

暗渠点検参考資料

～DX 機器を活用した施設点検～

令和5年3月

岐阜県 農政部 農地整備課

岐阜県土地改良事業団体連合会 ストックマネジメントセンター

目 次

1. はじめに	
1.1 背景.....	1- 1
1.2 目的.....	1- 1
2. 新技術の紹介	
2.1 新技術機器紹介	2- 1
2.1.1 空中浮遊型	2- 1
2.1.2 水中航行型	2- 2
2.1.3 陸上走行型	2- 2
2.1.4 水面浮遊型	2- 3
3. 暗渠点検への適用	
3.1 機器選定フロー.....	3- 1
3.2 施設状態評価表への適用可否.....	3- 4
3.2.1 DX 機器で評価可能な項目と精度	3- 3
3.2.2 地区別の施設状態評価表.....	3- 8
3.3 点検における留意事項.....	3- 33
3.3.1 ドローンを用いた暗渠点検における登録・許可について	3- 35
4. 実証地区の検証	
4.1 実証地区の概要.....	4- 1
4.2 カメラ性能の検証.....	4- 3
4.3 課題の検証.....	4- 23
4.3.1 機器使用上の課題と考察.....	4- 18
4.3.2 取得データ活用方法の課題.....	4- 26
【コラム1】カメラ性能についての考察	4- 28
【コラム2】照明についての考察	4- 32
【コラム3】電波・操作距離についての考察	4- 35
4.4 取得データの整理（概要）	4- 37
4.4.1 揖斐川左岸地区（揖斐農林事務所）	4- 37
4.4.2 恵那中部用水地区（恵那農林事務所）	4- 39
4.4.3 万場用水地区（郡上農林事務所）	4- 41
5. 暗渠点検の発注仕様書・積算事例	
5.1 特記仕様書（案）	5- 1

1. はじめに

1.1 背景

農業水利施設の維持管理において、施設管理体制の効率化が急務となっていることから、先端技術の導入による効率化が求められており、ドローンを活用した施設管理が注目されている。特に、人間が入りにくい狭小な暗渠水路の点検に関しては、従来の方法では困難であったため、ドローン等の活用が有望視されている。

建築分野では、一般社団法人日本建築ドローン協会が「建築狭所空間ドローン利活用実施ガイドライン(案)」を制定し、橋梁分野では岐阜県道路維持課が「岐阜県点検支援技術活用の手引き」を制定している。また、農業農村工学の分野では、全国土地改良事業団体連合会が「UAVを活用した農業水利施設管理の手引」を制定しており、これらの資料が参考となっている。ただし、我々が対象とする狭小な暗渠水路に関しては、現行のガイドラインや手引きでは対応が難しい状況にある。

本資料では、令和4年度に岐阜県施設点検DX活用実証事業によりドローンやロボットカメラ等のDX機器を活用して調査した揖斐川左岸用水地区、恵那中部用水地区、万場用水地区の成果を基に、狭小な暗渠水路の点検におけるドローン活用の方法について考察し、取りまとめている。なお、今回の調査は3地区に限られており、新技術の開発や今後の知識・経験の蓄積に伴い、随時アップデートを行っていくことが望ましいと考えられる。

1.2 目的

本資料は、暗渠水路を点検するためのドローン活用に関する技術や実証内容を紹介し、土地改良施設管理者や関係者がドローン技術を導入・活用する際の参考資料とすることで、維持管理の効率化・高度化を図ることを目的としている。

2. 新技術紹介

水路トンネルおよび暗渠のような、従来までの目視等の直接的な方法で点検が困難な箇所が多数存在する。そのような箇所を点検するためにもドローンや無人調査ロボット等の新技術を活用した施設点検の活用が望まれている。

本項では暗渠部の点検に適用が期待される無人調査機器を紹介し、各製品における仕様等を取りまとめたものを比較表として添付する。

2.1 新技術機器紹介

暗渠点検に使用される無人調査機器を大別すると、「空中浮遊型」「水中航行型」「陸上走行型」「水面浮遊型」の4種類が挙げられる。

種別ごとの特徴や製品例を下記に示す。

2.1.1. 空中浮遊型

暗渠内を飛行することでデータ取得する無人調査機器。

最大航行可能距離は約 100m、6 分程度。

操作者が撮影映像を確認しながら FPV 航行（目視外航行）で操作が可能。

水面から施設上部まで、機器の最小飛行可能口径サイズが確保できれば飛行可能だが、機器の防水性次第では調査不能となる。

水中は撮影できないため、データ活用の観点からもできる限り断水して調査することが望ましい。

搭載されているカメラの向きによるが、頂版や底版の撮影は難しい。

機体によっては測距センサーを搭載し、3D 点群データが取得可能なものがある。

暗渠点検に活用する機体は狭小空間用に開発されており、特に小型軽量なため、風の影響を受けやすい。

現在の技術ではマニュアル飛行となるため、調査のためには操作技術が必要である。



例) IBIS
(株)Liberaware

※FPV (First Person View) : 一人称視点、モニタ映像を見ながら目視外飛行できる

2.1.2. 水中航行型

潜水艦のように水中を航行することでデータ取得する無人調査機器。
水替え無しで調査が可能。

各方向に設置されたスクリューにより水中で三次元的な動作が可能。

スクリューが水没しないと航行できないため、調査のためには最低でも本体サイズ+ α の水深が必要となる。

操作は有線で行なう。

航行可能距離は流速や波浪等の影響で左右されるが、給電可能なケーブルに対応していればカメラ性能(バッテリー・記憶容量)次第で長時間調査が可能。

操作者が撮影映像を確認しながら FPV 航行(目視外航行)で操作が可能。

流れのある環境では、本体の航行性能(最大航行速度)より流速が上回る場合、姿勢制御が不能となるため注意が必要。

堆積物等の影響を受けやすく、自身のスクリューにより堆積物を巻き上げてしまうと取得映像の品質が著しく低下する。



例) FIFISH V6
QYSEA



例) 漏水検出機能搭載水中ロボットカメラ
株)ウォールナット

2.1.3. 陸上走行型

以前から、下水道管の調査等で用いられてきた、カメラを搭載した機体が暗渠内を陸上走行することでデータ取得する無人調査機器。機器の防水性によるが、完全に断水する必要がある。従来の管内調査カメラは有線で自走式だが、ラジコン用の送信機とドローン用の FPV ユニットを使って無線操作できる機器も登場している。

堆積物や障害物の影響はあるが、キャタピラ等、本体の走行性能次第では回避が可能である。

調査可能距離は無線の場合、通信距離に左右されるが、概ね 60~80m 程度となる。

これ以上の延長を調査する場合は調査範囲を区切り、区間ごとに機器投入する必要がある。



例) コンサル自作機器
(市販ラジコン+360度カメラ)



例) 管内調査カメラ(有線)

2.1.4. 水面浮遊型

通水状態で水面に浮かべて自然流下させることでデータ取得する無人調査機器。
自然流下により調査するため、航行可能距離は搭載カメラ性能(バッテリー、記憶容量)に左右される。

高性能な機体では、自動で流下方向を認識しカメラを回転する機能がある。

水上部のカメラに加えて、水中(本体下部)にカメラ設置できるものや、センサーを搭載し堆砂量を計測できるものがある。

動力が無いため障害物や堆積物の回避が難しい。

流下中は操作できないため、現場条件に応じて道糸を繋げて機体方向の調整、回収策を検討しておく必要がある。

流下速度や水面の乱れによって映像から静止画を確認することが難しくなるため、調査時に水量を調整するなどの対策を講じる必要がある。

本体下部(水中)にカメラ設置可能な機体を使用する場合は、水深 30 cm程度を確保する必要がある。

LED の照度一定の場合、水中カメラの映像品質は流水の透視度に左右される。



例) モモタロウ
(株)ウォールナット



例) Air Slider Fi4
FINDi(ファインドアイ)

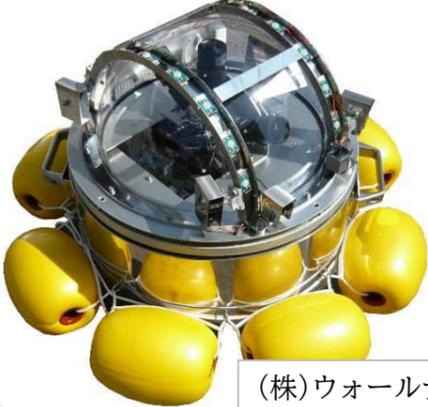
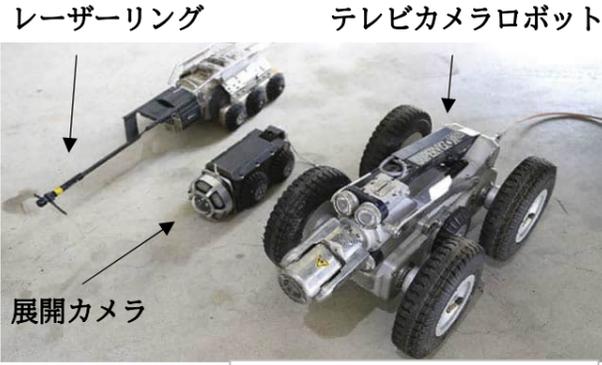


例) コンサル自作フロート
+360度カメラ

対応可能機器における長所・短所

	狭小空間専用ドローン(IBIS)	水中ドローン(FIFISH V6)	水中航行型無人機器(漏水検知システム)	陸上走行型無人機器(自作機器)
種別	空中浮遊型	水中航行型	水中航行型	陸上走行型
外観	 株式会社Liberaware	 QYSEA社	 (株)ウォールナット	 自作機器
／サ本 重イ 量ス 体	【本体サイズ】 191×179×54mm 【重量】 0.185kg	【本体サイズ】 383×331×143mm 【重量】 5.0kg	【本体サイズ】 650×580×580 【重量】 20kg	【本体サイズ】 200×800×200mm 【重量】 2.5kg
対水 応上 性部	【使用条件】 ・水面から施設上部までに空間があれば飛行可能 ○	【使用条件】 ・水深30cm以上 ・流速1.0m/s以下 ・流水の波打ちがない △	【使用条件】 ・水深100cm程度以上 △	【使用条件】 ・完全断水または水深3cm以下 ○
対水 応中 性部	【使用条件】 ・防水でないため水中部調査不可 ×	【使用条件】 ・水深30cm以上(沈砂がある場合50cm以上) ・流速1.0m/s以下 ・低濁度 ○	【使用条件】 ・水深100cm程度以上 △	【使用条件】 ・防水でないため水中走行不可 ×
サ 施適 イ 設応 ス	【最低暗渠サイズ】 ・500mm ◎	【最低暗渠サイズ】 ・600mm ○	【最低暗渠サイズ】 ・1000mm △	【最低暗渠サイズ】 ・600mm ○
解 像 度	【本体内蔵カメラ】 ・フルHD(2K)(1920×1080) ・60fps ・カラー動画 △	【本体内蔵カメラ・上部カメラ】 ・4K(3840×2160) ・30fps ・カラー動画 ○	【本体内蔵カメラ】 ・120万画素(1280×960) ・カラー動画 △	【GoProMAX】 ・5.6K(5376×2688) ・30fps ◎
面 角	【本体内蔵カメラ】 ・144° ○	【本体内蔵カメラ・上部カメラ】 ・166° ○	【本体内蔵カメラ】 ・水平90° ×垂直90° △	【GoProMAX】 ・360° ◎
位 撮 置影	【本体内蔵カメラ】 ・位置情報取得機能なし ・追加料金で点群データ作成可能 ○	【本体内蔵カメラ・上部カメラ】 ・位置情報取得機能なし ×	【本体内蔵カメラ】 ・位置情報取得機能なし △	【GoProMAX】 ・GPS機能あり(暗渠内では不可) ○
操 作 性	無線による専用プロポにて操作可能 最大延長100m程度 ◎	有線による専用プロポにて操作可能 最大延長300m ◎	無線による専用プロポにて操作可能 最大延長300m ◎	無線による専用プロポにて操作可能 最大延長100m程度 ◎
価 格	¥650,000円/300m/日 <small>※展開図作成費含む 点群取得および処理は別途料金</small>	¥540,000～(製品価格)	¥(点検サービス見積り)	¥350,000～(製作価格)
総 評	水深にかかわらず、水面から施設上部までの空間があれば使用可能である。(管径φ500以上) カメラ画角が144°であることから、同一区間を複数回調査する必要がある。	流水があり、水中部を調査する際は、水深が50cm程度以上必要。 カメラ画角が166°であることから、同一区間を複数回調査する必要がある。	100cm程度以上の水深が必ず必要となり、比較的大きな施設の点検に適している。 漏水箇所の調査に特化している。	流水を完全に断水しかつ、湛水箇所の最大水深が3cm程度以下である必要がある。 カメラ画角が360°であることにより、動画にて別角度での確認を行うことができる。

対応可能機器における長所・短所

	狭小空間専用ドローン(Air Slider Fi4)	水面浮遊型無人機器(モモタロウ)	水面浮遊型無人機器(自作機器)	陸上走行型無人機器
種別	空中浮遊型、水面浮遊型	水面浮遊型	水面浮遊型	陸上走行型
外観	 FiNDi	 (株)ウォールナット	 自作機器	 レーザーリング テレビカメラロボット 展開カメラ (株)金沢環境サービス公社
／サ 重イ 量本 量ス 体	【本体サイズ】 610×290×220mm 【重量】 2.4kg	【本体サイズ】 φ735×528mm 【重量】 35kg	【本体サイズ】 640×690×240mm 【重量】 1.3kg	【本体サイズ】 非公開 【重量】 非公開
対水 応上 性部	【使用条件】 ・施設上部までに50cm以上の空間があれば飛行可能 もしくは水深15cm以上 ・空中、底面浮遊、水面浮遊での調査が可能	【使用条件】 ・水深50cm以上 ・常時流水区間(2.0m/s以下)	【使用条件】 ・水深15cm以上	【使用条件】 ・完全断水または水深3cm以下
	◎	○	○	○
対水 応中 性部	【使用条件】 ・水深15cm以上	【使用条件】 ・水深50cm以上 ・常時流水区間	【使用条件】 ・水深30cm以上 ・低濁度	【使用条件】 ・防水でないため水中走行不可
	○	○	○	×
サ 施適 イ設 ス応	【最低暗渠サイズ】 ・400mm	【最低暗渠サイズ】 ・600mm	【最低暗渠サイズ】 ・400mm	【最低暗渠サイズ】 ・300mm
	○	○	△	◎
解 像 度	【本体内蔵カメラ】 ・フルHD(2K)(1920×1080) ・60fps ・カラー動画	【本体内蔵カメラ】 ・白黒静止画(768×494)	【GoProMAX】 ・5.6K(5376×2688) ・30fps ・カラー動画	【展開カメラ】 ・非公開 ・カラー静止画
	△	×	◎	-
画 角	【本体内蔵カメラ】 ・非公開	【本体内蔵カメラ】 ・水平111.3° ×垂直83.5°	【GoProMAX】 ・360°	【展開カメラ】 ・190°(可動式であるため360°対応)
	-	○	◎	◎
位 撮 置 影	【本体内蔵カメラ】 ・位置情報取得機能なし ・点群データを取得することにより、相対的な位置データが算出可能	【本体内蔵カメラ】 ・位置情報取得機能なし ・距離測定可能	【GoProMAX】 ・GPS機能あり(暗渠内では不可)	【展開カメラ】 ・非公開
	◎	○	○	○
操 作 性	無線による専用プロポにて操作可能 最大飛行時間4分、最大延長350m程度 終点まで飛行させ、リールを巻取りながら撮影する	操作不能 自然流下のみ	流水またはプロペラによる進行のみ 上流または下流から水系等による制御可能	有線による専用プロポにて操作可能 最大延長500m程度
	○	△	×	◎
価 格	¥1,800,000円/1.5km/日 ※最小発注単位100m 展開図作成費含む	¥407,000円/100m ※最小発注単位100m 展開図作成費含む	¥350,000～(製作価格)	¥(点検サービス見積り)
総 評	水深にかかわらず、水面から施設上部までの空間があれば使用可能である。(管径φ400以上) 最大飛行時間が4分程度と短く、長距離の調査は不可(350m程度の調査は可能)	常に水深50cm程度以上かつ一定以上の流速がある施設にて利用可能。 常に一定方向の撮影が可能。 最大10kmの調査が可能。	流水があり、水中部を調査する際は、水深が30cm程度以上必要。 カメラ画角が360°であることにより、動画にて別角度での確認を行うことができる。	流水を完全に断水しかつ、湛水箇所の最大水深が3cm程度以下である必要がある。 カメラ画角が可動式で360°であることにより、調査時に別角度での確認を行うことができる。

3. 暗渠点検への適用

3.1 機器選定フロー

調査対象施設の現地条件や調査目的によって、最適な調査機器を選定する必要がある。機器選定に際しては、既存資料や現地確認のうえ、下記条件に留意して検討を進める。

◇水路寸法（断面）

無人調査機器の適用に際して、前提となるのは人力点検の可否である。

人力作業可能なφ800以上^{*}の管径では人力点検を検討する。

※下水道管路管理に関する安全衛生管理マニュアルP86(H14.3-(財)日本下水道管路管理協会)

ただし、人力点検可能な管径であっても、有毒ガスの発生など危険が伴う場合や、これまで点検されていない路線をスクリーニング調査したい等の目的であれば無人調査機器は有効である。

φ800未満の管径の場合、無人調査機器は非常に有効である。

選択する機器によって適用できる管径が異なるため、事前に調査区間の断面サイズを確認する必要がある。

◇断水可否

調査対象となる暗渠内の全面（上面に加えて、通水面以下の側壁や底版）を確認するには、基本的に断水して調査を検討することが望ましい。

しかしながら、上水、発電用水や工業用水の利水を兼ねるなど、断水による影響が大きい場合は通水状態で調査可能な機器（水面浮遊型等）を検討する。

また、断水可能な水路でも、長距離に及ぶ路線をスクリーニング調査する際は、通水状態で水面浮遊型等の機器を活用したほうが効率的に調査できる場合がある。

◇水深

断水できない場合、調整可能な水深の範囲を確認しておく必要がある。

空中浮遊型および水面浮遊型では余裕高と喫水、水中航行型では水深によって航行可能な条件が制限される。

サイフォンや水槽等、水路内が満水（満管）状態である場合は水中航行型の適用を検討する。

◇流速

機器によって調査可能な流速が異なるため、事前に対象水路の流速を確認しておく必要がある。

水中航行型では航行可能な流速範囲を超えての調査はできないため、スペックに余裕をもたせた流速内での調査が望ましい。

水面浮遊型は流下させて調査するため、流速が高くなると撮影画像・映像が乱れる等の問題が生じる。流速条件が合わない場合は、機体を水系等で引張りながら流下速度を調整することで調査可能となる。

◇調査延長・線形

有線タイプはケーブル長に、無線タイプは通信距離及び搭載バッテリーにより調査可能な延長が左右される。

水面浮遊型は流下しながら撮影するため、姿勢制御用のバッテリーや搭載カメラの最大撮影時間まで調査可能であることから、他形式の調査機器と比較すると長距離の調査が可能である。

