

水中ドローンを活用した配水池内の劣化調査における

有効性および業務活用の検討

株式会社 NJS ○武内宝巨 成田健太郎

本稿では、水中ドローンを用いて配水池内の調査を実施し、従来の調査方法と比較した際の有効性について考察するとともに、コンサルタント業務への活用について報告するものである。水中ドローン調査では、配水池を運用した状態であっても鮮明に躯体状況の確認が行え、従来の調査方法と比較して安全かつ効率的に池内の劣化状況を確認・評価できることを示した。さらに、水道施設の調査、点検および診断業務を見据え、水道施設における水中ドローンの調査点検に活用可能な範囲について考察した。水中ドローンの導入は、運転停止が困難な配水池や安全性の確保が求められる高所部等の調査において、特に効果が期待される。

Key Words : 水中ドローン、調査点検、劣化診断、予防保全

1. はじめに

水道施設では、多くの施設が高度経済成長期に建設され老朽化が全国的な問題となっている。近年は、頻発化している巨大地震等の自然災害による施設破損や漏水の発生、これら施設老朽化を要因とした施設停止等の二次被害の懸念が増しており、より一層点検調査の必要性が増大している。さらに、令和元年の水道法改正では、老朽化等に起因する事故の未然防止や水道水の安定供給の確保を目的として、水道事業者に点検を含む維持および修繕が義務付けられた。

一方、点検調査においては、施設規模によって多額の費用が必要なことに加えて、中小規模事業体において維持管理を担う職員不足も相まって、適切な点検調査が実施されていない現状にある。また、水槽構造物においては、池内の水を抜いて実施する抜水調査が基本となり、施設運用の観点から短期間での調査が求められるが、池内で十分な照明がないことによる転倒や転落等の安全上の懸念に加えて、仮設足場の設置や調査範囲によって長期間の調査日数を要するなど、多くの課題を有している。

このような状況を踏まえ、効率性や安全性、調査品質の向上、施設の利用制限を軽減できる調査方法として、水中ドローン技術を活用した水道施設の点検調査が望まれている。そこで本稿では、水中潜航と水上走行どちらも可能な水中ドローンを活用し、施設運用を停止せずに配水池内の調査を実施して、従来の調査方法と比較した場合の有効性を確認した。さらに、コンサルタント業務への水中ドローンの適用性について整理した。

2. 対象施設および調査方法

(1) 調査目的

本調査では、N 市が立案する水道事業中長期経営計画において、施設の老朽化対策や耐震化等を重点的に実施して水道施設の適切な予防保全を行う方針が示されており、これら計画（予防保全活動）の一環として配水池の劣化調査を実施するものである。

調査目的としては、N 市が所管する水道施設のうち、竣工から 30 年程度経過した配水池 2 池を対象に池内の劣化状況を把握する。さらに、劣化事象が確認される場合、適切な維持・修繕を実施して良好な状態に保つために、老朽化等に起因する事故の未然防止の観点から予防保全を図ることを目的に池内調査を実施するものである。

(2) 対象施設の特徴

対象施設は、N 市が所管する A 配水池および B 配水池である（表 1、図 1）。

A 配水池は、矩形 RC 構造で多くの柱や導流壁を有した複雑な施設構造であり、調査期間中の片池運転が可能な施設である。B 配水池は、単純な円形 PC 構造であるが、内壁や池底版に池内配管や付帯設備が設置されている。また、配水池容量の制約により配水池の運転停止が困難であるため、施設運用を継続しながら調査を行う必要がある。

表 1 施設概要

項目	A 配水池	B 配水池
竣工年度	平成 2 年（1990 年）	平成 2 年（1990 年）
構造形式	RC 構造（矩形）地上式	PC 構造（円形）地上式
形状寸法	L59.8m×B46.8m×H7.2m	φ24.0m×H10.0m
施設容量	12,500m ³ ×2 池	4,500m ³ ×2 池

