

十勝川下流における計測機を用いた 河川管理施設点検の有効性について

帯広開発建設部 池田河川事務所 計画課 ○林中 流星
大串 正紀
市川 嘉輝

池田河川事務所では、河川堤防や樋門等の河川管理施設について施設の機能・構造安定性に影響を及ぼす変状の有無を把握するため、出水期前に点検を実施している。点検方法は目視を主体としており、目視点検の結果から評価を行っている。

本報告では、常時水没している樋門函体内の状況把握や堤防の局所的な変状について、今年度試験的に実施した水中ドローン、UAVレーザ測量等の計測機を用いた点検の有効性について報告する。

キーワード：維持・管理、河川管理施設点検

1. はじめに

近年の集中豪雨の発生頻度の増加により、北海道においても洪水被害の発生が相次いでおり、H28年8月の出水では、十勝川流域において音更川、札内川の堤防が被災した。河川の氾濫や堤防決壊などの水害に対する防災・減災のためには河川管理施設の適切かつ継続的な維持管理が必要不可欠である。

河川管理施設の点検は一般的に出水期（または台風期）前に実施される。目視点検・変状写真の撮影、必要に応じてスケール等による計測が基本¹⁾であり、それらの結果から変状の評価を行う。しかしながら、樋門函体下部や常時水没状態の樋門など点検対象箇所によっては目視による点検・評価が困難な箇所や点検を実施するのに危険を伴う箇所が存在する。

本稿では池田河川事務所でも試験的に実施した水中ドローンによる常時水没状態の樋門函体内の状況把握、地中レーダー探査機を用いた樋門空洞化調査、およびUAVレーザ測量による調査の結果及びそれらの有効性について報告する。

2. 水中ドローンによる樋門函体内調査

(1) 水中ドローンについて

水中ドローンとは小型潜水ドローンの通称であり、遠隔で機体の操縦を行い、水中の人間が入りにくい場所の調査や観測、状況撮影等に活用されている無人機である。



写真-1 BlueRobotics社製 BlueROV2

表-1 BlueROV2機体スペック

機体スペック	
サイズ	L: 457mm
	W: 338mm
	H: 254mm
空気中重量 (バラスト含む)	10-11kg
最大水深	100m
観測可能流速	3.6km/時程度 1.0m/s程度
動画解像度	1080p デジタル
駆動時間 (専用バッテリー)	1時間~3時間

今回使用した機種はBlueRobotics社製（米国）のBlueROV2（写真-1）で、機体スペックは表-1に示すとおりである。水中ドローンの構成は図-1のとおりであり、操作は搭載されているカメラの映像を専用ソフトをインストールしたPCの画面を確認しながら行い、市販されているコントローラーを用いることが可能である。ただし実施には、ドローンの操作員のほか、ドローン本体の位置や障害物の目視確認、有線接続であることからケーブルの送り出し・巻き取りなどの補助を行う人員が必要となる（写真-2）。

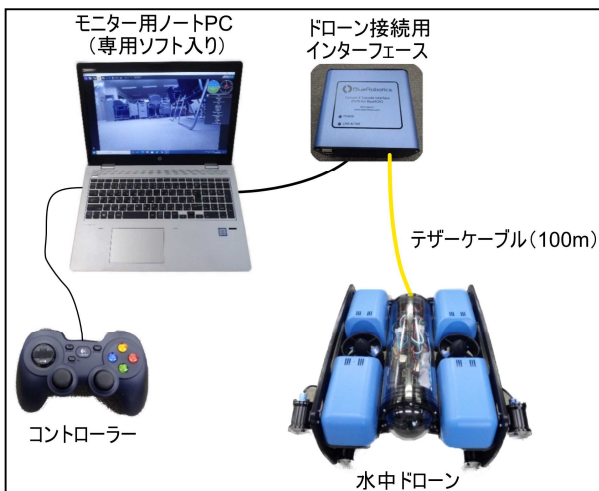


図-1 水中ドローン構成

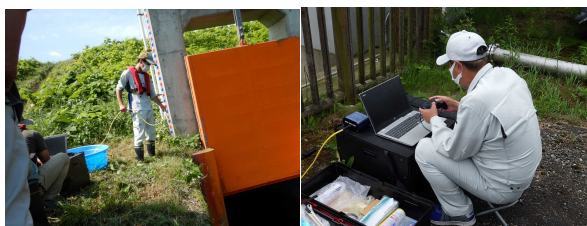


写真-2 水中ドローン実施状況 (操作員と補助員)

