

インフラDX・i-Constructionセミナー

業務におけるBIM/CIM活用事例について

点検支援技術を活用した橋梁点検業務

令和3年6月30日

目

次

- 1, 点検支援技術について
- 2, ドローン及び打検機の紹介
- 3, ドローン点検
- 4, 検 証
- 5, 点検支援技術(画像計測技術)を用いた
3次元納品について

はじめに

橋梁点検は、道路管理者に義務付ける5年に一度の近接目視点検が2巡目のサイクルに入っている。近接目視点検の1巡目で課題となった効率化・質の向上・記録については、H31年度点検要領改訂により方向性が示され、点検支援技術性能カタログ（案）・技術利用のガイドライン等により、点検作業の効率化を進められている。

今回紹介するドローン点検（画像計測技術）は、作業時間短縮・安全性の確保・点検精度の向上・コストの低減が見込まれる工法である。

今後、ドローンなどの画像計測技術は、3巡目に向け点検データや設計・施工時に得たBIM/CIMデータなどを活用した維持管理体制の構築や情報をデータベースで一元管理し、AIによる診断など効率的なメンテナンスやアセットマネジメントにつなげるための技術である。

1, 点検支援技術について

◆定期点検要領見直しに伴う新技術活用による点検方法の効率化

○国は、定期点検における近接目視を補完、代替、充実する新技術の現場導入を積極的に推進

【定期点検要領改定】

【法令運用上の留意事項】

定期点検を行う者は、健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を、近接目視により把握するか、または、自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができると判断した方法により把握しなければならない。 ※赤字は今回の点検方法見直しにおいて追加

【近接目視を補完・代替・充実する技術の活用】

- ・「新技術利用のガイドライン」や「点検支援技術性能カタログ」を作成
- ・令和2年6月時点で80技術を性能カタログに掲載



【点検支援技術性能カタログ(80技術)】



← 橋梁の損傷写真を撮影する技術
【24技術】

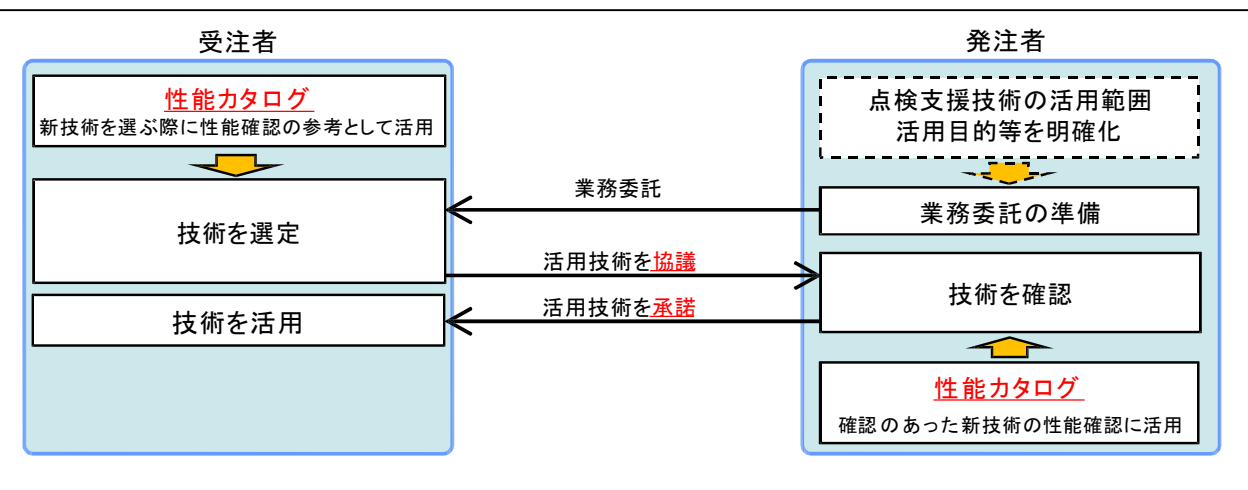


← トンネルの変状写真を撮影する技術
【8技術】



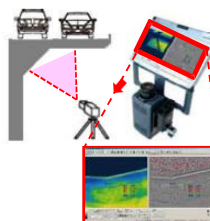
← コンクリートのうき・はく離を非破壊で検査する技術
【17技術】

【新技術利用のガイドライン】新技術活用にあたっての受発注者の確認するプロセスを整理

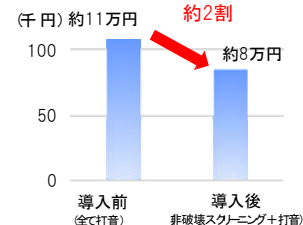


【非破壊検査技術活用事例】

■イメージ



■コスト削減の試算例



■技術概要

橋梁等のコンクリート構造物において、鉄筋腐食に伴い発生する剥離やうき(コンクリート内部の剥離ひび割れ)を、遠望非接触にて赤外線法により検出する技術

◆性能カタログ掲載技術

◇画像計測技術（橋梁）【 24 技術】

分類	検出項目	技術名	技術番号
画像計測技術	腐食・斜材の変状	コロコロチェッカー	BR010001-V0020
		超望遠レンズによる高層構造物の外観検査技術	BR010002-V0020
	ひびわれ	構造物点検調査ヘリスシステム (SCIMUS: スキームス)	BR010003-V0020
		主桁フランジ保持式点検装置 (Turrets タレット)	BR010004-V0020
		可視画像を用いた AI によるひび割れ自動検出技術	BR010005-V0020
		光波測量機「KUMONOS」及び高解像度カメラを組み合わせた高精度点検システム「シン・クモノス」	BR010006-V0020
		画像解析を用いたコンクリート構造物のひび割れ定量評価技術	BR010007-V0020
		ワイヤ吊下式目視点検ロボット	BR010008-V0020
		全方向衝突回避センサーを有する小型ドローン技術	BR010009-V0020
		デジタルカメラを用いた画像計測ソリューション	BR010010-V0020
		画像計測ソリューション Nivo-i	BR010011-V0020
		UAV を用いた近接撮影による橋梁点検支援システム	BR010012-V0020
		高精細画像による橋梁下面や主塔のクラック自動抽出システム	BR010013-V0020
		構造物点検ロボットシステム「SPIDER」	BR010014-V0120
		非 GPS 環境対応型ドローンを用いた近接目視点検支援技術	BR010015-V0120
		橋梁点検用ドローンによる構造物 2 次元画像解析と 3D モデル構築技術	BR010016-V0120
		マルチコプタ点検システム「マルコ®」	BR010017-V0120
		橋梁点検支援ロボット+橋梁点検調書作成支援システム	BR010018-V0120
		橋梁等構造物の点検ロボットカメラ	BR010019-V0120
		橋梁下面の近接目視支援用簡易装置「診れるんです」	BR010020-V0120
		二輪型マルチコプタ及び 3D 技術を用いた点検データ整理技術	BR010021-V0020
		遠方自動撮影システム	BR010022-V0020
		画像による RC 床版の点検記録システム	BR010023-V0020
		社会インフラ画像診断サービス「ひびみっけ」	BR010024-V0020

