

小型ドローンを活用した
栈橋式岸壁の上部工下面点検マニュアル
(案)



令和6年3月

国土交通省 四国地方整備局
高松港湾空港技術調査事務所

目次

1	本マニュアルの目的及び適用範囲.....	1
1.1	目的.....	1
1.2	適用範囲.....	3
1.3	用語の定義.....	6
2	法的な考慮事項.....	7
3	ドローンの選定及び関連機材の準備.....	9
3.1	ドローンの選定.....	9
3.2	関連機材.....	11
3.3	操縦者の任命.....	14
4	事前準備.....	15
5	現地作業.....	19
6	画像処理.....	23
7	BIM/CIM 連携.....	28

1 本マニュアルの目的及び適用範囲

1.1 目的

本マニュアルは、栈橋上部工下面の状態を効率的かつ安全に点検する手段の一つである、UAV（無人航空機）を用いた撮影作業に関する手順及び留意点等を取りまとめたものである。ここで、マニュアル作成にあたり既存の栈橋を対象とした実証実験を行っており、そこで得ることができた知見を併せて記載した。

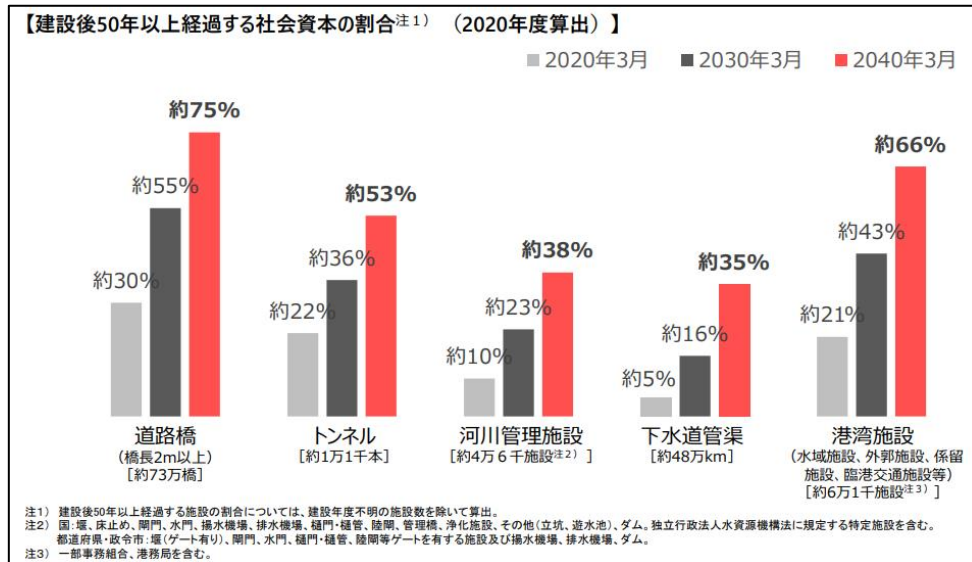
なお、本マニュアル作成にあたり、点検及び診断に関する主な基準については、従来通り、「港湾の施設の点検診断ガイドライン（平成26年7月、令和3年3月一部変更）、国土交通省港湾局」や「港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン（平成27年4月、令和5年3月一部変更）、国土交通省 港湾局」に準ずるものとし、本マニュアルにより上記のガイドラインを変更するものではない。

【解説】

(1) 本技術の導入の背景

① 建設業界の技術者不足及び老朽化インフラの増加

昨今の我が国のインフラ分野は、少子高齢化の進行により技術者が減少している傾向にある。一方で、現存するインフラの多くは高度経済成長期に整備されていることから、今後、供用期間を迎えるインフラが急激に増加することが想定され、限られた人員で一斉に老朽化調査を実施することとなる。



出典：国土交通省 「社会資本の老朽化の現状」 (https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html)

図 1-1 建設後 50 年以上経過する社会資本の割合 (2020 年算出)

これらのインフラのうち、港湾施設、とりわけ栈橋式岸壁の海上目視点検は、作業船を用いて栈橋上部工下面（以下、「栈橋下面」とする）の劣化状況を目視により把握する方法である。また、地震等災害発生後の臨時点検の場合、海上の漂流物等により作業船を用いた目視点検が困難となり、栈橋下面の状態確認が困難となるケースも考えられる。

② 社会経済情勢の変化

近年、データやデジタル技術の普及・拡大により、インターネットやソフトウェアといった技術革新が急速に進んでおり、これまでの現実空間を前提とした業務そのものが効率化し、さらに抜本的に変革する「デジタル・トランスフォーメーション (DX : Digital Transformation)」が様々な業界・業種で本格的に進展しており、リモート化やデジタル化、自動化、見える化等が推進されている。