無線タイプの通信距離は概ね最大 100m であり、屈折部等、見通しできない範囲があると点検が難しいため、水路線形についても注意が必要である。

◇機器投入地点、回収地点とサイズ

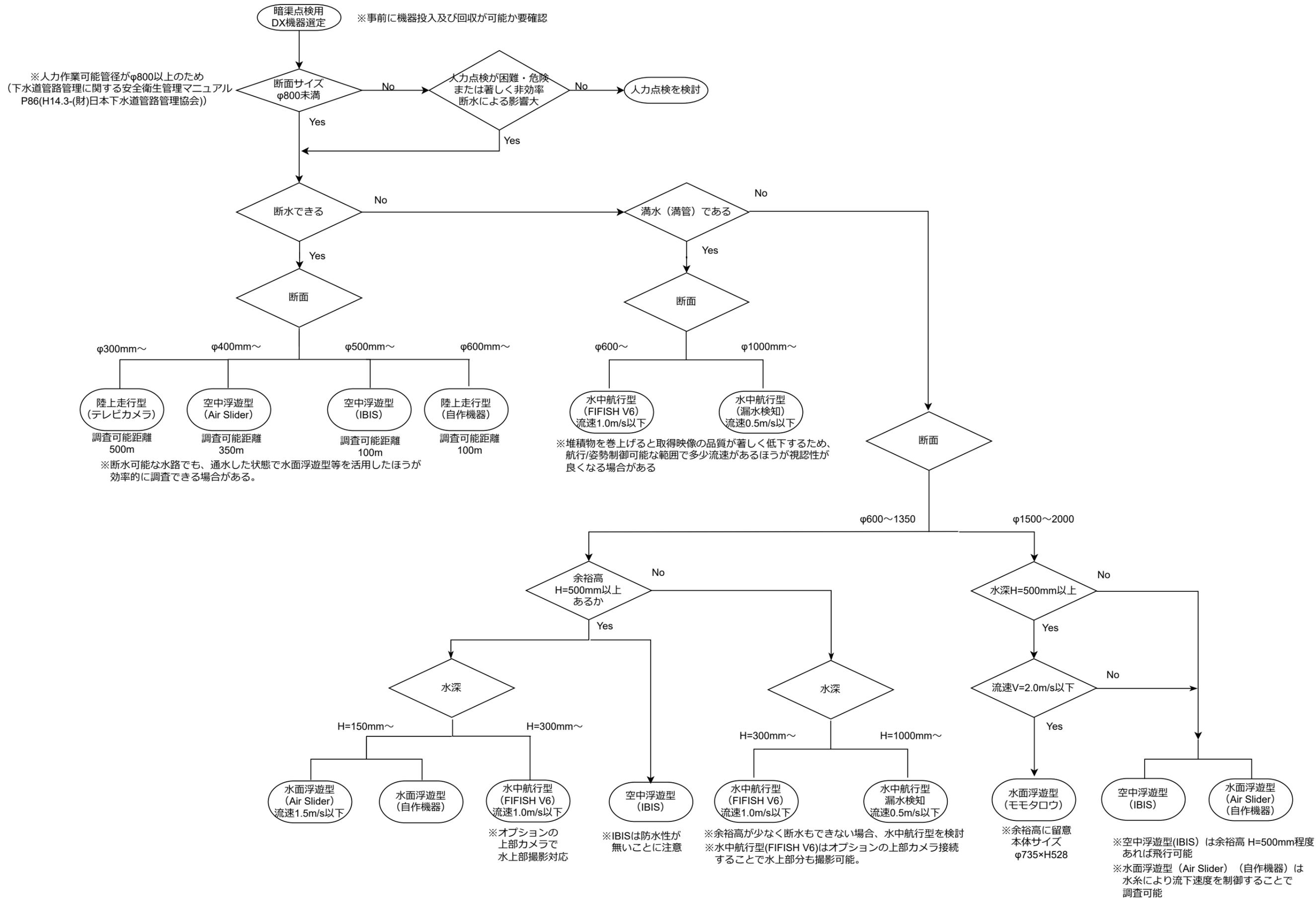
機器によって調査可能延長や機体サイズが異なるため、事前に機器投入地点、回収地点とサイズを確認しておく必要がある。

断面や水理条件では適用可能でも、機器投入・回収ができなければ調査不可である。

上記で述べたように、無線タイプでは通信距離が概ね最大 100m となるため、路線全体を網羅するためには機器投入、回収地点に加えて、中間投入地点の有無も確認しておくことが望ましい。

また、浮き等による流下テストで障害物や堆積物の有無を確認したり、機器が進行不能になった場合を想定し、機体に水系を結ぶなどの回収方法を準備しておく必要がある。

次頁に現地条件による機器選定フロー図を示す。



3.2 施設状態評価表への適用可否

3.2.1 DX機器で評価可能な項目と精度

今回実証を行った 3 地区の各機器における取得データをもとに、「鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表^{※1}」を作成して DX 機器で評価可能な評価項目と評価区分を確認した。

施設状態評価表は、各種の断面において様式が公開されているが、「鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表」が他表よりも項目数が多いため、これを用いて確認を行った。

評価区分の判定は、DX 機器による実証地区の撮影データを農業水利施設の機能診断の専門知識を有する技術者が PC モニタ上で目視することで実施した。

次頁に今回使用した DX 機器にて評価可能な項目および評価区分を示す。

¹ 農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」参考資料編 平成 28 年 8 月 P.20

鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表

		評価項目		評価区分			
				S-5	S-4	S-3	S-2
内部要因	構造物自体の変状	ひび割れ	健全度ランク				
			タイプ: 初期ひび割れ	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
			形状: 目地間中央や部材開放部の垂直ひび割れ				
			原因: 乾燥収縮・温度応力				
			タイプ: 劣化要因不特定のひび割れ	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
			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				
			タイプ: ひび割れ先行型ひび割れ	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
			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				
	タイプ: 外力によるひび割れ	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		
	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						
	タイプ: 鉄筋腐食先行型ひび割れ	無		有	S-3に該当するものが 全体的		
	形状: 鉄筋に沿ったひび割れ						
	原因: 中性化・塩害						
	最大ひび割れ幅(無筋) [部材を貫通する可能性がある場合]		最大ひび割れ幅 0.2mm未満	最大ひび割れ幅 [0.2~1.0mm] 0.2~5.0mm	最大ひび割れ幅 [1.0mm以上] 5.0mm以上	S-3に該当するものが 全体的	
	進行性(ASRや凍害などの場合)		有りの場合の1ランクダウン				
	ひび割れ規模				① ひび割れ密度 (ひび割れ幅0.2mm以上) 50cm/m2以上	S-3に該当するものが 全体的	
	ひび割れ附随物(析出物、錆汁、浮き)		無		② 有	又は流水、噴水	
	ひび割れからの漏水		無		③ 滲出し、漏水後、滴水		
	ひび割れ段差		無			有	
	浮き		無	部分的	全体的		
	剥離・剥落		無	部分的	全体的		
	析出物(エフロレッセンス・ゲルなど) (ひび割れを含むものを除く)		部分的 (S-4の場合以外)	全体的又は鉄筋に沿った部分的			
錆汁(ひび割れを含むものを除く)		無	有				
摩耗・すり減り		細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥落			
鉄筋露出の程度		無		部分的	全体的		
反発強度法(鉄筋) (圧縮強度換算)※設計強度 21N/mm2の場合		21N/mm2以上 (設計基準強度比100%以上)	15N/mm2以上~ 21N/mm2未満 (設計基準強度比100%以上)	15N/mm2未満 (設計基準強度比100%以上)			
ドリル法 (中性化残り)		残り10mm以上		残り10mm未満			
変形・歪み		無		局部的	全体的		
欠損・損傷		無		局部的	全体的		
不同沈下		無		局部的	全体的		
外部要因	構造物周囲の変状	地盤変形	背面土の空洞化	無	局部的	全体的	
			周辺地盤の陥没・ひび割れ	無	局部的	全体的	
			抜けあがり	無	20cm未満	20cm以上~ 50cm未満	50cm以上
	その他の変状	目地の変状	目地の開き	無	局部的	全体的	
			段差	無	局部的	全体的	
			止水板の破断	無		有	
			漏水の状況	無	漏水後、滲出し 滴水	流水、噴水	
			周縁コンクリートの欠損等	無	局部的	全体的	

※ひび割れ幅における[0.6mm]は、厳しい腐食環境の場合に適用する。

※ひび割れの規模に係る評価区分 S-3 は、①+②又は①+③を満たす場合に該当する。

人のみ確認可能範囲

人・DX機器ともに確認可能範囲

【評価項目別の判断基準】

① ひびわれ

DX 機器の撮影映像と人力点検における実測値、また、カメラ性能検証結果（4.2 カメラ性能の検証にて後述）より、DX 機器の撮影データでは測定対象との距離が $L=0.75\text{m}$ 以下の場合、**1.0mm 程度**まで（評価区分 S-3、S-2）のひび割れが視認できると推察される（ひび割れ幅の測定は不可²）。

言い換えれば、

DX 機器の撮影データから確認できるひび割れ \equiv S-3(1mm)以下の評価
// ひび割れが確認されない \equiv S-4(0.2mm)以上の評価

であると推察される。

ひび割れ規模、ひび割れ付随物（析出物、錆汁、浮き）、ひび割れからの漏水、ひび割れ段差については目視確認可能な項目のため、全ての評価区分において評価可能である³。

② ひびわれ以外の劣化

浮きに関しては、打音検査が必要となるため DX 機器では評価不可項目である。

<赤外線調査による外壁調査(浮きの検出)>

建築物の定期検査における外壁調査にて導入されている技術として、赤外線装置を搭載した無人航空機による調査がある。赤外線機器により温度差を確認することで、テストハンマーによる打診と同等以上の制度で浮きを検出することが可能⁴であるが、暗渠内は太陽光が届かず、温度変化に乏しいためその適用も難しい。

剥離、剥落、析出物（エフロレッセンス、ゲルなど）、錆汁、摩耗・すり減り、鉄筋露出の程度に関しては、目視確認可能な項目のため、全ての評価区分において評価可能である。

③ 圧縮強度

圧縮強度に関しては、反発強度法（リバウンドハンマー）による強度推定調査が必要となるため、DX 機器では評価不可項目である。

④ 中性化

中性化に関しては、はつり法、コア法、ドリル法等による中性化試験が必要となるため、DX 機器では評価不可項目である。

⑤ 変形・歪み

変形・歪みの有無に関しては、目視確認可能な項目のため、全ての評価区分において評価可能である。

⑥ 欠損・損傷

欠損・損傷の有無に関しては、目視確認可能な項目のため、全ての評価区分において評価可能である。

² 今回の実証に使用された DX 機器は、変状箇所のサイズを測定する機能を有していない。

評価指標に具体的な数値が含まれる「ひび割れの形状と幅」に関しては、技術者が映像を目視確認した推定値による評価であることに留意する必要がある。

³ 水中ドローンにおいては水中での撮影映像となるため漏水確認不可である。

⁴ 令和4年3月29日付国住指第1581号・国住参建第3982号「建築基準法施行規則の一部を改正する省令等の施行について（技術的助言）」

-
- ⑦ 不同沈下
構造物の沈下・蛇行に関しては、目視確認可能な項目のため、全ての評価区分において評価可能である。
 - ⑧ 地盤変形
背面土の空洞化、周辺地盤の空洞・陥没、抜け上がりに関しては、周辺地盤の確認が必要な項目である。暗渠内調査のため、DX 機器では評価不可項目である。
 - ⑨ 目地の変状
目地の開き、段差、漏水の状況⁵、周縁コンクリートの欠損に関しては、目視確認可能な項目のため、全ての評価区分において評価可能である。

止水板の破断に関しては、暗渠内からは目視できないため、DX 機器では評価不可項目である。

⁵ 水中ドローンにおいては水中での撮影映像となるため漏水確認不可である。

3.2.2 地区別の施設状態評価表

今回実証を行った3地区の各機器（下記一覧）における取得データより、施設状態評価表を作成し、評価可能項目を確認した。

地区	機器種別	機器名称	撮影機器	対象距離 (m)
揖斐川左岸用水	水面浮遊型(自作)	(自作フロート)	GoProMAX	1.5
	水中航行型	FIFISH V6	内蔵カメラ	0.5
恵那中部用水	水面浮遊型(自作)	(自作フロート・改造ラジコン)	GoProMAX	0.5
	水中航行型	FIFISH V6	内蔵カメラ	0.5
万場用水	空中浮遊型	IBIS	内蔵カメラ	0.4

評価区分の判定は、DX 機器による実証地区の撮影データを農業水利施設の機能診断の専門知識を有する技術者がPC モニタ上で目視することで実施した。

次頁より各地区の施設状態評価表と確認結果を示す

施設状態評価表
 【揖斐川左岸用水(撮影機器：GoProMAX)】 対象距離 1.5m 程度

評価項目		評価区分					
健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2		
内部要因	ひび割れ	タイプ：初期ひび割れ 形状：目地間中央や部材開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	
		進行性(ASRや凍害などの場合)		有りの場合の1ランクダウン			
	ひび割れ以外の劣化	ひび割れ規模			① ひび割れ密度 (ひび割れ幅0.2mm以上) 50cm/m ² 以上	S-3に該当するものが 全体的 又は流水、噴水	
		ひび割れ附随物(析出物、錆汁、浮き)	無		② 有 ③ 滲出し、漏水後、滴水		
		ひび割れからの漏水	無				
		ひび割れ段差	無			有	
		浮き	調査不可	部分的	全体的		
		剥離・剥落	無	部分的	全体的		
	外部要因	構造物周囲の変状	析出物(エフロレッセンス・ゲルなど) (ひび割れを含むものを除く)	部分的 (S-4の場合以外)	全体的又は鉄筋に沿った部分的		
			錆汁(ひび割れを含むものを除く)	無	有		
			摩耗・すり減り	細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥落	
鉄筋露出の程度			無		部分的	全体的	
圧縮強度			反発強度法(鉄筋) (圧縮強度換算)※設計強度 21N/mm ² の場合	21N/mm ² 以上 (設計基準強度比100%以上)	15N/mm ² 以上~ 21N/mm ² 未満 (設計基準強度比100%以上)	15N/mm ² 未満 (設計基準強度比100%以上)	
中性化(鉄筋)			ドリル法 (中性化残り)	調査不可		残り10mm未満	
その他の要因	構造物周囲の変状	変形・歪み	変形・歪みの有無	無	局所的	全体的	
		欠損・損傷	欠損・損傷の有無	無	局所的	全体的	
		不同沈下	構造物の沈下、蛇行	無	局所的	全体的	
	目地の変状	地盤変形	背面土の空洞化	無	局所的	全体的	
			周辺地盤の陥没・ひび割れ	調査不可	局所的	全体的	
			抜けあがり	無	20cm未満	20cm以上~ 50cm未満	50cm以上
目地の変状	目地の開き	無	局所的	全体的			
	段差	無	局所的	全体的			
	止水板の破断	調査不可		有			
	漏水の状況	無	漏水後、滲出し 滴水	流水、噴水			
	周縁コンクリートの欠損等	無	局所的	全体的			

※施設内を点検するものであるため、周辺地形状況は別途点検が必要

※ひび割れ幅における[0.6mm]は、厳しい腐食環境の場合に適用する。

※ひび割れの規模に係る評価区分 S-3 は、①+②又は①+③を満たす場合に該当する。

【揖斐川左岸用水(撮影機器：GoProMAX)変状判断】

揖斐川左岸用水における GoProMAX（水中浮遊型）による撮影動画では、下記変状が確認された。

上半アーチ部の

- ・ひび割れ
- ・ひび割れからのしみ出し
- ・部分的な剥離・剥落
- ・析出物(エフロレッセンス・ゲルなど)
- ・錆汁
- ・部分的な鉄筋露出
- ・局所的な欠損・損傷

側壁部の

- ・部分的な粗骨材剥落（側壁）
- ・部分的な剥離・剥落

トンネル円周方向において

- ・部分的な目地の開き
- ・目地からのしみ出し、漏水

◇ひび割れ

ひび割れは、上半アーチ部において確認されており、一部ではしみ出しを伴っていた。カメラ性能検証結果（4.2 カメラ性能の検証にて後述）より、目視できるひび割れ評価は S-3（1.0mm 程度）以下であると推察され、映像確認の結果、全体的ではないことが確認されたことから、S-3 評価と判定した。

ひび割れ



揖斐川左岸用水 水路トンネル区間 NO.59+6.0 付近
(水路トンネル(上面)5.mp4 3:46)

比較のため、人力による近接目視によりひび割れ測定したところ、滲み出しを伴うひび割れは0.6mm程度であった。



揖斐川左岸用水 水路トンネル区間 NO.59+6.0 付近
(水路トンネル(上面)5.mp4 3:46)

◇剥離・剥落

上半アーチ部、側壁部において剥離、剥落が確認された。
映像確認の結果、部分的との判断から S-4 評価と判定した。

剥離・剥落



揖斐川左岸用水 暗渠区間 NO.60+3.0 付近
(暗渠(上面)1-1.mp4 0:14)

◇析出物

上半アーチ部において、析出物（エフロレッセンス・ゲルなど）が確認された。
映像より部分的と判断し、S-5 評価と判定した。

析出物(エフロレッセンス・ゲルなど)



揖斐川左岸用水 暗渠区間 NO.60 付近
(暗渠(上面)1-1.mp4 0:07)

◇錆汁

上半アーチ部において、錆汁が確認されたことから S-4 評価と判定した。

錆汁



揖斐川左岸用水 水路トンネル区間 NO.19+10.0 付近
(水路トンネル(上面)2.mp4 5:21)

◇摩耗・すり減り

側壁通水部において、部分的な粗骨材剥落が確認されたことから、S-3 評価と判定した。

摩耗・すり減り



揖斐川左岸用水 暗渠区間 NO.60+10.0 付近
(暗渠(上面)1-1.mp4 0:30)

◇鉄筋露出

BOX 天端部分において部分的な鉄筋露出が確認されたことから、S-3 評価と判定した。

鉄筋露出



揖斐川左岸用水 暗渠区間 NO.60+15.0 付近
(暗渠(上面)1-1.mp4 3:17)

◇欠損・損傷

上半アーチ部において、局所的な欠損が確認されたことから、S-3 評価と判定した。

欠損



揖斐川左岸用水 暗渠区間 NO.60 付近
(暗渠(上面)1-1.mp4 0:12)

◇目地の開き

上半アーチ部において、トンネル円周方向に局所的な目地の開きが確認されたことから S-4 評価と判定した。

目地開き



揖斐川左岸用水 水路トンネル区間 NO.39+10.0 付近
(水路トンネル(上面)3.mp4 7:59)

◇目地漏水

上半アーチ部において、目地からの滴水・滲み出しが確認されたことから S-4 評価と判定した。

漏水



揖斐川左岸用水 水路トンネル区間 NO.41+5.0 付近
(水路トンネル(上面)4.mp4 0:59)

施設状態評価表
 【揖斐川左岸用水(撮影機器：FIFISH V6)】 対象距離 0.5m 程度

評価項目		評価区分				
健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2	
内部要因	ひび割れ	タイプ：初期ひび割れ 形状：目地間中央や部材開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
		進行性(ASRや凍害などの場合)		有りの場合の1ランクダウン		
	ひび割れ規模			① ひび割れ密度 (ひび割れ幅0.2mm以上) 50cm/m2以上	S-3に該当するものが 全体的 又は流水、噴水	
	ひび割れ附随物(析出物、錆汁、浮き)	無		② 有 ③ 滲出し、漏水後、滴水		
	ひび割れからの漏水	無				
	ひび割れ段差	無			有	
	ひび割れ以外の劣化	浮き	調査不可	部分的	全体的	
		剥離・剥落	無	部分的	全体的	
		析出物(エフロレッセンス・ゲルなど) (ひび割れを含むものを除く)	部分的 (S-4の場合以外)	全体的又は鉄筋に沿った部分的		
		錆汁(ひび割れを含むものを除く)	無	有		
		摩耗・すり減り	細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥落	
鉄筋露出の程度		無		全体的の場合、1ランクダウン		
圧縮強度	反発強度法(鉄筋) (圧縮強度換算)※設計強度 21N/mm2の場合	21N/mm2以上 (調査不可)	15N/mm2以上~ 21N/mm2未満 (設計基準強度比100%以上)	15N/mm2未満 (設計基準強度比100%以上)		
	ドリル法 (中性化残り)	調査不可		残り10mm未満		
外部要因	変形・歪み	変形・歪みの有無	無	局部的	全体的	
	欠損・損傷	欠損・損傷の有無	無	局部的	全体的	
	不同沈下	構造物の沈下、蛇行	無	局部的	全体的	
	構造物周囲の変状	地盤変形	背面土の空洞化	無	局部的	全体的
		周辺地盤の陥没・ひび割れ	調査不可	局部的	全体的	
		抜けあがり	無	20cm未満	20cm以上~ 50cm未満	50cm以上
その他の要因	目地の変状	目地の開き	無	局部的	全体的	
		段差	無	局部的	全体的	
		止水板の破断	調査不可		有	
		漏水の状況	水中部により判断不能	漏水後、滲出し 滴水	流水、噴水	
		周縁コンクリートの欠損等	無	局部的	全体的	