◇非破壞檢查技術（橋梁）【 11 技術】

分類	検出項目	技術名	技術番号
非破壊検査技術	腐食	全磁束法によるケーブル非破壊検査	BR020001-V0020
	亀裂	鋼材表面探傷システム	BR020002-V0020
	うき	デジタル打音検査とデジタル目視点検の統合システム	BR020003-V0020
		赤外線調査トータルサポートシステム Jシステム	BR020004-V0120
		ボール打検機	BR020005-V0120
		橋梁点検支援ロボット+橋梁点検調書作成支援システム	BR020006-V0120
		近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システム	BR020007-V0120
		コンクリート構造物変状部検知システム「BLUE(ブルー) DOCTOR(ドクター)」	BR020008-V0120
		最大 6m の距離からプラスチック弾を発射し、反射音の弾性波成分から内部空洞を探知するシステム	BR020009-V0020
	漏水・滞水	床版上面の損傷箇所判定システム	BR020010-V0020
塩化物イオン濃度	コンクリートビュー	BR020011-V0020	



2. 画像計測技術(ドローン)の紹介

「点検支援技術 性能カタログ（案）」より以下の技術を採用

ドローン：非GPS環境対応型ドローンを用いた近接目視点検支援技術

◆使用したドローン(非GPS環境対応型ドローン)

技術名		非GPS環境対応型ドローンを用いた近接目視点検支援技術	
技術バージョン		作成：2019年2月	
開発者		三信建材工業株式会社 株式会社自律制御システム研究所	
連絡先等		TEL：0532-34-6066	
現有台数・基地		2台	基地 愛知県豊橋市神野新田町
技術概要		・非GPS環境対応型ドローンに高解像度カメラを搭載し、構造物を撮影。 ・ドローンはGPS衛星に頼らない自己位置推定機能と衝突回避機能を備えており、完全自動飛行にて近接撮影を行うことが可能。 ・撮影画像はCAD図面と合成し、解析ソフトウェアを用いて写真上で異常箇所をトレースすることにより損傷箇所と損傷程度を把握 ・それらの情報を基に、点検調書に記録	
技術区分	部位	上部構造（主桁・横桁・縦桁・床版）／下部構造（橋脚・橋台）	
	変状の種類	腐食／ひびわれ／床版ひびわれ	
	物理原理	画像・動画	

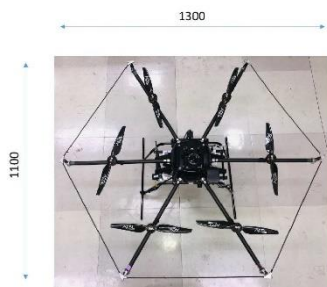


1.基本諸元

		非GPS環境対応型ドローン
移動原理		飛行型
外形寸法		1,100mm×1,300mm×580mm（縦×横×高さ(mm)）
運動制御機構	通信	無線通信 【操縦装置／機体間】 2.4GHz帯、20W 【基地局／機体間】 920MHz帯、 【搭載カメラ／地上モニタ間】 5.7GHz帯、1W（※） （※）変更可能
	測位	SLAM（カメラによる方式） SLAM（レーザーレンジファインダーによる方式） ※適用箇所（現場）により、SLAMの方式（カメラ、レーザー）が 違う機体を使い分ける 尚、GNSSによる測位も可能。
	自律機能	GNSSに頼らない自律機能有 ・入カソース：SLAM（カメラによるVisual SLAM方式） SLAM（レーザーレンジファインダーによる方式） ※適用箇所（現場）により、SLAMの方式（カメラ、レーザー）が 違う機体を使い分ける
	衝突回避機能* 飛行型のみ	プロペラガード（水平方向） SLAM（カメラによるVisual SLAM方式） SLAM（レーザーレンジファインダーによる方式） ※適用箇所（現場）により、SLAMの方式（カメラ、レーザー）が 違う機体を使い分ける
センシング原理		パッシブ方式（画像、動画）
センシングデバイス	カメラ	・センサーサイズ（縦24mm×横35.9mm） ・ピクセル数（縦5,304Pixel×横7,952Pixel） ・焦点距離（35mm） ・画像形式：RAW画像、JPEG画像、オルソ画像
	パン・チルト機構	・ロール：機体正面に対し、-30°～30° ・ピッチ：機体鉛直に対し、180° ・ヨー：360° ・何れも角度無段階設定可能
	角度記録・制御機構	ジンバルにてロール・ピッチ・ヨー方向の制御可能
	測位機構	・撮影画像を解析ソフトウェア上で図面と合成し、座標を付与。 ・位置補正用のマーカーを部材毎に添付し、測量を行うことも可能
	ソフトウェア名	

2. 運動性能

	性能値	性能を示す動作条件	性能を示す環境条件
構造物近傍での安定性能	外乱収束距離(機体視点) 前後: ±0.12m 左右: ±0.49m 高度: ±0.10m	SLAMによる自律制御が有効な場合	【風速の条件】 地上平均風速2m/s程度の自然風 ※実験時、機体右斜め後方からの風
狭小・構造物近傍での安定性能	外乱収束距離(機体視点) 前後: ±0.12m 左右: ±0.49m 高度: ±0.10m		【風速の条件】 地上平均0m~5m/sec
最大可動範囲	【飛行型】 300m(バッテリー駆動)		
連続稼働時間	バッテリー:10分	外気温15℃の場合	
運動位置精度	水平±0.5m 鉛直±0.5m	SLAMによる自律制御が有効な場合	【風速の条件】 地上平均風速2m/s程度の自然風



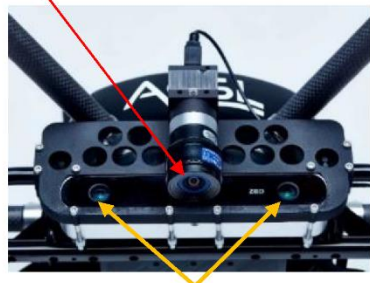
3. 計測性能

	性能値	性能を示す動作条件	性能を示す環境条件
撮影速度	0.5m/s ~ 1.0m/sec		【画素分解能】 0.3mm/Pixel 【移動方向に垂直な方向の視野】3.5m 【移動方向ラップ率】 約70% で撮影
最小ひびわれ幅・計測精度	最小ひびわれ幅0.05mm ^{※1} 計測精度 0.029 最小ひびわれ幅0.1mm ^{※1} 計測精度0.003 最小ひびわれ幅0.05mm ^{※2} 計測精度 0.029		【撮影速度】0.5m/s 【被写体距離】3.5m ※望遠レンズを使用した場合は上記の限りではない ※1 日向 6500~22000lux ※2 日陰 1400~2000lux
長さ計測	最小ひびわれ幅・計測精度 最小ひびわれ幅0.05mm ^{※1} 計測精度 0.029 最小ひびわれ幅0.1mm ^{※1} 計測精度0.003 最小ひびわれ幅0.05mm ^{※2} 計測精度 0.029		※1 ※2
位置精度			・図面情報の乏しい場合は、合成のためにあらかじめ型枠線などの間隔を測定しておく必要がある ※解析方法の関係上、図面と実構造物の整合性に依存
			【日照条件】 日射あり 67klx 日射なし 0klx

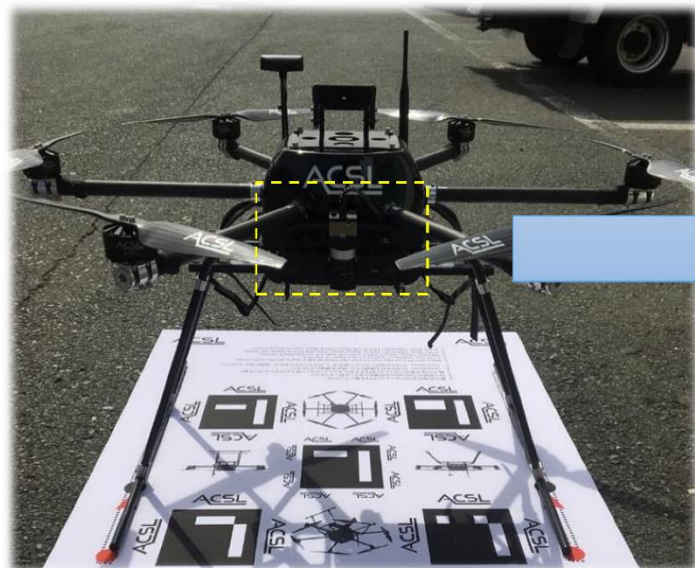
◆非GPS環境対応型ドローンの自律飛行機能及び自動ひび割れ検出機能

橋梁点検用のドローンは、GPSに頼らないで完全自律飛行が出来る必要がある!!

