

樋門操作省力化のための無線通信を用いた水位計測システムの開発及び現地適用について

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地河川チーム ○阿部 孝章
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地河川チーム 神原 柚乃
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 永長 哲也

近年頻発化する水災害や樋門観測員の高齢化を受け、樋門操作に関する省力化・効率化が求められている。本稿ではIoTや無線通信技術等の最新技術を積極的に導入し、現場操作の省力化を目的としたシステム開発を行った。本報告は開発したシステムの現地適用性の検証のため、現場事務所との連携により実河川の現場における水位計測・画像取得・無線通信試験等を実施した内容について述べる。

キーワード：樋門操作支援、無線通信、IoT、省力化・効率化

1. はじめに

気候変動等の影響により、気象現象の極端化が進行し、水災害が頻発している。令和3年度に法整備された流域治水関連法の通り、流域内の各主体が治水のための取組を進めている。そのような時代にあるからこそ、河川管理者にとって各河川管理施設における着実な機能の発揮が一層求められ、重要度が増している。それに加え、北海道の地方部では少子高齢化と過疎化が全国に先行する形で進行しており、全道的に樋門操作に従事する観測員の高齢化が進行している状況である。

この樋門操作という作業は、例えば降雨中、夜間、強風下においてなど、作業環境が悪い場合がある。そのせいもあり高齢化した観測員の後継者探しに苦慮しているという現場の声も聞かれる。そのため、省力化・効率化に対するニーズは高い。近年では、ICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）・IoT（Internet of Things：モノのインターネット（身近にある様々なものがインターネットに繋がっている様を表す））のような新しい技術が次々と登場してきており、これらを実務に取り入れることでこれまでより格段に効率上がる事が期待される。樋門操作に関する現場の技術的課題解決として、自動開閉ゲート化¹⁾や遠隔監視システム導入²⁾の取組が過去の北海道開発技術研究発表会にて報告されている。しかし、全道における直轄樋門数は約1,400³⁾と膨大であり、網羅的に全ての樋門への整備は難しい。そのため、構成が簡易で実装も容易なシステムに一定のニーズが存在する。

前報^{4)~6)}においては、こうした現場ニーズを踏まえるための事務所ヒアリング結果、それらから抽出された課

題、そしてそれらを踏まえたシステム設計について報告を行った。本稿では前報^{4)~6)}で報告した内容を基に、現場河川事務所の協力のもと開発したシステムについて現地実証試験を行った内容について報告を行う。

2. 検討手法

本章では樋門監視システムの開発に関する要点及び現地試験の手法について概説する。

(1) システム開発検討

寒地土木研究所において実施したシステム開発では樋門操作における水位や量水標読み取りといった作業を省力化することに特に注目している。そのため小型かつ安価で簡易な構成であることを開発の主軸に据え、堤内・堤外水位の把握及び量水標周辺画像について、無線通信による迅速な把握を主眼に置き、「現場操作支援タイプ」としてのシステム開発を行った。本稿では主としてこの現場操作支援タイプについて説明する。システム構成の概要図を図-1に示した。本システムは堤内側に設置される親機と、堤外側に設置される子機の2台を1組のシステムとして設置することを想定している。堤内、堤外それぞれについて水位計測のための圧力式水位計及びUSB接続タイプの汎用カメラを設置する。システムにおける計測・制御関係やロギング機能、情報表示端末（スマートフォンを想定）における表示機能等については小型かつ低価格のシングルボードコンピュータ（Raspberry Piを想定、以降小型PCボードと表記する）により全ての処理を行う。圧力式水位計は小型PCボードに備わるGPIO