③ インフラ分野のDXの推進

インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現するため、インフラ分野のDXが推進されている。インフラ分野のDXのうち、i-Constructionの推進を通じて、ICT建設機械や無人航空機等を活用したICT施工等、設計・施工におけるデジタル技術の積極的な活用が進められている。

このうち、近年技術開発が著しいドローンの汎用的な飛行能力や高性能な撮影能力を有するカメラを活用することで、遠隔地から安全に広範囲の状況把握が可能となることや現地作業時間の短縮により作業員の労力が軽減される等、従来の点検方法に対して安全性の確保や、省人化、点検作業の効率化等が期待される。



出典：インフラ分野のDXアクションプラン2、2023年8月、国土交通省、P4

図 1-2 i-Constructionとインフラ分野のDXの関係

1.2 適用範囲

本マニュアルの適用範囲は、栈橋下面に発生する損傷劣化の確認を目的とした定期点検診断（一般・詳細）または臨時点検診断とする。

【解説】

栈橋下面には塩害等を原因とした損傷劣化（ひび割れや剥離等）が発生する可能性があり、それらの損傷劣化が進行すると栈橋上部工を構成する梁・床版の耐荷力の低下につながるおそれがある。

従来、定期点検診断等においては栈橋下面より作業船や潜水土による目視や撮影による点検を行うが、より安全かつ効率的な方法として、ROV（Remotely Operated Vehicle）やポールカメラ等を用いた機材を遠隔操作する方法が試行されている。

これらの方法は、海象条件や構造物の形状、水面からの離隔など制約条件に応じて使い分けることができる。このうち、本マニュアルで取り扱う UAV を活用した方法（図 1-3）は、UAV が飛行できる水面と上部工との離隔が確保できる場合に、風や潮流、波浪等の海象状況の影響を受けずに点検可能である点で有効な技術である。

表 1-1 遠隔操作による栈橋下面の点検方法の例

機材の種類	ROV（※1）	UAV	ポールカメラ（※2）
特徴	水上を航行させて撮影を行う。他技術と比較して撮影対象とカメラの距離が安定しやすく安定した画角で撮影が可能。また、海面と栈橋下面との離隔が比較的狭い空間でも運用可能。	海面と栈橋下面の空間を飛行させて撮影を行う。風や潮流、航走波等の影響を受けずに運用可能。	栈橋前面や上部工開口部から栈橋下部にポールカメラを挿入して撮影を行う。作業船等で直接進入せずとも撮影可能。
制約条件	航走波や潮流の影響が大きい場合は操縦が困難となる場合がある。	海面と上部工の間に UAV が飛行可能な離隔が必要。UAV のぶれ・高さの変化により撮影画角が安定しない場合がある。高度な操縦技術が必要である。	ポール延長により可能な範囲での撮影となる。

※1 参考：港湾空港技術研究所 栈橋上部工点検 ROV <https://www.pari.go.jp/unit/lcm/sip/rov-pari/index.html>