下方単眼カメラ
(高度と水平位置の推定)



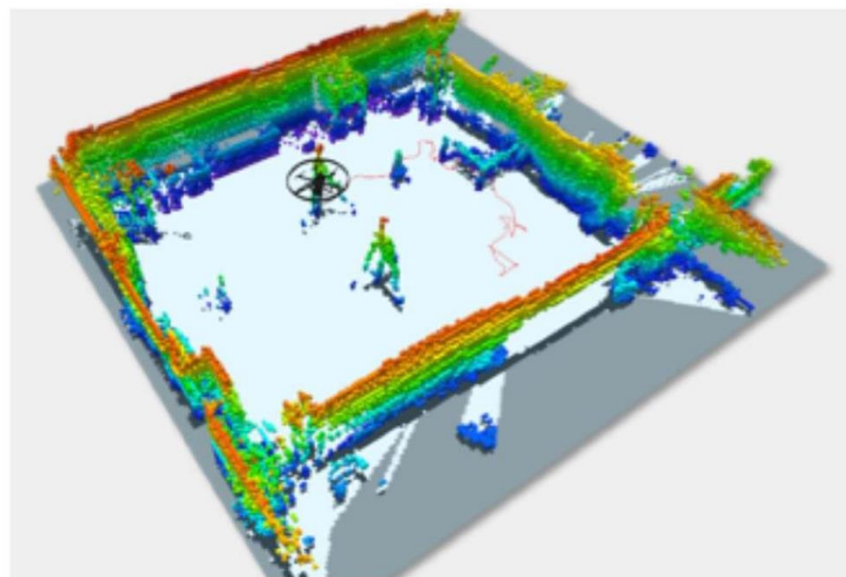
前方2眼ステレオカメラ
(水平方向の距離制御)



周辺環境と自機の位置をリアルタイムに推定

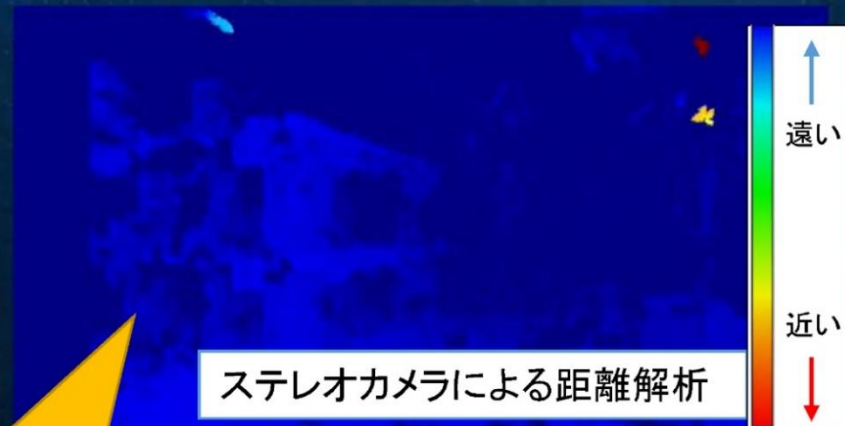
- ①搭載したそれぞれのカメラの動画像から特徴点を検出
- ②動画像内で移動する特徴点を追跡し、距離を解析
- ③抽出した特徴点を蓄積し、三次元点群モデルを構築
- ④三次元モデル内での自己位置を推定

⇒ 非GPS環境下でも自立飛行が可能



①ステレオカメラ

ステレオカメラは前方に見えている物に対して、距離を制御するためのカメラ。色は、寒色（青系）になるほど遠く、暖色（赤系）になるほど近いことを視覚的に表す。



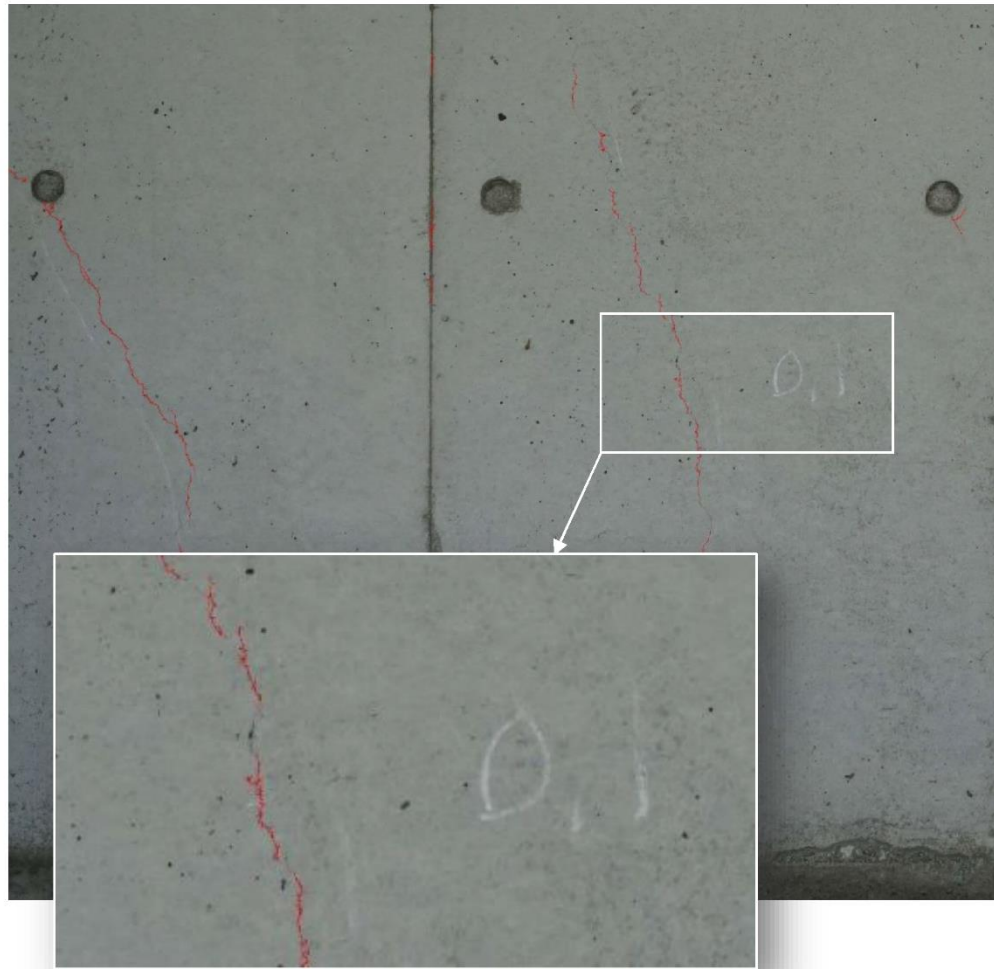
機体が空間を認識し、
自動的に距離を保つ



②下方カメラ

下方カメラは、機体が自己位置推定するためのカメラ。カメラで見えている景色から特徴点を自動で検出し、その距離、位置を機体に搭載されているオンボードPCでリアルタイムに計測し、自機と特徴点との位置関係を相対的に推定している。計測された特徴点はPC内で3D点群データとして蓄積され、PC内で3次元マッピングをしている。

