

D X を取り入れた用水路（管水路）の機能診断調査

伊東 啓人

はじめに

現在、我が国の農業水利施設は、ダムや頭首工、揚排水機場等の点的な基幹的施設が約7,600箇所、基幹的水路が約5万km、末端水路までを含めれば40万kmという膨大な資産を形成している。それらは、戦後から高度経済成長期にかけて集中的に整備されてきたことから、近年は老朽化が進み、とくに管水路における突発事故の発生件数が増加傾向にあり、適切な管理と予防保全の促進が重要となっている。

一方、当該施設の多くは、その管理が地元自治体や土地改良区に委ねられ、人的資源に制約がある中で、施設状態の把握等が十分行き届かない状況も見られている。

そのような状況に対応するための手段の一つとして、デジタル技術が注目され、農業水利施設の管理の分野でも、人員不足に対応したより効率的な施設管理の実現につながるものと期待されている。

表題のDX（デジタルトランスフォーメーション）とは、「企業などがデジタル技術（AI、IoT等）を活用し、業務プロセスの改善に加えて、製品やサービス、ビジネスモデルそのものを変革するとともに、組織、企業文化、風土も変革し、競争上の優位性を確立すること」とされる。

例えば、農業水利施設の維持管理の分野では、DXによる施設管理の効率化に向けて

- ① UAV、ロボット技術、ICT技術の活用
- ② 施設に関する情報の蓄積とAIの活用

などが考えられる。

本報では、国営畑地帯総合土地改良パイロット事業によって造成されたパイプラインについて、施設の適切な機能保全とライフサイクルコストの低減を目的とする機能診断調査において上記①を取り入れ、

機能診断調査の効率化をねらいとした取り組み事例を紹介する。

1. 調査対象地区及び対象施設

機能診断調査は、国営畑地帯総合土地改良パイロット事業小清水地区（昭和53年度～平成18年度）で造成された用水路（管水路）のうち、配水系のパイプライン9条、L=49.1kmを対象とした（表-1）。

表-1 対象施設

区分	貯水池	頭首工	用水路	排水路
小清水地区	1箇所	3箇所	421.5km	9.1km
機能診断対象施設	—	—	49.1km (9条)	—

小清水地区は、北海道東部に位置する斜里郡小清水町、斜里町及び清里町の約12,900haを受益とし、小麦、ばれいしょ、てんさいを主体とした畑作地帯である（図-1）。



図-1 位置図

対象施設のパイプライン9条は、ファームポンドを起点とする樹枝状配管（クローズド形式）、管種はダクタイル鋳鉄管が大半で一部FRPMを含む。



図-2 対象路線位置図

口径はφ1,200～200mmで、総延長は約50kmに及ぶ規模である（図-2）。

2. 機能診断調査の内容と課題

(1) 機能診断調査の内容

本業務における機能診断調査の内容と各調査の目的を表-2に示す。

現地踏査は、漏水等の異常に係る路線上の地盤状況の確認と制水弁や空気弁などの附帯施設の状態の確認を目的として全量調査（通年利水であるため、管内調査は除く）を行い、その結果と前回の機能診断調査結果を踏まえて定点調査地点を選定した。

現地調査（定点調査）は、パイプラインの水密

性評価のために漏水量調査及びコンクリート構造物の性能評価のためにファームポンド等のコンクリート調査を行い、現地踏査結果と併せて健全度評価及び機能保全計画を策定するものである。

(2) 調査における課題

本地区の機能診断調査（現地踏査・定点調査）にあたっては、対象施設の規模・構造や水利用条件から、次の課題があった。

【現地踏査の課題】

- ・調査対象の総延長は約50kmにのぼり、その範囲は広域に及ぶため、全線を対象とする現地踏査における作業の効率化と精度確保の両立。
- ・業務の工程上、現地踏査は8月上旬頃までに終える必要があったが、パイプラインが埋設されている農地にはばれいしょ等の作付けが行われており、農地への立ち入りが困難な中での調査。
- ・本地区は通年取水のため、ファームポンドの完全落水ができない条件下での水槽内面の調査実施。