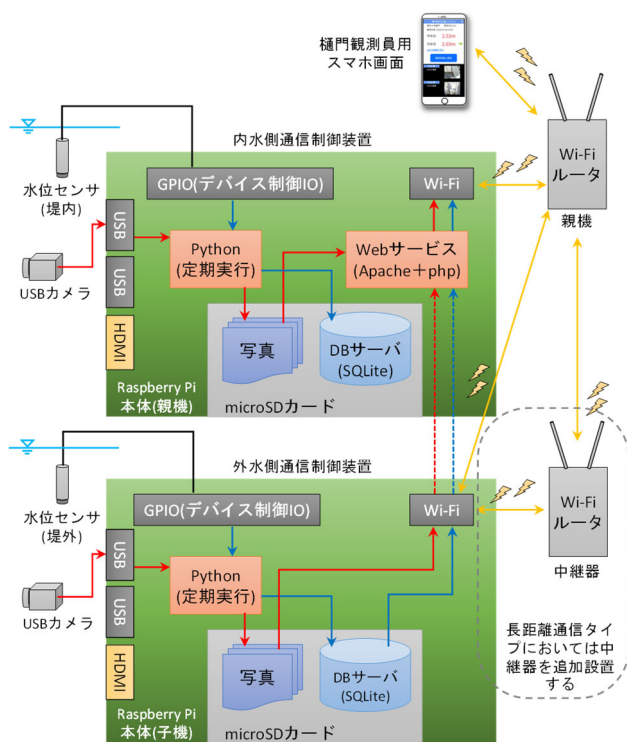
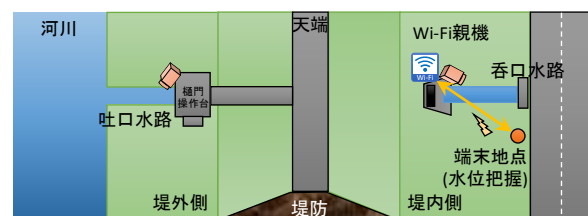


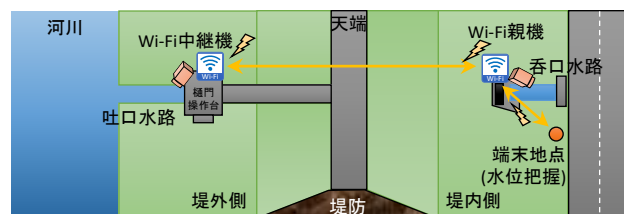
図-1 システム構成の概要模式図

（General Purpose Input/Output）端子に接続しI2C（Inter-Integrated Circuit）インターフェースを利用した。カメラ画像はUSB接続により小型PCボード内の記録用媒体（micro SDカード）に汎用フォーマットの画像ファイル（.jpg形式）として保存できるようにした。解像度は量水標と水面の位置関係を視認可能となるように1280×960 pixelと指定した。記録媒体の容量にもよるが解像度はUSBカメラの解像可能な範囲で任意に指定可能である。親機と子機を無線接続するためのネットワーク通信については、Wi-Fi通信を用いたイントラネット通信網として構成することとした。すなわち、Wi-Fi圏内に入った場合のみ本ネットワークに接続することが可能となる。また、親機及び子機の設置距離が大きい場合には、図-1 中灰色破線部のように、必要に応じ中継器となる2台目のWi-Fiルータを設置することで通信距離を延ばすことが可能である。なお、図中にも示しているが小型PCボードにはUSB端子が複数と外部出力用のHDMI端子が備えられており、マウス、キーボード、モニタを接続することで通常のPCのように使用することも可能である。

図-2には本システムの現地における活用方法として、親機・子機間の設置距離に応じた2種類の設置方法の例を示した。(a)は短距離通信タイプである。観測員は車両等により操作対象樋門に接近する。この時携帯端末（主としてスマートフォン端末を想定しているが、タブレットPC等Wi-Fi接続機能を有し、ブラウザソフトウェアがインストールされている端末であれば表示及び確認が可能である）によりWi-Fi親機に接続することで、水位及びカメラ画像をWEB上で表示することが可能である。