※2 参考：港湾の施設の新しい点検技術カタログ「パノラマカメラを用いた構造物調査点検システム」

<https://www.mlit.go.jp/common/001396462.pdf>

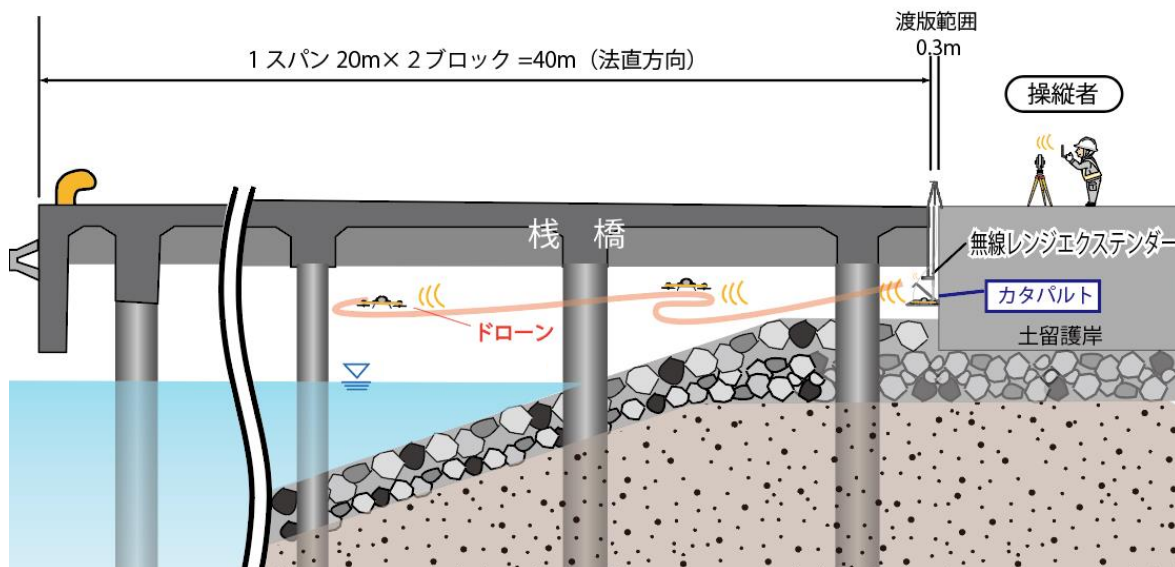


図 1-3 ドローンを用いた栈橋下面の点検イメージ

[参考] 栈橋下面の点検におけるドローン活用による効果

実証実験において、実際の作業（内業及び外業）に要した歩掛と、従来手法による点検との経済比較を行った。従来手法は、作業船からの目視点検（海上目視点検）と作業船進入不可の場合の潜水士による目視点検（潜水目視点検）の両者を比較対象としている。

比較の結果、海上目視点検に対して経済性は劣る結果となる*。

ただし、干満差が小さくて栈橋下面への作業船の進入が困難な条件下（進入経路が無い場合など）においては有効な技術である。また、将来の担い手不足問題の解消やインフラ分野のDXの推進を行ううえで期待される点検手法である。

※ 海上目視点検（従来の目視調査(2)）については現地作業と内部作業を含んだ標準歩掛であり、現場条件や損傷劣化の程度により大きく変動する。

表 1-2 従来手法との経済性の比較

手法	従来方法		ドローン点検
	海上目視点検	潜水目視点検	
経済性	129 円/m ²	314 円/m ²	外業 119 円/m ²
			内業 78 円/m ²
			計 197 円/m ²
比較	1.00	2.43	1.53

表 1-3 外業の歩掛 (1m²あたり)

ドローン(IBIS2)による目視調査 1日当り 1,650 m²

名称	形状寸法	単位	数量	単価(円)	価格(円)	摘要
交通車	ライトバン2L	日	1	3,300	3,300	2h/8h
技師補	測量	人	1	34,300	34,300	
測量撮影士	ドローン操縦士	人	2	41,600	83,200	
測量撮影助手	助手	人	1	33,800	33,800	
ドローン		日	1	40,000	40,000	参考値
雑材料		%	1		1,946	全体の
小計					196,546	
調査価格					119	円/m ²

表 1-4 内業に要する時間 (1スパンあたり)

作業内容	平均時間	備考	作業人員構成
動画編集	2時間		測量助手 : 0.5時間
SfM処理による 3Dモデル作成	7時間	6時間~8時間	測量技師補 : 0.5時間 (処理データの編集)
変状把握および 老朽化判定	2時間15分	初期設定 : 1時間	測量技師補 : 1.0時間
		展開図作成 : 15分	測量技師補 : 0.1時間
		変状の自動抽出 : 30分	測量技師補 : 0.3時間
		変状種類の決定と劣化度判定 : 30分	測量技師補 : 0.3時間
合計	11時間15分		測量助手 : 0.5時間 (0.06人/スパン) 測量技師補 : 2.2時間 (0.28人/スパン)

※ 撮影動画から3Dモデルを作成し点検診断支援システム(港湾空港技術研究所)を使用して診断を実施した場合

表 1-5 内業の歩掛 (1スパンあたり)

ドローン内業 1スパン(400m²)

名称	形状寸法	単位	数量	400m ²	価格(円)	摘要
技師補	測量	人	0.06	34,300	2,058	
助手	測量	人	0.28	32,200	9,016	
3D作成ソフト		日	2	10,000	20,000	20万/月
雑材料		%	1	31,074	310	全体の
小計		m ²	1		31,384	
					78	円/m ²

