

農業用水路の機能診断調査におけるDX活用実証について

株式会社ユニオン

山下 祐磨

溝部 美幸

豊田 政幸



目次

- ▶ 1.M用水について
- ▶ 2.DXについて
- ▶ 3.M用水におけるDX活用実証について
 - ▶ (1) DX活用実証業務の概要
 - ▶ (2) DXを活用した調査の結果
 - ▶ (3) DXを活用した調査の評価
 - ▶ (4) 定期点検等への実用に向けての課題
 - ▶ (5) 将来的に解決を目指す課題
 - ▶ (6) 現時点での効果
 - ▶ (7) DX実用に向けての今後の取り組み（案）
- ▶ 4.まとめ

1. M用水について

M用水路は郡上市白鳥町越佐～大和町万場に設置

昭和39～42年：蓋付開水路区間

平成10年頃：開水路(東海北陸自動車道付近)

平成20年：管渠区間

問題点

M用水路は蓋付開水路区間 (L=2.3km) が長く、内部に侵入しての調査を行うのが困難である。

課題

狭小空間に対応したドローン（照明+超高感度カメラ付き）にて水路内を飛行撮影し、動画及び3Dデータを生成することにより、劣化状況を調査するための基礎資料を作成する。

DX活用実証



<蓋付開水路>

B : 800~1,400

H : 600~1,300

L=2,310m

<管水路>

H P 管 Φ 700

L=213m



2. DXについて → デジタルトランスフォーメーションの略称

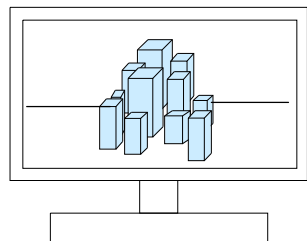
- 企業が外部エコシステム(顧客、市場)の劇的な変化に対応しつつ、内部エコシステム(組織、文化、従業員)の変革を牽引しながら、第3のプラットフォーム(クラウド、モビリティ、ビッグデータ/アナリティクス、ソーシャル技術)を利用して、新しい製品やサービス、新しいビジネスモデルを通して、ネットとリアルの両面での顧客エクスペリエンスの変革を図る事で価値を創出し、競争上の優位性を確立すること。(総務省)

AI(人工知能)、5G、仮想現実、AR(拡張現実)等の
デジタル技術を生活やビジネスに組み込む事による変革

建設DXで用いられる技術例

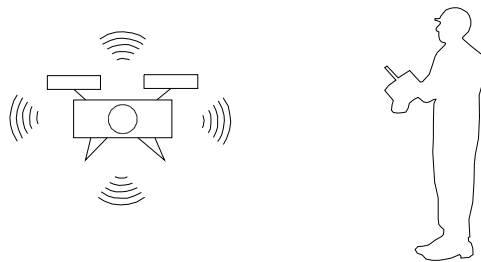
BIM/CIM

計画、設計、調査に
3Dモデルを導入



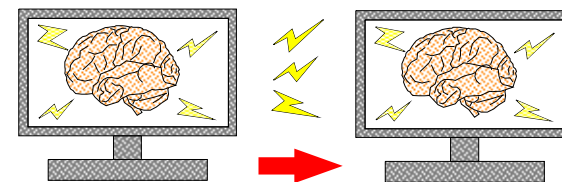
ICT技術

建設機械の遠隔操作、
ドローン、ロボット等



IoT、AI技術

IoT、AIによる技術の継承



3. M用水におけるDX活用実証について

(1) DX活用実証業務の概要

・ M用水路の2箇所について、調査を実施した

調査範囲①

- ・ 現場打鉄筋コンクリート(蓋付)開水路
- ・ B1200mm×H700mm
- ・ 昭和39年～42年に設置

調査範囲②

- ・ 管渠
- ・ HPΦ700mm
- ・ 平成20年に内面補修が実施されている



調査範囲① 点検方法

- ・ドローンをグレーチング箇所から搬入し、約60m区間を飛行撮影する。
- ・その後Uターンし、搬入箇所から搬出する。
(総飛行距離 = 約120m)



調査範囲② 点検方法

- ・ドローンをグレーチング箇所から搬入し、約60m区間を飛行撮影する。
- ・その後Uターンし、搬入箇所から搬出する。
(総飛行距離 = 約120m)



・使用するドローンの特徴

狭小空間専用ドローン・メリット

1. 小型 (191×179×54mm、185g)

- ・落下しても施設に影響なし
- ・狭小空間でも飛行可能

2. 高感度 (LED照明 + 超高感度カメラ)

- ・ FullHD(1920×1080pix)
- ・ フレームレートは60fps(Frame per second)
- ・ LED照明は高効率で飛行への影響なし

7. 記録性

- ・ 動画データを解析し、点群化と3D化が可能
- ・ データを1枚のオルソ画像化が可能
- ・ 過去のデータと比較し、定量的な判断が可能



3. バッテリー性能

- ・ カートリッジ式で扱いが容易
- ・ 1本6分程度飛行可能(現場には20本持参)

6. 操作性

- ・ 目視外飛行(FPV)が可能
- ・ ドローンだけを暗所内に投入し撮影可能

5. 効率性

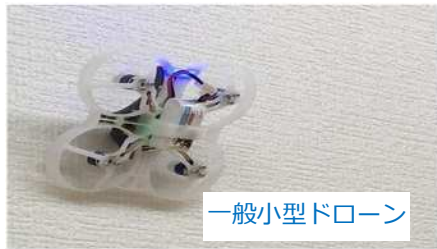
- ・ プロペラは効率がよく静穏性が高い
- ・ プロペラからモータの熱を排出可能
- ・ 壁面に吸い寄せられにくい。