(2) 樋門函体内調査

水中ドローンによる樋門函体内調査は、池田河川事務所管内浦幌十勝川の愛牛樋門、豊北樋門及び浦幌川の朝日樋門を対象に実施した。上記3樋門は十勝川下流域の軟弱地盤上に位置しており、函体の不同沈下や継手の開きの有無などを把握する必要があるが、常時水没状態であり函内点検の実施が困難な樋門である。

調査結果としては、豊北樋門では変状は確認されなかったが愛牛樋門では函体側面部にジャンカ・すり減り (写真-3) が確認され、朝日樋門では函体頂版部のひび割れ (写真-4) が確認された。なお、各変状は早期の対応が求められる損傷ではないと判断された。

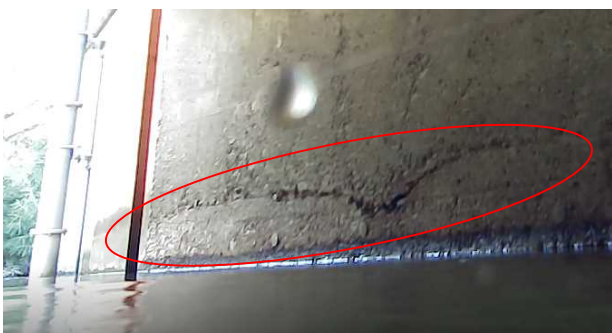


写真-3 愛牛樋門 函体側面のジャンカ・すり減り



写真-4 朝日樋門 函体頂版部のひび割れ

(3) 水中ドローンの有効性

水中ドローンを用いた施設点検の有効性について、以下に整理した。

①水中ドローンの利点

a) 省力化

常時水没状態の樋門などにおいて函体内の調査を実施するには水替え等の大規模な仮設工が必要だが、水中ドローンの使用により、それらが不要となる。

b) 安全性の向上

ドローンの操作や函体内の状況確認は全て地上での作業となるため安全に点検作業を実施できる。また、ダム等の湛水池や、水深の深い河川などの潜水士による調査が必要な箇所でも安全に調査を行うことが可能である。

②水中ドローンの課題

a) 調査可能範囲が限定的である

水中の調査では低透視度や高濁度の箇所では対象物を鮮明に記録することが困難である。なお、樋門函体内での大規模な変状は、函体上部で発生することが多いため、透視度や濁度の影響を比較的受けにくい。

また、流向に対して垂直移動しながら撮影する必要があるため、観測可能流速が1.0m/s以下程度と限られる。

b) 変状位置・規模の計測が困難

得られるデータは映像データのみであることから、変状の規模や位置については大まかな把握に留まる。

(4) 今後の適用性について

現時点での水中ドローンの活用方法としては、函体内の変状の有無を確認し、重大な破損または変状が確認された場合には、改めて詳細調査を実施することが望ましい。

水中ドローンへのGPSの装備 (機体オプション) やスケール入りの撮影などの取り組みが行われて始めており、今後は、より詳細な変状位置・規模の把握が可能になることが期待される。

3. 地中レーダーによる函体底板下空洞化調査

(1) 地中レーダー探査について

地中レーダー探査は、送信アンテナから地中に向けて電磁パルスを送信し、空洞や埋設物などの探査対象から反射してくる信号が受信アンテナに到達するまでの時間を計測し、対象物の範囲や位置を推定する調査方法である。

地中レーダーは機器の周波数により測定精度が異なり、周波数が高いほど高分解能の結果が得られ、測定精度は向上するが、電磁波の減衰が大きく探査深度は浅くなる。周波数が低くなると逆に、電磁波の減衰が小さくなるため、探査深度は深くなるが測定精度は低下する。また、鉄筋コンクリート構造物を計測対象とする場合は鉄筋に干渉し、部材内部に電波が伝搬しにくくなるという特徴がある。

地中レーダー調査によって得られた反射記録は、断面的に表示された画像(図-2)として見る事ができる。これは送信アンテナから発信し、地中で反射して戻ってきた電磁波の波形を多数並べて、振幅の強弱に濃淡を配したものであり、函体に空洞化が確認される場合は、図-2 赤囲み部のように黒色の鮮明な陰影として表される。