1.3 用語の定義

本マニュアルで使用している主な用語の定義を以下に示す。

表 1-6 用語の定義

用語	定義
ドローン	無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle、UAV）」の一種。 一般的に、複数のプロペラを有する飛行体（マルチコプター）を示す。 機体重量が 100g 以上の場合、航空法で規制される。
DX	Digital Transformation の略称。進化したデジタル技術を浸透させることで、人々の生活をより良いものへ変革すること。
i-Construction	「ICT の全面的な活用（ICT 土工）」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、もって魅力ある建設現場を目指す取組。
GPS	測位衛星からの電波を利用した測量機。測位衛星には GPS 衛星、GLONASS 衛星、準天頂衛星などがあるが、公共測量作業規程の準則では GPS 衛星と GLONASS 衛星のみが利用可能とされている。
SfM	Structure from Motion 各写真の特徴点抽出と写真間の特徴点の対応付けを行い、因子分解法によりカメラ位置とパラメータの算出を行う。
オルソ画像	写真上の像の位置ズレをなくし空中写真を地図と同じく、真上から見たような傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像に変換（＝正射変換）したもの。
点群データ	空間座標（x,y,z）と色情報（R,G,B）を持った点の情報を集めたデータ。
解像度	画素の細かさを表す尺度。ピクセル数で示す。（例；1920×1080pix）
テクスチャ画像	立体物の質感を表現するために使われる画像。
BIM/CIM	Building / Construction Information Modeling, Management の略称。BIM/CIM モデルは、対象とする構造物等の形状を 3 次元で表現した「3 次元モデル」と「属性情報（3 次元モデルに付与する部材（部品）の情報）」を組み合わせたもの。
DID 地区	国勢調査の基本単位区を基礎単位とし、市区町村の境域内で人口密度の高い地域として設定された地区。
港湾区域	港湾施設とは、港湾区域内及び臨港地区内に存在する一定の固定施設並びに港湾の利用又は管理に必要な一定の可動施設。
SOLAS 区域	船舶及び港湾施設の保安の確保を目的として、2002 年 12 月に国際海事機関（IMO）において改正された「1974 年の海上における人命の安全 のための国際条約（SOLAS 条約）附属書」の対象となる区域。
UI	User Interface の略称。ユーザーとコンピューターとの間で情報をやり取りするさまざまな機器や入力装置を指す。
Canny エッジ検出	画像内のエッジ（輪郭線や境界線）を検出するために使用される高度なエッジ検出アルゴリズム。
Mbps	1 秒間に送受信可能なデータ量を表す単位。 （例：1Mbps：1 秒間に 1Mbit（＝125KB）の通信ができる。

2 法的な考慮事項

ドローンの飛行にあたっては、航空法及び飛行地域における条例・ルールに基づき許可・承認申請等が必要となる。

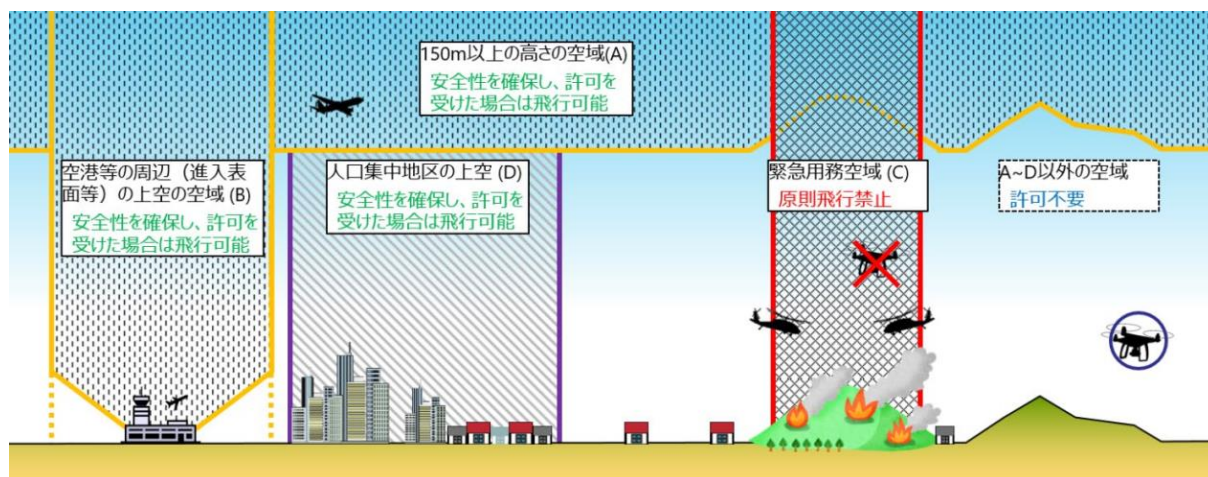
【解説】

(1) 航空法による制約

① 飛行禁止空域

国土交通省令で定める以下の空域においては、国土交通大臣の許可を受ける必要がある。各空港等の周辺に設定されている進入表面等の位置や、人口集中地区の範囲を記載した地図については、国土地理院の地理院地図より確認が可能である。また、緊急用務空域の指定有無については、国土交通省 航空局「緊急用務空域の公示」より確認が可能である。

航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域や、落下した場合に地上の人などに危害を及ぼすおそれが高い空域において、無人航空機を飛行させる場合には、あらかじめ、航空局長等の許可を受ける必要がある。なお、私有地であっても下図のA～Dに該当する場合は許可が必要である。