※施設内を点検するものであるため、周辺地形状況は別途点検が必要

※ひび割れ幅における[0.6mm]は、厳しい腐食環境の場合に適用する。
 ※ひび割れの規模に係る評価区分 S-3 は、①+②又は①+③を満たす場合に該当する。

【揖斐川左岸用水(撮影機器：FIFISH V6)変状判断】

揖斐川左岸用水における FIFISH V6（水中航行型）による撮影動画では、下記変状が確認された。

側壁部の

- ・ひび割れ

底版の

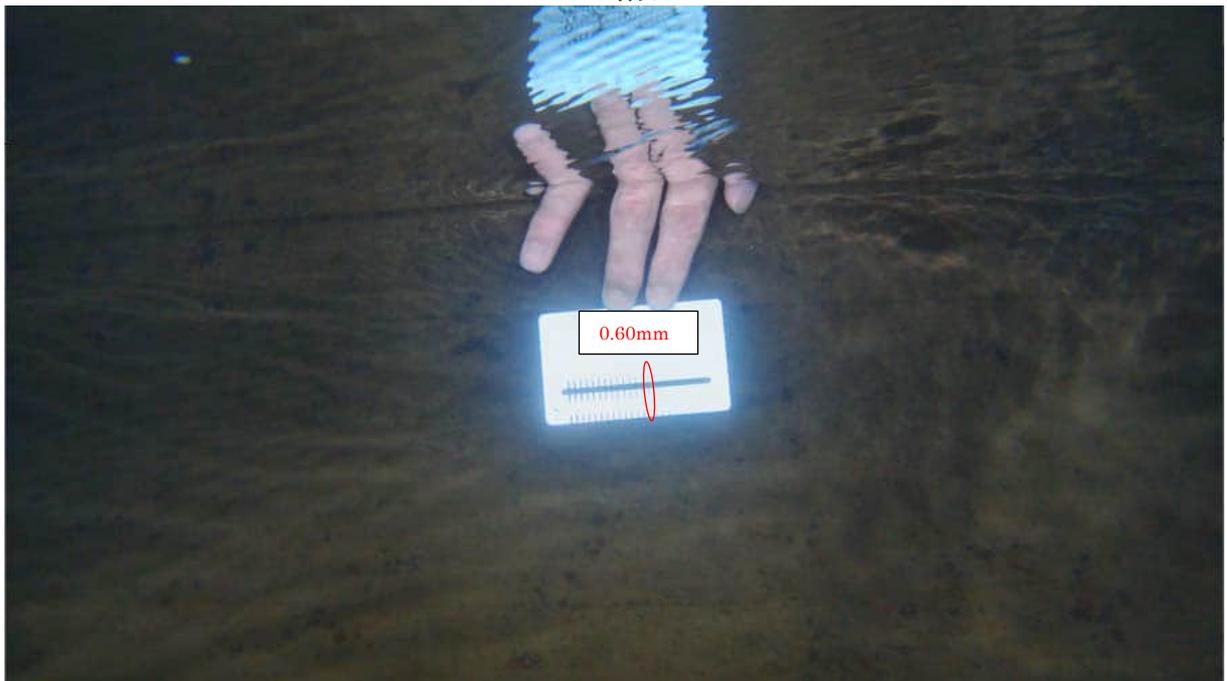
- ・部分的な粗骨材露出
- ・部分的な目地の開き（トンネル円周方向）

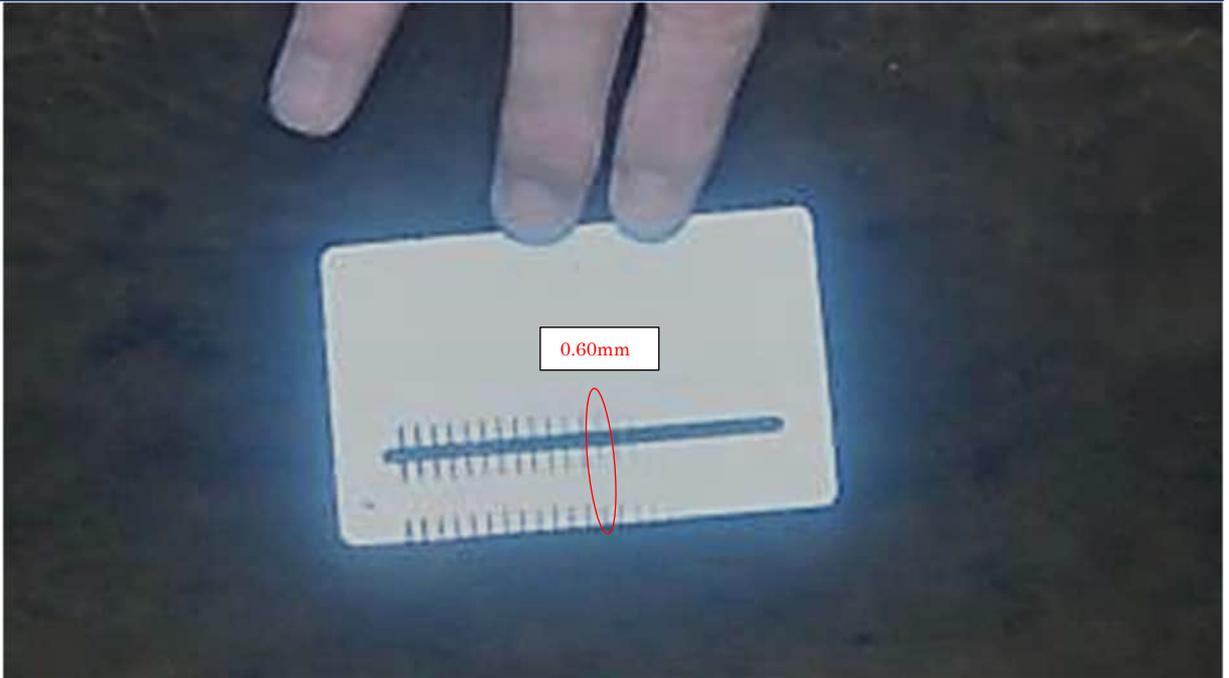
◇ひび割れ

側壁部においてひび割れが確認された。カメラ性能検証結果（4.2 カメラ性能の検証にて後述）より、目視できるひび割れ評価は S-3（1.0mm 程度）以下であると推察され、映像確認の結果、全体的ではないことが確認されたことから、S-3 評価と判定した。

比較のため、人力による近接目視によりひび割れ幅を測定したところ、0.6mm 程度であった。

ひび割れ





揖斐川左岸用水 暗渠区間 NO. 84 付近

◇摩耗・すり減り

底版において、部分的な粗骨材露出が確認されたことから、S-4 評価と判定した。

摩耗・すり減り



揖斐川左岸用水 水路トンネル区間 NO. 58 付近
(水路トンネル(水中ドローン)2.mp4 0:37)

◇目地の開き

底版において、トンネル円周方向に局所的な目地の開きが確認されたことから
S-4 評価と判定した。

目地開き



揖斐川左岸用水 水路トンネル区間 NO.59 付近
(水路トンネル(水中ドローン)1.mp4 0:46)

施設状態評価表
【恵那中部用水(撮影機器：GoProMAX)】 対象距離 0.5m 程度

評価項目		評価区分				
健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2	
内部要因	ひび割れ	タイプ：初期ひび割れ 形状：目地間中央や部材開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
		進行性(ASRや凍害などの場合)		有りの場合の1ランクダウン		
	ひび割れ規模			① ひび割れ密度 (ひび割れ幅0.2mm以上) 50cm/m ² 以上	S-3に該当するものが 全体的	
	ひび割れ附随物(析出物、錆汁、浮き)	無		② 有 ③ 滲出し、漏水後、滴水	又は流水、噴水	
	ひび割れからの漏水	無				
	ひび割れ段差	無			有	
	ひび割れ以外の劣化	浮き	調査不可	部分的	全体的	
		剥離・剥落	無	部分的	全体的	
		析出物(エフロレッセンス・ゲルなど) (ひび割れを含むものを除く)	部分的 (S-4の場合以外)	全体的又は鉄筋に沿った部分的		
		錆汁(ひび割れを含むものを除く)	無	有		
		摩耗・すり減り	細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥落	
鉄筋露出の程度		無		部分的	全体的	
圧縮強度	反発強度法(鉄筋) (圧縮強度換算)※設計強度 21N/mm ² の場合	21N/mm ² 以上 (設計基準強度比100%以上)	15N/mm ² 以上~ 21N/mm ² 未満 (設計基準強度比100%以上)	15N/mm ² 未満 (設計基準強度比100%以上)		
	ドリル法 (中性化残り)	調査不可		残り10mm未満		
外部要因	変形・歪み	変形・歪みの有無	無	局部的	全体的	
	欠損・損傷	欠損・損傷の有無	無	局部的	全体的	
	不同沈下	構造物の沈下、蛇行	無	局部的	全体的	
	構造物周囲の変状	地盤変形	背面土の空洞化	無	局部的	全体的
		周辺地盤の陥没・ひび割れ	調査不可	局部的	全体的	
		抜けあがり	無	20cm未満	20cm以上~ 50cm未満	50cm以上
その他の要因	目地の変状	目地の開き	無	局部的	全体的	
		段差	無	局部的	全体的	
		止水板の破断	調査不可		有	
		漏水の状況	無	漏水後、滲出し 滴水	流水、噴水	
		周縁コンクリートの欠損等	無	局部的	全体的	

※施設内を点検するものであるため、周辺地形状況は別途点検が必要

※ひび割れ幅における[0.6mm]は、厳しい腐食環境の場合に適用する。
※ひび割れの規模に係る評価区分 S-3 は、①+②又は①+③を満たす場合に該当する。

【恵那中部用水(撮影機器：GoProMAX)変状判断】

恵那中部用水における GoProMAX（水中浮遊型）による撮影動画では、下記変状が確認された。

- ・側壁のひび割れ
- ・頂版の部分的な剥離・剥落
- ・錆汁
- ・部分的な粗骨材剥落（側壁）
- ・部分的な鉄筋露出（頂版）
- ・局所的な欠損・損傷（頂版）
- ・部分的な目地の開き

近接目視による実測値との比較については、水路断面が B1200～1300×H850～900 と狭小だったことから未実施である。

◇ひび割れ

ひび割れは、側壁、頂版において確認されている。カメラ性能検証結果（4.2 カメラ性能の検証にて後述）より、目視できるひび割れ評価は S-3（1.0mm 程度）以下であると推察され、映像確認の結果、全体的ではない⁶ことが確認されたことから、S-3 評価と判定した。

ひび割れ



恵那中部用水 A 区間 起点から 35m 付近
(A 区間 1-2.mp4 5:30)

⁶ 鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表より、注2) 「部分的」とは概ね全体の50%未満を示し、「全体的」とは全体の50%以上を示す。

◇剥離・剥落

◇鉄筋露出

頂版において、剥離・剥落による鉄筋露出が確認されている。

映像確認の結果、部分的との判断から、剥離・剥落→S-4 評価、鉄筋露出→S-3 評価と判定した。

剥離・剥落 鉄筋露出



恵那中部用水 A 区間 起点から 25m 付近
(A 区間 1-2.mp4 5:06)

◇錆汁

頂版において部分的な錆汁が確認されていることから S-4 評価と判定した。

剥離・剥落に達する前の状態の浮き状態で鉄筋が錆びているものと思慮される。

錆汁



恵那中部用水 A 区間 起点から 46m 付近
(A 区間 1-2.mp4 6:56)

◇摩耗・すり減り

側壁の磨耗状況より、部分的な粗骨材剥落との判断から S-3 評価と判定した。

摩耗・すり減り



恵那中部用水 A 区間 起点から 60m 付近
(A 区間 1-3.mp4 7:51)

◇欠損・損傷

頂版の部分的な欠損が確認されたことから、S-3 評価と判定した。

欠損・損傷

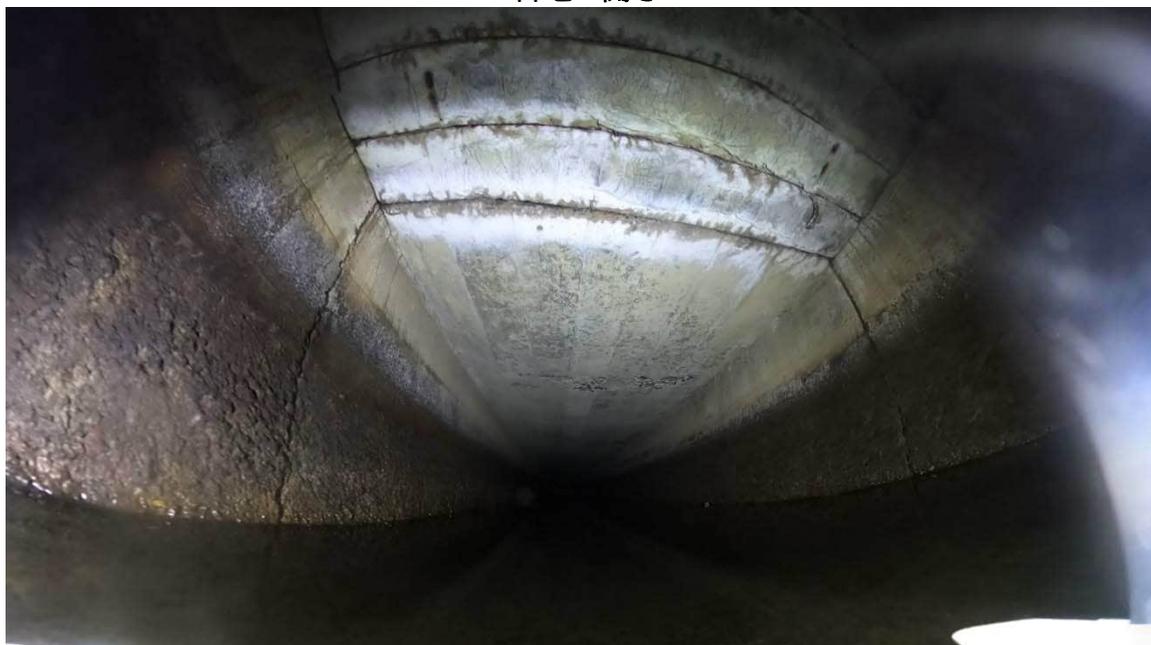


恵那中部用水 A 区間 起点から 70m 付近
(A 区間 1-4.mp4 2:32)

◇目地の開き

局所的な目地の開きが確認されたことから、S-4 評価と判定した。

目地の開き



恵那中部用水 A 区間 起点から 55m 付近
(A 区間 1-3.mp4 7:01)

施設状態評価表
 【恵那中部用水(撮影機器：FIFISH V6)】 対象距離 0.5m 程度

評価項目		評価区分				
健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2	
内部要因	ひび割れ	タイプ：初期ひび割れ 形状：目地間中央や部材開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
		進行性(ASRや凍害などの場合)		有りの場合の1ランクダウン		
	ひび割れ以外の劣化	ひび割れ規模			① ひび割れ密度 (ひび割れ幅0.2mm以上) 50cm/m ² 以上 ② 有 ③ 滲出し、漏水後、滴水	S-3に該当するものが 全体的 又は流水、噴水
		ひび割れ附随物(析出物、錆汁、浮き)	無			
		ひび割れからの漏水	無			
		ひび割れ段差	無			有
		浮き	調査不可	部分的	全体的	
		剥離・剥落	無	部分的	全体的	
	外部要因	構造物自体の変状	析出物(エフロレッセンス・ゲルなど) (ひび割れを含むものを除く)	部分的 (S-4の場合以外)	全体的又は鉄筋に沿った部分的	
			錆汁(ひび割れを含むものを除く)	無	有	
			摩擦・すり減り	細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥落
構造物周囲の変状		鉄筋露出の程度	無		部分的	全体的
		圧縮強度	反発強度法(鉄筋) (圧縮強度換算)※設計強度 21N/mm ² の場合	21N/mm ² 以上 (設計強度比100%以上)	15N/mm ² 以上~ 21N/mm ² 未満 (設計基準強度比100%以上)	15N/mm ² 未満 (設計基準強度比100%以上)
		中性化(鉄筋)	ドリル法 (中性化残り)	調査不可		残り10mm未満
その他の要因	構造物周囲の変状	変形・歪み	変形・歪みの有無	無	局所的	全体的
		欠損・損傷	欠損・損傷の有無	無	局所的	全体的
		不同沈下	構造物の沈下、蛇行	無	局所的	全体的
	目地の変状	背面土の空洞化	無	局所的	全体的	
		地盤変形	周辺地盤の陥没・ひび割れ	調査不可	局所的	全体的
		抜けあがり	無	20cm未満	20cm以上~ 50cm未満	50cm以上
目地の変状	目地の開き	無	局所的	全体的		
	段差	無	局所的	全体的		
	止水板の破断	調査不可		有		
	漏水の状況	水中部により判断不能		漏水後、滲出し 滴水	流水、噴水	
	周縁コンクリートの欠損等	無	局所的	全体的		

※施設内を点検するものであるため、周辺地形状況は別途点検が必要

※ひび割れ幅における[0.6mm]は、厳しい腐食環境の場合に適用する。

※ひび割れの規模に係る評価区分 S-3 は、①+②又は①+③を満たす場合に該当する。

【恵那中部用水(撮影機器：FIFISH V6)変状判断】

恵那中部用水における FIFISH V6（水中航行型）による撮影動画では、下記変状が確認された。

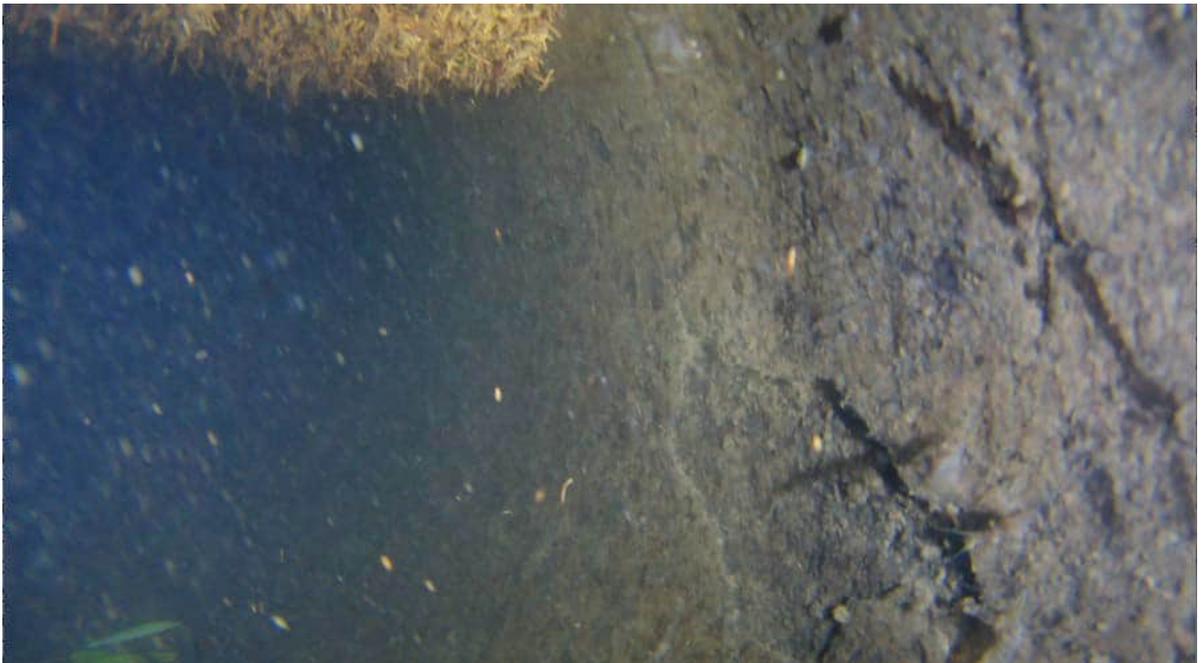
- ・管内円周方向のひび割れ
- ・部分的な細骨材の露出

近接目視による実測値との比較については、通水状態のサイフォンのため未実施である。

◇ひび割れ

管内円周方向においてひび割れが確認された。カメラ性能検証結果（4.2 カメラ性能の検証にて後述）より、目視できるひび割れ評価は S-3（1.0mm 程度）以下であると推察され、映像確認の結果、全体的ではないことが確認されたことから、S-3 評価と判定した。