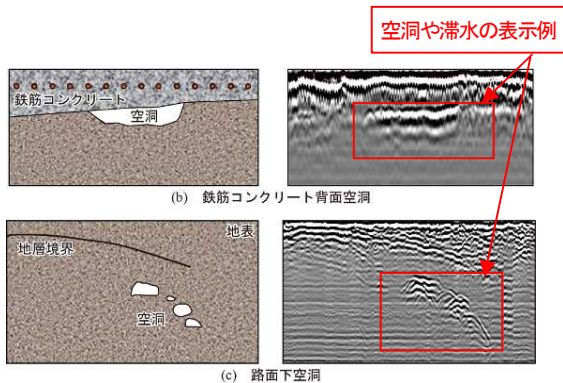


図-2 地中レーダー探査結果例²⁾

表-2 調査対象樋門

項目	①東台樋門	②農野牛樋門
河川名	十弗川	十勝川
完成年度	昭和42年	昭和57年
形式	剛構造 杭基礎形式(木)	剛構造 杭基礎形式
断面形状	1.2m×1.2m~1連	2.5m×3.0m~2連
空洞化対策の履歴	グラウト工 (平成16年)	未実施

(2) 調査概要

今回は表-2の2樋門を対象に函体底板下の空洞化調査を実施した。下記2樋門は十勝川下流域の軟弱地盤に位置している。ともに剛構造であり、供用から約

40-50年が経過し空洞化等の変状が懸念される施設である。空洞化対策工として東台樋門では平成16年度にグラウト工が実施されている。

今回の調査では、函体断面が小さく配筋ピッチが小さい東台樋門では高周波帯(800Hz)の機器(表-3右)を、函体断面が大きく、部材が厚い農野牛樋門は低周波帯(200Hz)の機器(表-3左)を使用した。調査概要は図-3に示す。また、表面水による乱反射による影響を抑えるため、水替工を施し調査を行った。

表-3 地中レーダー機器諸元

項目	仕様	
製品名/形式	 200HS アンテナ (50200 HS) GSSI社	 ユーティリティ・スキャンDF (SIR-DF) GSSI社
測定深度	最大21m (70ft) ※理想的な土壌条件の場合	数10cm~最大300~500cm
周波数	200MHz	300MHz及び800MHz
スキャンレート	400スキャン/秒 (512サンプル/スキャン時)	150スキャン/秒 (512サンプル/スキャン時)
データ分解能	32ビット (Radan7データ処理)	32ビット (Radan7データ処理)
ゲイン設定	1~8ポイント (-40~120dB)	1~8ポイント (-42~126dB)