出典：無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン、令和5年1月

図 2-1 無人航空機の飛行禁止区域

② 飛行方法

ドローンを飛行させる場合は、飛行させる場所に関わらず、以下のルールを遵守することが必要である。

- ・ アルコール等を摂取した状態では飛行させないこと
- ・ 飛行に必要な準備が整っていることを確認した後に飛行させること
- ・ 航空機や他の無人航空機と衝突しそうな場合には、地上に降下等させること
- ・ 不必要に騒音を発するなど他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと



出典：無人航空機の飛行禁止空域と飛行の方法（国土交通省 https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000041.html）

図 2-2 飛行ルール

また、以下に該当する場合は、航空局長等の飛行承認を受ける必要がある。

- ・ 昼間（日中）（日出から日没まで）以外（＝夜間）に飛行させること
- ・ 目視（直接肉眼による）範囲外で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること（目視外飛行の例：FPV（First Person's View）、モニター監視）
- ・ 第三者又は第三者の建物、第三者の車両などの物件との間に距離（30m）を確保できない環境で飛行させること
- ・ 祭礼、縁日など多数の人が集まる催し場所の上空で飛行させること
- ・ 爆発物など危険物を輸送すること
- ・ 無人航空機から物を投下すること



出典：無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン、令和5年1月

図 2-3 承認が必要となる飛行の方法

上記に係る詳細については、国土交通省航空局 Web サイト：無人飛行機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール¹にて確認できる。

(2) その他考慮が必要な法令

栈橋下面の点検においては、港湾区域内での作業であること及びドローン落水時の回収作業は小型ボートを用いた海上作業となることから、港湾法、港則法及び海上交通安全法についても考慮し、適切な対応を図る必要がある。これらの対応・許可申請等の要否・方法については、関係する海上保安部及び港湾管理者に事前に確認すること。

¹ https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html

3 ドローンの選定及び関連機材の準備

3.1 ドローンの選定

使用するドローンは、栈橋下面の空間を飛行させることを考慮した操作性や上部工コンクリート表面を撮影するカメラの向き・性能等を考慮して選定する。

【解説】

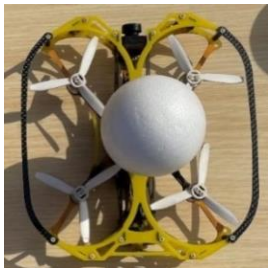
ドローンを飛行させる空間は、狭隘かつ直接の機体の視認が困難であることを考慮し、以下の点に考慮して選定する。

- ・ 栈橋下面は GPS 環境外であるため、GPS 環境外でも飛行可能であること。
- ・ 栈橋下面においても安定した電波の送受信が可能であること。
- ・ 暗所や狭隘な箇所でも飛行可能なサイズであること。
- ・ 暗所や狭隘な箇所でもひび割れ等の変状が検出可能な撮影性能を有すること。
- ・ 構造物への衝突・落水に対応した装具・フロートを装着可能であること。

[参考] 実証実験に用いた機体

実証実験においては以下に示す機体を使用した。使用機体は比較的小型かつ FPV (First Person View) による飛行操作が可能であり機体の直接目視が困難な空間での飛行に適している。また、機体にはカバー及びフロートを装着し、衝突・落水対策を施している。

表 3-1 実証実験で使用した機体

ドローン名称	IBIS	IBIS2
機体	 ※水没時に回収可能なフロートを装着	 ※水没時に回収可能なフロートを装着
重量	185g (バッテリー込み)	243g (バッテリー込み)
外形寸法	191mm×179mm×54mm	194mm×198.5mm×58mm
素材	ポリカーボネート (衝突時に施設の損傷リスクを低減)	ポリカーボネート (衝突時に施設の損傷リスクを低減)
無線通信距離	100m(周辺に支障物がない地上の場合)	100m(周辺に支障物がない地上の場合)
最大飛行時間	8 分	11 分
ヘッドライト	45lm×2 基(合計 90lm)	190lm×2 基 (合計 380lm)、5 段階調光
最大飛行可能風速	3m/s	3m/s
画角	水平 131° ,垂直 80.1° ,対角 143.9°	水平 131° ,垂直 80.1° ,対角 143.9°
解像度	Full HD(1920×1080)	Full HD(1920×1080)

また、機体に搭載するカメラは、「港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン（平成27年4月、令和5年3月一部変更）」における、棧橋の点検診断項目や劣化度の判定が可能な解像度で撮影する必要がある。