(a) 短距離通信タイプ



(b) 長距離通信タイプ

図-2 堤防の規模に応じた長距離通信・短距離通信ごとの設置概要図

一方、下流域などにおいて堤防規模が大きく設置地点間の離隔が大きい場合には(b)のような長距離通信タイプを選択することが可能である。この場合は親機または中継器のいずれかに接続することによりネットワーク内の情報にアクセスすることが可能でありアクセス可能な領域が拡大する。なお、この際携帯端末側での切り替え作業など特別な操作は不要である。中腹部に堤防が存在することから翼壁部に降りた場合は反対側の樋門状況の把握は基本的には困難となるが、視界が遮られている中でも水位値及びカメラ画像による量水標等の把握が可能であれば、現場作業中の遠隔での監視が可能となり、省力化に繋がる可能性がある。

(2) 現地実証試験の概要

前節ではシステム開発検討について概説したが前報⁹⁾で示したように室内実験における機能確認にとどまっておき、実際の現地での計測機能や通信機能の検証がなされていなかった。そのため寒地土木研究所では札幌河川事務所の協力により、令和5年度から令和6年度にかけて現地実証試験を行った。厚別川A樋門において「短距離通信タイプ」、石狩川本川下流B樋門において「長距離通信タイプ」の試験設置を行うこととした。以下ではその試験方法について述べる。

まず、本システムで最も基本となる現地での無線通信機能を確認するため、対象とした各樋門において令和5年10月にWi-Fiルータを現場に仮設置した場合の通信機能の確認を行った。樋門観測員が作業中に移動する可能性のある箇所として、堤防道路上、階段上、スロープ上、翼壁周辺、上屋周辺などで実際にネットワークに接続し、水位値及びカメラ画像の表示確認を行った。通信機能の確認のためにはWi-Fiの電波強度（dBm単位：デシベルミリワット）や通信速度（Mbps単位）を計測する方法も存在するが、本稿では簡易的に電波強度を測定するこ



写真-1 現地試験におけるシステム設置状況（厚別川）

とで、各地点における通信機能の確認を行うこととした。

続いて、一定の長期間の現地観測については、令和6年1月から11月にかけて実施した。堤内、堤外側それぞれにおける設置状況の例を写真-1に示した。制御装置類は屋外用の収納ボックスにまとめて封入し、保護管を通じてケーブルにより圧力式水位計、USBカメラの接続を行った。また電源を供給するためのソーラーパネルを隣接させるように設置した。試験開始直後の冬期においては耐久性の観点による試験、夏期においては出水時の水位値及びカメラ画像の取得機能について確認を実施した。

3. 結果及び考察

(1) 無線通信機能に関する検討

ここではまず、現地における通信機能確認結果について述べる。図-3に示したのは、厚別川における(a)短距離通信タイプ、石狩川における(b)長距離通信タイプそれぞれの通信機能確認結果である。いずれも14箇所を設定し携帯端末のWEBブラウザ上で、水位記録及びカメラ画像を表示可能であるかの確認を行った。凡例はシステムの画面表示までに要する時間を表しており大まかには数値が大きいほど（緑に近い程）通信速度が早い。(a)短距離通信タイプにおいては、Wi-Fi親機を堤防天端上に設置しており、一定の見晴らしも確保されている。堤防道路上で樋門地点を中心として上下流方向に約50 mほどの距離を設定し、スロープ上、階段上などの地点で通信確認を行った。結果として通信速度に多少のばらつきは見られたものの、全ての箇所での通信は可能であった。Wi-Fiの電波強度は周辺の障害物に影響を受けるため、本地点においては見晴らしの良い堤防道路上で安定しており、周辺に障害物や壁が存在する翼壁やカルバート周辺でやや速度が低下するようであった。

(b)に長距離通信タイプの通信試験結果を示した。堤内側に親機、堤外側に中継器を設置し、本地点では樋門地点を中心として上下流方向に約100 mほどの距離を設定し、堤防道路上、翼壁周辺地点などにおいて接続確認を行った。本ケースにおいても通信速度に多少のばらつきは見られたものの、全ての箇所での通信が可能であった。



