッチを基本として実施した。

画像解析による流量と、今年度の4月から12月までの流速計・浮子を用いた従来法による流量を比較した結果を**図-12**に示す。従来法（流速計）と画像解析の低水位部分は、程良く整合しており、従来法と同等の精度で流量を算出することができている。6月25日の従来法（浮子）による観測結果と、同日・同時刻の画像解析結果（**図-12**の赤点線で囲われた緑色プロットと橙色プロット）を比較すると、従来法をベースとして-10.1%～-15.3%の乖離が見られる。しかし、画像解析による流量に低水位から高水位にかけて不自然な離散データはなく、連続性があるように見える。



図-10 南札内トレイルカメラ設置期間と解析対象期間

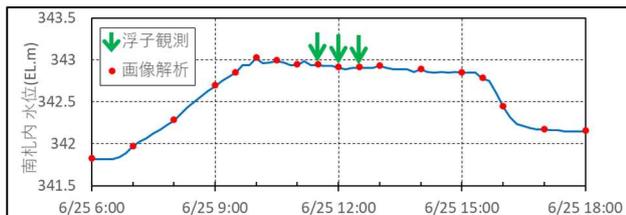


図-11 南札内 6/25解析

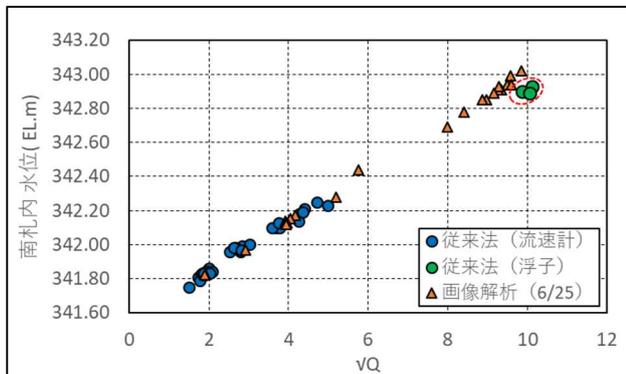


図-12 南札内従来法流量と画像解析流量(√Q)

(2) 浮子・画像解析の流量差検証

浮子と画像解析の流量差について、浮子観測の測線に着目し、検証した。洪水時の水位変動がある中、流量観測の精度を保つには、速やかに観測を完了させる必要がある。そのため、浮子観測の測線数は、北海道開発局制定「測量調査業務共通仕様書」に水面幅に応じて定められている「緊急時やむをえない場合」（緊急法）に則り、観測を実施している。⁴⁾一方、画像解析の検査線の本数は、手引きのとおり浮子観測の標準法に準じている。³⁾南札内観測所の水面幅は35m程度であるため、浮子測線は50m未満の3測線、画像解析検査線は20～100m未満の10本となり、観測密度が異なる。

ここで、測線数の違いが流量にどのように影響があるかを確認した。確認方法は、別途、UAVにより撮影した垂直撮影動画を用いて、3測線と9測線（後の計算をわかりやすくするため10測線から9測線に変更）で画像解析を行った。9測線で得られた区分流量を3測線毎の合計し、その流量を断面積で除した平均流量を算出した。

(**図-13**) 3測線の区分流量・平均流速は、いずれも9測線の合計区分流量と流速より大きい。これは3測線では河岸際の流速低下分が計算結果に反映されないことの影響と考えられる。実際の浮子観測（3測線）では区分割が荒いため、河岸際の流速が過大になりやすい傾向にあったと考えられる。これに加えて浮子観測では、浮子の投下位置に依存されることや、流心側へ引き込まれる影