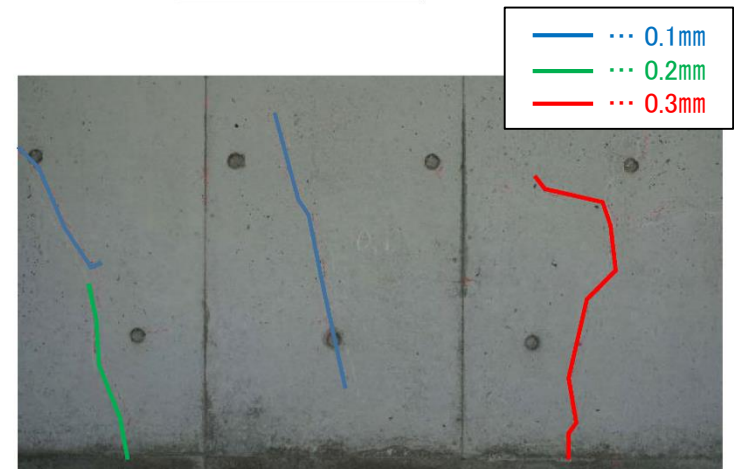
【ひび割れ自動抽出技術の開発】



- 数百枚の画像を1枚ずつ確認し、
損傷の状況を観察

➡ 自動的にひび割れを抽出
CADへアウトプット

➡ ひび割れ幅に応じた色分けし、
直観的に分かりやすく表示す
る（取組中）



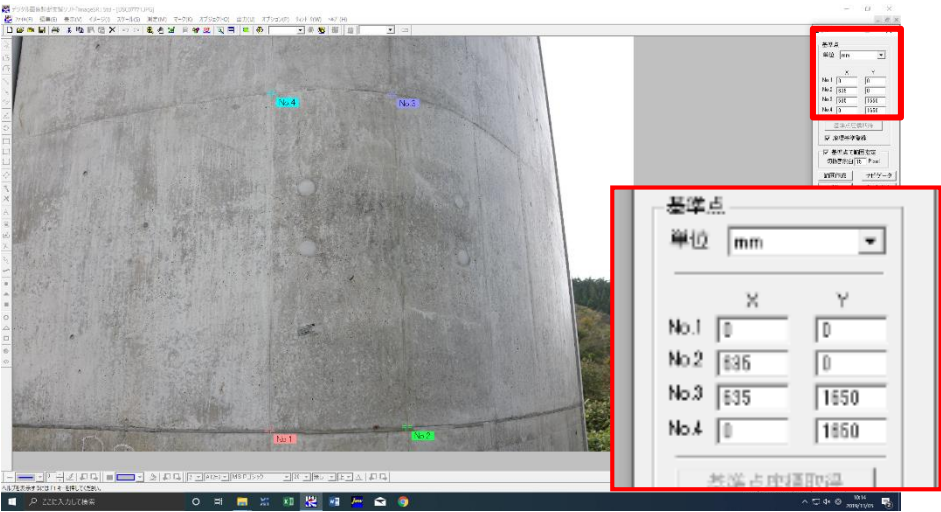
従来の解析ソフトに加え、この開発技術やAIを用いたひび割れ自動検出ソフト
（富士フィルム等）と併用で、解析作業の効率化を図る