【現地調査（定点調査）の課題】

- ・通年利水のため、漏水調査時の利水停止は限定される。短時間（1時間程度）の利水停止の条件下での漏水調査手法の選定。

表-2 調査内容と目的

調査項目	調査内容	目的
現地踏査	施設点検	附帯施設(制水弁、空気弁等)の変状有無、作動状況等の確認
	路線踏査	路線上の漏水痕跡や法面崩落等の異常有無確認
	FP内部調査	FP内部のコンクリートの状態確認(遠隔目視)
現地調査 (定点調査)	漏水量調査	管水路の水密性の定量評価
	コンクリート調査	コンクリートの定量評価(圧縮強度、中性化深さ、ひび割れ幅等)

※ FP:ファームポンド

3. DXを取り入れた機能診断調査

課題への対応策として、DXの視点から表-3に示す技術を取り入れた機能診断調査を実施した。

表-3 調査項目と取り入れた技術

調査項目・内容	取り入れた技術	期待する効果
現地踏査		
施設点検	(1)ナビゲーションシステム	作業の効率化
路線踏査	(2)空中ドローン(UAV)	作業の効率化、管理資料として活用
FP内部調査	(3)水中ドローン	作業の効率化、水利用への影響低減
定点調査		
漏水量調査	(4)管内圧力遠方監視装置	作業の効率化、調査精度と安全確保

(1) 用水路管理支援システム(既存)とナビゲーションを用いた施設点検(作業の効率化)

現地踏査にあたり、本地区で整備されている用水路管理支援システム(以下、「支援システム」という)を活用し、Google Earthと組み合わせてナビゲーションシステムを構築することで路線位置の確認及び付帯施設等へのアクセスを容易にし、作業の効率化を図った。

1) 用水路管理支援システムの特徴

管水路の維持管理は、日々の利水管理に加えて、管水路の漏水事故や不具合への即応が重要である。

支援システムは、施設の位置情報に加え、構造、管種やメーカー、施工業者の情報など多くの情報を内包する。

本システムは、①施設情報の保管及び迅速な情報検索ができること、②改修工事記録等の追加情報を容易に現状データに反映させられることが可能、といった特徴を有する。

支援システムの基本的な機能は、施設管理平面図(1/5,000地形図)(図-3)、地図情報(GIS)、路線情報(座標)、縦断情報、作工物情報、受益者名簿、用水系統・連絡体制図、受益区域位置図のデジタル情報の保管と表示・出力である¹⁾。路線情報は、パイプラインの中心線(IP)座標や付帯施設情報(座標・諸元・施工情報)が格納されており、CSV形式にてアウトプットが可能である。この情報を活用することで、効率的にナビゲーションシステムの作成が可能となった。

2) ナビゲーションツール

ナビゲーションシステムの作成には、ナビゲーションツールとしてGoogle Earth Proを用いた。本ツールは、ナビゲートとルート検索の機能を有し、衛星画像、航空写真、2D及び3Dの地図にアクセスできる(図-4)。