4. 防塵性

- ・ 耐久限界が長い(1000時間)
(一般的なモータは100時間程度)
- ・ 粉塵環境でも使用可能

・使用するドローンの特徴

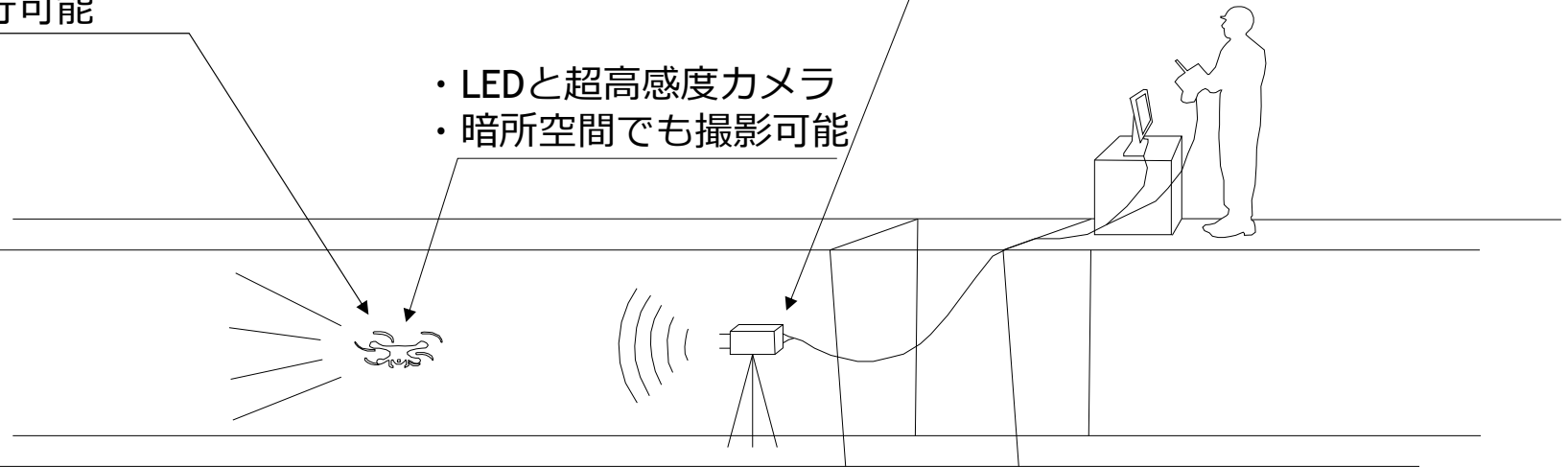
- ・小型で狭小空間でも安定
- ・6分程度飛行可能



- ・壁面に吸い寄せられにくい。

- ・LEDと超高感度カメラ
- ・暗所空間でも撮影可能

- ・目視外飛行(FPV)可能
- ・ドローンだけを暗所内に投入して撮影

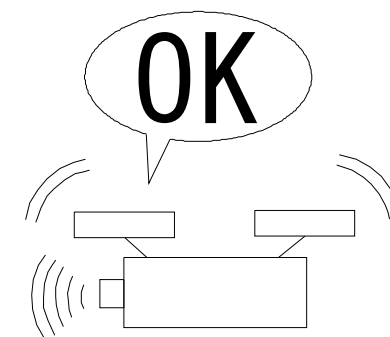
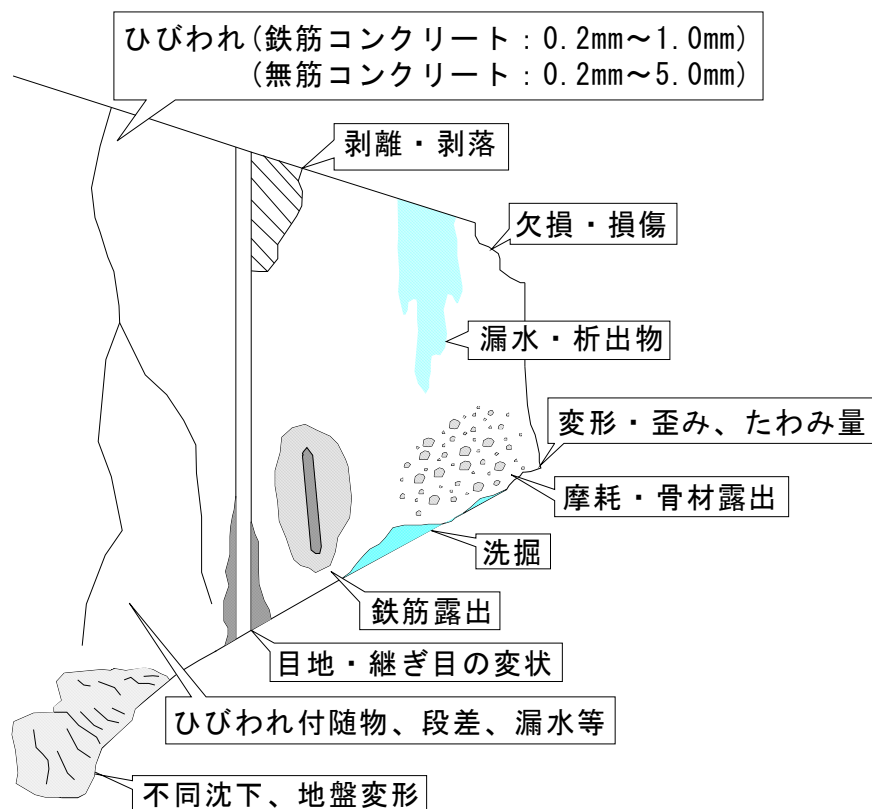


使用するドローンの性能は、M用水路の蓋付水路区間を調査するのに適していると判断し、調査を実施した。

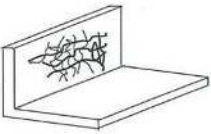
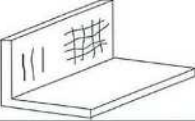
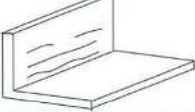
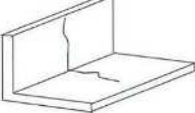


・ 定点調査における ドローンで取得した画像に求められる性能

コンクリート水路の診断に求められる画像の取得精度は主に以下のとおり

- ①ひびわれの計測精度
- ②ひびわれによる劣化状況の把握
- ③ひびわれ以外の劣化状況の把握
- ④変形・歪み
- ⑤欠損・損傷
- ⑥不同沈下
- ⑦地盤変形
- ⑧目地の変状
- ⑨継ぎ目
- ⑩洗掘
- ⑪たわみ量



ドローンで取得した画像に求められる性能

| ひび割れタイプ | 外観変状の特徴 | ひび割れ原因 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| ①不規則なひび割れ  | コンクリート硬化中に網目状ひび割れが発生 | 骨材の泥分 |
| | 比較的短めの微細ひび割れ（打設後早期） | セメントの異常凝縮 |
| | 乾燥ひび割れより大き目の網目状ひび割れ ひび割れ中心より120度の角度に3本のひび割れが発生 | アルカリ骨材反応 硫酸塩鉱物の成長 |
| | 微細な網目状ひび割れ 微細な網目状ひび割れ、剥離・剥落 | 養生中の急激な乾燥 凍害 |
| ②直線状又は方形状のひび割れ  | 鉄筋部分で、鉄筋方向に直線状または方形状のひび割れが発生 | 中性化 塩害 |
| | 錆汁を伴うことが多い | |
| ③水平方向のひび割れ  | コンクリートの沈降により発生 | 急激な打込み |
| | 局所的な引張りひび割れが発生 打込みを中断した時の不連続面に発生 | 型枠の早期脱型、沈下 コールドジョイント |
| | 壁高が高い場合、壁中段に水平ひび割れが発生 | 温度応力の発生 |
| ④横断方向ひび割れ  | スパン中央に規則的に発生 | 温度応力の発生 乾燥収縮 (以上は前表参照) |
| | 不同沈下により目地部に段差が生じている場合は、目地部周辺にもひび割れや欠損が生じる | 不同沈下 |
| ⑤斜め方向ひび割れ  | 打込みを中断した時の不連続面に発生 | コールドジョイント |
| | 右記の原因でも、現場の条件によってひび割れが斜めに発生することがある | 急激な打込み 温度応力 型枠の早期脱型、沈下 不同沈下 |
| ⑥目地付近のひび割れ・欠損  | 横断目地付近のひび割れやコンクリートの剥落、欠損 | コンクリートの温度膨張 コンクリートの不十分な充填 漏水による目地部浸食 不同沈下による段差 |

| 健全度ランク | S-5 | S-4 | S-3 | S-2 | |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------|
| 形状と幅 | タイプ: 初期ひび割れ 形状: 目地間中央や部材解放部の垂直ひび割れ 原因: 乾燥収縮・温度応力 | 最大ひび割れ幅 0.2mm未満 | 最大ひび割れ幅 [0.2~0.6mm] 0.2~1.0mm | 最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上 | S-3に該当するものが全体的 |
| | タイプ: 劣化要因不特定のひび割れ 形状: 特徴的な形状を示さないひび割れ 原因: 症状が複合的であり劣化要因を特定できないもの | 最大ひび割れ幅 0.2mm未満 | 最大ひび割れ幅 [0.2~0.6mm] 0.2~1.0mm | 最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上 | S-3に該当するものが全体的 |
| | タイプ: ひび割れ先行型ひび割れ 形状: 格子状・亀甲状などのひび割れ 原因: ASRや凍害などの劣化要因 | 最大ひび割れ幅 0.2mm未満 | 最大ひび割れ幅 [0.2~0.6mm] 0.2~1.0mm | 最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上 | S-3に該当するものが全体的 |
| | タイプ: 外力によるひび割れ 形状: 側壁を横切るような水平もしくは斜めのひび割れ 原因: 構造物に作用する曲げ・せん断力 | 最大ひび割れ幅 0.2mm未満 | 最大ひび割れ幅 [0.2~0.6mm] 0.2~1.0mm | 最大ひび割れ幅 [0.6mm以上] 1.0mm以上 | S-3に該当するものが全体的 |
| タイプ: 鉄筋腐食先行型ひび割れ 形状: 鉄筋に沿ったひび割れ 原因: 中性化・塩害 | 無 | | 有 | S-3に該当するものが全体的 | |