表 3-2 定期点検診断様式

「○」・・・原則実施する。「※」・・・簡易に点検ができる場合または必要に応じて実施する。「-」・・・原則実施しなくて良い。

対象施設	点検診断項目の種類	点検診断の項目	点検方法	劣化度の判定基準	標準Ⅰ	標準Ⅱ	共通指針	
棧橋	Ⅰ類	棧橋法線	凹凸、出入り	目視 ・移動量・沈下量	a <input type="checkbox"/> 隣接する上部工との間に20cm以上の凹凸がある。	○	○	○
					b <input type="checkbox"/> 隣接する上部工との間に10～20cm程度の凹凸がある。			
					c <input type="checkbox"/> 上記以外の場合で、隣接する上部工との間に10cm未満の凹凸がある。			
					d <input type="checkbox"/> 変状なし。			
		エプロン	沈下、陥没	目視	a <input type="checkbox"/> 土留部背後の土砂が流出している。 <input type="checkbox"/> 土留部背後のエプロンが陥没している。 <input type="checkbox"/> 車両の通行や歩行に重大な支障がある。	○	○	○
					b <input type="checkbox"/> 土留部目地に顕著な開き、ずれがある。 <input type="checkbox"/> エプロンに3cm以上の沈下(段差)がある。 <input type="checkbox"/> エプロンと後背地の間に30cm以上の沈下(段差)がある。			
					c <input type="checkbox"/> 土留部目地に軽微な開き、ずれがある。 <input type="checkbox"/> エプロンに3cm未満の沈下(段差)がある。 <input type="checkbox"/> エプロンと後背地の間に30cm未満の沈下(段差)がある。			
					d <input type="checkbox"/> 変状なし。			
		上部工 (下面部) (RCの場合)	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れの発生状況 ・錆汁の発生状況	a <input type="checkbox"/> ひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 錆汁がある。	○	○	※
					b <input type="checkbox"/> -			
					c <input type="checkbox"/> -			
					d <input type="checkbox"/> 変状なし。			
		鋼管杭	鋼材の腐食、亀裂、損傷	目視 ・開孔の有無 ・表面の傷の状況	a <input type="checkbox"/> 腐食による開孔や変形、その他著しい損傷がある。	○	○	※
					b <input type="checkbox"/> -			
					c <input type="checkbox"/> -			
d <input type="checkbox"/> 腐食による開孔や変形はない。								
土留部		目視(土留部の形式に従って適切に行う)	a <input type="checkbox"/> 土留部の構造形式に従って、ケーソン式係船岸又は矢板式係船岸の点検診断様式を準用する。	○	○	※		
			b <input type="checkbox"/> -					
			c <input type="checkbox"/> -					
			d <input type="checkbox"/> -					
Ⅱ類	エプロン (通常の場合)	コンクリート又はアスファルトの劣化、損傷	目視 ・コンクリート又はアスファルトのひび割れ、損傷	a <input type="checkbox"/> コンクリート舗装でひび割れ度が2m ² /m ² 以上である。 <input type="checkbox"/> アスファルト舗装でひび割れ率が30%以上である。 <input type="checkbox"/> 車両の通行や歩行に支障があるひび割れや損傷が見られる。	○	○	○	
				b <input type="checkbox"/> コンクリート舗装でひび割れ度が0.5～2m ² /m ² である。 <input type="checkbox"/> アスファルト舗装でひび割れ率が20～30%である。				
				c <input type="checkbox"/> 若干のひび割れが見られる。				
				d <input type="checkbox"/> 変状なし。				
	エプロン (コンテナ ターミナル 等利用制限 が厳しい場 合)	舗装等の段差、わだちぬれ、ひび割れ	目視 段差、凹凸、わだちぬれ	a <input type="checkbox"/> 車両走行に危険な段差、陥没、わだちぬれ、ひび割れ等がある。 <input type="checkbox"/> 15mm以上の段差がある。 <input type="checkbox"/> 10mm以上のわだちぬれがある。 <input type="checkbox"/> 幅3mm以上のひび割れがある。	○	○	○	
				b <input type="checkbox"/> 10～15mmの段差がある。 <input type="checkbox"/> 幅3mm未満のひび割れがある。				
				c <input type="checkbox"/> 10mm未満の段差がある。 <input type="checkbox"/> 10mm未満のわだちぬれがある。 <input type="checkbox"/> 微小なひび割れがある。				
				d <input type="checkbox"/> 変状なし。				