ひび割れ



恵那中部用水 B 区間サイフォン部
(B 区間サイフォン.mp4 1:07)

◇摩耗・すり減り

部分的な細骨材露出が確認されたことから、S-4 評価と判定した。

摩耗・すり減り



恵那中部用水 B 区間サイフォン部
(B 区間サイフォン.mp4 0:03)

施設状態評価表
 【万場用水(撮影機器：IBIS)】 対象距離 0.4m 程度

評価項目		評価区分					
健全度ランク		S-5	S-4	S-3	S-2		
内部要因	ひび割れ	タイプ：初期ひび割れ 形状：目地間中央や部材開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	
		進行性(ASRや凍害などの場合)		有りの場合の1ランクダウン			
	ひび割れ以外の劣化	ひび割れ規模			① ひび割れ密度 (ひび割れ幅0.2mm以上) 50cm/m2以上	S-3に該当するものが 全体的 又は流水、噴水	
		ひび割れ附随物(析出物、錆汁、浮き)	無		② 有 ③ 滲出し、漏水後、滴水		
		ひび割れからの漏水	無				
		ひび割れ段差	無			有	
		浮き	調査不可	部分的	全体的		
		剥離・剥落	無	部分的	全体的		
	外部要因	構造物自体の変状	析出物(エフロレッセンス・ゲルなど) (ひび割れを含むものを除く)	部分的 (S-4の場合以外)	全体的又は鉄筋に沿った部分的		
			錆汁(ひび割れを含むものを除く)	無	有		
			摩耗・すり減り	細骨材露出	粗骨材露出	粗骨材剥落	
鉄筋露出の程度			無		全体的の場合、1ランクダウン	部分的 全体的	
圧縮強度			反発強度法(鉄筋) (圧縮強度換算)※設計強度 21N/mm2の場合	21N/mm2以上 (設計強度比100%以上)	15N/mm2以上~ 21N/mm2未満 (設計基準強度比100%以上)	15N/mm2未満 (設計基準強度比100%以上)	
中性化(鉄筋)			ドリル法 (中性化残り)	調査不可		残り10mm未満	
その他の要因	構造物周囲の変状	変形・歪み	変形・歪みの有無	無	局所的	全体的	
		欠損・損傷	欠損・損傷の有無	無	局所的	全体的	
		不同沈下	構造物の沈下、蛇行	無	局所的	全体的	
	目地の変状	地盤変形	背面土の空洞化	無	局所的	全体的	
			周辺地盤の陥没・ひび割れ	調査不可	局所的	全体的	
			抜けあがり	無	20cm未満	20cm以上~ 50cm未満	50cm以上
目地の変状	目地の開き	目地の開き	無	局所的	全体的		
	段差	段差	無	局所的	全体的		
	止水板の破断	止水板の破断	調査不可		有		
	漏水の状況	漏水の状況	無	漏水後、滲出し 滴水	流水、噴水		
	周縁コンクリートの欠損等	周縁コンクリートの欠損等	無	局所的	全体的		

※施設内を点検するものであるため、周辺地形状況は別途点検が必要

※ひび割れ幅における[0.6mm]は、厳しい腐食環境の場合に適用する。
 ※ひび割れの規模に係る評価区分 S-3 は、①+②又は①+③を満たす場合に該当する。

【万場用水(撮影機器：IBIS)変状判断】

万場用水における IBIS（空中浮遊型）による撮影動画では、下記変状が確認された。

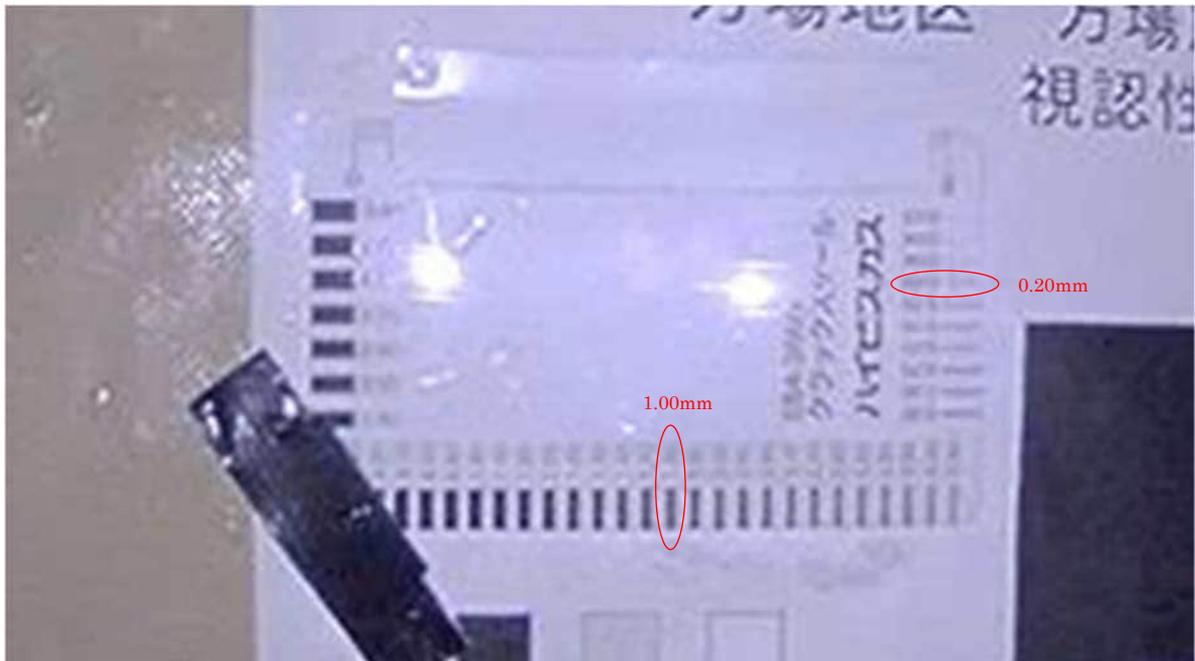
- ・ 頂版のひび割れ
- ・ 錆汁
- ・ 部分的な粗骨材剥落（側壁）
- ・ 部分的な鉄筋露出（頂版）
- ・ 析出物（部分的）
- ・ 局所的な欠損・損傷

水路内の撮影時、側壁にクラックスケール及び視認性試験マークを貼付けし、施設状態評価への適用可否について確認した。水路サイズは H700×B1200。

4.2 カメラ性能の検証にて後述するが、ひび割れ評価区分の境となる 0.2mm、1.00mm に注目すると、0.2mm は文字、線ともに視認できず、1.00mm は線のみ視認できた。

ひび割れ





万場用水 調査区間1 起点から5.0m 付近
 (調査範囲1 (デモフライト) -3.mp4 2:33)

◇ひび割れ

ひび割れは、側壁、頂版において確認されている。カメラ性能検証結果(4.2 カメラ性能の検証にて後述)より、目視できるひび割れ評価はS-3(1.0mm程度)以下であると推察され、映像確認の結果、全体的ではない⁷ことが確認されたことから、S-3評価と判定した。

ひび割れ



万場用水 調査区間1 起点から20m 付近
 (調査範囲1 下流.mp4 1:14)

⁷ 鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表より、注2) 「部分的」とは概ね全体の50%未満を示し、「全体的」とは全体の50%以上を示す。

◇鏽汁

頂版において部分的な鏽汁が確認されていることから S-4 評価と判定した。

鏽汁



万場用水 調査区間 1 起点から 10m 付近
(調査範囲 1 下流.mp4 0:46)

◇析出物 (エフロレッセンス・ゲルなど)

頂版～側壁において部分的に析出物が確認されている。
映像確認の結果、全体的ではないとの判断から S-5 評価と判定した。

析出物(エフロレッセン・ゲルなど)



万場用水 調査区間 1 起点から 30m 付近
(調査範囲 1 下流.mp4 1:29)

◇摩耗・すり減り

側壁通水部において粗骨材露出が確認された。流水のため、撮影映像からは直接底版は確認できないが、技術者による確認の結果、全体的との判断から S-3 評価とした。

摩耗・すり減り



万場用水 調査区間1 起点から 5.0m 付近
(調査範囲1 下流.mp4 0:35)

3.3 点検における留意事項

発注前

【調査時期の選定】

一般的には調査は農業用水であるため営農をしない時期に実施される。冬季は地域の必要用水量が減少し通水量を小さくしているため、断水や通水量の調整がしやすい時期でもある。ただし、調査時期は冬季に限定されるわけではない。用水路の状況や地域の状況に応じて、適切な調査時期を選定する必要がある。また、断水や通水量の調整は関係者との調整が必要である。

調査前

【関係者への許可と周知】

断水や通水を繰り返し、用水路の水量を変動するため、関係者(地元住民も含む)に許可および周知を行うことが必要である。また、周辺環境に与える影響にも注意する必要がある。

【調査条件の確認】

事前に現況断面、機器投入口、水深、水量調節施設、過年度成果等の情報を収集し、調査計画を作成する必要がある。また、ドローンを暗渠内で使用する際には、通信距離が短くなるため、水路の途中の点検口の場所を調査し、実際に侵入できるかどうかを現地で確認することが重要である。

図面等で表示されている場合でも、現地では確認できない、または、開けることができない場合があるため、現地での確認が必要となる。

【調査計画書の作成】

調査計画書は、使用機器や調査方法を取りまとめたものである。これにより、調査の目的や方法が明確化され、効率的な調査を遂行することができる。また、調査時のチェックリストなども含め、具体的に作成することが望ましい。

【規制や許可に関する確認】

UAVを使用する際には、人口集中地区(DID地区)であれば、国土交通大臣の許可が必要となる場合があるため確認が必要である。また、使用する機器や方法によっては、その使用に関する法規制がある場合がある。

暗渠のような閉鎖空間では許可を要しないと考えられるが、このような規制や許可については、事前に確認することが必要である。「規制を受けない条件」「許可を要しない条件」を確認して調査実施を行うこと。(参照:3.3.1 ドローンをを用いた暗渠点検における登録・許可について)

【使用機器の使用方法和データ取得方法の確認】

使用する機器については、その使用方法やデータ取得方法について事前に確認を行うことで調査中に問題が生じた場合でも迅速に対処することが可能である。調査の試行結果に基づいて、適切な改善策を提案する必要がある。

ドローンを狭小暗渠に使用することは、イレギュラーな使い方であるため、故障や通信断絶が多く確認されている。予備部品を用意し、その場での修理ができるようにしておくことや、暗渠内でドローンが残置してしまった場合の回収方法を検討しておくことが望ましい。

調査中

【データ取得】

調査区間における、データ取得を抜けもれなく実施されているか確認を行いながら実施すること。

また、データ取得時に弊害となったものや、非効率な方法等があった際は課題を取りまとめておくこと。

調査後

【データ取得】

取得データにてひび割れ幅等の判定を行う際は、全体を通して整合性を図るためにも、同一人物で行うことが望ましい。

点群処理を行う際は、ひび割れや欠損等が消失しないよう注意し処理を行うこと。

取得漏れがあった場合は、再調査を行うこと。

機器および現場状況に応じて取得が困難であった場合においては、改善策の提案、また検証等を行うことが望ましい。

3.3.1 ドローンを用いた暗渠点検における登録・許可について

航空法の改正により、2022年6月20日以降、100g以上のドローンを屋外で飛行させる場合は機体の登録・リモートIDの登録が必要となっている。

しかしながら、暗渠内は「【参考】無人航空機に係る規制の運用における解釈について」項目9の(1)より屋内と定義される。また(3)より、開口部付近での浮上、進入も屋外での飛行とは見なさないとの記述がある。

暗渠点検では(1)の飛行と(3)の行為で完結するものと考えられるため、屋内での飛行とみなされ、航空法の適用外となる。これより、所持するドローンを暗渠点検にのみ使用する場合、機体登録は法律上必要無い。

なお、人口集中地域等の飛行禁止区域内での飛行(特定飛行)や、屋外での目視外飛行を行う場合、国土交通大臣の許可・承認を受ける必要があるが、屋内である暗渠内のみの飛行であれば航空法の適用外となるため、許可・承認は必要ない。

【参考】無人航空機に係る規制の運用における解釈について

9. 屋内での無人航空機の飛行 建物内等の屋内での飛行については、航空法上の各規制は適用されない。ここで、(1)及び(2)の空間内の飛行は屋内での飛行であると見なし、(3)の行為は屋外での飛行とは見なさない。屋内での飛行経路が開口部に接近する場合には、無人航空機が屋内から屋外へ意図せず飛び出すことを抑止するために必要な措置を講じること。予定の経路を逸脱して屋外に飛び出してしまった場合には、直ちに飛行を終了するか、速やかに屋内に引き返すための措置を講じること。

屋外を飛行するために必要な飛行許可承認の手続きを実施せず屋外を飛行させた場合、航空法等違反となる可能性があることに十分留意すること。

- (1) 開口部はあるが、内部と外部が明確に区別された空間
例：トンネル内部、地下道内部、煙突内部、窓・扉の開いた建物等
- (2) 無人航空機のスケールより目の細かいネット、金網等で囲われ、無人航空機が飛行範囲を逸脱することがないように措置された空間
- (3) 開口部付近において、飛行前の挙動確認のために一度飛行させる者の近くで低高度の浮上を実施し、これに引き続き空間内部に向けて直ちに進入する行為

航空局安全部無人航空機安全課長，“無人航空機に係る規制の運用における解釈について”国土交通省，

平成27年11月17日 制定、令和5年1月26日 最終改正，[001303820.pdf \(mlit.go.jp\)](#)

【注意】

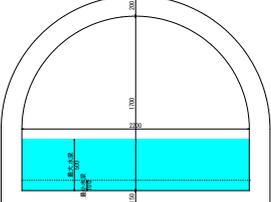
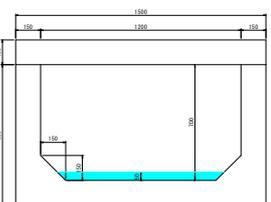
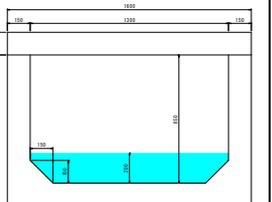
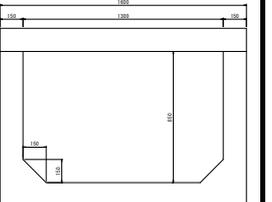
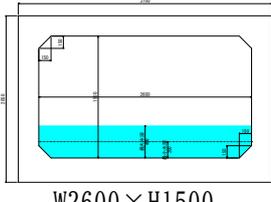
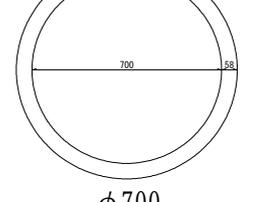
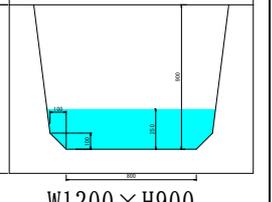
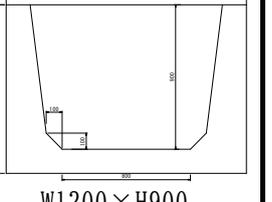
- ・所持するドローンを屋外でも飛行させる予定がある場合、下記URLを参考に必ず登録を行うこと。
国土交通省無人航空機ポータルサイト <https://www.mlit.go.jp/koku/drone/>
- ・私有地内であっても屋外では航空法の適用を受けるため、未登録の機体を飛行させてはならない。

4. 実証地区の検証

4.1 実証地区の概要

実証地区（計3地区）の調査条件を下記に示す。

表 4-1 調査条件一覧表

調査地区	揖斐川左岸地区	万場地区	恵那中部用水地区	
用水名	揖斐川左岸用水	万場用水	中部用水	
調査位置	揖斐郡揖斐川町北方地内	郡上市大和町万場地内	恵那市三郷町野井地内	
水路種別	水路トンネル(馬蹄型)	蓋付き水路	蓋付き水路	蓋付き水路
水路断面	 <p>W2200×H1700 水深:100~500mm 流速:1.5~3.2m/s</p>	 <p>W1200×H700 水深:10~50mm 流速:未測定</p>	 <p>W1300×H850 水深:200mm 流速:0.8~1.2m/s</p>	 <p>W1300×H850 水深:0mm 流速:0m/s</p>
調査延長	水路トンネル:L=1.2km	蓋付き水路:L=0.12km	蓋付き水路:L=0.20km	蓋付き水路:L=0.20km
使用機器	水面浮遊型無人機器 水中ドローン 	狭小空間専用ドローン 	水面浮遊型無人機器 水中ドローン 	陸上走行型無人機器 
水路種別	暗渠(BOX カルバート)	ヒューム管	蓋付き水路	蓋付き水路
水路断面	 <p>W2600×H1500 水深:200~400mm 流速:1.5~3.2m/s</p>	 <p>φ700 水深:0mm 流速:未測定</p>	 <p>W1200×H900 水深:250mm 流速:0.8~1.2m/s</p>	 <p>W1200×H900 水深:0m 流速:0m/s</p>
調査延長	暗渠:L=0.5km	ヒューム管:L=0.06km	蓋付き水路:L=0.48km	蓋付き水路:L=0.48km
使用機器	水面浮遊型無人機器 水中ドローン 	狭小空間専用ドローン 	水面浮遊型無人機器 水中ドローン 	陸上走行型無人機器 

各地区における使用機器および調査結果を比較する。

調査箇所	揖斐川左岸用水	恵那中部用水	万場用水
調査延長	L=1.7km	L=0.68km	L=0.18km
調査機器			
	水面浮遊型	水面浮遊型・陸上走行型	空中浮遊型
水路幅	W=1700~2600mm	W=1200~1300mm	φ700mm
水深	H=100~500mm	H=0~250mm	H=0mm
最大確認 ひび割れ幅	W=0.6mm	W=0.6mm	W=0.2~0.6mm
取得データ	動画のみ	動画のみ	動画および点群取得
計測	不可(動画上で判断)	不可(動画上で判断)	3Dモデル上で計測可
調査日数 ※事前調査は含まず	3日	4日(出水・断水)	1日
適用性	<p>【水面浮遊型】 流水が確保されていたため、全線通してデータを取得することができた。</p> <p>【水中航行型】 水深が確保されているかつ、流速が遅い区間にて調査を行ったが、高濁度であったため、部分的なデータ取得となった。</p>	<p>【水面浮遊型】(出水時) 流水が確保されていたため、全線通してデータを取得することができた。</p> <p>【陸上走行型】(断水時) 電波不良により一部区間のデータ取得となった。</p> <p>【水中航行型】(出水時) サイフォン区間においてデータを取得することができた。</p>	<p>【空中浮遊型】 無線電波範囲で、呑口および吐口から調査を行い、結果、全線通してデータを取得することができた。</p> <p>点群取得も同時に行うことが可能であるため、容易に3Dモデル作成が可能となった。</p>

4.2 カメラ性能の検証

本項では実証に使用した DX 機器を用いてカメラ性能の検証を行った。

【検証方法】

1. カメラ性能確認表¹の作成

鉄筋コンクリートの施設状態評価表において、厳しい測定条件としてひび割れに着目。測定条件における変状箇所の目視可否を把握するため、DX 機器ごとにカメラ性能確認表を作成した。

検証では、実証に使用した DX 機器のカメラを使用して撮影（機器諸元はカメラ性能確認表参照）し、農業水利施設の機能診断の専門知識を有する技術者がその画像について下表により判定を行う。

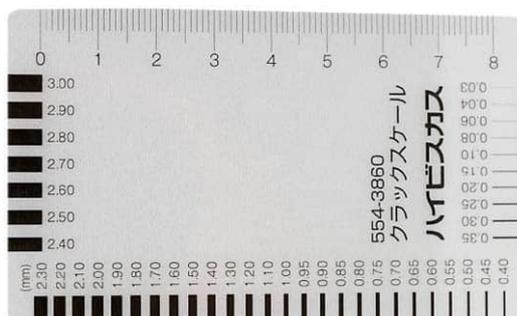
カメラ性能確認は一定のモニタ解像度を有する PC 画面上の画像を目視して行う。

室内（暗室）にて、白紙背景に貼付けたクラックスケールを、距離別に撮影。
0.3mm、1.00mm の線と文字の視認性について、下表より判定した。
対物距離は 0.25m、0.50m、0.75m、1.00m、1.50m、2.00m、2.50m、3.00m