『農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」』p.57より引用

・ S-4評価とS-3評価はひび割れ幅**0.2mmを境界**として区分される

・ その他の損傷は、**目視確認できる規模**のもので識別する



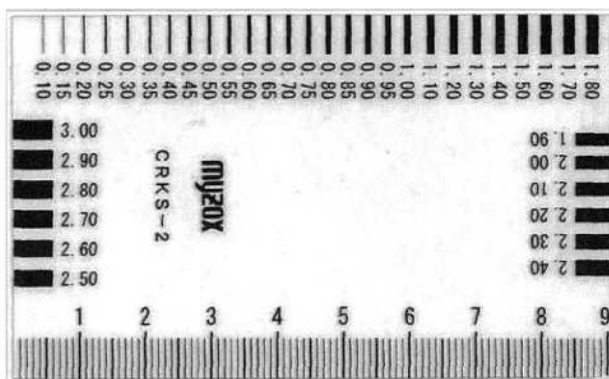
・ これらの損傷を確認可能か、**ドローンの性能確認**を実施する

・ 検証

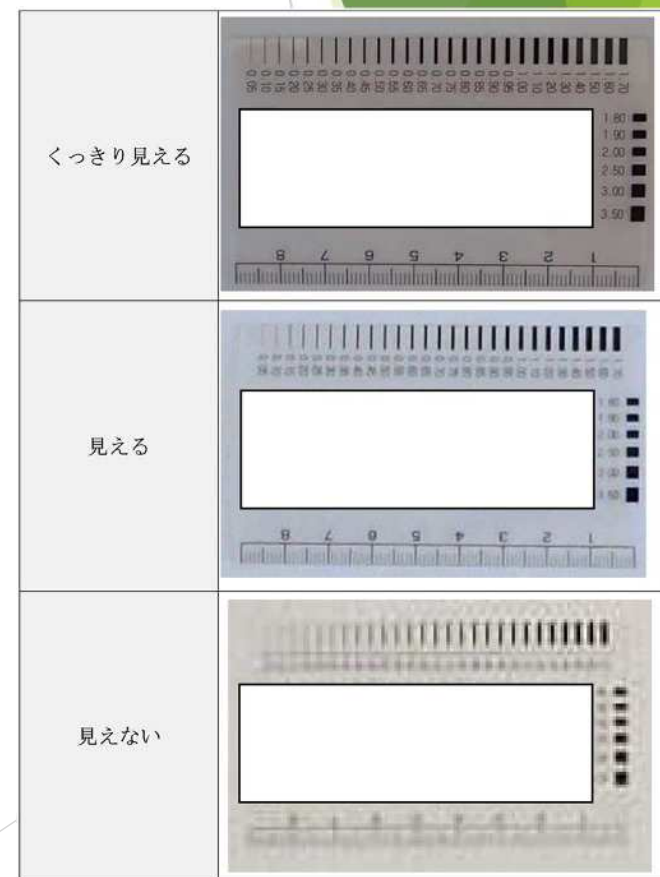
暗渠の侵入口付近にクラックスケールと視認性確認マークを貼り付け、ドローンによって撮影を行う。

(1) クラックスケール

- ・ クラックスケールの0.2mmのひびわれが確認できる動画（画像等）が取得できるか検証を行う。



クラックスケール



・ 検証

(2) 視認性確認マーク

①色

- 黒 : ひびわれの識別
- 灰 : コンクリート等の識別
- 白 : 析出物（エフロレッセンス等）の識別
- 褐色 : 土砂、堆積物、錆等の識別
- 赤褐色 : 錆、腐食等の識別
- 緑 : 苔、植物、汚れ等の識別

②大きさ（損傷の識別）

- 1cm程度
- 5cm程度
- 10cm程度



視認性確認マーク
(1辺: 1~10cm)

・調査

小型ドローンによって暗渠内60mの動画撮影を行う

①撮影状況、捜査状況等確認



②撮影動画の視聴
損傷状況を把握する



③3Dデータの作成



④3D化したサンプルを確認する



現場見学会

- ・ 県庁と県内の各農林事務所の方々にDX活用実証について、現場見学会を行い、ドローンの性能と蓋付開水路内の調査状況について説明を行った。



(2) DXを活用した調査結果

・視認性

調査範囲①

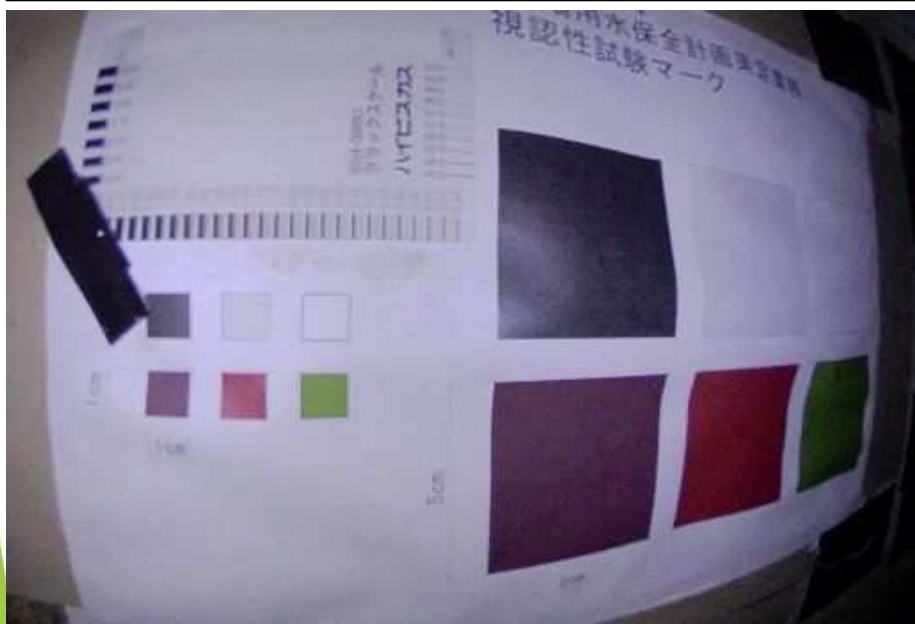
調査範囲②

(1) クラックスケール

- ・0.2mm程度のひびわれを判別できる画像の取得は不可能であった

(2) 視認性確認マーク

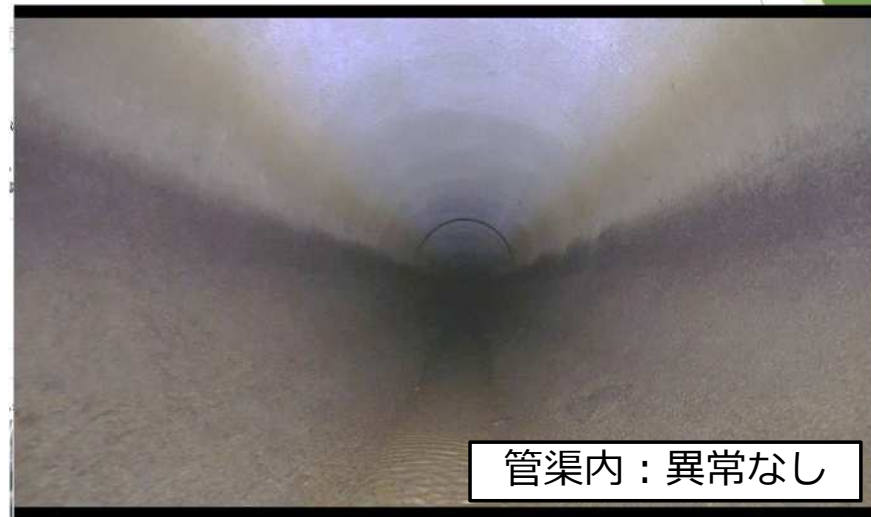
- ・黒～緑の識別は可能であった。
- ・1cm程度の大きさであっても識別が可能であった。