各番号の説明：①翼壁下流（堤外）、②翼壁上流（堤外）、③階段（堤外）、④堤防天端、⑤操作台下、⑥車止め、⑦階段（堤内）、⑧堤防天端中央、⑨堤防天端上流側、⑩カルバート付近、⑪階段下（堤内）、⑫スロープ、⑬スロープ（上流）、⑭呑口

(a) 短距離通信タイプ



各番号の説明：①吐口護岸（下流）、②吐口護岸（上流）、③操作台下流、④操作台上流、⑤操作台下、⑥堤防天端最下流側、⑦堤防天端下流側、⑧堤防天端中央、⑨堤防天端上流側、⑩堤防天端最上流側、⑪操作室前、⑫呑口、⑬翼壁下流（堤内）、⑭翼壁上流（堤内）

(b) 長距離通信タイプ

図-3 堤防の規模に応じた長距離通信・短距離通信ごとの通信試験結果（地理院地図に加筆して作成）

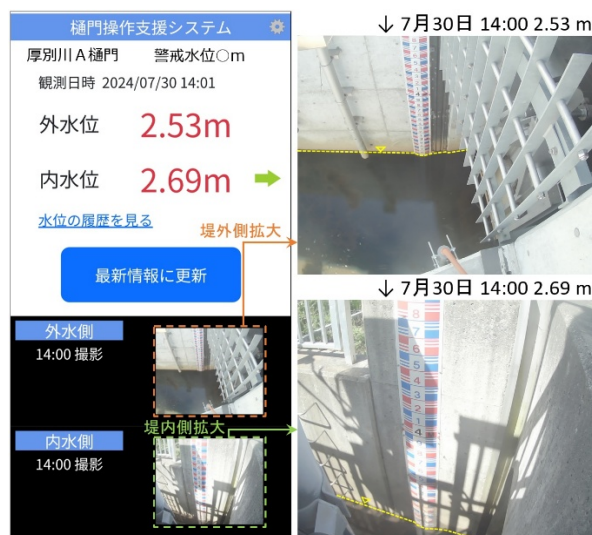


図-4 携帯端末上の表示画面のイメージ及び拡大写真

(a)短距離通信タイプの場合とは異なり、Wi-Fiルータ親機及び中継器の近傍で通信速度が安定しており、堤防道路上ではやや速度が低下することが確認された。本稿で紹介するシステムでは図-4のようにスマートフォン端末

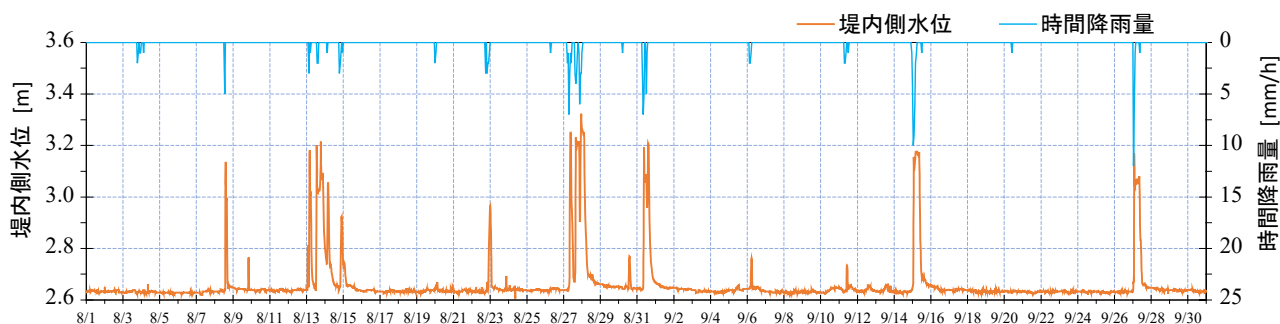


図-5 2024年8月～9月の水位記録及び雨量観測記録との比較



図-6 2024年8月31日～9月1日出水時における量水標周辺のカメラ画像記録

画面上に表示される情報は水位値とカメラ画像のサムネイルと最低限に絞ったものとしており、データ通信量を抑制する工夫を行っている。そのため周辺状況により通信速度が低下しても必要な情報の取得が、時間を要さず可能となるようにしている。