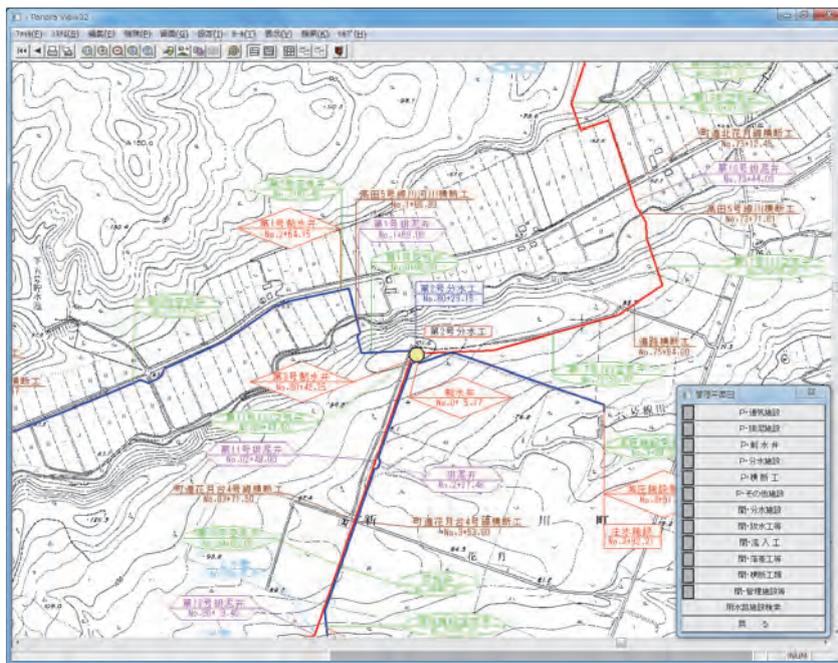


図-3 支援システムの施設管理平面図



図-4 Googleマップルート検索画面

また、他のアプリケーションからの地理データのインポート、情報レイヤーの追加及び地理的な領域の分析が可能である。

作成したプロジェクトは、他者との共有が可能であり、データは「kmzファイル」で保存される。

3) 支援システムとナビゲーションツールを組み合わせたナビゲーションシステムの構築

現地作業における移動の効率化と位置情報の精度向上を目的に、既存の支援システムの位置データ（附带施設及びI P座標）と施設情報をGoogle Earth Pro（又はGoogleマップ）に表示するとともに、現在地から施設までの経路のナビゲーションを可能とするナビゲーションシステムを構築した。

ナビゲーションシステムの作成手順を以下に示す。
手順1：支援システムに登録されているデータ（表-4）をCSV形式で保存する。

- ・中心線（I P）座標
- ・附带施設情報（施設名・測点・座標・種別・規格・使用圧力・製造業者・施

工年度)

手順2：手順1のCSVファイルをGoogle Earth Pro等での取り込みが可能なkmzファイルに変換する。

手順3：kmzファイルをGoogle Earth ProやGoogleマップに取り込み、パソコンやスマートフォンで表示する（図-5）。

4) ナビゲーションシステム導入の効果

ナビゲーションシステムの導入により、附带施設の現地踏査では以下に示す効果が認められ、作業の効率化に寄与した。

- ・不案内な土地でも、ナビ機能を使用して最適ルートで移動できた。
- ・他の施設との相対的な位置関係の理解を助けた。
- ・附带施設の基本情報は、スマートフォンにより容易に確認できた（図面等の膨大な紙媒体での確認作業が不要）。
- ・植生が繁茂する状況でも施設の確認を容易とした。

表-4 Google Earth ProにインポートするCSVデータ

名称	X座標	Y座標	No.	施設名	測点	X座標	Y座標	種別	規格	使用圧力	製造業者	施工年度
BP	-25,377.019	21,003.697	1	(緊急遮断弁)制水弁	No.0+84.13	-25,384.897	20,999.944	制	800 緊急遮断弁	7.5	(株)〇〇	2003
23-1	-25,377.304	20,999.436	2	東野FP通気スタンド	No.0+85.52	-25,386.283	21,000.037	ソ				2003
23-2	-25,415.269	21,001.976	3	小清水分水工管理用道路横断工	No.2+94.40	-25,434.344	20,823.630	横				2003
24	-25,424.459	20,864.583	4	国道391号道路(1)横断工	No.5+78.35	-25,443.576	20,541.751	横				2003
25	-25,437.491	20,810.593	5	永井(1)排泥弁	No.6+36.20	-25,433.157	20,484.847	排	300 水道用仕切弁	10.0	〇〇(株)	2003



図-5 Google Earth Proナビゲーション画面

(2) UAVを用いた現地踏査（作業の効率化）

1) 概要

本地区の管水路（とくに配水系）は、その路線の多くが農地内に埋設されており、従前、全線を対象とする路線踏査では、地表の状況を確認するため農地に立ち入る必要があった。

現地踏査は、本業務の工程上8月上旬頃までに完了する必要があったが、この時期は作付作物の収穫前であり、農地に立ち入ることは困難であった。この場合の対応としてUAVを用いて上空からの地表の状況確認を試みた。なお、この現地踏査は、収穫後に徒歩による現地踏査も併せて行った。

UAVの飛行には、前出の支援システムの中心線座標を活用し、あらかじめ座標入力によりルート設定を行い、自動飛行で安全かつ確実な管上飛行を行った。フライトは、航空法におけるカテゴリーⅠ（非特定飛行）の分類で、レベル1飛行（目視内）に該当する。また、国道等の幹線道路横断部や高压電線周辺の飛行は行っていない。UAVの飛行高度は80m、カメラは4500万画素（静止画サイズ8192×5460）、約30m間隔で空中写真の撮影を行い、撮影画像を合成して連続した踏査図を作成した。踏査図には、中心線や附帯施設の旗上げを行い、次回機能診断や施設管理のための参考資料としての活用を念頭に整理した（図-6）。