・ 動画データ

動画データ結果

- ・ **水路内部の状況を確認することが可能**であった。
- ・ **欠損、剥離、漏水等の損傷を確認することは可能**であった。

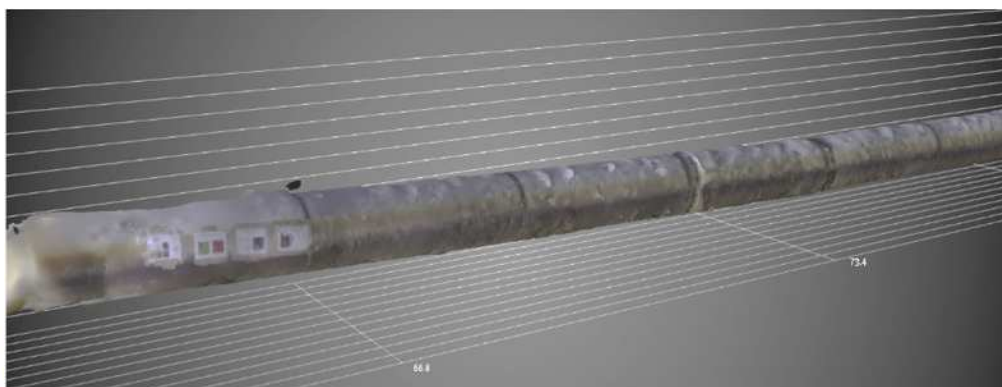
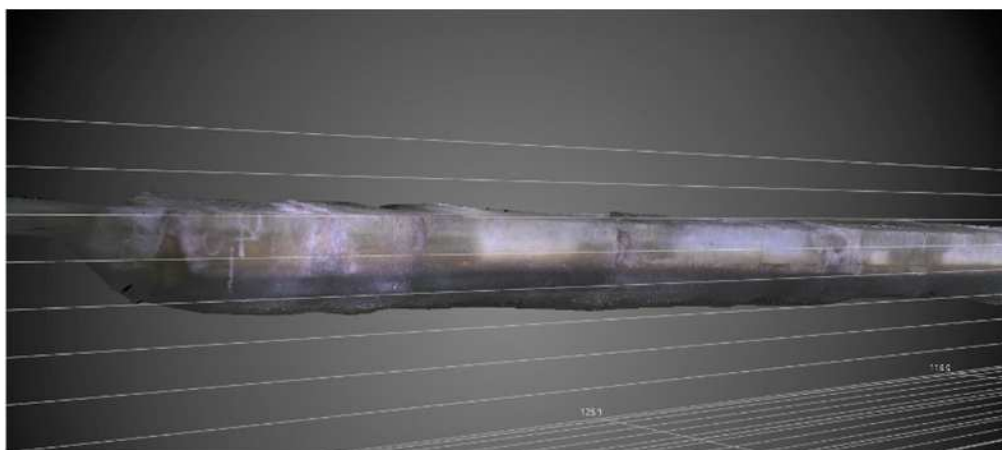


- ・ 照明を用いても**十分な光量は得られず**、ドローンのカメラは**水路の底版等の部位を確認する事が出来なかった**。

- ・ フルHDの動画であっても、**0.2mm程度のひびわれは確認する事が出来ず**、**静止画を撮影することが出来ないため**、**解像度は低い**。

・ 3Dデータ作成

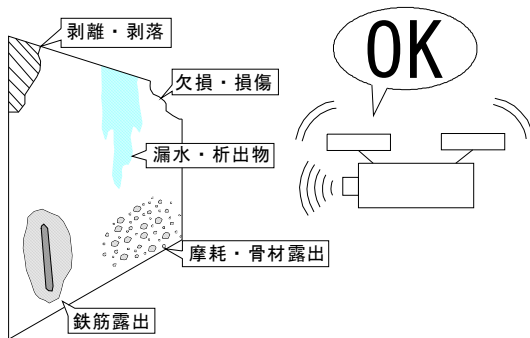
ドローンによって取得した画像から、3D化したサンプルの作成を行った。



(3) DXを活用した調査の評価

万場用水路内を撮影し、動画データ及び3Dデータを作成したことにより明らかになった問題点

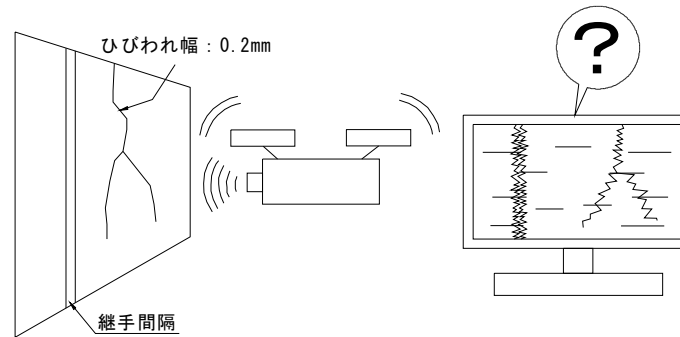
変状の把握→○



- ・ 1cm×1cm程度の変状の把握は可能である。
- ・ 側面、前面の状況把握は可能である。

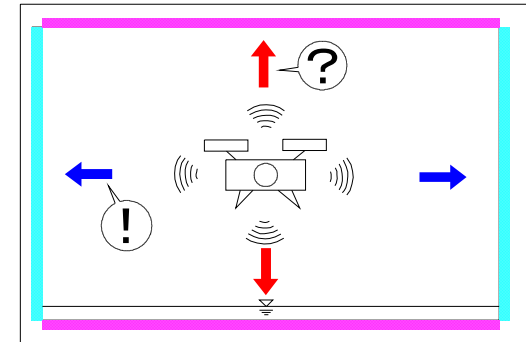
蓋付開水路の定点調査→✗

管渠の定点調査→✗



- ・ 0.2mm幅程度のひび割れは検出できない。
- ・ 継手間隔の計測ができない。

水路の全面把握→△



- ・ 上面、下面の状況把握が困難である。

(3) DXを活用した調査の評価

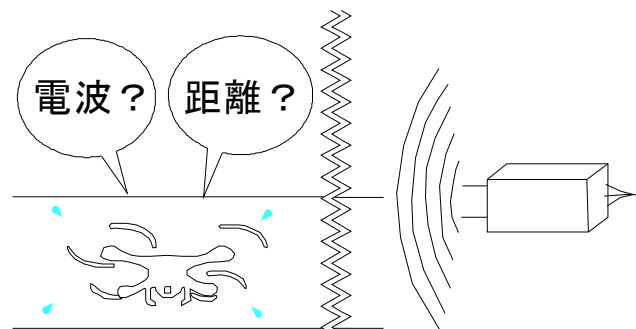
万場用水路内を撮影し、動画データ及び3Dデータを作成したことにより明らかになった問題点

周辺環境への影響→△



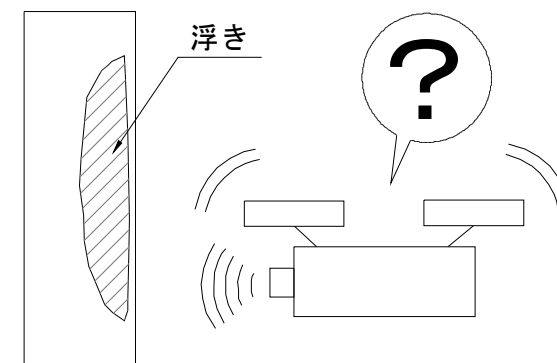
- ・ **風に弱く**、飛行時に影響を受けやすい。
- ・ **水に弱く**、着水した場合機能を使用できなくなる。