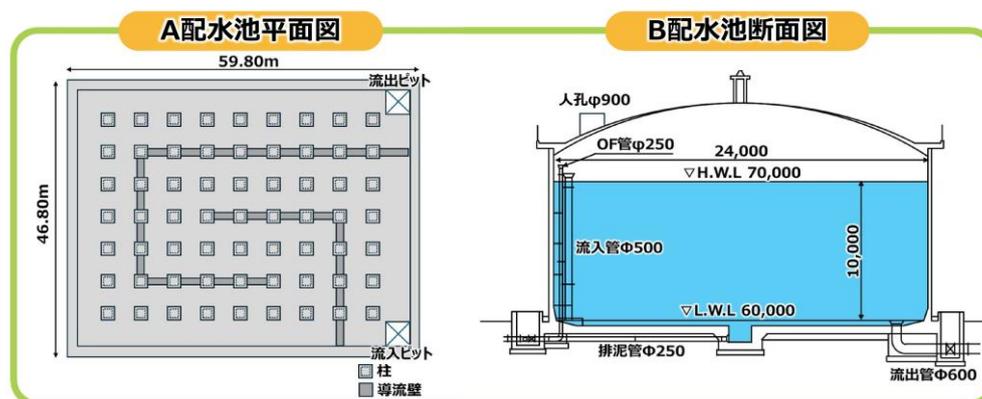


図 1 施設概要図

(3) 調査方法の概要

調査方法には、従来の調査手法として池内の水を抜き、仮設足場を設置して目視調査を行う抜水調査や、池内にボートを浮かせて気相部を対象に調査を行う水上ボート調査などがある。抜水調査については、池内の水をすべて抜く必要があるため、調査前の事前準備に時間を要するとともに、全体の水運用に配慮する必要がある。また、水上ボート調査では、調査前に池内の水位調整が必要となるが、抜水調査と比較して事前準備に要する時間は少ない。一方で、調査者が水上ボートから転落するおそれや調査範囲が気相部のみに限定されるといった特徴がある。

本稿で報告する水中ドローン調査では、池内の水位調整や機材の消毒を行う程度で、事前準備に要する時間が少なく、操縦者が池外から水中ドローンを遠隔で操作して実施するため、安全性を確保した調査ができる特徴がある。

(4) 水中ドローン調査の流れ

水中ドローン調査の流れを図 2 に示す。水中ドローンは池内に投入する前に機材本体および付属ケーブルを消毒し、付属ケーブルを使用して人孔等から投入する。投入後は、操縦者が池外から水中ドローンを遠隔で操作し、記録者が映像を目視で確認しながら劣化状況・位置（躯体のひび割れ、鉄筋腐食および塗装の剥がれ等）を記録して調査を実施する。調査終了時には、人孔直下に水中ドローンを移動・浮上させ、操縦者が付属ケーブルを牽引して回収する。その後、水中ドローンの撮影映像を確認して劣化部の評価を行う。

なお、A 配水池では水中ドローンを階段室から投入し、流入・流出弁を閉止して運転を一時的に停止したが、調査終了後に即日復旧した。また、B 配水池では水中ドローンを人孔から投入し、施設を運転停止せずに調査した。

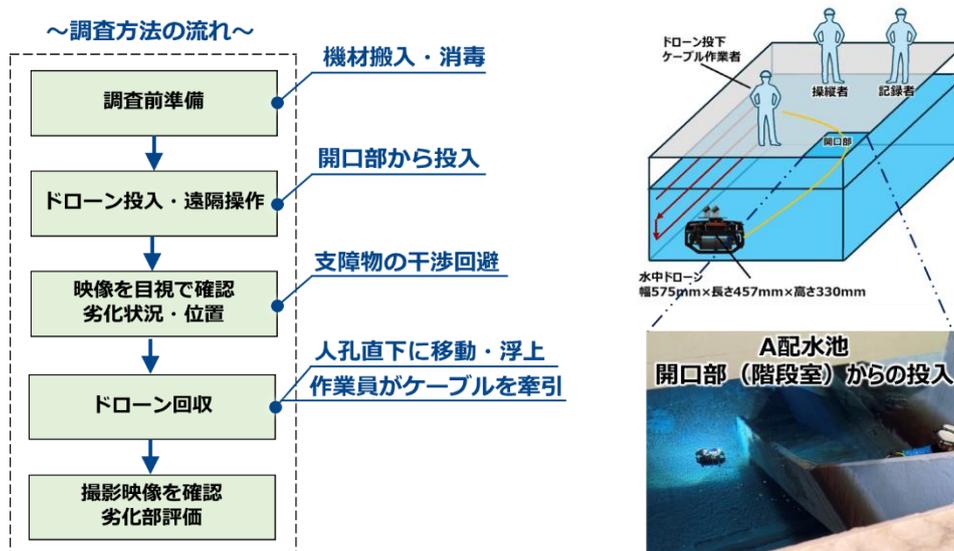


図 2 調査方法の流れ

3. 調査結果および水中ドローンの有効性

(1) 調査結果

本調査では水中ドローンを活用したことで、両配水池ともに水中・気相部ともに鮮明な撮影映像を取得でき、頂版部や側壁、底版部において防水塗装の剥離、ひび割れ、漏水跡、配管腐食等の劣化損傷を確認した(図3)。なお、A配水池においては、過年度に水上ボートによる気相部の目視調査を実施しており、両調査における目視調査結果に大きな相違はみられなかった。これらを踏まえて、水中ドローン調査は従来の調査方法と同等以上の調査品質を得ることが可能であることを確認した。