○実構造物を対象にキャリブレーションを実施

0.1mmのひび割れが発生している箇所について、クラックスケールを貼付けた状態で撮影を行い、解析ソフトによる計測結果と比較した。



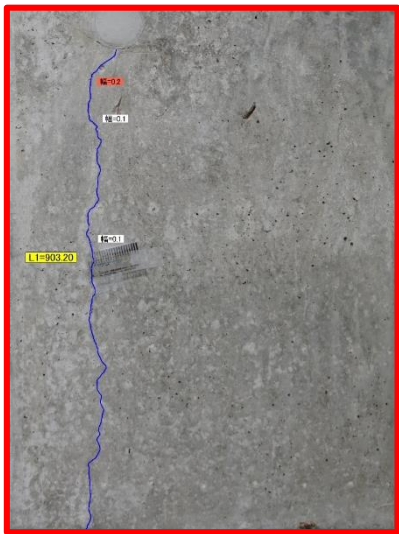
解析ソフトにて、型枠を基準に撮影画像の正対補正及び寸法情報の付与を実施した。



解析ソフトによる正対補正及び寸法付与作業



正対補正及び寸法情報を付与した画像から、ひび割れ幅の計測を実施した。参考までに、クラックスケールの0.2mm、0.3mmの計測も実施している。

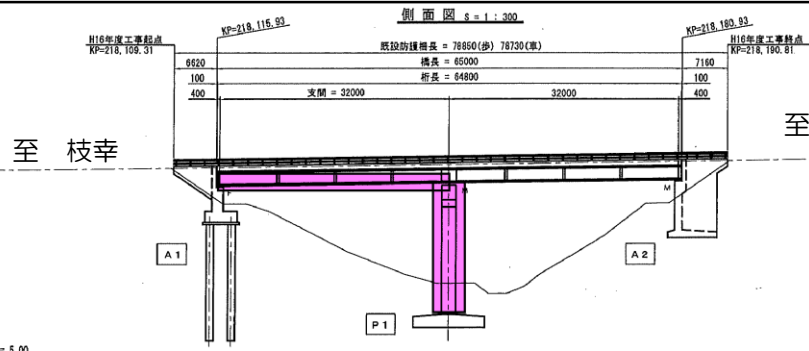


3, ドローン点検

◆点検橋梁概要



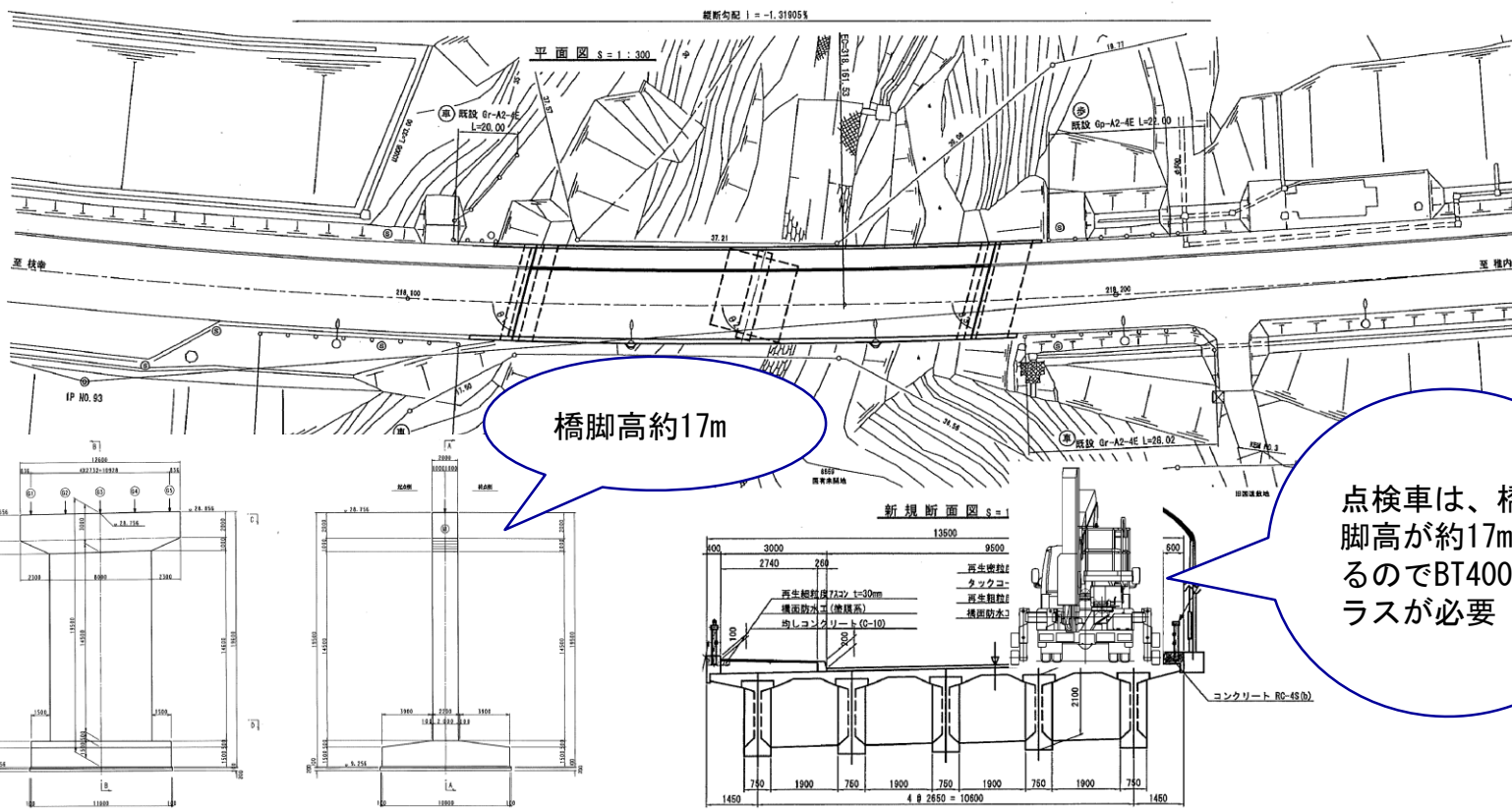
現況一般図



至 稚内（北オホーツクトンネル）

■: ドローン点検範囲

※ドローン点検以外は、点検車点検
(ドローン点検箇所においても点
検車点検で検証を行う。)