電波供給→△



- ・ **2.4GHz**と**5.7GHz**の無線周波数が使用されているが、**障害物によって電波供給が乱れる**。

浮きの検出→**X**



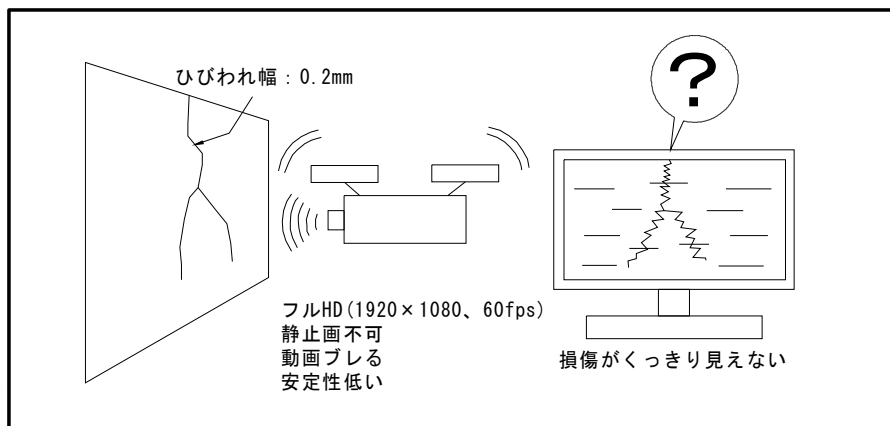
- ・ 浮きの有無を確認する事が出来ない（※暗渠内の浮きの影響は少ない）

(4) 定期点検等への実用に向けての課題

課題1：0.2mmのひび割れ及び管渠の継手間隔の検出が出来る調査技術とする

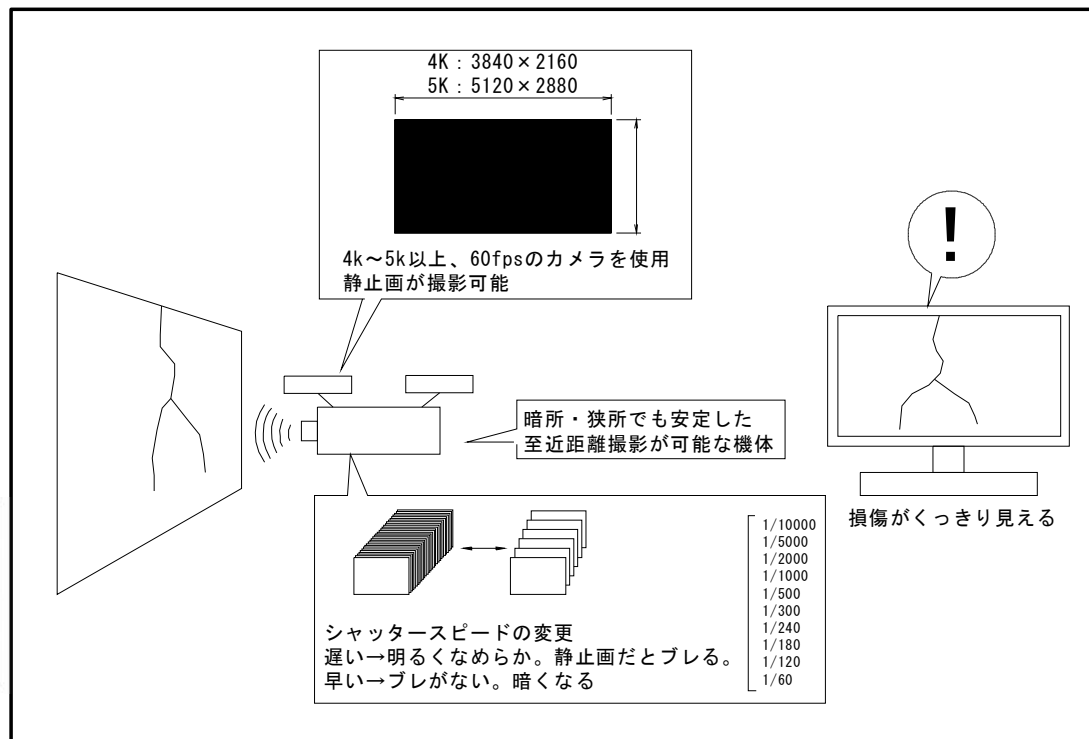
現状

- フルHD(1920×1080pix)でも0.2mmのひびわれは確認できない
- 静止画が撮影できない
- 安定性は低く、動画はブレる



対策

- 動画の性能向上(4K~5K)
- シャッタースピードの操作
- ドローン自体の安定性の向上
- 静止画で撮影できるカメラの搭載 (但し暗渠内では非効率)

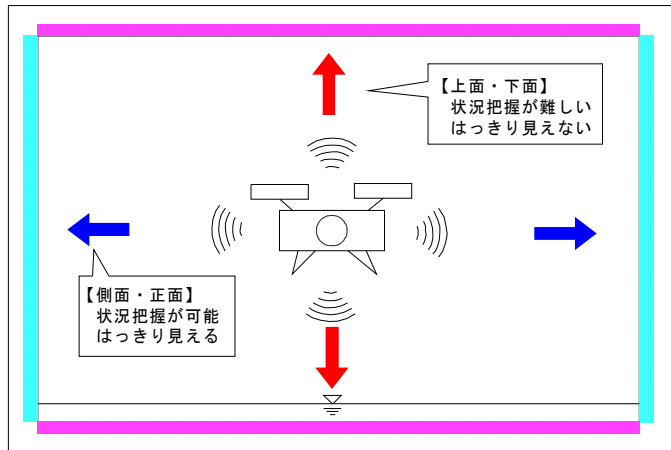


| 規格 | 画素数 | フレームレート |
|---------|----------------|---------|
| Full HD | 1920×1080 ピクセル | 60 fps |
| 4K | 3840×2160 ピクセル | 60 fps |
| 5K | 5120×2880 ピクセル | 60 fps |

課題2：上面や下面が撮影できる調査技術とする

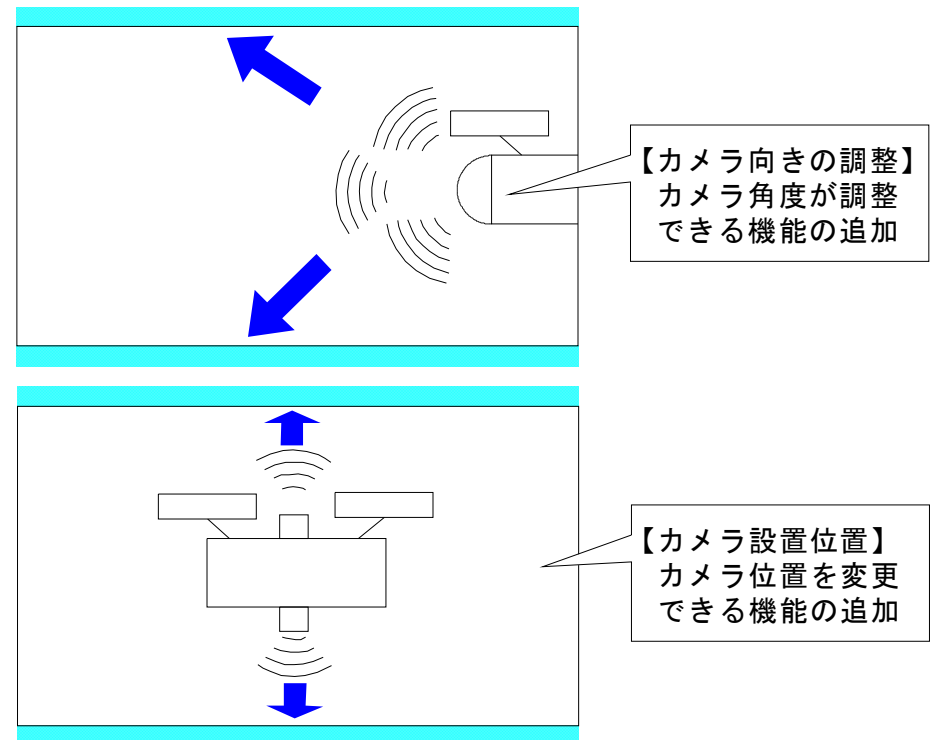
現状

- ・ 正面や側面の状況把握は可能
- ・ 上面や下面の状況把握が難しい



対策

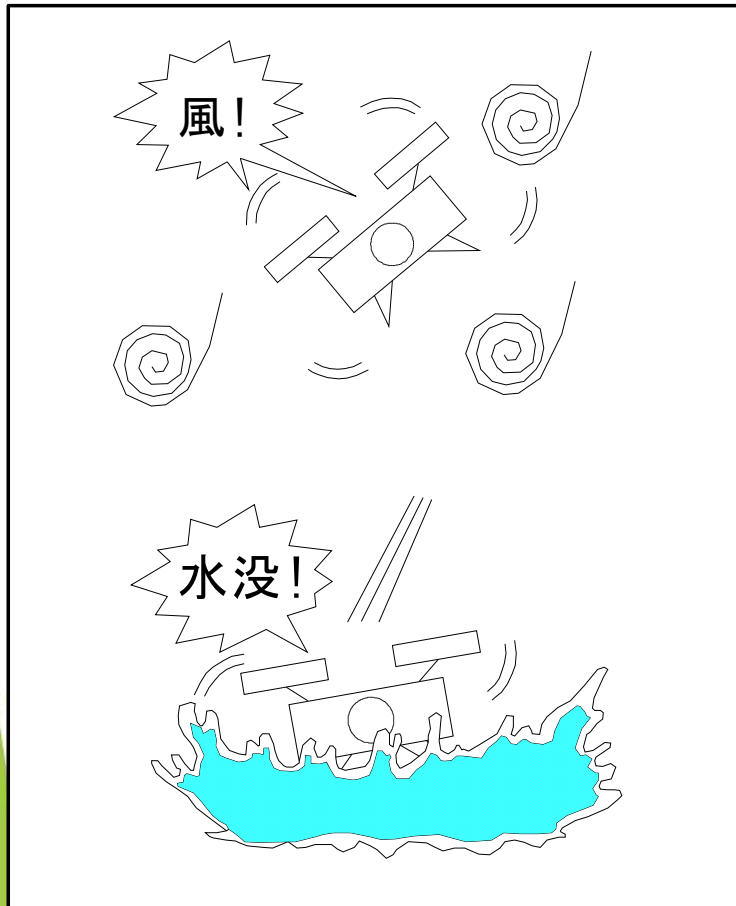
- ・ カメラの向きが調整できるようにする
- ・ カメラの設置位置を変更できるようにする