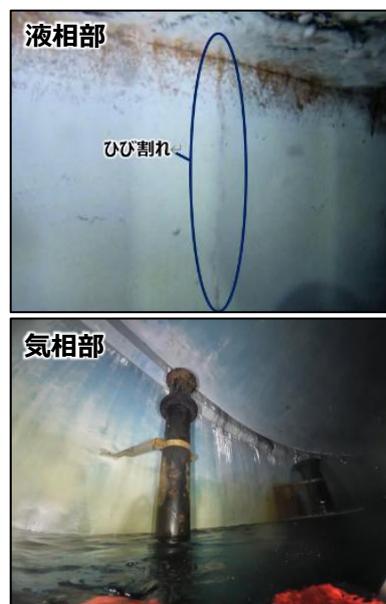


図3 調査写真一例

(2) 有効性の検討

水中ドローン調査の有効性に関する検討結果を表2に示す。水中ドローン調査では、従来の調査方法と比較して、足場やボートを使用せずに高所部の目視確認ができるため、安全かつ効率的な点検調査が可能となる。また、連続した撮影映像を記録することで、現地において調査が終了した後でも劣化部の状態確認が可能であるため、劣化損傷の見落としや調査者による判断のばらつきを抑えることができる。さらに、抜水調査が困難な施設運用の制約下において、水中ドローンを活用することで従来の調査方法と同等以上の調査品質で現状把握が可能となる。一方、水中ドローン調査の課題として、ひび割れ幅の正確な計測や軽微なコンクリートの浮きなど、確認困難な損傷については、必要に応じて抜水調査やAI診断等の他技術を併用することで補完する必要がある。

表2 配水池内における従来の調査方法に対する水中ドローンの有効性

項目	抜水調査	水上ボート調査	水中ドローン調査
調査範囲	・池内全範囲を調査可能 ○	・気相部のみ調査可能 △	・池内全範囲を調査可能 ○
調査時間	・足場の設置撤去に要する時間が長い △	・機材搬出入に要する時間が短い ○	・機材搬出入に要する時間が短い ○
効率性	・抜水充水作業が必要 ・足場組立作業が必要 △	・抜水充水作業の水位調整が必要 ・足場設置が不要 ○	・抜水充水作業が必要 ・足場設置が不要 ◎
安全性	・高所から転落する恐れがある △	・水上ボートから転落する恐れがある △	・陸上で操作するため安全である ○
調査品質	・ひび割れ幅や軽微な損傷の確認が可能 ・調査結果の再確認が困難 △	・ひび割れ幅や軽微な損傷の確認が可能 ・調査結果の再確認が困難 ・水中部の損傷確認が困難 △	・ひび割れ幅や軽微な損傷の確認が困難 ・調査結果の再確認が容易 ・連続撮影による確認漏れ防止 △
経済性	・足場の設置撤去費、清掃費が必要 △	・水上ボートのみで安価 ○	・水中ドローンのみで安価 ○

4. 水中ドローンの実務への活用範囲

水道施設の維持・修繕の実施にあたっては国土交通省から「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン（令和 5 年 3 月）（以降、ガイドラインと呼ぶ）」が公表されている。本章では、ガイドラインに規定されている水道施設の点検を含む維持・修繕に関する事項のうち、コンサルタント業務において水中ドローンを活用できる水道施設や調査可能な点検項目、活用にあたっての適用条件について整理を行い、実務への活用範囲を検討した。

(1) ガイドラインの概要

ガイドラインは、水道施設の維持・修繕において水道施設の運転管理・巡視・点検・修繕・清掃など多岐にわたる事項で構成されるが、水道施設の状態を確認し、その後の修繕等に繋げるという重要な役割を担う「点検」について重点的に記載されている。