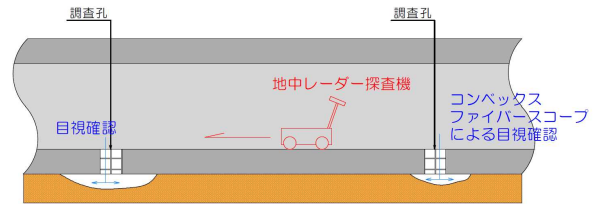


図-3 調査概要図

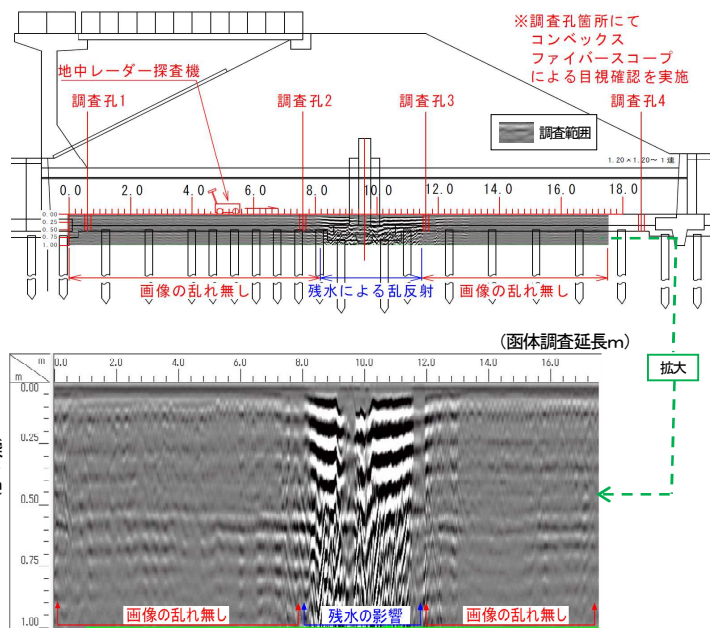


図-4 東台樋門 函体地中レーダー調査記録図

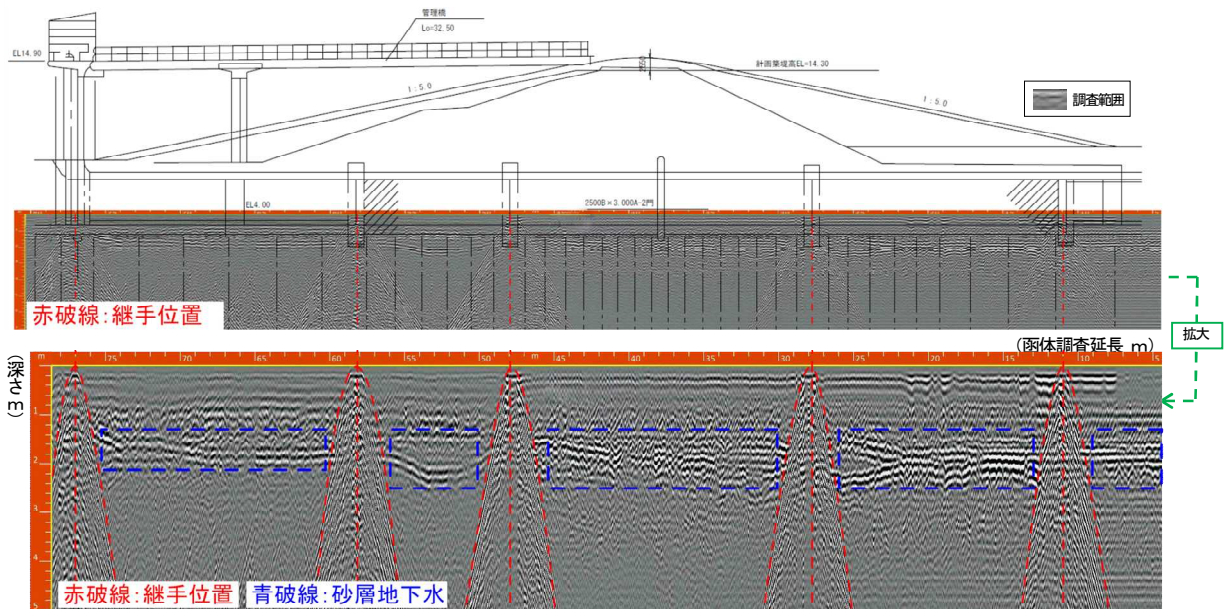


図-5 農野牛樋門 函体地中レーダー調査記録図

(3) 調査結果

調査結果について以下に施設毎に整理した。

① 東台樋門

図-4 に示す函体調査延長方向 1～8m 及び 13m～16m 以降については、図-4 の調査記録拡大図に示す通り函体下に明確な画像の乱れは確認されなかった。8m～13m 付近で波形に乱れが見られるが、これは水替工でも除去出来なかった函体中央部の不同沈下に伴う残水（水深 2cm 程度）の影響によるものであり、当該区間にあった調査孔からの目視観察では空隙は確認されなかった。これらによりグラウト工の流出等による空洞化は発生していないと推定した。

② 農野牛樋門

図-5 の調査記録図の拡大図に示す青破線部は、地下水に起因していると推察される波形の乱れが確認できるが、函体直下に明確な陰影がないことから、現時点で空洞化が発生している可能性は低いものと推定した。

なお、図-5 中の赤破線で囲った部分の山形波形は函体継手部（可とう継手の金属製プレート）が影響したものであると考えられる。

今回の調査では、いずれの樋門も函体周辺には明確な空洞化は発生していないものと推定された。

(4) 地中レーダー探査の有効性

以下に地中レーダーを用いた施設点検の有効性について以下に整理した。

① 地中レーダー探査の利点

a) 作業が容易

一般的な空洞化調査はボーリング調査とグラウトホール等調査孔からの観察により実施されるが、調査費用や期間が多大であったり調査孔内の地下水位

により調査孔の開閉が困難な場合がある。地中レーダー探査作業は短時間での調査が可能である。

b) 空洞化箇所等の位置推定が容易

機器を調査対象箇所上を通過させることで探査結果画像がリアルタイムでモニター上に表示されることから空洞化箇所等変状の位置推定が容易である。

c) 非破壊で広範囲の調査が可能

地中レーダー探査では機器が通過した範囲の結果を非破壊で確認可能であり、削孔などによる躯体への影響はない。

② 地中レーダー探査の課題

a) 函体内の流水による影響

今回使用した地中レーダーは、機器底面と地表面に 3cm 程度のクリアランスがある。本報告では、水深 2cm 程度の残水の影響により、図-4 のように残水面の乱反射により測定画像に乱れが生じた。この画像の乱れを完全に除去するには、完全排水またはクリアランスを小さくする等の対応が必要となる。