性能確認の判断基準

判定結果	内容	カメラ性能確認表における着色
くっきり見える	0.3mm の線と「0.30」の文字がくっきり見える	青色
見える	0.3mm の線が見えるが「0.30」の文字が見えない（文字があることはわかる）	オレンジ色
見えない	0.3mm の線が見えない、もしくはぼんやりと見える	赤色

※施設状態評価表、S-3 評価の判定基準である、1.0mm についても同様に検証実施する。



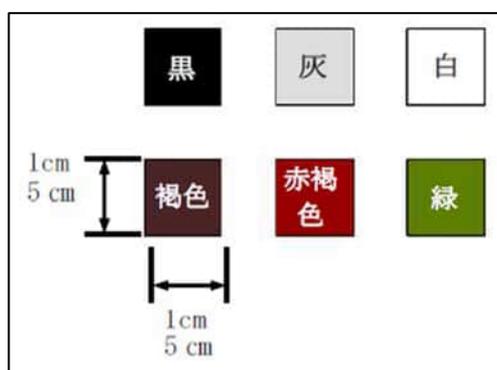
例) クラックスケール

¹ 岐阜県 点検支援技術活用の手引き(岐阜県県土整備部 道路維持課 令和3年6月)

2. 視認性試験マークの目視確認

カメラ性能確認と同条件において、水路の変状を想定した視認性確認マーク（下図参照）をもとに色別、サイズ別に目視可否を確認した。

- ・マーク色：
 - 黒：ひび割れ等の識別
 - 灰：コンクリート等の識別
 - 白：析出物等（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
- ・サイズ： 1 cm 角、5 cm 角



視認性試験マーク

※IBIS (株Liberawear) に関しては DX 機器による現地調査時に壁面にクラックスケール、視認性確認マークを貼付けし、撮影映像より目視可否を確認し、カメラ性能確認表を作成した。

【使用機器】

- ・ GoProMAX (別途照明 800 ルメン (Lux 換算 1600Lux))
- ・ FIFISH V6 水中ドローン (内蔵 LED 6000 ルメン (Lux 換算 6000Lux))
- ・ IBIS (照度非公表)

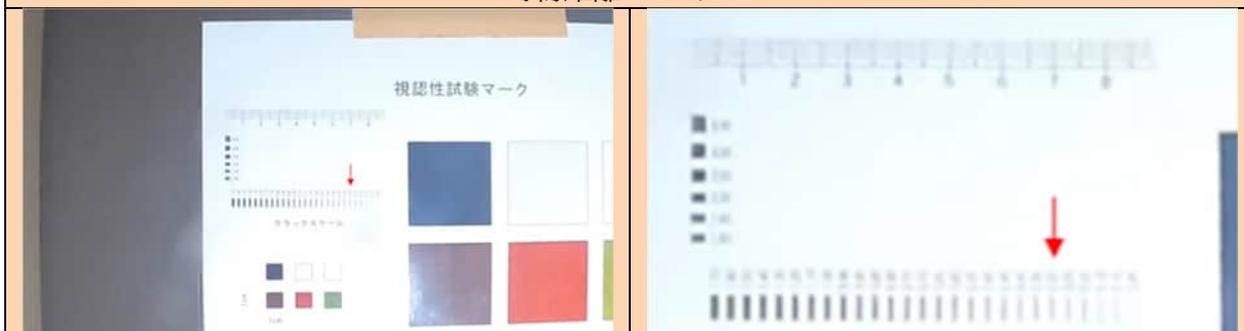


検証状況

検証動画一覧表【GoProMAX】

検証撮影動画【0.30mm判読】

対物距離 L=0.25m



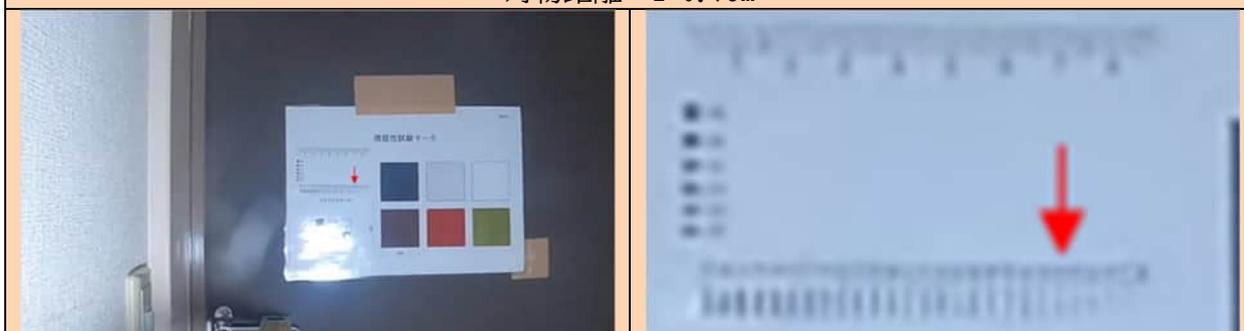
△

対物距離 L=0.50m



△

対物距離 L=0.75m



△

対物距離 L=1.00m



×

検証撮影動画【0.30mm判読】

対物距離 L=1.50m



×

対物距離 L=2.00m



×

対物距離 L=2.50m



×

対物距離 L=3.00m



×

検証動画一覧表【GoProMAX】

検証撮影動画【1.00mm判読】

対物距離 L=0.25m



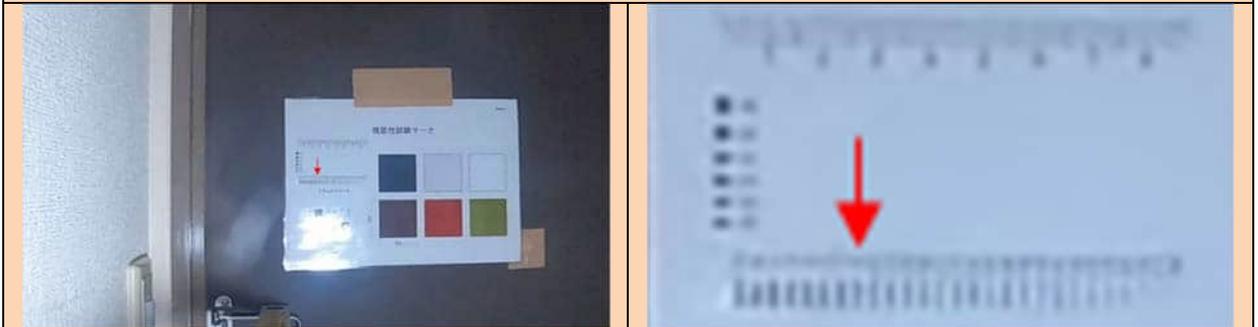
△

対物距離 L=0.50m



△

対物距離 L=0.75m



△

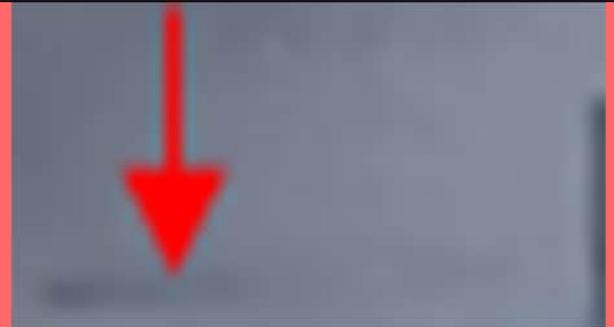
対物距離 L=1.00m



×

検証撮影動画【1.00mm判読】

対物距離 L=1.50m



×

対物距離 L=2.00m



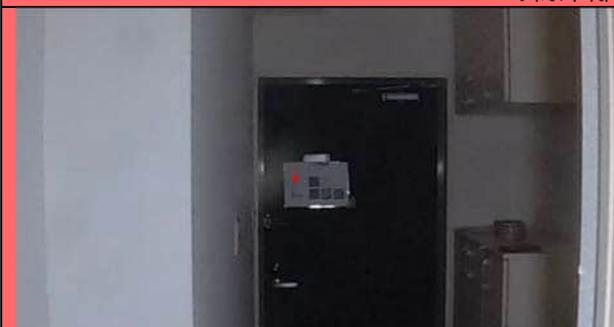
×

対物距離 L=2.50m



×

対物距離 L=3.00m

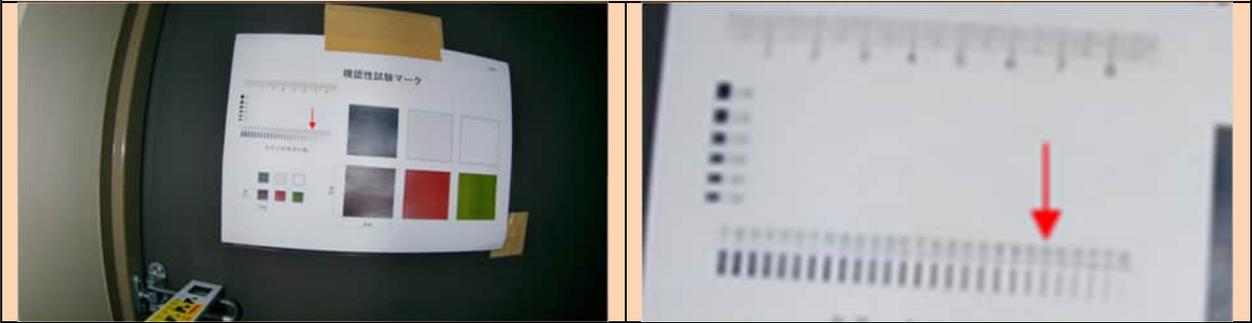


×

検証動画一覧表【FIFISH V6 EXPERT】

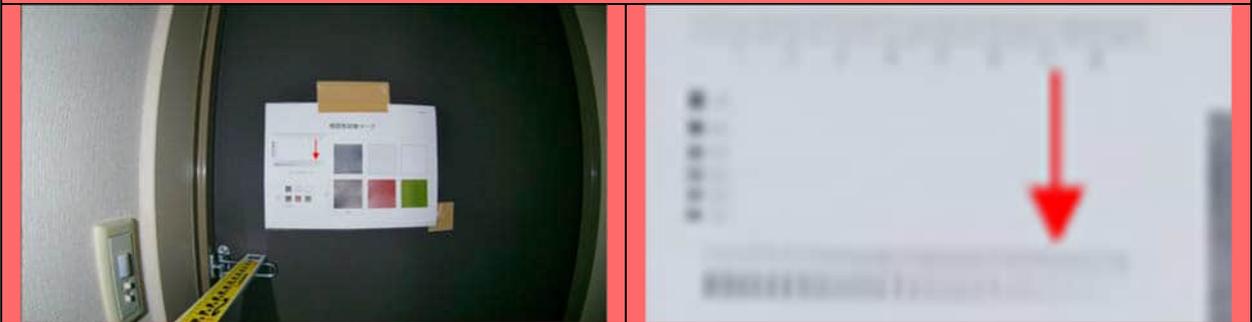
検証撮影動画【0.30mm判読】

対物距離 L=0.25m



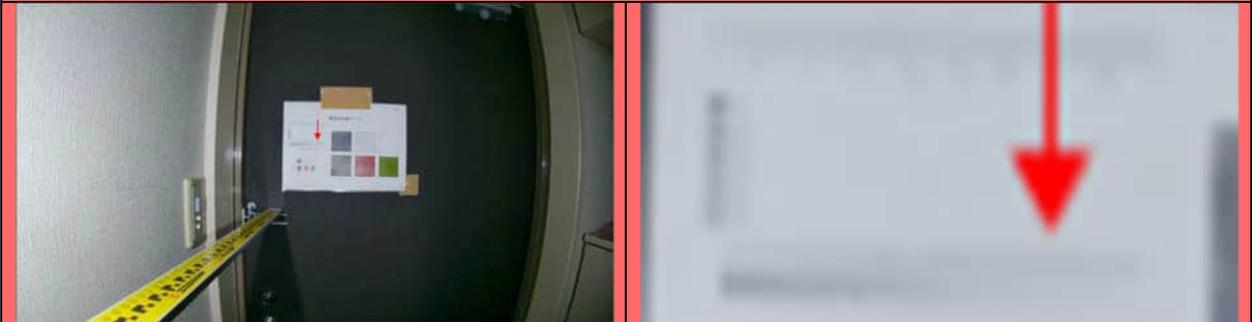
△

対物距離 L=0.50m



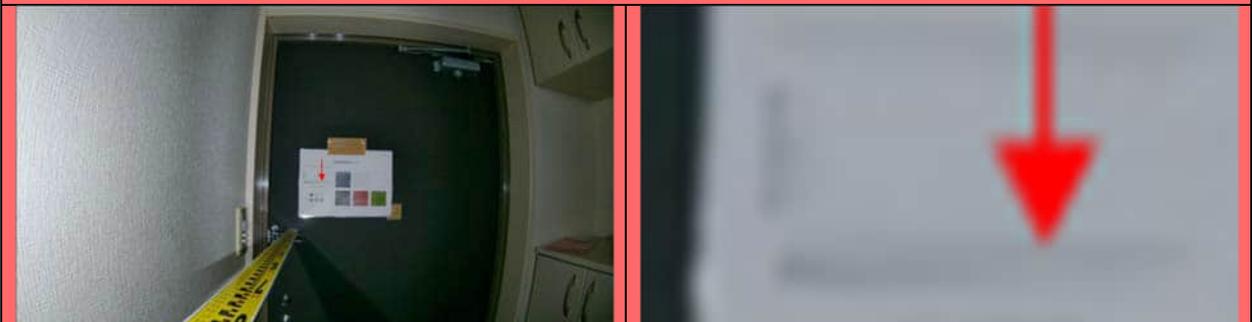
×

対物距離 L=0.75m



×

対物距離 L=1.00m



×

検証撮影動画【0.30mm判読】

対物距離 L=1.50m



×

対物距離 L=2.00m



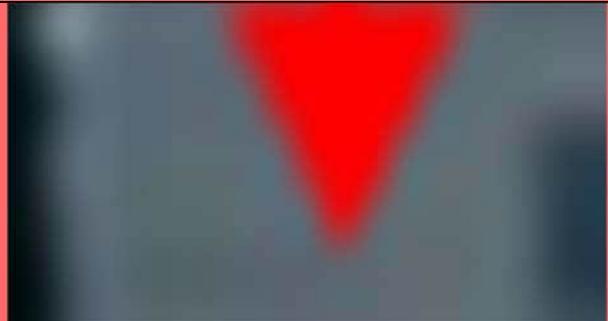
×

対物距離 L=2.50m



×

対物距離 L=3.00m

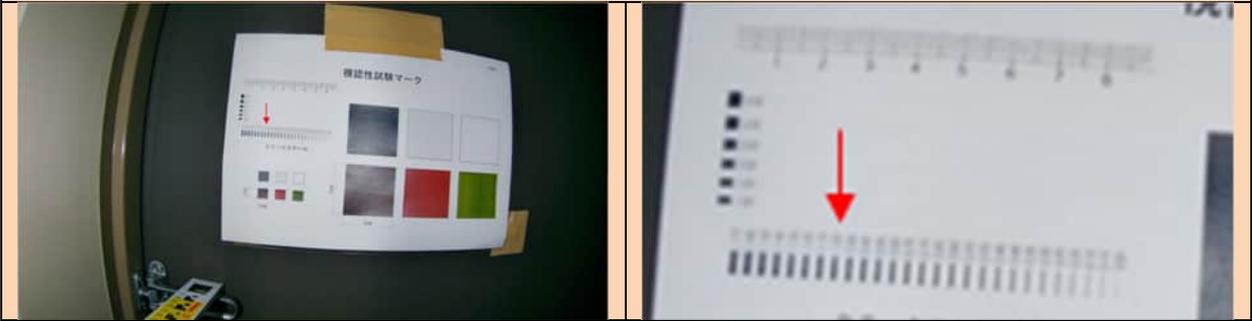


×

検証動画一覧表【FIFISH V6 EXPERT】

検証撮影動画【1.00mm判読】

対物距離 L=0.25m



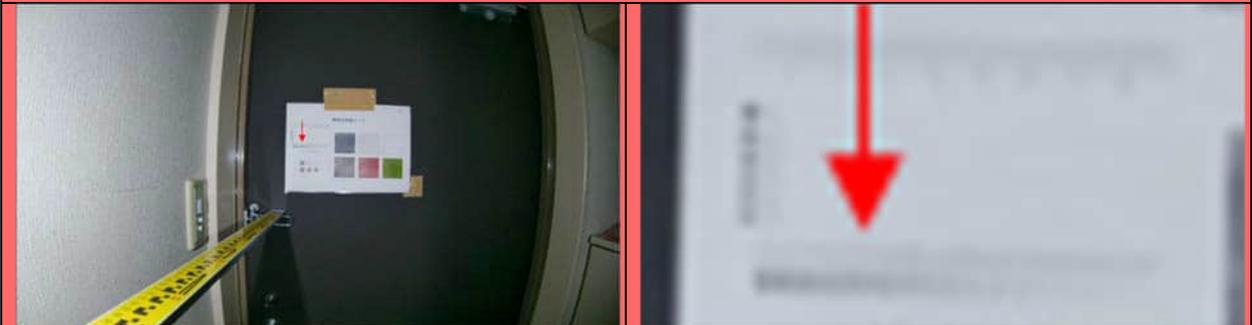
△

対物距離 L=0.50m



△

対物距離 L=0.75m



×

対物距離 L=1.00m



×

検証撮影動画【1.00mm判読】

対物距離 L=1.50m



×

対物距離 L=2.00m



×

対物距離 L=2.50m



×

対物距離 L=3.00m

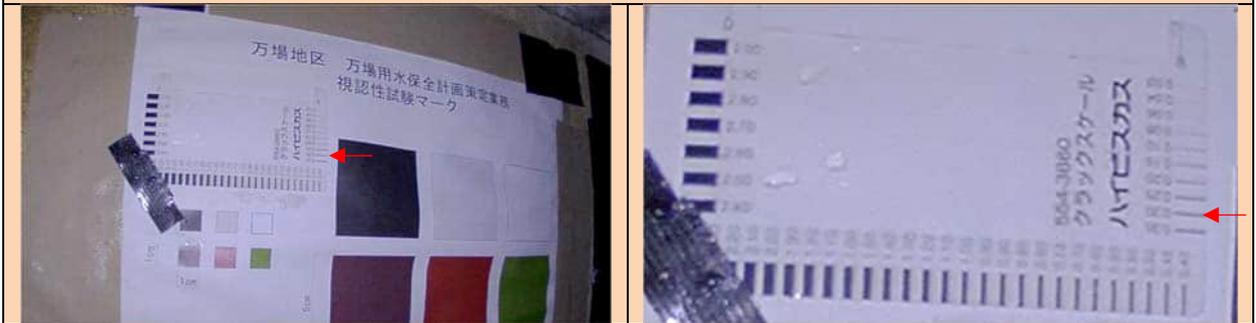


×

検証動画一覧表【IBIS】

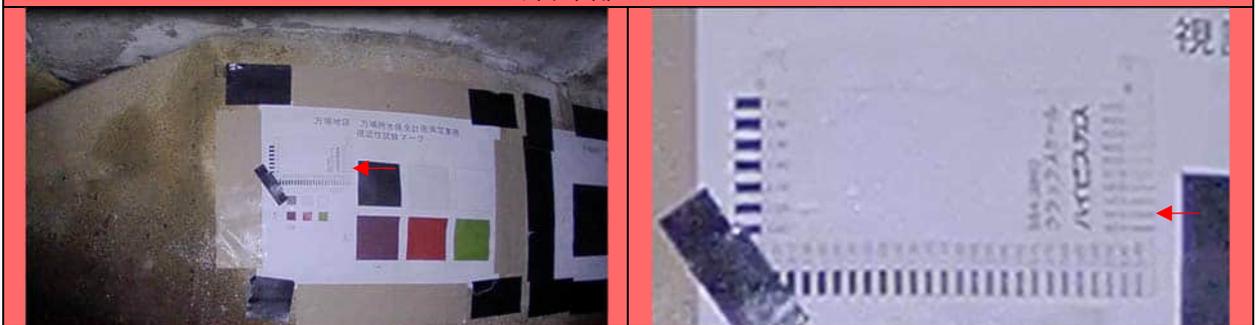
検証撮影動画【0.30mm判読】

対物距離 L=0.25m



△

対物距離 L=0.50m



×

適用断面が B=1200mm 以下より、対物距離 L=0.75m 以上は検証していない。

検証動画一覧表【IBIS】
検証撮影動画【1.0mm判読】

対物距離 L=0.25m



△

対物距離 L=0.50m



△

適用断面が B=1200mm 以下より、対物距離 L=0.75m 以上は検証していない。

カメラ性能検証の結果、

【0.30mm】の視認性

	撮影距離			
	0.25m	0.50m	0.75m	1.00m
GoProMAX	△	△	△	×
FIFISH V6	△	△	×	×
IBIS	△	×	×	×

【1.00mm】の視認性

	撮影距離			
	0.25m	0.50m	0.75m	1.00m
GoProMAX	△	△	△	×
FIFISH V6	△	△	×	×
IBIS	△	△	×	×

GoProMAX では、、、、

0.30mm→対物距離 L=0.50m まで線が確認できる。文字は確認できない

1.00mm→対物距離 L=0.75m まで線が確認できる。文字は確認できない。

FIFISH V6 では

0.30mm→対物距離 L=0.25m まで線が確認できる。文字は確認できない

1.00mm→対物距離 L=0.50m まで線が確認できる。文字は確認できない。

IBIS では

0.30mm→対物距離 L=0.25m まで線が確認できる。文字は確認できない

1.00mm→対物距離 L=0.50m まで線が確認できる。文字は確認できない。

結果となった。

いずれの機器、対物距離においてもクラックスケールの文字は判別できず、最良の判定結果でも「見える」評価までに留まった。

今回の実証に使用された DX 機器は、変状箇所のサイズを測定する機能を有していないが、現地調査により得られた実測結果（3.2.2 地区別の施設状態評価表 参照）と考え合わせると、今回使用した DX 機器の撮影データでは測定対象との距離が L=0.75m 以下の場合、**1.0mm 程度**まで（評価区分 S-3、S-2）のひび割れが視認できると推察される