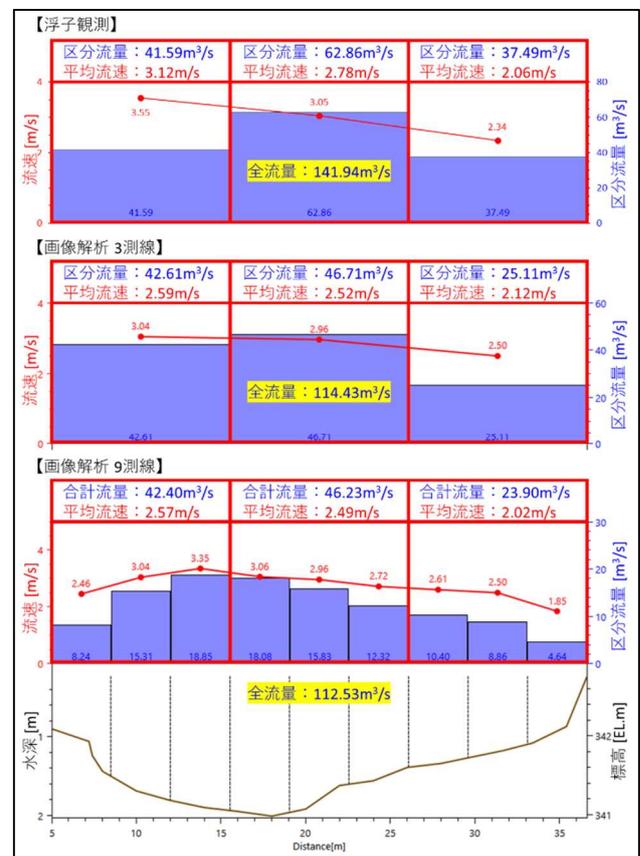


図-13 南札内浮子と画像解析3・9測線の流量・流速の比較

響も受け、流量に差が出たものと考えられる。一方、画像解析では、細かく区分割を設定することで、河岸際の遅い流速を流量に反映することができる。

(3) 浮子・画像解析流量の整合性確認

国土交通省 水管理・国土保全局では、「従来データ（浮子観測）と非接触法による観測データの整合性を確認するための実施方針（案）」（以下、実施方針）を示された。⁹⁾ 実施方針によると、浮子と非接触型観測を同時に観測を実施している場合で、**図-14** に示すチェックシートに観測結果をプロットして、横軸の相対差-20%から 0%の範囲に収まる場合は、「浮子観測データとの整合性」が保たれていると判断され、当年の水位流量曲線に非接触型観測データを使用することができるとされている。**図-14** の赤いプロットは、今年の浮子と画像解析の同時観測データを表している。3 観測とも相対差-20%から 0%の範囲に収まっており、整合性が保たれていることが示された。また、浮子観測流量と計画高水流量の比率は最大でも 12.8%と小さいが、実施方針に示されている過去の観測結果（電波・画像・ADCP）ではバラツキが大きい中、相対差-20%から 0%の範囲に収まっていることから、整合性も十分保たれていると考える。

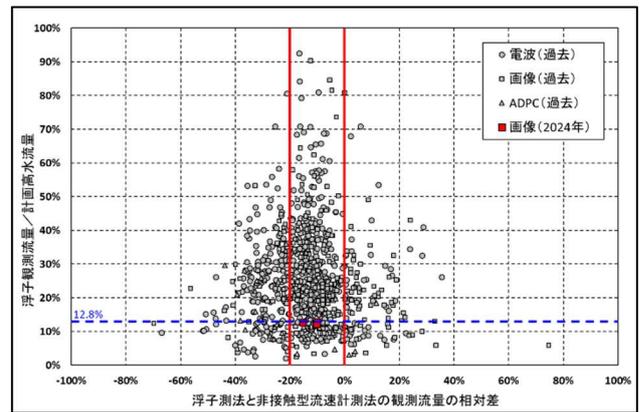


図-14 流量観測データ整合性チェックシート(南札内)⁹⁾



図-15 画像解析が不可であった事例

(左上:強雨 右上:レンズ雨滴付着 左下:クモの巣 右下:モヤ)

5. トレイルカメラ利用上の課題

(1) 悪条件での撮影データ

本稿で解析の対象とした撮影動画のうち、解析不能なケースがいくつか存在した。具体的には、**図-15**に示すとおり、強雨、レンズへの雨滴付着、クモの巣、モヤが原因であった。いずれも夜間で照明が反射したハレーションが起きたもので、河川水面の波紋が捉えられなかった。現状はシステムとしてコンパクトにまとめることを意識していたことより、カメラと外部照明の距離が近い。これがより強いハレーションを起こした可能性がある。照明位置を離すことで、一定程度の改善は期待できる。

(2) トレイルカメラシステムの適用条件

トレイルカメラ+外部照明の組み合わせは、製品仕様上、およそ川幅100m程度まで適用可能と考えていた。実際には、手前岸で強く照明が反射した場合は、100mに満たなくても画像が取得できない事例があった。

6. まとめ

- (1) これまで山間部にある観測所では、比較的早い段階でゲート通行止めとなり、浮子観測が実施できていなかった。流量観測無人化を進めることで、観測データを取得することができた。
- (2) 南札内観測所では、浮子観測と画像解析の同時観測により、観測流量の相対差から互いの整合性を確認できた。

- (3) 整合性確認チェックシートでは問題は見られなかったが、トレイルカメラシステムは安価で扱いやすい反面、視認しやすい動画データの確保という点では改善の余地があるなど課題が残っているため、実用化へ移行するにあたり、引き続き検証していきたい。
- (4) 山間部に限らず、付近に橋梁がなく、河道幅が広い地点等、大規模出水時に観測不能になると予想される観測所は管内に多く存在している。観測員の安全性を確保しつつ、正確かつ適切なタイミングでの流量観測データの確保に向けて、従来法に加えて観測機器の無人化・自動化を検討し、現場条件に合った観測体制の確立を目指していきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準 調査編，第2章第4節4.8非接触型流速計測法，令和5年10月。
- 2) 株式会社ハイドロ総合技術研究所：流速・流量計測システム Hydro-STIV。
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課 河川情報企画室：非接触型流速計測法の手引き（案），令和5年3月。
- 4) 北海道開発局事業振興部技術管理課：令和6年度版北海道開発局測量調査業務共通仕様書，令和6年。
- 5) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課 河川情報企画室：浮子観測データとの整合性の確認の実施方針（案）について（事務連絡），令和5年3月