ガイドラインに示される水道施設の分類別（機械・電気設備等の設備類は除く）の点検種別・点検頻度、点検項目、点検・調査方法に関する概要を表 3 に示す。

表 3 水道施設における分類別の点検内容

項目	コンクリート構造物・建築物	水管橋・添架管	管路
点検種別 点検頻度	<ul style="list-style-type: none"> 初期点検（改修・供用開始時） 日常点検（数週間～数カ月に1回程度） 定期点検（5～10年に1回程度） 臨時点検（偶発的な外力発生時） 緊急点検（事故や損傷が生じた時） 	<ul style="list-style-type: none"> 初期点検（供用後2年または早期実施） 定期点検（5年に1回程度） 臨時点検（偶発的な外力発生時） 緊急点検（事故や損傷が生じた時） 	<ul style="list-style-type: none"> 初期点検（改修・供用開始時） 日常点検（数週間～数カ月に1回程度） 定期点検（5～10年に1回程度） 臨時点検（偶発的な外力発生時） 緊急点検（事故や損傷が生じた時）
点検項目	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れ、剥離、損傷等の確認 鉄筋露出、腐食、破断有無の確認 漏水有無の確認 補修跡の異状の確認 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート部材の劣化、損傷の確認 支承部の機能障害、ボルトの腐食の確認 漏水有無の確認（管体、伸縮部、空気弁） 防食機能（塗装）の劣化の確認 補修跡の異状の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 継手（漏水等）の確認 管内外面の状況確認 管体の残存厚確認 管内水（水圧、水質）の確認
点検・調査方法	<ul style="list-style-type: none"> 目視点検 ドローン調査 書類に基づく点検調査 コア、はつりによる破壊調査 ハンマーによるたたき試験調査 	<ul style="list-style-type: none"> 目視点検 ドローン調査 触診、打音調査 書類に基づく点検調査 ハンマーによるたたき試験調査 	<ul style="list-style-type: none"> 目視点検 自走ロボット、ドローン調査 触診、打音調査 書類に基づく点検調査 掘上管調査

(2) 調査可能な水道施設および点検項目

ここでは、ガイドラインに示す水道施設のうち、取水から配水における一連の水道システムの中で重要な役割を担うコンクリート構造物を対象に、水中ドローンを活用可能な点検項目について整理した（表 4）。

整理方法としては、施設内へ水中ドローンを投入可能で、運転時に設備類や構造物等の支障物が少なく高度な操作技術を要さない施設を「適用可能（○）」、施設内への水中ドローン投入が可能ではあるが、施設構造が複雑かつ設備類等が多く高度な操作技術や既存施設に影響を及ぼす可能性が高いと判断される施設を「施設状況によって適用可能（△）」として分類した。また、施設内へ水中ドローンの投入が不可能、もしくは投入可能であっても構造上、水中ドローンを操縦できない井戸等の施設では「適用不可能（×）」と評価した。

表 4 点検項目に対する水中ドローンの適用性

点検項目	取水施設			貯水施設	導水施設		浄水施設			配水施設
	取水堰・門 取水管渠	浅井戸 深井戸	沈砂池	ダム	導水渠	原水調整池	着水井	沈殿・ろ過池	浄水池	配水池
漏水有無の確認	△	×	△	△	△	△	△	△	△	△
補修跡の異状の確認	△	×	○	△	△	○	○	△	○	○
鉄筋露出・腐食有無の確認	△	×	○	△	△	○	○	△	○	○
ひび割れ・損傷等の確認	△	×	○	△	△	○	○	△	○	○

○：適用可能 △：施設状況によって適用可能 ×：適用不可能

(3) コンサルタント業務への活用範囲

維持・修繕に関する主なコンサルタント業務としては、ガイドラインに示される事項のうち、調査や点検、診断、補修（耐震補強）が対象になり得るが、水中ドローンを活用できる事項としては、調査および点検が該当する。

水中ドローン調査の適用条件は、調査対象の原水水質（濁度）がよく、施設内へドローンを投入可能で運転時に設備類や構造物等の支障物が少なく高度な操作技術を要さないことが条件となる。コンサルタント業務における適用範囲は、ガイドラインに示される事項の調査等を実施可能な浄水池や配水池を主として水中ドローン調査を活用できる。また、着水井やろ過池等では、施設停止や設備の配置によって調査が可能と考えられるため、施設状況に応じて適用可否を検討する必要がある。さらに、運転停止が困難な配水池や安全性の確保が求められる高所部等の調査においては、特に水中ドローン調査の活用効果が期待できる。

(4) 水中ドローンの留意事項

水中ドローン調査における留意事項としては、池内において配管や付帯設備などの支障物が配置されている施設も多いため、一定の操作技術を有する技術者の確保が必要である。また、水中ドローンを付属するケーブルが設備や構造物等に絡まり、回収が困難になることも想定されるため、施設の構造的な特徴を踏まえた上で、調査を行う必要がある。

水中ドローンでは、撮影映像からの軽微なひび割れの見落としなど、記録者の技術レベルによる調査精度のばらつきなどの発生が考えられる。これらの対応策としては、AI を活用した劣化損傷の画像診断の適用等が考えられるが、今後の AI 技術の発展性も含めて検討していく必要がある。

5. おわりに

本稿では、水中ドローンを活用した池内の劣化調査を行い、従来の調査方法と比較した有効性等について考察するとともに、水中ドローンの導入効果について述べた。また、ガイドラインに示される内容を踏まえて、水中ドローン調査のコンサルタント業務への活用について考察した。今後、老朽化施設が増加する中で、適切な予防保全を遂行していくために、水中ドローンの積極的な活用を期待する。

【参考資料】

- 1) 国土交通省：水道法の一部を改正する法律（平成 30 年法律第 92 号）の背景・概要
- 2) 国土交通省：水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン（令和 5 年 3 月）