以上より、(a)、(b)いずれの設置方法についても、ある1地点で水位値の確認とカメラ画像の確認ができるため、移動回数と堤内・堤外間の移動にかかる労力の削減効果が期待できる。本稿では現地実証試験における2樋門の事例を示したが、樋門や周辺構造物の状況は多種多様である。本稿で例示したように現場作業や現地での移動範囲を想定しつつ通信機能の確認を行うことが望ましい。

(2) 水位計測及びカメラ画像取得機能に関する検討

本実証試験は冬期間である令和6年1月に開始したが低温環境あるいは凍結による故障等は確認されなかった。簡易な機器構成によっても一定の耐久性を有することが確認できた。続いて、令和6年度における出水時の計測機能確認について紹介する。令和6年度の観測期間においては対象とした厚別川や石狩川の周辺で被害が発生する程度の出水は発生しなかった。石狩川の設置箇所については潮汐による水位変動が主であり、出水時の明瞭な水位上昇等は確認できなかった。そのため、対象期間中にまとまった降雨のあった出水イベントに着目し厚別川A樋門地点での分析を行うこととした。一例として、図-5は堤内排水からの影響を受けやすい厚別川A樋門堤内側における出水期間中令和6年8月1日から同年9月30日までの水位計測結果である。合わせて気象庁より公表されている厚別雨量観測所の雨量記録を表示している。本地点では堤内排水により恒常的に概ね2.60～2.65 m程度の水位が計測されていた。8月8日、13日から14日、27日、31日、9月の15日及び27日にまとまった降雨がもたらさ

れ、いずれのイベントでも50～60 cm程度の水位上昇が確認された。

続いてカメラ画像取得機能について確認した結果を述べる。本システムの本来用途としては現地での携行端末上での水位値及びカメラ画像の迅速な表示を想定している。そのため、標準設定として不要なカメラ画像は一定期間後に自動的に削除することが可能である。一方本稿における現地実証試験においては、出水期間中を通じて適切にカメラ画像が取得されているかを確認するため、小型PCボード内にデータベースとして時系列画像が蓄積されるかの確認を行った。画像保存設定についてはプログラム中の初期設定で切り替えることが可能である。

図-6は対象期間中で比較的規模の大きかった8月31日から9月1日にかけての出水時のもので、31日の早朝から9月1日の早朝までにかけての水位変動状況を示したものである。図のように、水位上昇前(31日5:20)、水位上昇時(31日9:10)、水位下降時(31日13:10)、水位再上昇時(31日14:40)、水位減衰時(9月1日7:00)いずれの時刻においてもカメラ画像としての記録に成功しており、現地の量水標と水面の位置関係からしても良好な計測結果であった。

カメラ画像の確認にあたり画角・環境光等の状況によっては携行端末上で量水標画像が見づらい場合も想定されるため、スマートフォン上のWEBページのインターフェース上で対象画像をタップ(PCでのクリック操作に相当)し、またピンチイン・ピンチアウト(2本の指でスマートフォン画面のズームイン・ズームアウト操作を行うこと)で拡大縮小が可能となるようにした。図-6の結果は画角内の下部での水位変動状況を示しているが、本操作により量水標の判読は可能であった。

以上をまとめると、設置前に樋門周辺状況を踏まえつつ通信機能の確認を行うことで本設置時にも無線通信が



図-7 樋門監視システムの設置・運用マニュアル（案）の抜粋

可能となる。また、夏期出水期における継続した現地観測により、水位値の記録とカメラ画像の記録ができることを確認した。以上の実証試験結果をもとに、寒地土木研究所では本システムの設置・運用マニュアル（案）を作成した。図-7にマニュアル（案）における主要な部分の抜粋を示した。内容としては、冒頭でシステムを構成する機器や部品の基本的な仕様を取りまとめている。また、本稿で紹介した現地実証試験の様子を写真を踏まえて事例として示している。更に携行端末上で表示される操作画面の操作方法を簡単に紹介している。本マニュアル（案）を参照することで、他河川の樋門に設置及び運用する際の参考資料となることが期待される。