「○」・・・原則実施する。「※」・・・簡易に点検ができる場合または必要に応じて実施する。「-」・・・原則実施しなくて良い。

対象施設	点検診断項目の種類	点検診断の項目	点検方法	劣化度の判定基準	標準Ⅰ	標準Ⅱ	共通指針	
棧橋	Ⅱ類	上部工 (下面部) (RCの場合)	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数、長さと同幅 ・かぶりの剥落状況 ・錆汁の発生状況 ・鉄筋の腐食状況	a <input type="checkbox"/> スラブ： <input type="checkbox"/> 網目状のひび割れが部材表面の50%以上ある。 <input type="checkbox"/> かぶりの剥落がある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が広範囲に発生している。 はり・ハンチ(杭頭部)： <input type="checkbox"/> 幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> かぶりの剥落がある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が広範囲に発生している。	○	○	※
					b <input type="checkbox"/> スラブ： <input type="checkbox"/> 網目状のひび割れが部材表面の50%未満である。 <input type="checkbox"/> 錆汁が部分的に発生している。 はり・ハンチ(杭頭部)： <input type="checkbox"/> 幅3mm未満の鉄筋軸方向のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が部分的に発生している。			
					c <input type="checkbox"/> スラブ： <input type="checkbox"/> 一方方向のひび割れ若しくは棒状又は線状のゲル吐出物がある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が点状に発生している。 はり・ハンチ(杭頭部)： <input type="checkbox"/> 軸と直角な方向のひび割れのみがある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が点状に発生している。			
					d <input type="checkbox"/> 変状なし。			
		上部工 (側面部)	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れ、剥離、損傷 ・鉄筋腐食 ・劣化の兆候 等	a <input type="checkbox"/> 係船岸の性能を損なうような損傷がある。	○	○	○
					b <input type="checkbox"/> 幅3mm以上のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 広範囲に亘り鉄筋が露出している。			
					c <input type="checkbox"/> 幅3mm未満のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 局所的に鉄筋が露出している。			
					d <input type="checkbox"/> 変状なし。			

出典：港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン（平成27年4月、令和5年3月一部変更）

3.2 関連機材

ドローンの離着陸及び飛行を円滑かつ安全に飛行させるために必要な機材を準備する。

【解説】

(1) ドローン飛行に係る機材

ドローン飛行にあたり使用する機材として、以下を準備する。

- ・ ドローン機体、予備プロペラ、カメラ用モニター、操作用プロポ、充電器等備品
- ・ 予備バッテリー（想定する飛行回数に応じて準備）
- ・ 風速計（現地風速観測用の簡易なもので可）
- ・ ゴムボート等の小型ボート（機体落水時の機体回収用）