言い換えれば、

DX 機器の撮影データから確認できるひび割れ ≡ S-3(1mm)以下の評価

// ひび割れが確認されない ≡ S-4(0.2mm)以上の評価

であると推察される。

また、各色の視認性確認マークは、5cm 角サイズで 1.5m、1cm 角サイズで 0.75m が視認できる限界であると確認された。

これらの検証結果より、今回の使用機器で適用できる水路断面は H800×B1500 程度が限界だと思慮される。これ以上の断面でも調査可能ではあるが、一般的にカメラ性能及び撮影条件が同一の場合、対象物との距離は近いほど高精度の撮影データが取得できるため、人力点検不可となるΦ800 以下程度の断面への適用や、右左壁に分けて撮影する等、測定方法の検討が必要である。

本項のカメラ性能の検証は、白紙背景に貼り付けたクラックスケールを及び各色の視認性確認マークを撮影する方法で実施したが、これは極めて好条件での結果である。現地条件によっては経年による風化や塵芥による汚れ、一部では蘚苔類や藻類の付着等が想定されるため、実際の撮影データでは目視確認が難しい場合もあることに留意する必要がある。

また、使用する DX 機器に搭載される LED の照度にもよるが、対象物への距離が近くなるほど、対象物の明度が高く、表面が平滑であるほど照明が反射しやすく、撮影データが白飛びする原因となるため、現地条件に応じてカメラの露出調整等の対策が必要である。

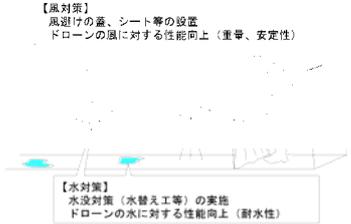
機器使用に際しては、精度向上のため、必要に応じて一部区間で変状箇所を実測、または屋内でカメラ性能確認を行うことで比較対象データを取得し、キャリブレーションを実施することが望ましい。

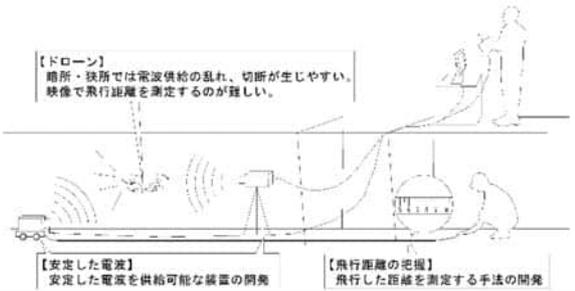
次頁よりカメラ性能確認表を示す。

4.3 課題の検証

4.3.1. 機器使用上の課題と考察

今回使用した DX 機器および調査方法の課題と考えられる対応策を下記に示す。

姿勢制御について	
課題	対応策
<p>狭小空間専用ドローンの内蔵カメラにおいて、カメラが正面のみかつ、可動性が皆無であったため、別角度からの確認が困難であった。</p>	<p>カメラの取付位置や可動性を向上し、全体のスクリーニング調査ができるような機器の改修を行うことが望ましい。</p>  <p>【カメラ向き調整】 カメラ角度が調整できる機能の追加</p> <p>【カメラ設置位置】 カメラ位置を変更できる機能の追加</p>
<p>狭小空間専用ドローン調査時に、自機が発生する風および、暗渠内に流れ込む風により、煽られることがあり安定した走行が困難な区間があった。</p>	<p>周辺環境への対策が必要であり、風にあおられず、着水しないまたは、着水しても復帰可能な技術とすることが必要となる。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①ドローンの風に対する性能向上（重量、安定性） ②ドローンの水に対する性能向上 ③風対策（風除けの蓋、シートなどの設置） ④水没対策（水替工の実施等）  <p>【風対策】 風除けの蓋、シート等の設置 ドローンの風に対する性能向上（重量、安定性）</p> <p>【水対策】 水没対策（水替え工等）の実施 ドローンの水に対する性能向上（耐水性）</p>
<p>作成した船型の無人機器（水面浮遊型無人機器）については、小型ドローンのプロペラを搭載しているため、推進力を確保できる。そのため、流速が無い箇所での活用は見込める。しかし、本業務のような、常に流水があり、断面形状が大きな箇所については、進行方向が定まらず壁面距離を一定に維持することはできなかった。</p>	<p>損傷の調査を行う際に、カメラから壁面までの距離が一定であることが望ましいため、水路および管渠の中央を進行したい。そのため、船型の無人機器が回転および壁面沿いを進行しないように、左右の浮き部分の伸縮量を拡大することで改善を図れる。（現行機においても伸縮は可能であるが、本業務区間の水路幅には対応できなかった）</p> 

調査区間について	
課題	対応策
陸上走行型および狭小空間専用ドローンについては、無線操作にて点検を行うため、現行機では100m程度しか調査を行えない状態である。	<p>安定した電波供給の対応策を下記に示す。</p> <p>①安定した無線周波数(800MHz帯)の設定と軽量のデバイス(ニーズの拡大)の開発</p> <p>②暗渠内における高周波数帯(2.4GHz以上)での通信を可能とする技術(減衰・回折対策等)の開発</p> <p>③飛行した距離を測定する手法の開発</p> 

照明について	
課題	対応策
水面浮遊型無人機器上部の上面に搭載したLEDライトが、一方向しか照らしておらず、かつ進行方向が定まらず、取りまとめた調書写真が、一定方向の結果となっていない箇所がある。	<u>上面および下面に180°タイプ</u> の照明を取り付けることで改善を図れる。

データ取得条件について	
課題	対応策
使用したGoProMAXはAF(オートフォーカス)機能が搭載されているが、業務区間において、流速が速い箇所においては、機能していない箇所が確認された。(流速が1.5m/s以上かつ水面が波打っている区間)	<u>上流側のゲート等で一定の水深かつ流速を抑えた状態</u> にすることで調査取りまとめの際に有効である。また、 <u>調査結果写真においては、動画から画像の切り出しを行い、シャープネス機能、ホワイトバランスおよびコントラストの調整を行っている。</u>
水面浮遊型無人機器下面に搭載した360°カメラで撮影したが、高濁度のため調査を行うことが困難であった。	<p>常時流水がある区間では、掃流力が働き高濁度である区間が多く見受けられた。底面の調査を行うためには、<u>流水がなく水深が確保(水面浮遊型無人機器が進行可能な20cm程度)できる箇所、もしくは、水路内の水を完全に枯らしてから陸上走行型無人機器にて調査を行うこと</u>で改善を図れる。(最大水深3cm程度であれば走行可能)</p>  <p>陸上走行型無人機器</p>

データ取得条件について

課題	対応策
<p>水中ドローンにて撮影を試みた。しかし、高濁度、流速の影響および水中ドローンの沈砂巻上げにより、調査を行うことは困難であった。</p>	<p>濁度および流速の影響に関しての対策としては前述の通りとする。水中ドローンの沈砂巻上げについては、検証結果より <u>20cm 程度離隔をとれば巻上げが起こらないことが判明した。</u></p> <p>そのため、<u>低濁度および水深が 50cm 程度以上(底面からの離隔 20cm+水中ドローンの進行可能水深 30cm)かつ流速が 1.0m/s 程度以下である箇所</u>については水中ドローンでの調査を行える。ただし、前述の通り、水中ドローンのカメラが広角でないため、ピンポイントの調査においては活用することができる。</p> <p>また、調査を行う際は基本的に下流から上流に向けて行うことで、多少の巻上げが起こっても影響がないよう実施することが望ましい。</p> <div data-bbox="805 891 1404 1361" data-label="Image"> <p>The diagram shows a submersible drone with four propellers. Blue arrows labeled 'スクリュウー吐出方向' (Screw discharge direction) point outwards from the drone. Below the drone, a red double-headed arrow indicates a '15cm 離隔' (15cm clearance) from the bottom surface. Two curved arrows labeled '沈砂の巻上げ' (Sediment lifting) show the path of sediment being drawn up towards the drone's propellers.</p> </div>

4.3.2. 取得データ活用方法と課題

◇今後のDX機器の活用

3.2施設状態評価表への適用可否でも述べた通り、現在のDX調査機器や解析技術では機能診断が可能なレベルで施設状態評価表の項目を判定することは難しく、機能保全計画の立案を行う際は、別途変状箇所の計測方法を立案する必要がある。

しかしながら、目立った変状箇所や区間全体の状況把握という観点では十分活用が期待できることが確認された。

今後のDX機器の活用方法としては、長期間未監視区間の一時点検や、人力での日常点検が難しい暗渠区間の定期点検への適用が考えられる。

予算や人員が限られた中で、少しでも安価かつ効率的に調査を行う上では、DX機器でのデータ取得は有効的な手法である。現在、ドローン等のDX機器の技術開発は日進月歩の勢いで進化している。本実証に留まらず、常に新技術に目を向けながら今後の活用方法や診断手法の検討を重ねていく必要がある。

◇3Dモデルの活用

「揖斐農林事務所業務(揖斐川左岸用水)」「恵那農林事務所業務(中部用水)」にて取得したデータにおいては、動画のみとなる。

動画を切り出して3Dモデルを作成することは可能であるが、精度が確保されておらず、損傷の見落としが発生する恐れがある。

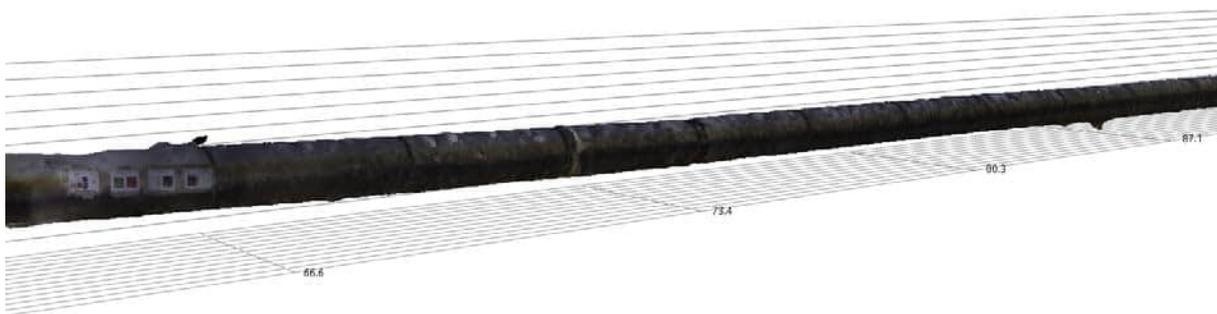
損傷の確認については、現状では動画を確認し、手作業で損傷部分の切り出しを行っている。一連の作業を自動化できるソフトは存在するが、取得データの精度(ブレ防止、進行位置および進行速度の一定化)を高める必要があり、現状では利用は困難である。

「郡上農林事務所業務(万場用水)」にて取得したデータは、動画および点群データである。

点群データを取得することにより、容易に3Dモデルが作成可能である。ただし、小型ドローンに搭載できるレーザー計測機ということもあり、一般的なドローンによる計測よりも精度は劣っており、ひび割れ等の確認は困難である。

データ処理をTREND-POINTにて行っているが、面作成処理を行う際に、微細なひび割れ等は無視され反映されない恐れがある。そのため、取得データを処理する際は注意が必要である。

下図はライニングされたヒューム管であるが、内面に凹凸が目立ち、データの不安定さが伺える。



継続的にデータを取得することで、3次元的に差分検知を行うことができ、より効率的に損傷箇所の発見および判定を行うことができる。

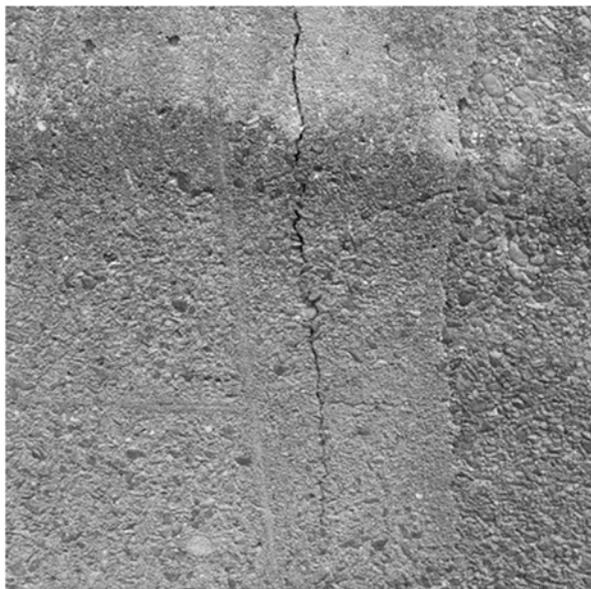
人力対応可能な開渠部においては、TRK測位であるviDocを使用することで、より精度の高い点群データ取得を行うことができる。



viDoc iPhone用 RTK rover

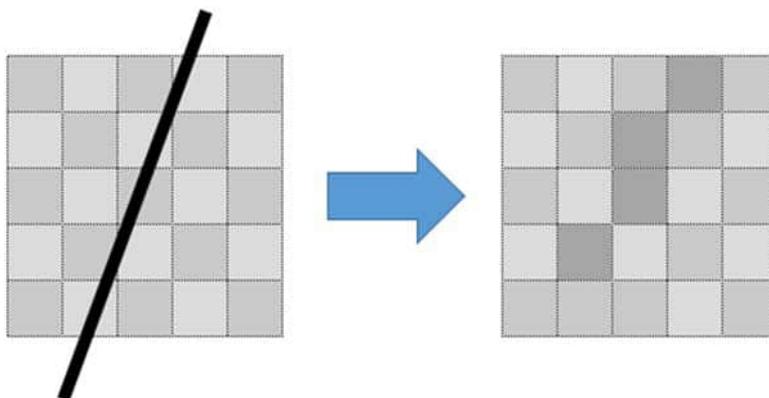
【コラム 1】カメラ性能についての考察

(ひび割れ写真の例)

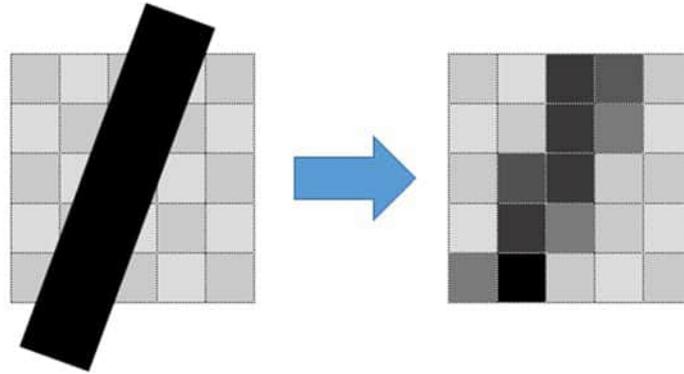


画像により物体を正確に判別するためには、 10×10 ドット程度必要とされているが、ひび割れは線的なものであるし、有無のみがわかればよいから、 10 ドットまでは必要ないと思われる。

ひび割れを判別するには、周囲の画素とのコントラストが生まれる必要がある。
しかし、ひび割れが画素の中を横切った程度では、コントラストが足りず判別ができない。



コントラストを生むためには、1ドットは確実にひび割れの中に含まれることが必要であるため、ひび割れ幅=2~3ドット程度の解像度があるとよいだろう。



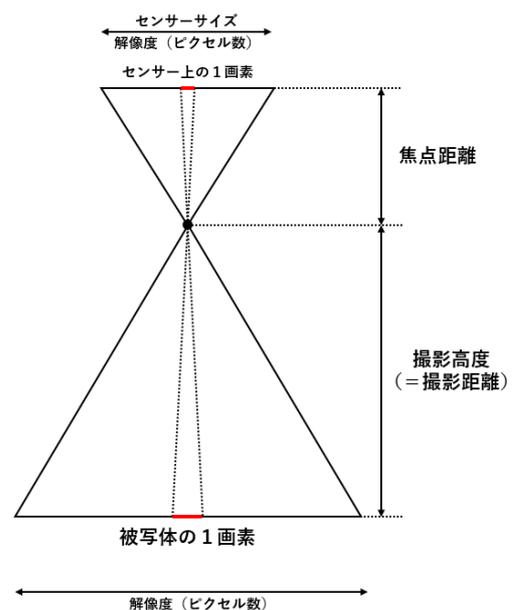
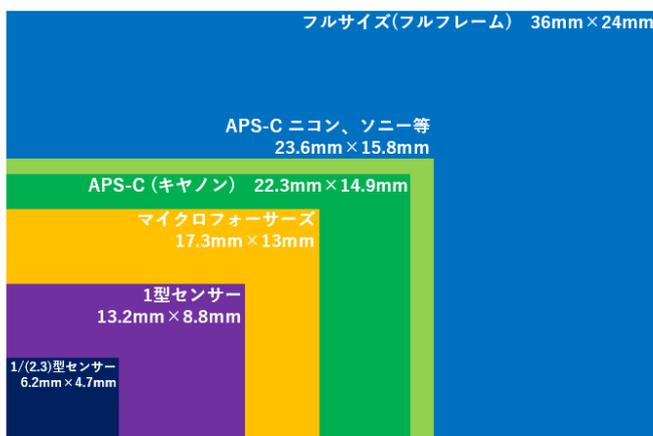
ならば、1ドットの長さが、判別したいひび割れ幅÷3程度のカメラ解像度がほしいことになる。

これは、確実に0.2mmのひび割れを判別するには、1ドットが0.0667mm以上の解像度、確実に0.6mmのひび割れを判別するには、1ドットが0.2mm以上の解像度、ということになるだろう。

このことを理論上計算するために必要なデジタルカメラの諸元は、

- 撮影高度 (= 撮影距離)
- センサーサイズ
- レンズの実焦点距離
- 解像度 (ピクセル数)