4. まとめと今後の展開

本稿では寒地土木研究所による現場操作支援タイプの樋門監視システムの開発について述べた。また現地河川における実証試験により基本的な機能確認を行った。水位計測や設置に先立って実施した通信機能の確認方法についても手順を例示しつつ紹介した。令和6年度に実施された現地実証試験では、降雨イベント時にも水位計測が安定して可能であったこと、同時にカメラ画像が取得されていることを確認した。

今後の展開としては、上記で紹介したマニュアル等も踏まえつつ、様々な河川現場への展開が期待される。そ



写真-2 河川事務所と連携して実施した行政機関向けの出前講座（令和6年12月）



写真-3 河川事務所と連携して実施した現地勉強会（令和7年12月）

他の取組として、寒地土木研究所では開発建設部及び寒地技術推進室が開催する現地講習会での話題提供や、現場事務所等との意見交換（写真-2）を継続的に実施している。また、本システムの現場実装例としては令和7年度に千歳川河川事務所において導入されたので紹介する。写真-3に示したのは、現地での合同勉強会として事務所総務課、計画課、工務課及び寒地土木研究所による設置状況の確認、無線通信機能の確認を実施した様子を示している。これらの取組の他にも、他事務所にて開催された水門等水位観測員技術指導会議への出席や話題提供を実施しているところである。

なお、別報⁷⁾にて報告している通り、一連の研究では現場ニーズを踏まえ観測員や管理職員等が遠隔地から樋門状況を把握することを可能となるよう設計した高機能型の「遠隔監視タイプ」も合わせて開発を行っている。本稿で紹介した現場操作の省力化に特化した「現場操作支援タイプ」と組み合わせることで、各地域事情や樋門観測員等の状況に柔軟に応じる形での実装が可能となったと考えている。

本システムの開発については、元々は寒地土木研究所に対する技術相談が契機となったものであるが、様々な事務所へのヒアリング・意見交換を通じて開発の方向性を定め、開発及び現地実証試験を実施したものである。少子高齢化が全国に先駆けて進行する北海道内において、今後も本システムに関係する技術的な普及及び展開に関する活動を継続することで、樋門操作における現場作業の省力化・効率化が実現することが期待される。

謝辞：本稿におけるシステム開発・技術的検討を進めるにあたり、北海道開発局をはじめ関係機関からは河川管理現場の観点より多くのご助言やご意見を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 佐藤武志, 村上泰啓, 日詰智之, 既設樋門の自動開閉ゲート化に向けた検討について, 第 57 回(2013 年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集, 安 33, 2014.
- 2) 一色秀敏, 経田千人, 小池俊夫, 釧路川における津波防災対策について—昭和樋門における樋門操作の遠隔化・自動化—, 第 57 回(2013 年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集, 安 32, 2014.
- 3) 平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会, 平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方～気候変動への適応により、命を守り国土の保全と発展へ～, [url: https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/ud49g7000000f010.html](https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/ud49g7000000f010.html), (2026 年 1 月 7 日参照).
- 4) 神原柚乃, 阿部孝章, 永長 哲也, 樋門操作支援システム開発に向けた課題抽出について—一文献調査と河川事務所ヒアリング結果の分析から—, 第 66 回(2022 年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集, 防災 14, 2023.
- 5) 阿部孝章, 神原柚乃, 永長 哲也, 大串弘哉, 樋門操作における現場支援のための簡易型水位計測システムの開発について, 第 41 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集, 14, 2023.
- 6) 阿部孝章, 神原柚乃, 永長 哲也, 堀田伸之, 樋門操作支援のための簡易型水位計測システムの開発と現地適用について, 令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会講演概要集, CS9-31, 2025.
- 7) 永長 哲也, 阿部孝章, 橋本拓弥, 樋門監視システム（遠隔監視タイプ）の開発と現場実装, 第 69 回(令和 7 年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集, 2026（投稿中）.