課題3：周辺環境の影響を受けない調査技術とする

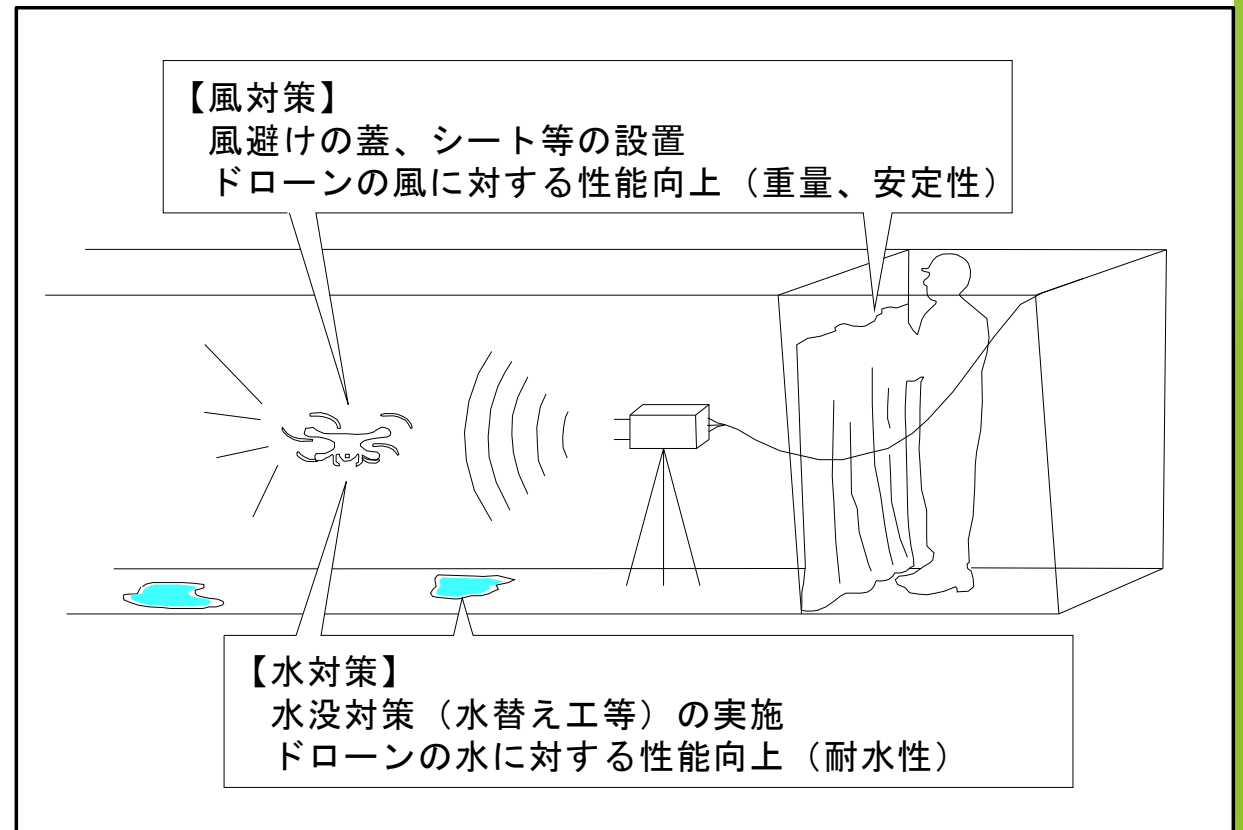
現状

- ・ 風の影響を受けやすい
- ・ 水没すると機能が使用できなくなる



対策

- ・ 風、水に対する性能向上
- ・ 風対策（風避けの蓋、シート等の設置）
- ・ 水没対策（水替え工の実施等）



(5) 将来的に解決を目指す課題

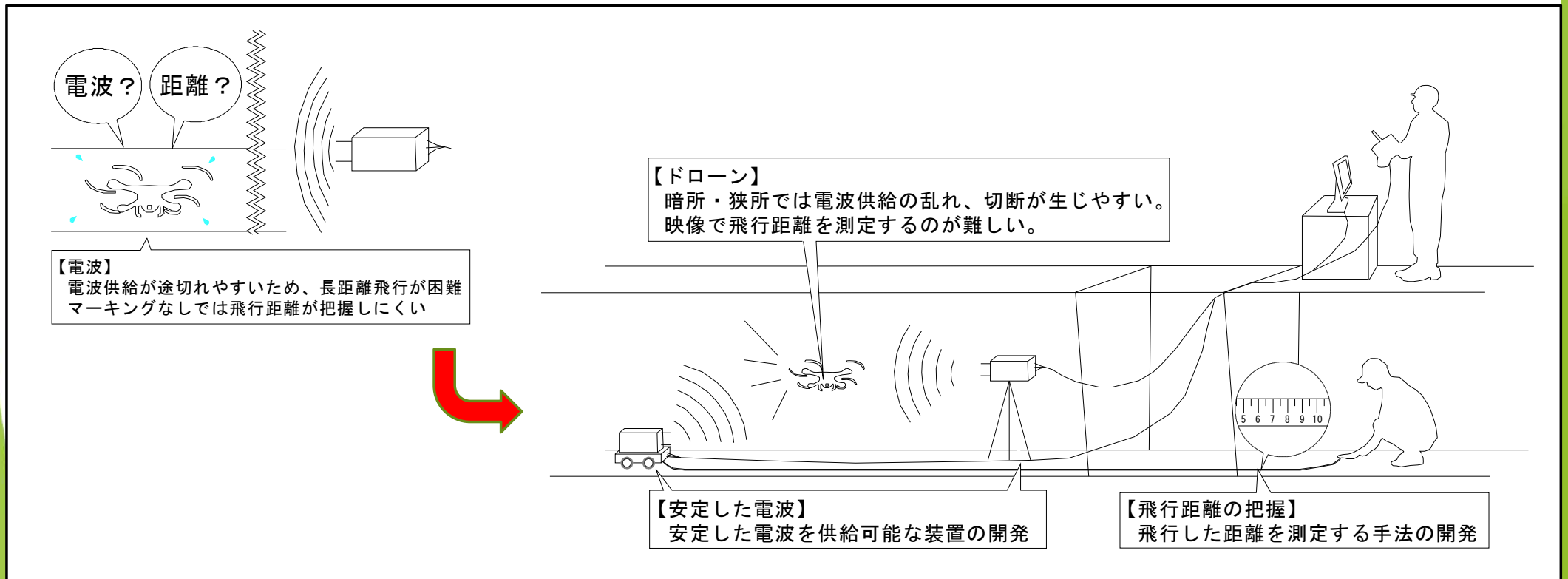
課題1：安定した無線電波を確保できる調査技術とする

現状

- ・ 電波供給の乱れ、切断が生じるため、長距離飛行が困難
- ・ 無線であり、安定した電波供給が困難
- ・ 動画で飛行距離を把握するのが難しい

対策

- ・ 安定した無線周波数(800MHz帯)の設定と軽量のデバイス
- ・ 暗渠内での高周波帯での通信を可能にする技術
- ・ 飛行した距離を測定する手法の開発

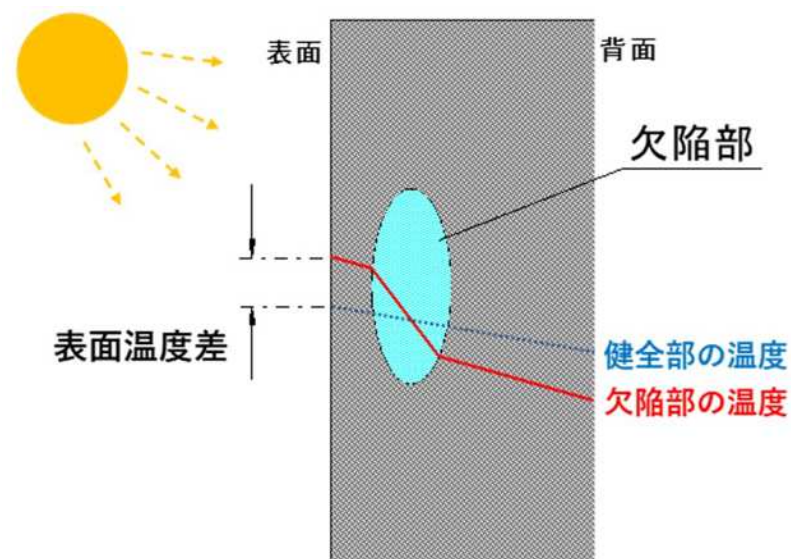
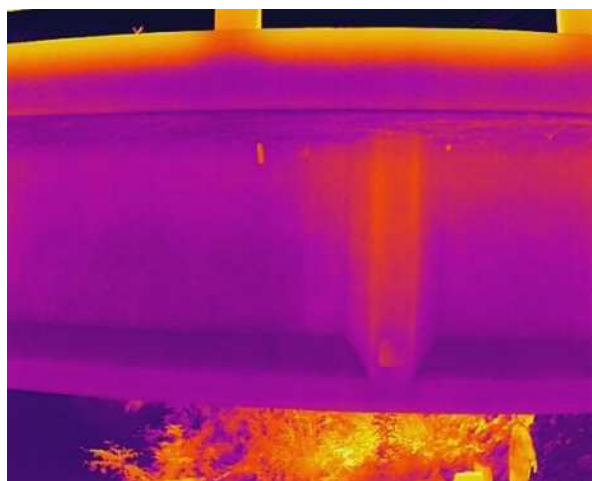