2) UAV導入の効果

- ・管上地盤の状況や附帯施設の位置確認に十分な解像度が得られた。

- ・地上踏査では確認の難しいほ場内の状況を含め、全線に亘って同レベルで状況把握を可能とした。
- ・UAVを用いた調査の所要日数1日に対して、徒歩で行った調査は4日程度を要し、地上踏査に比して作業の所要時間が短縮した（表-5、写真-1）。
- ・線的構造物として連続した画像を記録でき、踏査図や位置図等として利用できる。
- ・次回以降の調査でも同様のルート設定による飛行が容易で、同一の画角と精度の調査により経年変化の把握精度の確保が期待できる。

表-5 現地踏査の所要時間

区分	所要時間
UAV	1日
飛行時間	50(km) ÷ 10(km/hr) = 5hr
準備時間※	3hr (19フライト)
徒歩	4日 [50(km) ÷ 4(日) ÷ 8(hr) = 1.6(km/hr)]

※ 移動、UAV準備、バッテリー交換等



写真-1 UAV飛行状況

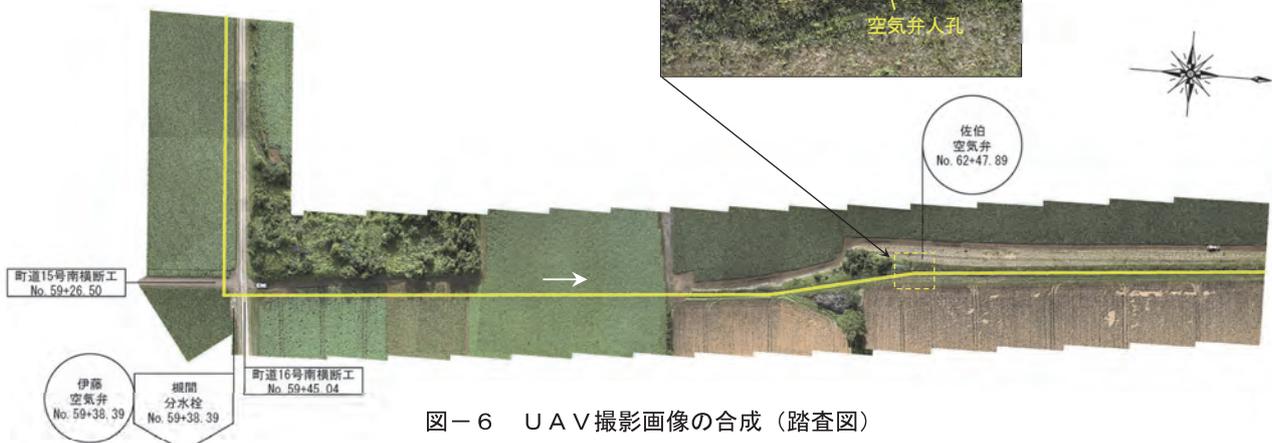


図-6 UAV撮影画像の合成（踏査図）

(3) 水中ドローンを用いたファームポンド水槽内の調査（水利用への影響低減）

1) 概要

本地区の用水路は、通年利水であり、ファームポンドを完全に落水し調査を行うことができない条件だった。

調査対象のファームポンドは2槽構造であり、上記の制約から1槽は落水して水槽内で目視調査を行い、もう1槽は落水せず、水中ドローンを用いて調査を行った（写真-2、写真-3）。なお、水中ドローンの操作は、「水中ドローン安全潜航操縦士」保有者が行った。

本調査で使用したドローンの特徴は以下のとおりである。

- ・有線で機体とコントローラーを接続し、水中で百メートル程度離れた位置まで走行可能であり、写真や動画の撮影ができる。
- ・コントローラーと接続したモニタでカメラ映像を確認しながら操作が可能である。
- ・レーザースケイラーの搭載により、動画や写真撮影の際に併用（照射）することで、変状幅等を定量的に把握することができる。