橋脚高約17m

点検車は、橋脚高が約17mあるのでBT400クラスが必要

➤ ドローン点検状況



①飛行準備



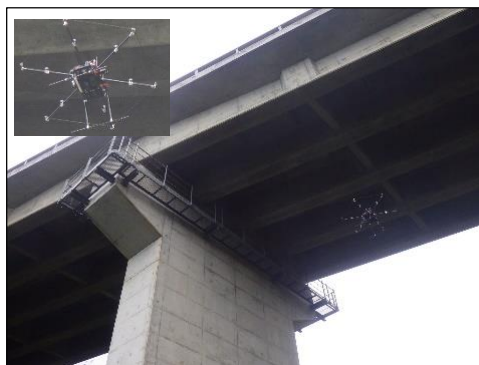
②飛行位置決定



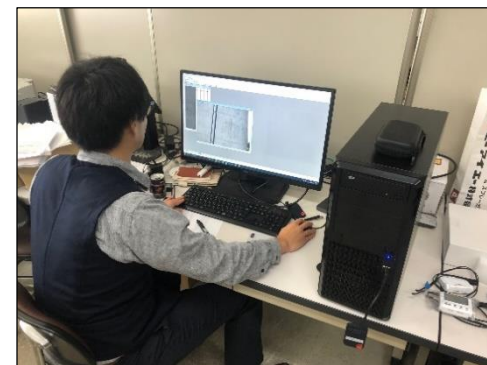
③組立準備完了



④飛行開始

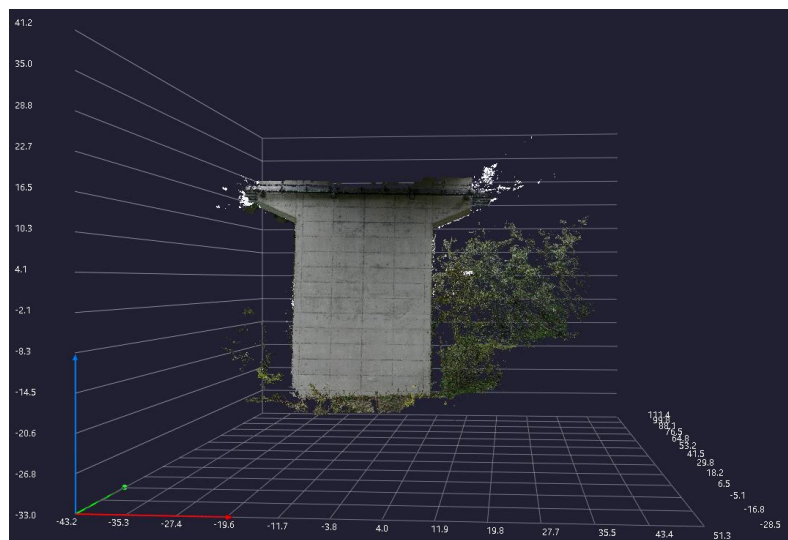


⑤点検状況

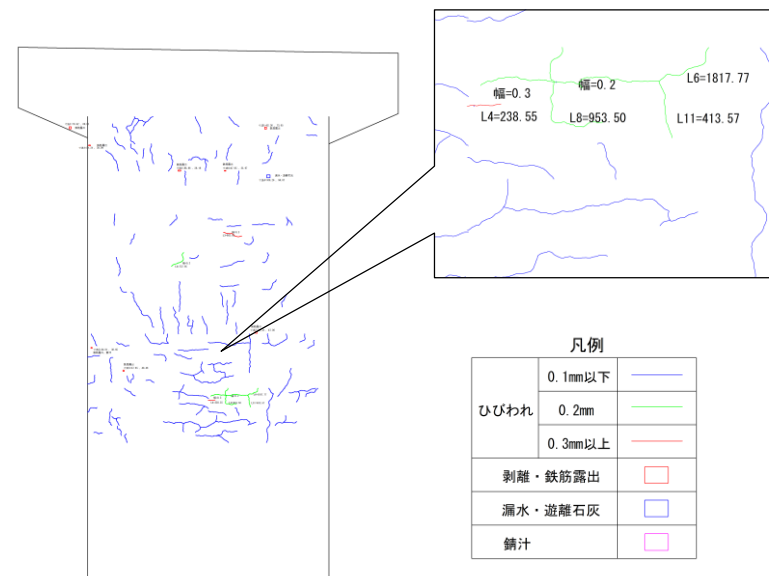


⑥解析状況

➤ ドローン点検結果

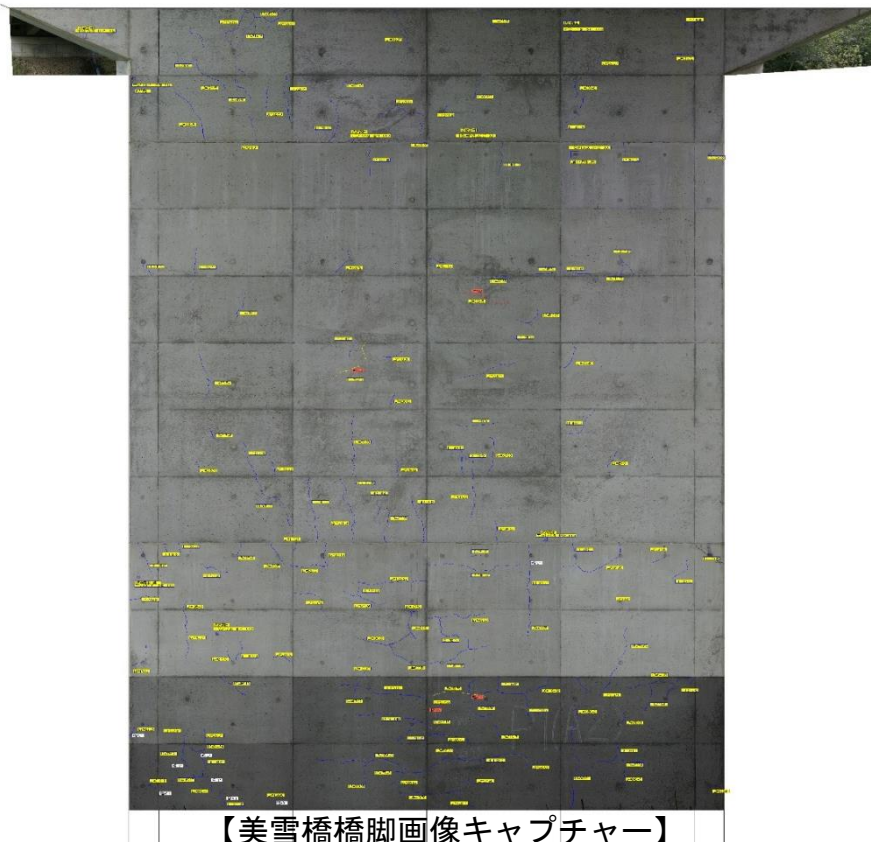


【美雪橋橋脚3Dモデルビューアー】

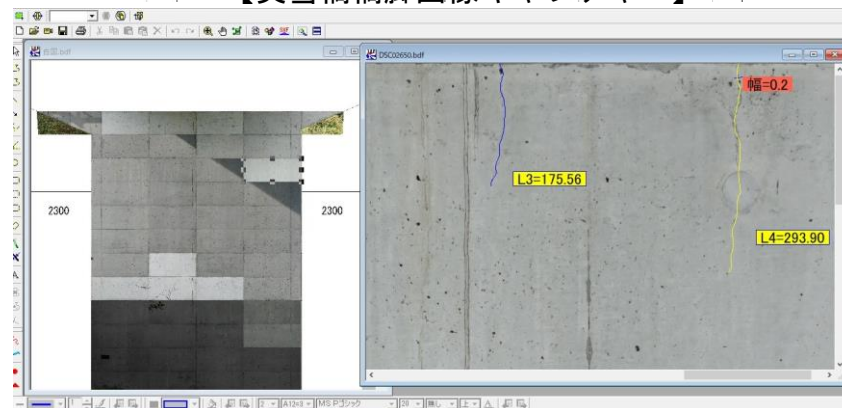


【美雪橋橋脚損傷CAD図】

【美雪橋橋脚合成画像トレース】



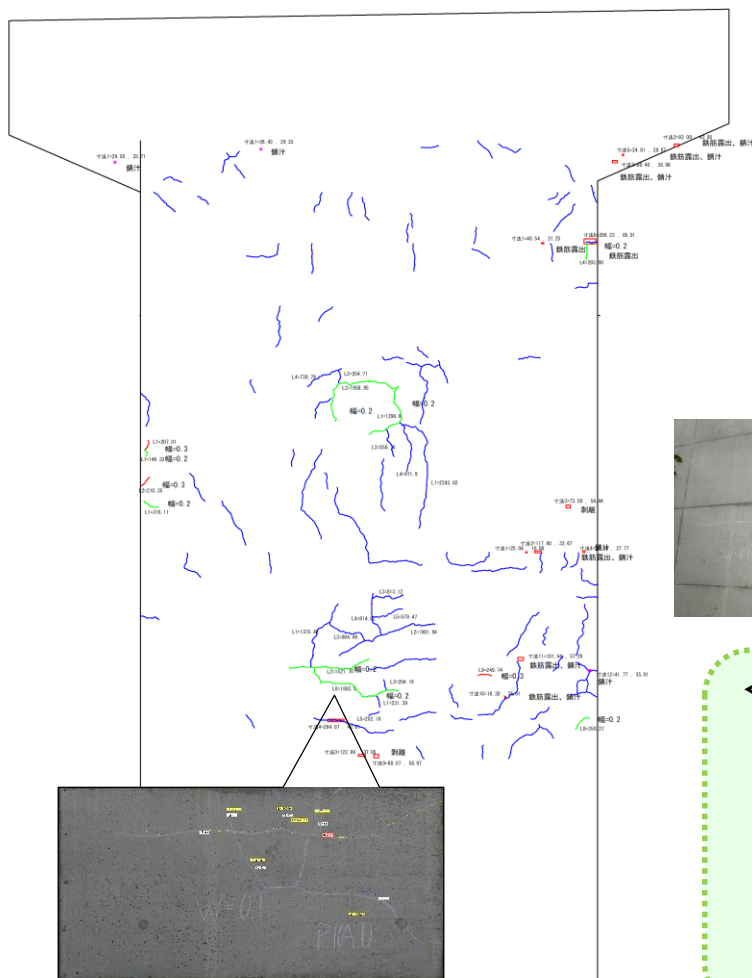
【美雪橋橋脚画像キャプチャー】



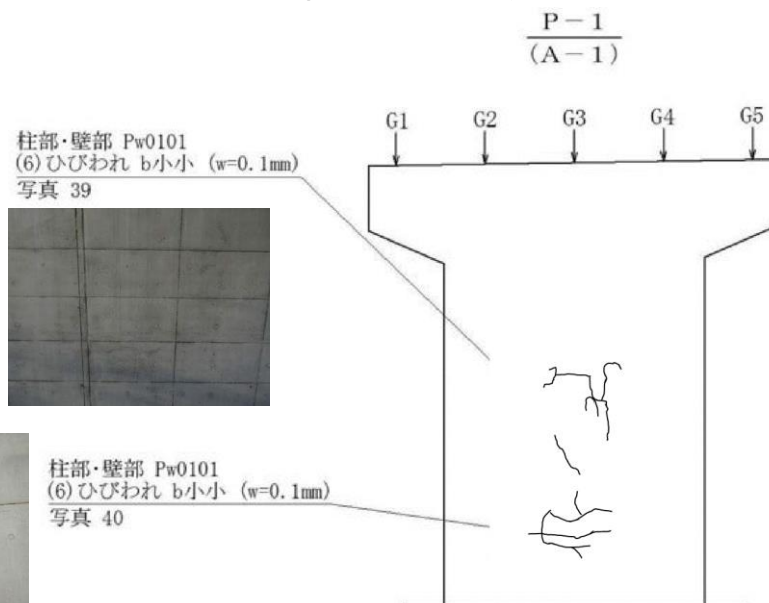
◆ドローンと点検車による近接目視点検結果の比較

以下に、ドローンと近接目視の橋脚起点側縦壁損傷図を示す。

【ドローン点検損傷図】



【近接目視点検損傷図】

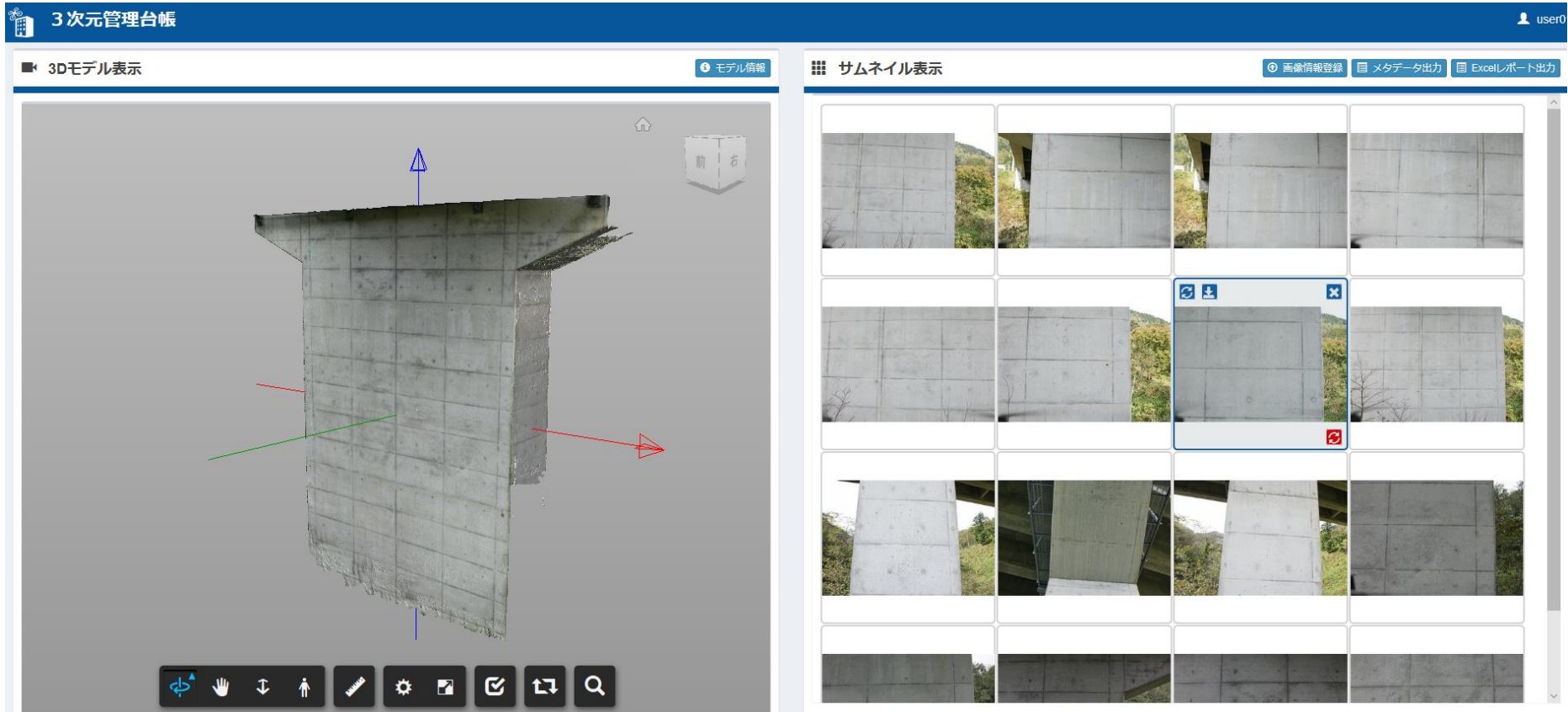


＜ドローン点検と近接目視点検の損傷図での違い＞

- ①ドローン点検の画像は、解像度が十分高く近接目視では無視するレベルまで抽出してしまうほど鮮明。
- ②ドローンの損傷位置は、近接目視の損傷図に比べ詳細な位置を特定できる。
- ③ドローンの画像はデータが残るので、必要に応じて見直しが可能。

◆ドローン(画像計測技術)の3次元モデル

以下に、3次元納品した場合のビューアを示す。



3次元納品の成果品は、点検写真・損傷形状データ・メタデータ・ドキュメントとなる。

4, 検 証

◆ドローン点検の検証

➤ ドローン及び官貸車点検での比較表(作業時間,金額について等)