(5) 将来的に解決を目指す課題

課題2：浮きを検出できる調査技術とする

現状

- ・ 浮きを検出できない
- ・ 対策としてはサーモグラフィーカメラがあるが、暗渠内では温度変化がないため、検出が難しい



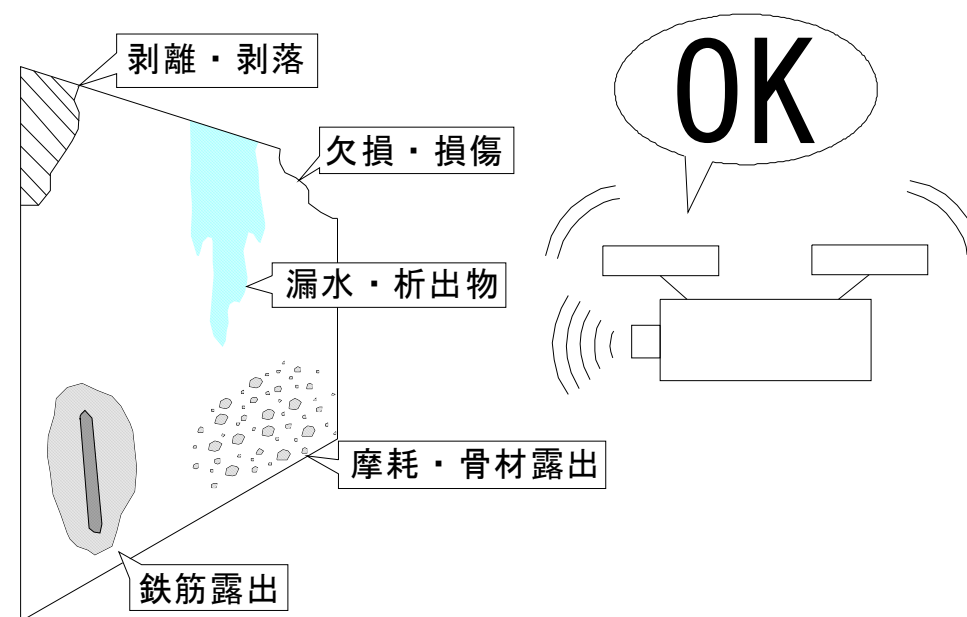
(6) 現時点での効果

① スクリーニング調査への活用

- 1cm×1cm程度の変状の把握は可能
- 側面、前面の状況把握は容易



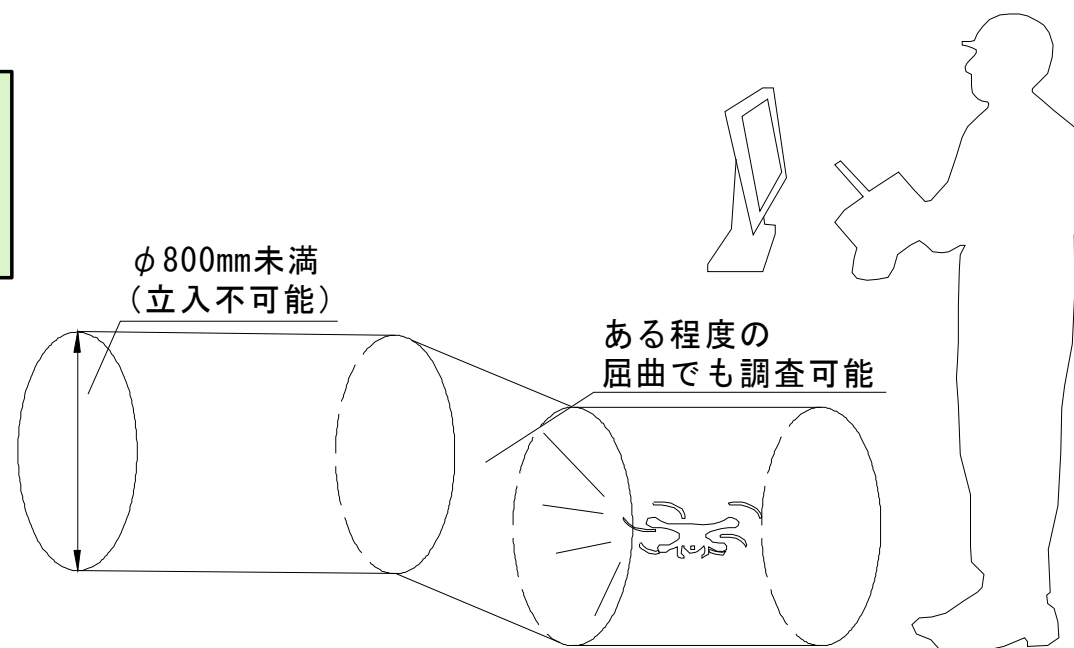
- 状況の把握を行うスクリーニング調査に活用できる。



(6) 現時点での効果

② $\Phi 800\text{mm}$ 未満の管渠調査での活用

- ・人が進入できない $\Phi 800\text{mm}$ 未満の管渠の状況把握が可能
- ・ある程度の屈曲があっても侵入が可能

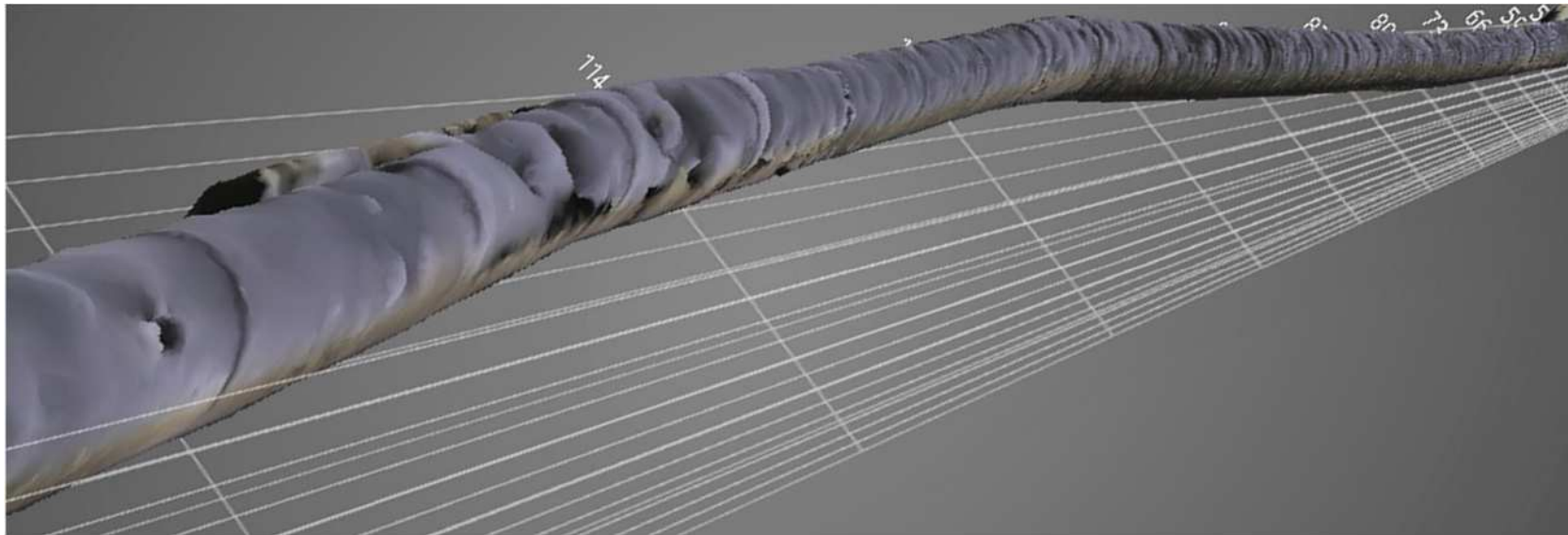


人が進入できない $\Phi 800\text{mm}$ 未満の管渠調査での活用ができる。

(6) 現時点での効果

③ 管渠の沈下等によるたるみの把握

- ・ 動画データを編集し、点群化及び3Dモデル化することで、**管渠の沈下等によるたるみを把握**可能
- ・ 過去の点群データと重ね合わせ、**変形量を定量的に評価**可能