写真-2 使用した水中ドローン

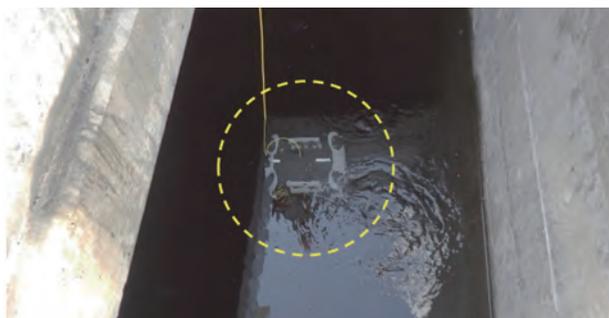


写真-3 水中ドローン使用状況

2) 水中ドローン導入の効果

水中ドローン導入による効果としては、以下が挙げられる。

- ・ファームポンドの水槽内の水を落水することなく、ひび割れやジャンカなどコンクリートの変状や目地部の変状を確認できた（写真-4）。
- ・ファームポンド底部の堆砂状況を確認できた。
- ・人の侵入が難しい管内（FP流入口付近）に進入し、管体や制水ゲートなどの状況を確認できた（写真-5）。

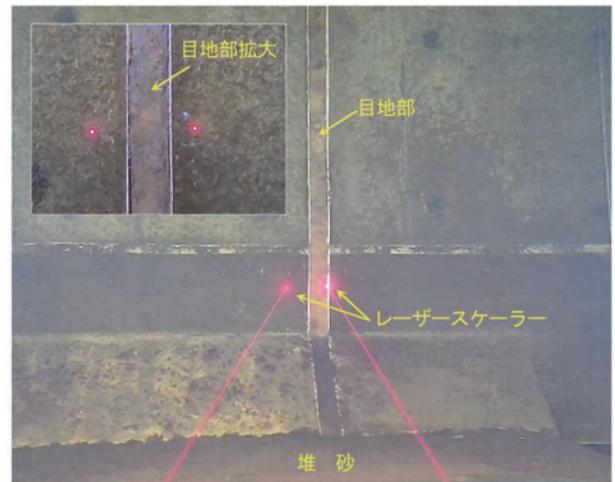


写真-4 目地部の状況

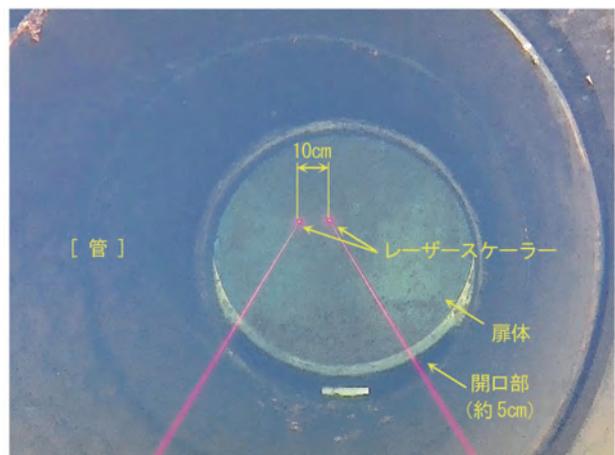


写真-5 FP流入管と制水ゲート扉体の状況

(4) ICTを活用した遠方監視装置による漏水量調査（調査精度と安全確保）

1) 概要

パイプラインの漏水量調査は、その精度を確保するため、基本的には利水を停止して行うのが一般的である（利水量と漏水量を区別）。前述のとおり、本地区は通年利水のため、利水を長時間停止することが困難である。発注者及び施設管理者と協議した結果、利水停止は、正午からの1時間及び夕方15時からの1時間の計2時間とした。

漏水量調査にあたっては、この条件に加えて、下記条件にも留意し、精度確保のため管内圧力の低下量から漏水量を算定した。

電気式圧力計（写真－6）は、各路線の低位部にある空気弁工（排気弁）に設置し、1分間隔で管内圧力の計測を行い、遠隔監視装置（ロガー内蔵）（写真－7）に接続してデータサーバーへ送信し、サーバーを経由してデータを取得した。

- ・ファームポンドの水面積は1,140㎡（1槽）である。
- ・ファームポンドと接続して漏水量調査を行った場合、許容減水量²⁾から算定される各路線の1時間あたりの減水深は、0.1mm～3mmである（水位計の測定精度は1cm程度）。