R238号美雪橋の橋梁点検において、現行の点検方法である橋梁点検車点検と点検支援技術であるドローン点検について、作業人数や時間、作業経費等の比較を行う。

項 目	橋 梁 点 検 車 点 検	ド ロ ー ン 点 検	ロ ー プ ア ク セ ス
使用機械	大型橋梁点検車(BT400)	非GPS環境対応型ドローン	無
交通規制	規制車1台・標識・コーン等 交通誘導員3名	無	無
点検作業員	運転手1名、オペレーター1名、点検者2名、安全管理者1名 計 5名	ドローン操縦者1名、GPS管理者1名、撮影管理者1名、安全管理者1名 計 4名	ロープアクセス主任技術者1名 ロープアクセス技術者1名 安全管理者1名 計 3名
外業作業時間	点検作業 :16時間(2日) 計 :2日(1.00) ※橋脚単体の場合、点検作業時間としては、約3時間程度となる。	点検作業 :16時間(2日) 計 :2日(1.00) ※橋脚単体の場合、ドローンの点検飛行時間は約1時間程度となる。	点検作業:40時間(5日) 計 :5日(2.50) ※橋脚単体の場合、点検作業時間としては、約3時間程度となる。
内業時間	写真整理・損傷図作成:3日 損傷図(2D)	写真整理・解析 :4.5日 損傷図(3D)	写真整理・損傷図作成:3日 損傷図(2D)
コ ス ト	点検車 :1,470,000 点検工 : 150,000 交通誘導 : 204,000 データ処理費 : 156,000 計 1,980,000(3.9) ※BT400をリースした場合	準備工 : 60,000 点検工 :220,000 データ処理費 :216,000 計 496,000(1.0)	準備工 :150,000 点検工 :572,000 データ処理費 :130,000 計 852,000(1.7)

点検方法の比較は、橋脚(380m²)及び上部工下面(880m²)の点検を行った場合の比較である。

※R238 美雪橋における点検工法比較は、ドローン点検が有効な結果となっているが、橋梁形式及び架橋位置、使用するドローン技術によって異なるため、一概に有効とは言い切れない。