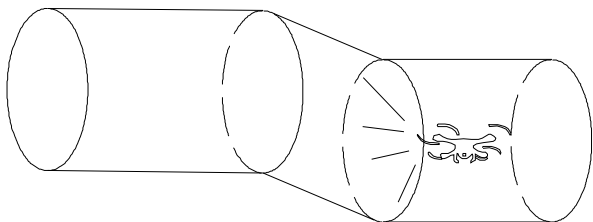


(7) DX実用に向けての今後の取り組み (案)

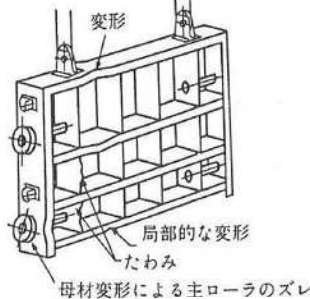
取組み1 : DX技術活用マニュアルの整備

- **定点調査及び健全度評価に必要な性能**について整理し、満足できる技術か否かの判断が必要。
 - **現地踏査やスクリーニング調査**で使用する性能や精度の整理も必要
- ↓
- DX化には**マニュアル整備**が必要

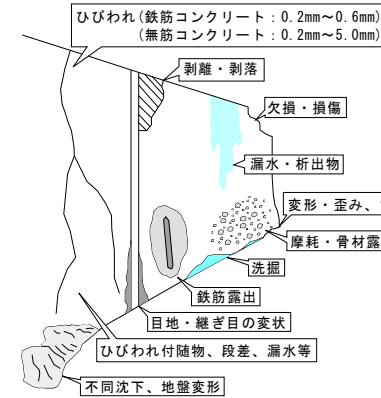
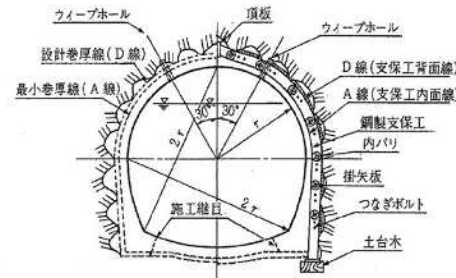
パイプライン



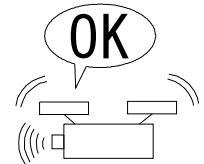
ゲート



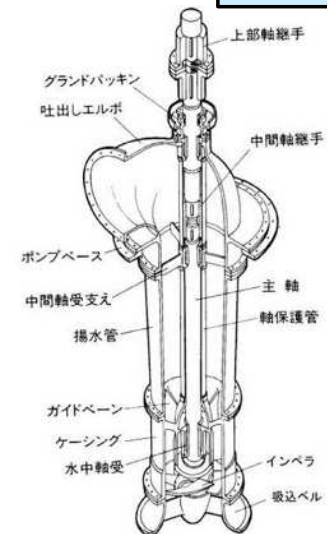
トンネル



開水路



ポンプ



『農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工(ゲート設備)」』 p.47

『農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」』 p.7

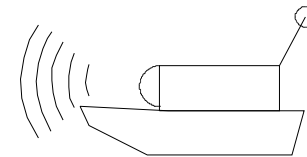
『農業水利施設の機能保全の手引き「ポンプ場(ポンプ設備)」』 参考p.22より引用

(7) DX実用に向けての今後の取り組み（案）

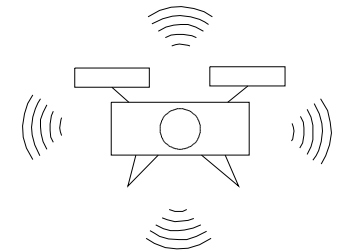
取組み2：試行点検の実施と適用可能なロボット技術の拡大

- ・あらゆる条件（周辺環境、水路形式・規模）などで**試行点検**を行い、**運用可能なロボット技術の拡大**が必要である

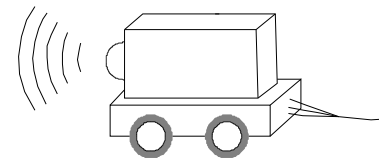
| 設備 | 条件 | ロボット等技術 |
|--------|-------------------|-------------------------|
| トンネル | 長距離 止水できない | ボート型ロボット技術 ドローン |
| パイプライン | 長距離 小口径 | 小型ドローン テレビカメラ車 |
| ポンプ場 | ケーシング内 給水管・吐出管 | 小型ドローン ファイバースコープ等カメラ |
| ゲート | 不可視部 | ドローン ファイバースコープ等カメラ |



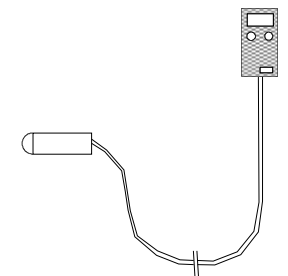
ボート型ロボット



ドローン



テレビカメラ車



ファイバースコープ
等カメラ技術

他の点検技術による調査

現地踏査に使用したDX技術

- ・ 現地踏査のため、ドローンの他に水管橋点検のため、橋梁点検支援ロボットカメラ、暗渠内調査のため、ボート型及びキャタピラ型を使用し、暗渠内の撮影を行った。



・ 点検支援ロボットカメラ



・ キャタピラ型カメラ搭載車

他の点検技術による調査

ボート型、キャタピラ型を使用した現地踏査

メリット

- ・周囲の環境（水・風等）の影響を受けにくく、画像がブレにくい。
- ・大型の照明や性能の良いカメラを搭載できるため、明るく鮮明な画像の取得が出来る。
- ・ボート型であれば水深があっても内部の調査が可能。

デメリット

- ・本体の電波は30m程度が限度であり、長い調査区間の場合は、蓋を開けて機体を回収可能な状態にする必要がある。
- ・円形管の場合、キャタピラ型は履帯が外れて進行できなくなる場合があり、また電波が5～6m程度しか届かない。
- ・水中部はカメラによる撮影ができない。



(7) DX実用に向けての今後の取り組み（案）

取組み3：誰でも使える安価な点検技術の検証

- ・誰でも使える**安価で簡易な点検技術**
- ・カメラ（コンパクトデジタルカメラ、一眼レフ、ファイバースコープ）、スマートフォン、タブレット、360°カメラ、トイドローンを活用した機能診断調査の検証が必要



ファイバースコープ



360°カメラ



改造トイ・ドローン

4. まとめ

M用水路は蓋付開水路区間が長く、
内部に侵入しての調査を行うのが困難である。

そのため、

狭小空間に対応したドローン（照明+超高感度カメラ付き）にて水路内を飛行撮影し、動画及び3Dデータを生成することによるDX活用実証を行った。

実証を行い明らかとなった課題と効果は次のとおり。

4. まとめ

<現状の問題点>

- ①ドローンは**1cm×1cm程度の変状の把握は可能**であり、**側面、前面の把握は容易**である。
- ②**0.2mm幅程度のひび割れや継手間隔の計測はできず、上面・下面の状況把握が困難**である。
- ③**周辺環境の影響を受けやすく、電波の乱れ等の影響で長距離の調査は困難**である。

<課題>

今後、**DX技術活用のマニュアル整備、試行点検の実施、安価で誰でも活用可能な点検・調査技術の検証**を行い、DXの実用化が課題ある。

4. まとめ

<効果>

- ①現状では**水路のスクリーニング調査**や**人が進入できない管渠**等で活用できる。
- ②3Dデータ化することで、**過去の点群データと比較して定量的な評価**ができる。

ご清聴
ありがとうございました。