本業務における漏水量調査では、充水状態のまま制水弁でファームポンドと分離し、管内に自由水面が現れない状態でその後の減水圧を測定する方法を適用した。



写真－6 管内圧力計設置状況（空気弁工）

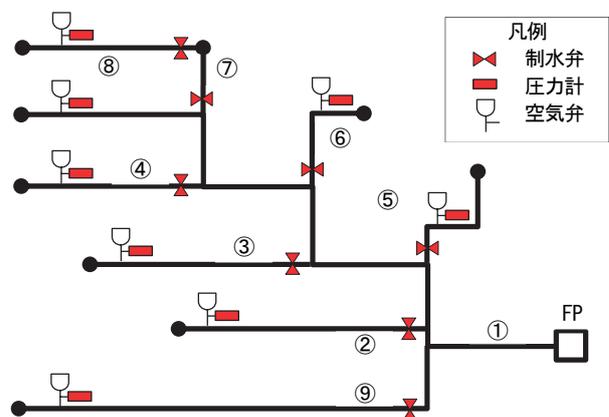


写真－7 遠隔監視装置設置状況

2) 遠隔監視装置の導入目的と特徴

管内に自由水面が現れた場合は、管内の多くが空虚となることを防止するため（再充水に時間を要する）、即座に制水弁（図－7）を開操作して、管内を静水圧に回復する必要がある。

遠隔監視装置は、常時監視と異常値発生時の即応化を可能とするシステムで、図－7に示す圧力計の計測値を連続的に取得するとともに異常発生時には携帯電話にアラームを発するところが特徴である。



図－7 対象路線の系統模式図

3) 遠方監視装置導入による効果

遠方監視装置の導入による効果は以下のとおりである。

- ・時間・場所を問わず、インターネット経由で計測データを取得・確認出来るため、遠方においても状況に即応が可能。

- ・計測データの送信間隔を遠隔で変更できるため、現場状況に合わせた観測・監視が可能。
- ・夜間なども現地に行かずに連続した観測・監視が可能。
- ・計測データは任意の期間を指定してCSV形式で取得できるため、詳細なデータ分析が可能。

まとめ

現在、農業水利施設の維持管理にあたり、その膨大なストックに対して農業関係者の高齢化や管理要員不足が進んでいる。この対応としてデジタル技術を活用した施設管理の効率化が求められており、今回、広域に配置されたパイプラインの機能診断調査においてDXを導入した効果として以下が確認できた。

- ①Google Earth Proを利用したナビゲーションシステムでは、目的地までの移動と施設情報の確認作業を容易にし、作業の効率化を図ることができた。支援システムは、日常の施設管理に加えて、機能診断調査においても有用なツールとして活用できる。
- ②UAVは、作付けされている圃場内に立ち入ることなく管上の状況を高解像度で確認することができた。
- ③水中ドローンは、通年利水のため、ファームポンドの落水が困難な状況下でも十分な精度で水槽内面の情報が得られた。
- ④遠方監視装置は、漏水量調査において多地点の情報のデータ収集と異常発生時の即応が可能であり、作業の効率化と安全性を確保できた。

昨今のデジタル技術の進歩は日進月歩で、今回取り入れた技術以外でも、例えばサーマルカメラ（温度変化による地表漏水判定）やグリーンレーザー（水中のレーザー測量）を搭載したUAV、GPS機能を搭載した水中ドローン、AI等の活用が想定される。今後もこれらのDXに係る技術の利用によるさらなる機能診断調査（農業水利施設の維持管理）の効率化と調査（管理）精度の向上を目指したい。

謝辞

本報は、網走開発建設部よりご発注いただきました業務の成果の一部を報告したものです。

本業務のご発注により貴重な経験の場をご提供下さいました網走開発建設部並びに機能診断調査の実施にあたり多大なご協力とご助言を賜りました斜網地域維持管理協議会の関係各位には、ここに記して御礼申し上げます。

最後に、本稿提出の機会を与えて下さいました（一社）北海道土地改良設計技術協会各位に謝意を表します。

（㈱アルファ技研 事業部 課長（技術士））

引用文献

- 1)（一社）北海道土地改良設計技術協会：パソコンを利用した水管理支援システム開発について、報文集 平成9年度 第11号 P.4
- 2)土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」令和3年6月 P.560