である。



下記に計算例を記載する。

撮影高度

撮影高度については、人間が入れない場所を撮影するのであるから、余裕を見て1.0mの管渠を想定し、真ん中にドローンが居るものとする。

すると撮影距離は50cm(0.5m)であるため、諸元値を0.5mと仮定する。

イメージセンサーのサイズ

残念ながら、センサーサイズは公開されていないものが多い。しかし小型軽量である必要が有ることから、スマホに類似すると考え、iPhoneと同じ1/2.7インチのセンサーと想定する。同センサーは5.4*4.0mmである。

レンズの実焦点距離

残念ながら、レンズの実焦点距離は公開されていないものが多い。画角のことを35mm換算焦点距離と言い換えて公表している事が多いが、それは撮影範囲の広さを表すのであって、レンズの焦点距離ではないことに注意を要する。35mm換算しか公表されていなくてもセンサーサイズが判っていれば逆換算しても良い。スマホの場合、4mm程度である。

解像度

ドローンは主に動画撮影を目的としており、一眼レフなどのような高解像度ではない。一般的な4Kカメラを想定する。4Kは3840×2160である。

その他（明るさについて）

暗渠内は暗いため照度が問題となるが、これはセンサーの感度やレンズのF値などに依存し、基板上のチップに入った画像処理（露出処理）のプログラムにも依存する。しかしこれらのカメラ性能はカメラによって大変様々であるため、一意の値を決定することは困難である。暗渠内は真っ暗で、ドローンに搭載できるような小型の光源で明るすぎる環境を作ることは不可能であるため、可能な限り明るいことが望ましい。

撮影距離 (m)	センサー 水平サイズ (mm)	センサー 垂直サイズ (mm)	レンズの実 焦点距離 (mm)	水平 解像度 (ドット)	垂直 解像度 (ドット)	水平撮影 範囲 (m)	垂直撮影 範囲 (m)	1ピクセル 当りの 水平長さ (mm)	1ピクセル 当りの 垂直長さ (mm)
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
						①*②/④	①*③/⑥	⑦/⑤	⑩/⑥
0.5	5.4	4	4	3840	2160	0.675	0.5	0.176	0.231

※画素数
829万画素

1ピクセル当りの水平長さ 0.176 mm
1ピクセル当りの垂直長さ 0.232 mm

ひび割れ幅に3ピクセル入る程度の解像度が欲しいのであるから、DX(ドローン)によって判別可能なひび割れ幅は、概ね0.6~0.7mm程度ということになる。

ストックマネジメントにおいて、S-5 と S-4 の境界のひび割れ幅が 0.2mm とされているため、S-5 と S-4 の判別はできない。しかし 0.6mm を視認できれば S-4 と S-3 の判別は可能である。

すぐに高解像度のカメラ製品が開発されるであろうし、そもそも 0.2mm のひび割れは環境に曝露している水路の場合、高圧洗浄をかけなければ肉眼では見えないことが多いので、0.2mm のひび割れが判別できないからと言って、悲観することはない。今まで点検ができなかった暗渠部点検には十分に役立つものである。

【コラム 2】 照明についての考察

暗渠内は暗いため照度が問題となるが、これはセンサーの感度やレンズの F 値などに依存し、基板上のチップに入った画像処理（露出処理）のプログラムにも依存する。

しかし、これらのカメラ性能はカメラによって大変様々であるため、一意の値を決定することは困難である。暗渠内は真っ暗で、ドローンに搭載できるような小型の光源で十分に明るい環境を作ることとは不可能なため、可能な限り明るいことが望ましい。

とはいえ、ドローンなどに搭載されている普通のデジタルカメラは、人間の眼の網膜に映る物体を映像に捉えることを目標に作られている。イメージセンサーは人間の視神経が反応する光線と同じ強度および周波数の電磁波を検出するセンサーといえる。

であるならば、人間にとって「普通の明るさ」と思える明るさが、イメージセンサーにとっても適正な明るさと想定される。

人間にとっての適正な明るさの考察

労働安全衛生規則によると、最低限、下記の明るさの確保が必要である。

作業の区分	基準
精密な作業	300 lx 以上
普通の作業	150 lx 以上
粗な作業	70 lx 以上

JIS による推奨照度は以下の通りである。

照度(lx)	事務所	工場	学校	保健医療施設	商業施設
2000					大型店:ショーウィンドウ 大型店:重要陳列部
1500		非常に精密な視作業			
1000				救急室 手術室	大型店:一般陳列部
750	事務室 役員室 玄関ホール(昼間)	やや精密な視作業			レジスター ファッション店:試着室 スーパーマーケット:店頭
500	会議室 制御室	普通の視作業	実験実習室 図書閲覧室 放送室	診察室 回復室 雲安室	大型店:店内全般 レストラン:厨房
300	受付 化粧室 EVホール	倉庫内の事務	教室 職員室 体育館	X線室	
200	便所 更衣室 倉庫	荒い視作業 電気室 空調機械室	講堂 集会室		レストラン:客室
150		荷積み 荷下ろし			
100	休憩室 玄関車寄せ	粗い視作業 倉庫		病院	
75				眼科暗室	
50	屋内非常階段				
30					
20					
10					
5					

これらから考えると、撮影範囲面において照度 300~750 ルクス程度以上の明るさを確保できるなら理想的であろう。

適正な明るさを確保するための光源

照明（光源）は光束（ルーメン）の違いによって販売される。光束（ルーメン）、照射角度、撮影面までの距離によって直接光の球接触面照度（ルクス）のだいたいの値が計算可能である。

（照明（光源）の販売例） 製品の出典：ジェントス株式会社

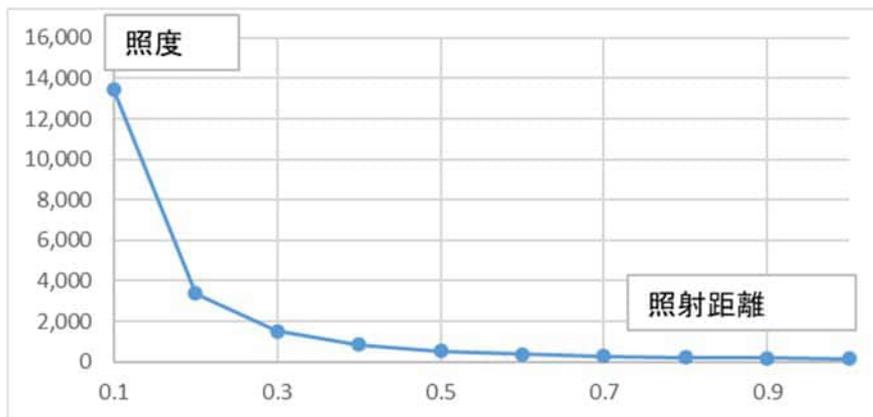


$$\text{照度 (lx)} = \text{光束 (lm)} \div \text{照射面の面積 S} = 538 \text{ lx (ルクス)}$$

光束 Lm	1100	lm (ルーメン)
照射面までの距離 L	0.5	m
照射角 θ	215°	
立体角 ω	$2\pi(1 - \cos(\theta/2)) = 8.172575568$	sr (ステラジアン)
照射面の面積 S =	$\omega \times \text{距離 } L^2 = 2.043143892$	m ²

実際は、間接光（壁や天井に反射した光）があることや、照射面は球面ではなく平面なので入射角があること、その他、器具の配光特性にもよる（ただし建材等でもなければ配光特性が公開されていることは少ない）ので、この通りではないが、目安としては検討できよう。

照度は距離の2乗に反比例するため、位置を固定できない（照射距離が変動する）ドローンにおいて、搭載する照明の仕様等を厳密に考えてもあまり意味がない。消費電力や搭載重量が許される限り、できるだけ明るくするのがよいだろう。



0.1m : 13460lx

0.2m : 3370lx

0.3m : 1500lx

0.5m : 538lx

1.0m : 135lx

デジタルカメラの露出および感度の動作特性に対する注意点

デジタルカメラには、露光量を検知しながら、イメージセンサーの感度や、F 値(絞り)、シャッタースピード等を自動で調整して、白飛びや黒つぶれが発生しないようにする機能が備わっている。

そのため、明るい体に感度が合わされ、暗い物体が映らないことや、逆に、暗い物体に感度が合わされ、明るい物体が白飛びしてしまうことが起きやすい。

暗渠では照明を使用して撮影するため、前述の照度が照射距離の 2 乗に反比例することにより、手前の高照度の物体に併せてセンサー感度が落とされ、画像が暗くなってしまう現象が起きる。これは明るさの不足ではないため、注意が必要である。

また、照明の光が直接カメラに入らないようにしなければならない。

【コラム 3】電波・操作距離についての考察

電波・操作距離についての考察

従来、ラジコン等の操縦には 27MHz 帯、40MHz 帯、72MHz 帯、73MHz 帯などが利用されてきたが、現在のドローンにおいては、カメラに写ったデジタル画像を見ながら操縦する目視外飛行を行うことから、データ伝送に有利な高周波数の 2.4GHz 帯、5.7GHz 帯の周波数の電波を利用するものが多い。

国内でドローン等での使用が想定される主な無線通信システム						
分類	無線局免許	周波数帯	送信出力	利用形態	備考	無線従事者資格
免許及び登録を要しない無線局	不要	73MHz帯等	500メートルの距離での電界強度が 200 μ V/m以下のもの	操縦用	ラジコン用微弱無線局	不要
	不要	920MHz帯	20mW	操縦用	920MHz帯テレメータ用、テレコントロール用特定小電力無線局	
	※ 技術基準適合証明等を受けた適合表示無線設備であることが必要	2.4GHz帯	10mW/MHz	操縦用 画像伝送用 データ伝送用	2.4GHz帯小電力データ通信システム	
携帯局	要	1.2GHz帯	最大1W	画像伝送用	アナログ方式限定	第3級陸上特殊無線技士以上の資格
携帯局 陸上移動局	要 ※ 運用に際しては運用調整を行うこと	169MHz帯	10mW	操縦用 画像伝送用 データ伝送用	無人移動体画像伝送システム（平成28年8月に制度整備）	
		2.4GHz帯	最大1W	操縦用 画像伝送用 データ伝送用		
		5.7GHz帯	最大1W	操縦用 画像伝送用 データ伝送用		

そのような高周波数の電波は回折性が低く直進性が強い上、減衰が大きく障害物を透過する力も弱いいため、見通しできない範囲の点検は困難である。（延長アンテナを利用して見通しできない箇所にも飛行範囲を広げようと試みる狭小箇所用製品（リベラウェア）もある。）

ドローンやラジコンの通信距離としては概ね最大 100m であり、実際の状況や安全を考慮して 60～80m 程度となろう。これは免許や資格のいらない 10mW 程度の出力範囲で操縦に必要な画像伝送を行わなければならないことや、狭小長大空間のためフレネルゾーンを確保できない事など、様々な要因ゆえの制限であり、ユーザが容易に伸ばすことは難しい。

ラジコンの場合、2.4GHz 帯で免許のいらない範囲は”帯域当り”で 10mW になっていることから、広い帯域を使用して合計 100mW（カタログ上 20dBm）程度の送信出力としているプロポがある。低出力広帯域と高出力狭帯域を同じと考えていいのかわからないが、同じと考えた場合でも、電波の強度が距離の 2 乗に反比例することから考えると 10mW で 100m の位置と同等の強度になる距離は 316m であり、現にそのプロポの取説には 300m との記載がある。

一部の製品（DJI）では、独自の通信方式を用いて 100mW（20dBm）の出力で 4km 前後（市街地では 500m）もの通信距離を謳うものがあり、検討機種を選択肢としてはあり得よう。

また、最大 1W まで許される無線局登録および無線資格が必要な機種を検討機種の選択肢とすることもあり得る。ただし高出力なものは消費電力も大きく、バッテリーも大きくしなければならないから、機体も大きいと考えられるため、元々の目的である人間が入れない狭幅な暗渠の点検に使用するには大変に不利であろう。

いずれにしても、農業用水路の暗渠は直線ではなく見通しが効かないことが多いため、電波を使用するドローンやラジコンは、開口部からあまり奥のところ、一定以上の深部を調査することは難しいと考えられる。これらのことから、現在の技術水準では、

- ①ドローンが入る大きさの開口部・点検口から上下流ともに 60～80m 程度以内であること、
- ②平面的にも縦断的にも（つまり 3 次元的に）直線状であること、

上記が技術的制約であると考えたほうが良いだろう。既存資料による事前検討や、現地においての開口部・点検口の実地確認は重要である。

2. 4GHz 帯を使用するにあたっての提案

2.4GHz 帯は、WiFi や Bluetooth、センサネットワーク、家電、産業・科学・医療用の機器など、非常に多くの機器に使用されており、電波干渉を受けやすい。ドローンの操縦にあたって多くの見学者が集まるときは、スマホや周辺機器の WiFi と Bluetooth の OFF をお願いしたほうが良いだろう。

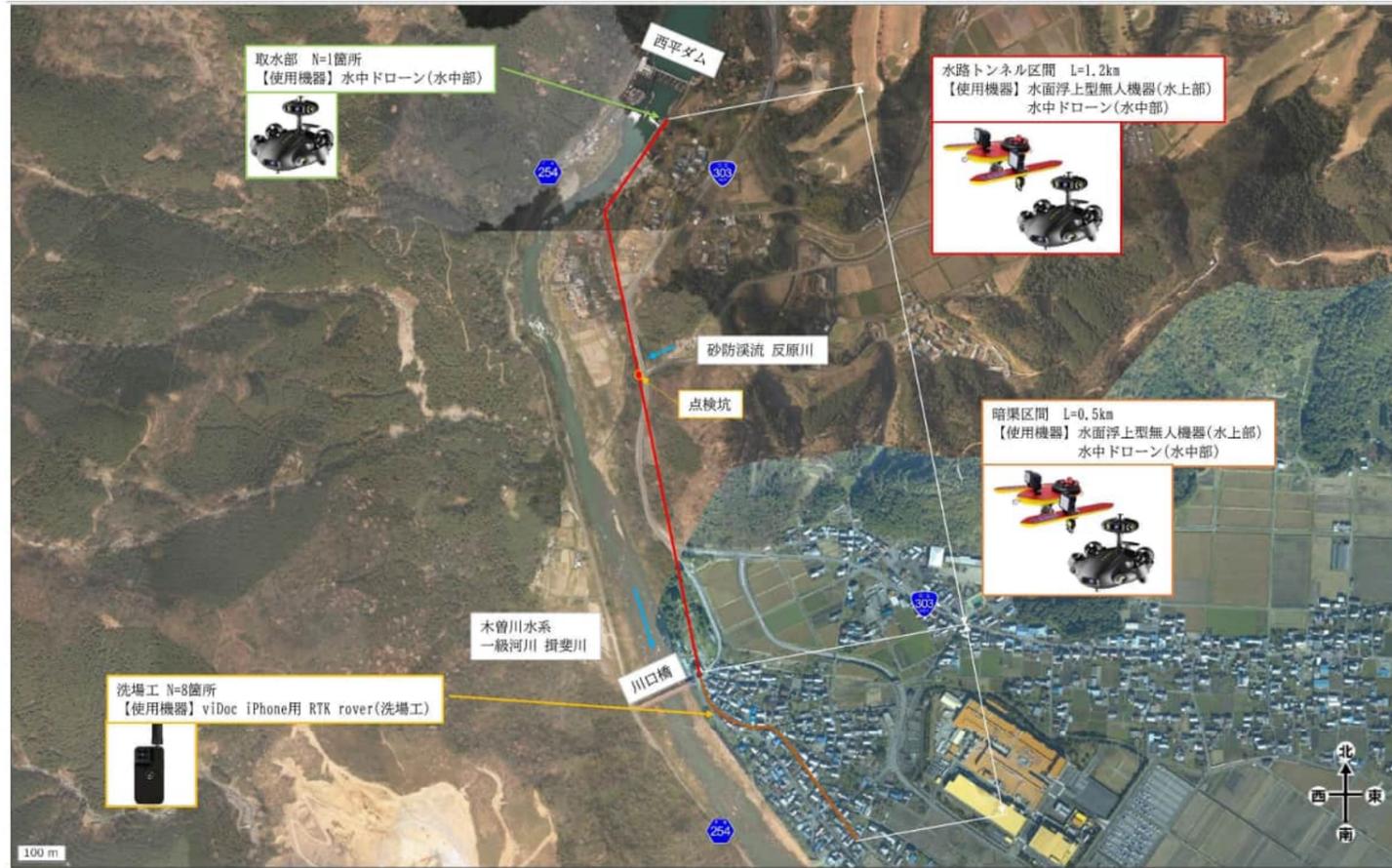
4.4 取得データの整理(概要)

4.4.1. 揖斐川左岸用水

取得データにおける業務概要版を次頁に示す。

取得データの整理(揖斐川左岸地区)【揖斐農林事務所】

現地条件・使用機器



調査区間	水路トンネル区間	暗渠区間(1)	暗渠区間(2)	取水区間	洗場工
流速(m/s)		1.5~3.2m/s		-	-
濁度(NTU)		4.0		-	-
水路幅(m)	2.2	2.6	1.7	-	-
水路高(m)	1.7	1.5	1.55	-	-
水深(m)	0.10~0.50	0.20~0.40	0.30~0.50	-	-
延長(m)	1,200	150	350	1箇所	計8箇所
断面形状					
選定機器					
選定理由	水面浮遊型無人機器 ・水中ドローンにおいて、流速1.0m/s以上での撮影が困難かつ、カメラの画角が広角でないため、複数回撮影を行わなければならないこととなり非効率であるため、水面浮上型無人機器を採用とする。	水面浮遊型無人機器 ・水中ドローンにおいて、流速1.0m/s以上での撮影が困難かつ、カメラの画角が広角でないため、複数回撮影を行わなければならないこととなり非効率であるため、水面浮上型無人機器を採用とする。	水面浮遊型無人機器 ・水中ドローンにおいて、流速1.0m/s以上での撮影が困難かつ、カメラの画角が広角でないため、複数回撮影を行わなければならないこととなり非効率であるため、水面浮上型無人機器を採用とする。	・常に水で満たされているかつゲートを閉めれば流速が抑えられることから水中ドローンでの調査が可能	・人力対応が可能であるため、点群データ取得可能なviDocを採用

取得データ

一連でデータ取得を行うことができた、水面浮上型のデータを使用。



損傷箇所数は132箇所確認された。
内訳は下記の通りである。

表 4-1-1 損傷部位別損傷数一覧表

損傷部位	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
目地部	69	52.3	
天井部	41	31.1	
水抜パイプ	18	13.6	
側壁	3	2.3	
その他	1	0.7	点検坑
計	132	100.0	

部位別の損傷内容の内訳については下表の通りである。

表 4-1-2 損傷部位別損傷内容一覧表

損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
目地部	15	21.7	
漏水のみ	50	72.5	
剥離	4	5.8	
計	69	100.0	

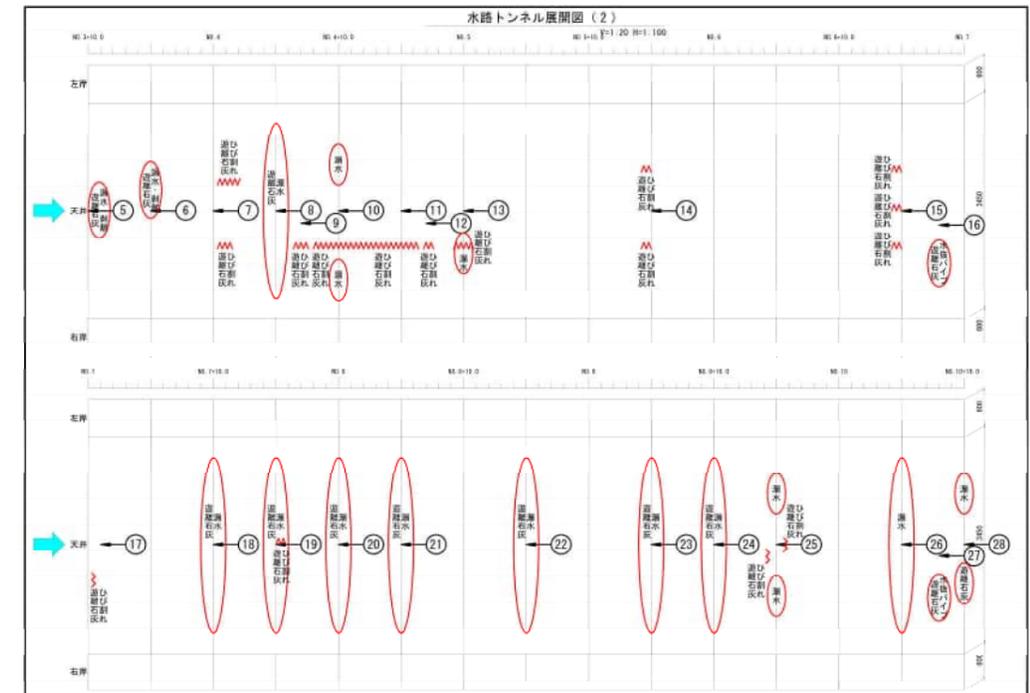
損傷内容	損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
天井部	ひび割れのみ	8	19.5	
	ひび割れ・漏水	5	12.2	
	ひび割れ・遊離石灰	28	68.3	
計		41	100.0	