b) 底版下の地下水位の影響

電波の性質上、水中は電磁パルスの減衰が大きく、地下水位以下の深部の空洞は判別できない可能性がある。

(5) 今後の適用性について

地中レーダーは樋門函体の空洞化調査において、調査孔の観察等目視点検と併用などの調査方法の工夫で、面的な緩みや空洞化を推定することができる。樋門等施設の経年変化が進んでゆく中で効率的に維持管理を行うには、外観点検だけではなく、不可視部分の変状把握が重要である。今後同様の調査事例を重ね、適用性について検証する必要がある。

4. UAV レーザー測量による調査

(1) UAVレーザー測量による堤防天端高計測

堤防天端舗装以前の平成 28 年に実施された MMS の計測結果より局部的に堤防高が低いとされた十勝川左岸 KP22.0 付近を対象に UAV レーザー測量による堤防天端高の計測を実施した。堤防天端高の計測結果を縦断面図とし図-6 のとおり整理した。MMS で確認された堤防天端高が局部的に低かった箇所は、天端舗装後に実施した UAV レーザー測量により連続的に改善されたことが確認できた。また、堤防法面など面的な変状がないことを河川管理施設点検（堤防点検）で確認している。

なお、本調査方法は計測機器をUAVに搭載することで、急崖地や災害現場など立ち入りに危険の伴う箇所の計測が可能であり、現地で計測結果確認が可能であるため、災害時などに有効であり、今後の更なる活用が期待されている。

(2) グリーンレーザー測量について

レーザースカナは測定対象物にレーザー光線を照射し、レーザーが返ってくるまでの時間を測定し、距離に換算することで対象物の位置情報を取得する技術である。レーザー波長の概念図を図-7に示す。一般的なレーザースカナは波長905nmの近赤外線を用いるが、グリーンレーザースカナは波長532nmのモジュールを搭載しており、これまで計測が困難であった水面下への適用性が向上している。UAV搭載型グリーンレーザーの特徴は以下のとおりである。

- ・レーザー光が水に吸収されにくく、水中の河床まで計測可能（濁度等の条件による）※水面高も取得可能
- ・レーザー光が黒色に対する反射に優れるため、アスファルト表面の計測に有効

①グリーンレーザー測量の活用事例

本報告で用いた機械とグリーンレーザースカナの諸元を写真-5及び表-4に示す。

猿別川でR1年度に河道掘削を実施した箇所に対して堆砂範囲を確認するために、UAVグリーンレーザー測量を実施した。計測結果については、図-8に示すように平面図上に掘削直後と現況の河床高を重ねることにより明確に堆砂範囲を把握できた。なお、データ整理を加えることにより標高の三次元データを可視化し、堆砂状況をさらに把握しやすい資料を作成することが可能である。