➤ ドローンでの点検に向いている橋,向かない橋

・有効な橋梁形式

上部工形式：コンクリート橋

プレテンホロー桁・中空ホロー桁・箱桁

※箱桁などの凹凸が少ない形式

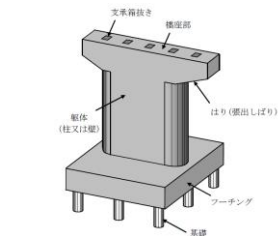
※T桁の場合は、ドローンが桁中に入れな
いため、桁高さが低いタイプが有効

鋼橋

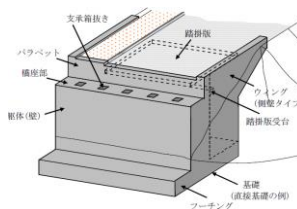
※H型桁など桁高が低い形式の床版

下部工形式：構造高が高い橋脚

※橋台の場合は、照度が足りなくなる
ケースが多い

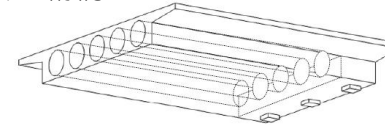


壁高が高い橋脚が有利

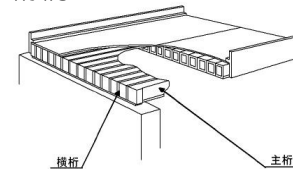


橋台前面は暗く不利

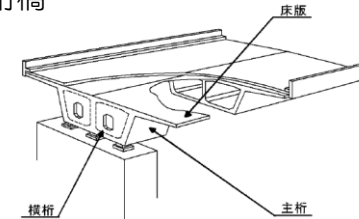
中空和-桁橋



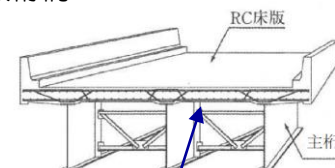
プレテン和-桁橋



箱桁橋



鋼桁橋



ドローンは、桁中に入
り込むのが苦手

コンクリート橋

主桁下面がフラッ
トな構造が有利



鋼 橋



➤ 使用上のメリット

・ 使用上の有効性

人は入れるが高所作業車の進入が困難、橋梁点検車でも困難な橋梁で高所作業車が入れない、特殊な構造により橋梁点検車でも困難（右2枚）な場所では、ロープアクセスなどで人が高所作業を行う。ドローンを活用することにより、危険作業をなくすことができる。

メリット①：近接目視が困難な箇所での点検が行える。

メリット②：危険箇所での点検が安全に行える。



➤ 使用上のデメリット

- ・ 橋脚床版付近、床版の暗所撮影
→ 照明システムがなく、カメラ設定で明るさを調整するが画像にノイズが入りひび割れの視認が困難。
照度を400ルクス程度まで上げることができれば撮影が可能と考えられ現在、ドローン搭載用照明を開発中
- ・ 支承部付近や橋脚を回り込む風の吹き抜けの影響で機体が不安定となる
→ 上空の風（風向き、強さ）は予想が困難。
橋梁からの距離を大きく取り、衝突リスクを回避する
- ・ 自己位置推定の精度が悪く、自律飛行が困難（Visual SLAM）
→ 特徴が少なく、自己位置推定精度が悪くなり自律飛行ができない。
マニュアル飛行もしくはレーザー機体で対応

○実施困難箇所

- ・ 河川上空で桁下に入り込む飛行（目視外飛行になり得る）
- ・ 道路上空、側道に近い現場（通行する車への障害、第三者被害のリスク）
- ・ 強力な電波を発する施設付近（ドローンの電波に障害、操縦不能リスク）
- ・ 物理的に侵入、撮影が不可能な場所（狭隘部、桁間内など）

➤ 結 論

R238 美雪橋において、一般的な橋梁点検車点検とロープアクセス点検及び支援技術であるドローン点検の比較を行った。結果、ドローン点検が優れる結果となった。

【 安 全 性 】

橋梁点検車点検の場合は、交通規制が必要となる。ロープアクセスにおいては、専門の技術習得者が行うが、ロープアクセスの場合は特に安全管理が重要な工法になる。ドローン点検においては、作業員自体は危険な作業を伴わないことから、3工法中最も優れる工法となった。

【 経 済 性 】

対象橋梁は、2径間連結PCボステン合成T桁橋で橋梁65m、全幅員が13.5m、橋脚は高さが約16mある橋梁でドローン点検に適している橋梁となる。橋梁点検車を使用する場合は、橋脚高さが16mあるため、点検車は大型のBT400を使用するため点検車をリースした場合、3案中最も経済性に劣る結果となった。また、ロープアクセスは限定された条件下での工法であるため高価となる。ドローン工法は、美雪橋のように橋梁形式が複雑でない場合、飛行時間が大きく伸びないことから経済性に優れる結果となった。

【 損傷図等 】

橋梁点検車点検及びロープアクセス点検は、従来点検通り2Dの損傷図と写真での点検調書となるが、ドローン工法の場合、従来点検の損傷図及び写真での点検調書はもちろん、3Dの損傷写真データや国土交通省の3次元成果納品が可能となることから、ドローン点検は、今後の点検に向けて有効な工法となる。

以上から、安全性・経済性・損傷図等の調書において、ドローン点検が3工法中優れる結果となった。この比較は、今回使用した橋梁に対しての結果であるが、類似した橋梁の場合、同様の結果となる可能性が高い。

➤ 考 察

今後、人手不足や高齢化など橋梁点検作業においては、厳しい状況が待ち受けている中、安全性及び施工性に優れるドローン点検は、今後有効な点検方法となる。

5. 点検支援技術(画像計測技術) を用いた3次元成果品について

◆3次元納品の今後

- 平成30年度より、トンネル・橋梁の定期点検業務において取得したデータから、構造物の3次元モデルを作成し、**3次元モデルを介して損傷や変状の記録を蓄積**する試行を実施。
- 試行を通じて3次元モデルの活用場面を創出し、診断の高度化を目指す。

〔定期点検〕

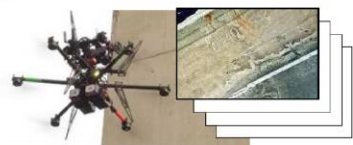
① 近接目視による把握



- ・ 視覚・打音等による損傷等把握

【令和元年度より】

①' ロボットによる点検記録



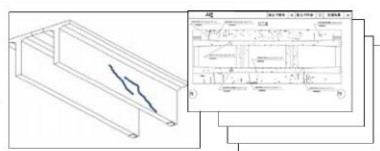
- ・ ロボットが精細な点検写真を短時間で大量に取得

H30道路橋点検業務等で試行

↓ 試行の成果

平成31年2月策定
新技術利用のガイドライン（案）
点検支援技術 性能カタログ（案）

② 人手による調書作成



- ・ 膨大な枚数の点検記録を元に人手により損傷・変状を抽出

③ 専門家による診断



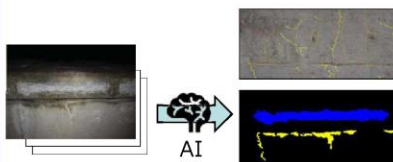
- ・ 専門家による目視・打音、周辺環境等を踏まえた総合的診断

④ 成果品納品



- ・ 紙による記録を事務所、作業所がデータ管理

② AIによる調書自動作成



- ・ AIによる損傷・変状抽出と評価区分の自動判別

大量の写真データ



土木技術者による正しい判断の蓄積

技術
開発

教師データの整備

〔3Dデータ作成〕〔将来像〕

④' 点検・診断結果の蓄積



- ・ 3Dモデル上の正確な位置に、写真や点検・診断結果を蓄積

本施策の対象

凡例： ➡ 従来点検 ➡ AI導入後 ➡ 教師データ作成 ➡ 3Dデータ作成

ご静聴、ありがとうございました。