損傷内容	損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
水抜パイプ	遊離石灰	17	94.4	
	剥離	1	5.6	
計		18	100	

損傷内容	損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
側壁	ひび割れ	3	100.0	

損傷内容	損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
その他	遊離石灰	1	100.0	点検坑

※動画上で損傷を確認し、調書作成の際に出力した画像の編集を行い、「ホワイトバランス」「コントラスト」「シャープネス」を変更し、より損傷が判別しやすくしている。

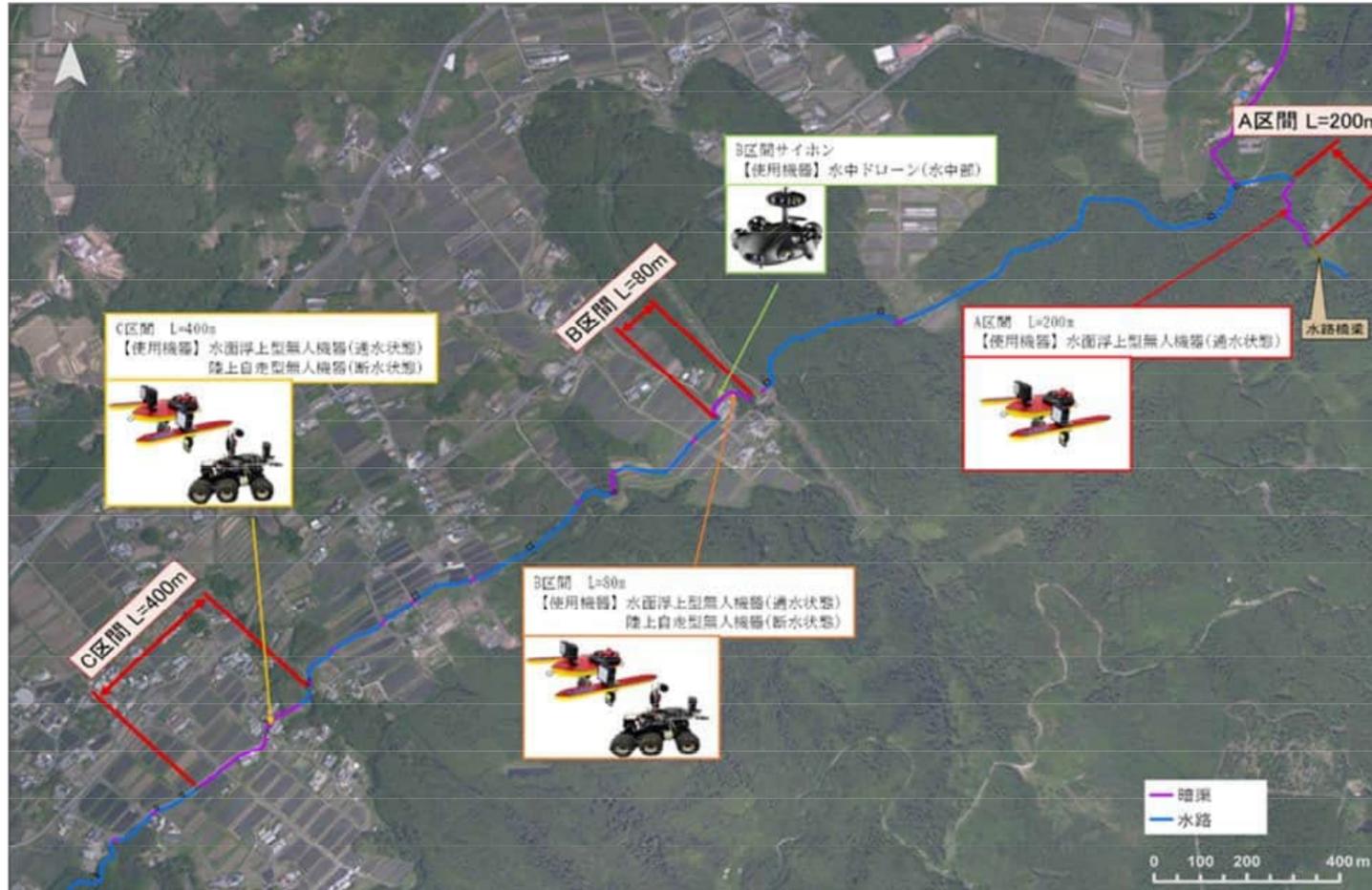


4.4.2. 恵那中部用水

取得データにおける概要版を次頁に示す。

取得データの整理(恵那中部用水地区)【恵那農林事務所】

現地条件・使用機器



取得データ

通水時には、一連でデータ取得を行うことができた、水面浮上型のデータを使用。断水時には、陸上走行型のデータを使用し、通水時と断水時で比較を行えるようなレイアウトで作成を行った。

No.	延長(m)	通水時(水面浮上型無人機)	向き	断水時(陸上走行型無人機)	向き	詳細
1	入口付近					天井目地に漏水が見受けられる。底面に堆積物が見受けられる。通水時は底面確認できず。
2	1m付近					天井に漏水、遊離石灰、植物が見受けられる。
3	2m付近					天井目地に漏水、遊離石灰が見受けられる。
4	2m付近					天井目地に遊離石灰、植物が見受けられる。
5	4m付近		起点から 終点へ 向かって 計測		起点から 終点へ 向かって 30m程度 計測	天井目地に漏水、遊離石灰、欠損が見受けられる。
6	4m付近					側面にひび割れ、植物が見受けられる。
7	5m付近					天井にひび割れ、遊離石灰および鉄筋露出が見受けられる。側面に剥離が見受けられる。
8	5m付近					天井にひび割れ、遊離石灰および鉄筋露出が見受けられる。側面にひび割れが見受けられる。
9	7m付近					側面にひび割れ、剥離が見受けられる。底面に堆積物が見受けられる。通水時は底面確認できず。
10	9m付近					天井にひび割れ、遊離石灰が見受けられる。側面目地にひび割れ、漏水が見受けられる。底面に堆積物が見受けられる。通水時は底面確認できず。

※動画上で損傷を確認し、調査作成の際に出力した画像の編集を行い、「ホワイトバランス」「コントラスト」「シャープネス」を変更し、より損傷が判別しやすくしている。

※断水時での調査については、陸上走行型の無線機が届く範囲での調査とする。

調査区間	A区間		B区間		C区間		B区間サイホン	
	通水状態	断水状態	通水状態	断水状態	通水状態	断水状態	通水状態	
流速(m/s)	0.8~1.2m/s (通水状態時)							-
濁度(NTU)	4.0							4.0
水路幅(m)	1.30		1.25		1.20		-	
水路高(m)	0.85		0.80		0.90		-	
水深(m)	0.20	-	0.15	-	0.25	-	-	
延長(m)	200		80		400		1箇所	
断面形状								
選定機器								
選定理由	・水中ドローンにおいて、流速の速い区間での撮影が困難かつ、カメラの画角が広角でないため、複数回撮影を行わなければならないこととなり非効率であるため、水面浮上型無人機を採用とする。	・小型UAVで飛行するには十分な空間がない(安全装置作動で飛行が困難)ため、陸上走行型無人機を採用とする。	・水中ドローンにおいて、流速の速い区間での撮影が困難かつ、カメラの画角が広角でないため、複数回撮影を行わなければならないこととなり非効率であるため、水面浮上型無人機を採用とする。	・小型UAVで飛行するには十分な空間がない(安全装置作動で飛行が困難)ため、陸上走行型無人機を採用とする。	・水中ドローンにおいて、流速の速い区間での撮影が困難かつ、カメラの画角が広角でないため、複数回撮影を行わなければならないこととなり非効率であるため、水面浮上型無人機を採用とする。	・小型UAVで飛行するには十分な空間がない(安全装置作動で飛行が困難)ため、陸上走行型無人機を採用とする。	・常に水で満たされているかつゲートを閉めれば流速が抑えられることから水中ドローンでの調査が可能。	

損傷部位	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
目地部	7	5.6	
天井部	58	46.4	
側壁	48	38.4	
底面	11	8.8	
その他	1	0.8	側壁の土砂堆積
計	125	100.0	

損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
目地部	7	5.6	
漏水のみ	1	14.3	
遊離石灰のみ	1	14.3	
ひび割れのみ	1	14.3	
漏水・遊離石灰	3	42.8	
遊離石灰・ひび割れ	1	14.3	
計	7	100.0	

損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
天井部	58	46.4	
遊離石灰のみ	2	3.4	
ひび割れのみ	8	13.8	
欠損のみ	5	8.6	
漏水・遊離石灰	14	24.1	
剥離・ひび割れ	3	5.2	
遊離石灰・ひび割れ	12	20.7	
欠損・ひび割れ	2	3.4	
漏水・遊離石灰・ひび割れ	9	15.5	
遊離石灰・鉄筋露出・ひび割れ	2	3.4	
計	58	100.0	

損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
側壁	48	38.4	
剥離のみ	18	37.5	
ひび割れのみ	10	20.8	
漏水・剥離	1	2.1	
漏水・ひび割れ	3	6.3	
漏水・遊離石灰	1	2.1	
剥離・ひび割れ	9	18.8	
剥離・欠損	1	2.1	
欠損・ひび割れ	1	2.1	
漏水・剥離・ひび割れ	4	8.3	
計	48	100.0	

損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
底面	11	100.0	
堆積物	11	100.0	

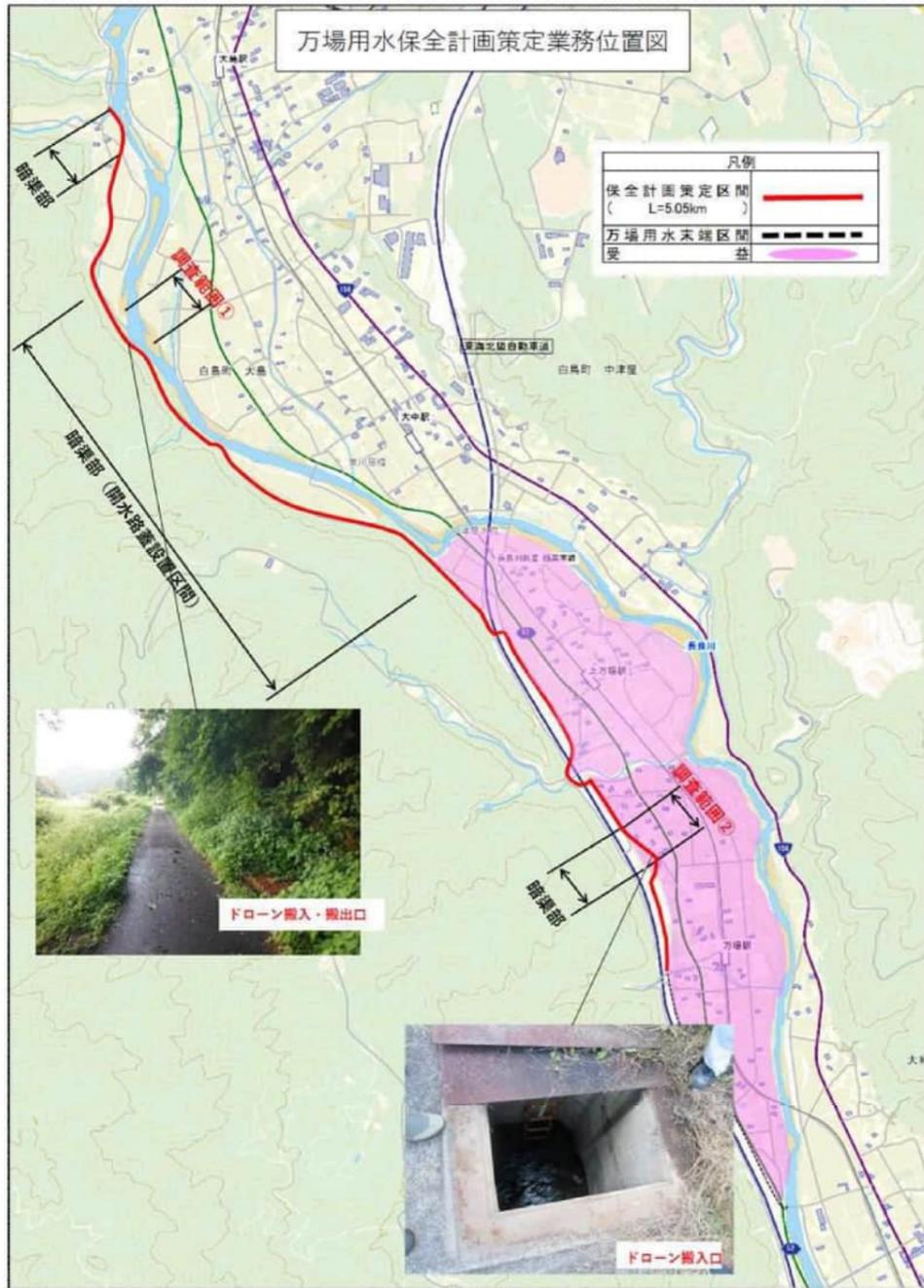
損傷内容	損傷数(箇所)	割合(%)	備考
その他	1	100.0	側壁の土砂堆積
堆積物	1	100.0	

4.4.3. 万場用水

取得データにおける概要版を次頁に示す。

取得データの整理(万場用水地区)【郡上農林事務所】

現地条件・使用機器



発注者	郡上農林事務所
調査地区	万場地区
用水名	万場用水
調査位置	郡上市大和町万場地内
水路種別	蓋付き水路 ヒューム管
水路断面	
調査延長	蓋付き水路：L=0.12km ヒューム管：L=0.06km



株式会社Liberaware

取得データ

狭小空間専用ドローンにて、無線機が届く範囲での調査し、データを取得、損傷展開図作成および3Dモデル作成を行った。

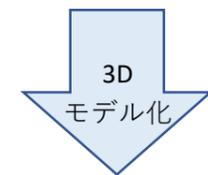
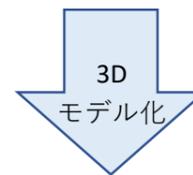
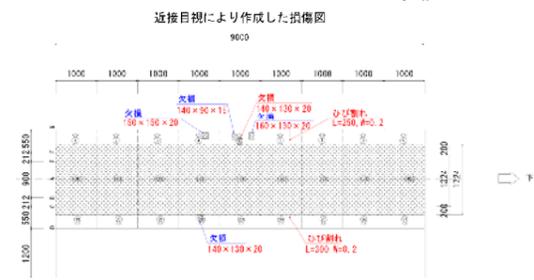


図2 2 2 近接目視とDX活用により作成した損傷図の対比(調査範囲①) 8-1-19



BOXカルバートとヒューム管での3Dモデルの比較を行うと、ライニングされているが、湾曲しているヒューム管の3Dモデルの不安定さが伺える。

5. 暗渠点検の発注仕様書・積算事例

5.1 特記仕様書（案）

暗渠点検調査業務 特記仕様書（案）

第1 総則

本業務は、岐阜県「地質・土質調査共通仕様書」・「測量作業共通仕様書」・「設計業務委託共通仕様書」によるほか、この特記仕様書により実施するものとする。

第2 業務目的

本業務は、暗渠用水路（延長：約●●m）において、閉鎖された狭い空間であり、かつ常に水が存在するなど、人力による通常の目視点検等の直接的手法にて点検が困難な箇所について、ドローンや無人調査ロボット等の新技術を活用し、暗渠施設の内部空間の状況把握に関する一次調査を行うものである。

暗渠点検に関する調査機器について、受注者にて現地状況に応じた調査機器の選定を行うものとする。

第3 業務履行場所

●●地内（別図参照）

第4 業務内容

1) 業務範囲

全延長：約●●m

<内訳>

区間（サイズ、種別等）	延長
	約●●m
	約●●m

2) 作業条件

作業条件として、断水状態を基本条件と考えているが、施設の管理状況から、断水状態とならない場合、通水状態にて暗渠点検を行うものとする。

3) 作業内容

① 計画準備

業務の目的・主旨を十分に理解し、設計図書に示す業務内容を確認した上で、業務概要、実施方針、業務工程、組織計画、打合せ計画等を記載した業務計画書を作成する。

② 現地踏査

現地踏査にて調査対象施設に関する現状を把握し、調査手法（機器選定・調査実施可能箇所・調査項目等）を検討するための基礎資料を作成するものである。

③ 調査計画書作成

・調査機器選定

機器選定に関しては、調査時期の暗渠状況（通水あるいは断水）を想定した条件に適する無人調査機器（小型ドローン、水面浮遊型、水中ドローン、陸上部自走型など）の比較検討を行った上で選定するものとする。

・調査計画書作成

現地踏査や調査機器選定の結果に基づき、対象となる暗渠点検の実施可能範囲を精査し、調査項目も踏まえた調査計画書を作成するものとする。

④ 現地調査

調査計画書に基づき、施設管理者等の立会いのもと、暗渠施設への損傷等に十分注意の上、選定された調査機器を用いて間接的に暗渠の管内調査を行い、カメラ（動画あるいは静止画）による内部のひび割れ・欠損・変形・漏水・目地等を撮影（解像度：1920×1080画素以上）し、撮影画像より確認された変状の箇所数や変状箇所の位置図作成など、調査結果をとりまとめるものとする。

なお、可能な範囲で、以下の調査条件を計測・記録すること。

・断面形状

・座標（呑口、吐口）

・水深（通水の場合）

・流速（通水の場合）

・濁度（通水の場合）

⑤ 点検とりまとめ

計画準備から現地調査結果に至るまでの経緯を、わかりやすく報告書としてとりまとめるものとする。

⑥ 打合せ協議

打合せ時期は下記を原則とし、着手時および納入時には管理技術者が立ち会うものとする。

・業務着手時

・業務中間時（1回）

・成果品納入時

また、上記以外にも必要に応じて適宜打合せを行う。

4) その他注意事項

・調査機器については、あらかじめ監督員に承諾を受けなければならない。

・作業の実施にあたっては、事前に作業方法及び具体的な工程計画を立案し、監督職員及び監督職員が指示する者と十分打合せを行い手戻りのないよう留意しなければならない。

・現況施設の取り外し及び復旧については管理者臨場のもと行うこととし、損傷等のないよう留意すること。

第5 貸与資料

本業務の遂行にあたって、必要な資料を貸与する。

第6 留意点

本業務の遂行にあたっての留意点は、以下のとおりとする。

- ・ 報告書作成にあたっては、使用した図書等根拠を明示すること。
- ・ 各種調査・試験等について、現場の状況により変更、追加、除外する必要があるため、実施にあたり監督員と協議すること。
- ・ 受注者は、DX機器等による現地調査を実施するにあたり、機器を使用するためのマニュアルや、関連する法律、法令、条例、規則を遵守しなければならない。

第7 成果品

本業務における成果品は、以下のとおりとする。

- ・ 報告書(A4チューブファイル) 2部（農林事務所、施設管理者）
 - ・ 電子納品（CD-R） 1枚
- ※岐阜県電子納品要領による。

第8 定めなき事項

作業にあたり質疑が生じた場合には、必要に応じて監督員と協議すること。