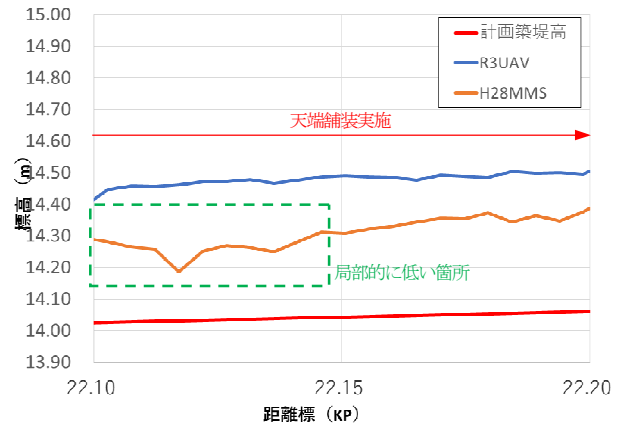


図-6 堤防天端高縦断面図（十勝川左岸KP22.0付近）

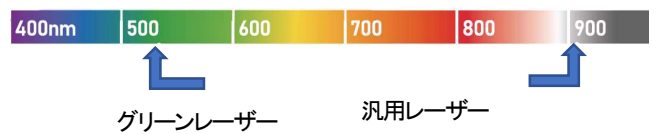


図-7 レーザーの波長



写真-5 グリーンレーザー搭載 UAV

表-4 グリーンレーザースカナ諸元

項目	製品仕様
製品名	 TDOT 3 GREEN
サイズ	W270 D230 H150mm 2.7kg(本体のみ/アンテナ除く)
最長測定距離	>=10% 158m
測距精度	>=10% ±15mm
視野角	90° (±45°)
スキャン速度	30走査/秒
レーダー波長	532±1nm
ビーム拡がり角	1.5mrad
作動温度範囲	0~40℃

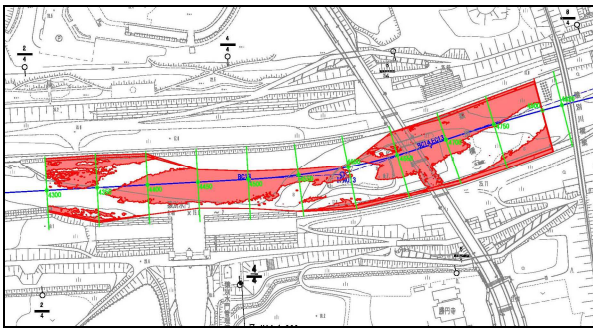


図-8 グリーンレーザー河道内計測結果 (猿別川)

② UAVグリーンレーザー測量の有効性について

UAV搭載型グリーンレーザー計測機器を用いた施設点検の有効性について以下に整理した。

②-1 UAVグリーンレーザー測量の利点

a) 作業効率の向上

水面下の地形形状を面的に測定できることから、従来の河川測量に比べ短期間での計測が可能である。従来の河川測量を実施した場合は、河川延長 $L=500\text{m}$ 、河川横断幅 200m 程度で12側線の河川測量の実施した場合、作図を含み実働7日間を要するが、グリーンレーザー計測を実施した場合は、上記同条件で実働3.5日で作業可能であった。

b) 河川維持管理への活用

陸部・水中部などの詳細な地形を3次元データで取得することができることから、河岸浸食の進行、深掘れ、堆砂状況などの把握、任意測線の抽出による河道変化モニタリングとしての活用、樹木繁茂の高さ・範囲・密度の把握による伐採計画への活用などが可能である。

②-2 UAVグリーンレーザー測量の課題

a) 水中部計測時の濁度及び水深

水中の計測は濁度と水深に大きく影響を受けるが以下の条件では計測可能であった。

・猿別川 濁度3.4 最大水深 $H=1.0\text{m}$ (写真-6左)

しかしながら、他事例では以下の条件で計測は不可能であった。

・利別川 濁度8.0 最大水深 $H=1.5\text{m}$ (写真-6右)

b) 天候

今回計測に使用したUAVは風速 4m/s 程度が飛行限界であり、雨天時や 0°C 以下及び 40°C 以上の気温では飛行不可のため調査が実施できない。また、風速が大きくなると計測機器自体にもぶれが発生し、精度が低下する。

c) 人体への影響

グリーンレーザー (532nm) は、網膜損傷や視神経損傷といった人体影響が懸念される。このため、DID

区域および第三者の存在が確認される場合など、計測作業時に制約を伴うことがある。



写真-6 計測時の河川状況

(左：猿別川 濁度3.4 右：札内川 濁度8.0)

③ 今後の適用について

UAVグリーンレーザー測量で得られる3次元データは河川管理施設点検への活用や河川維持管理の資料としても有効である。今後は得られたデータの利活用方法を確立する必要があると考える。

5. おわりに

本稿では十勝川下流域で実施した水中ドローン、地中レーダー探査、UAVレーザー測量による施設点検について報告した。激甚災害の発生頻度の増加や施設の老朽化が進む中で、河川管理施設の維持管理の重要性が増している。今回報告した計測機器の活用により効果的・効率的かつ安全な点検を実施することが可能である。今後もこれらの計測機器をによる調査事例を蓄積し、適用性について検証していくことは重要である。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領 平成31年4月
- 2) 社団法人 全国地質調査業協会連合会 防災・維持管理分野における物理探査の適用 平成19年8月