図 3-1 関連機材

(2) 棧橋下面における飛行を行うための特殊機材の例

棧橋下面の狭隘な空間（以下「調査空間」とする）でドローンを運用するため、特殊な機材を使用する場合があります。以下に実証実験において使用した機材を例として示す。

① 無線通信補助機材

調査空間は棧橋上からの無線通信が困難であることから、無線レンジエクステンダー等の補助機材の使用が考えられる。

[参考] 実証実験に用いた機材

実証実験では図 3-2 に示すような無線レンジエクステンダーを棧橋背後の渡版部や棧橋側面の開口部に取付け、通信を中継することを可能とした。

ただし、棧橋背後の渡版部や棧橋側面に無線レンジエクステンダーを挿入できる開口部が無い場合は、棧橋前面から挿入する等の代替策を講じる必要がある。



栈橋と護岸の接合部（渡版設置箇所）から挿入

図 3-2 無線レンジエクステンダー

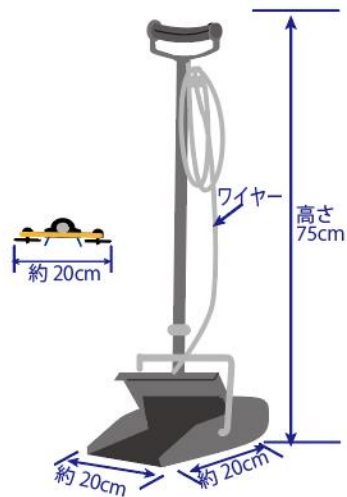
② 離発着装置（カタパルト）

以下のような条件の場合、調査空間から直接離発着が可能な装置の使用が考えられる。

- ・ 開口部が狭い場合
- ・ 栈橋上面の風が強い場合

[参考] 実証実験に用いた機体

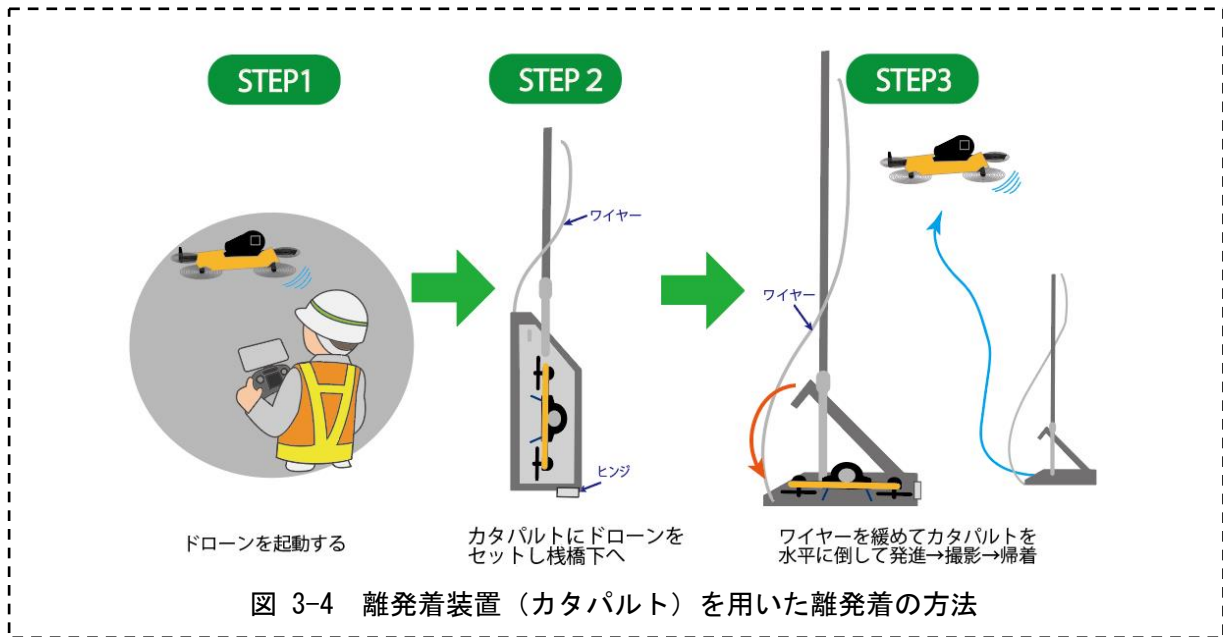
実証実験では、栈橋と背後護岸の開口部（渡版設置箇所）からドローンを離発着させるため、図 3-3 に示す離発着装置（カタパルト）を制作・使用した。上記無線レンジエクステンダー及び離発着装置を用いた作業イメージを図 3-4 に示す。



- ・ 寸法：幅 20cm × 奥行 20cm × 高さ 75cm（金属製）
- ・ 一般的に用いられている塵取りを改良。
- ・ 受け口開閉のための紐にはワイヤーを使用



図 3-3 離発着装置（カタパルト）の外観



3.3 操縦者の任命

操縦者は、使用機体の操作に習熟かつ調査空間においてドローンを安全に飛行させることができる技術を有する者を任命する。

【解説】

栈橋周辺は沖からの風や波浪の影響を受けやすい環境である。また、栈橋下面は暗所であり、一部狭隘な箇所（栈橋下面と海面の間や、梁と梁の間等）を飛行する必要がある。さらに、目視外での飛行が必要になるため、手元のモニターでドローンの撮影映像を確認し、それを手がかりとして飛行することになる。このため、栈橋下面のドローン飛行においてはこれらに対応可能な操縦技術を有する者（第三級陸上特殊無線技士^{※1} または二等無人航空機操縦士^{※2} の資格を有する操縦者）が必要である。

※1,2：無人の上空を目視外でドローン飛行させることが可能な国家資格。操縦者本人が資格を有する必要がある。

[参考] 実証実験実施時の操縦者

実証実験では、第二級陸上特殊無線技士、実務経験 10 年(総操縦時間 7,000 時間)を有する者を配置した。

4 事前準備

現地における点検に先立ち、現地の状況を踏まえた飛行計画の立案及び関係機関への許可・申請等の手続きを行う。

なお、飛行計画の立案にあたっては、国土交通省航空局の公開情報「無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の飛行ルール²」及び「無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン（令和5年1月、国土交通省航空局）³」等を参照し、ドローンの飛行ルールや安全対策を十分考慮する。

【解説】

事前準備では、飛行計画及び作業時の安全管理計画を取りまとめ、航空局等関係機関への許可・申請手続き等を行う。

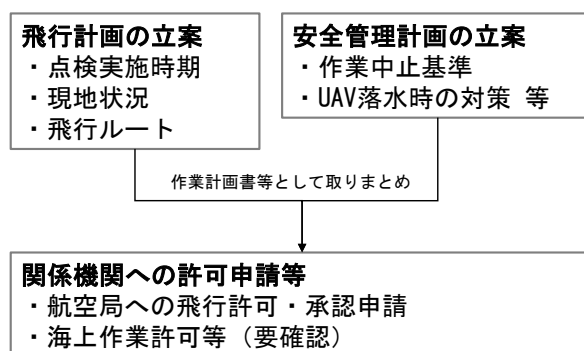


図 4-1 事前準備フロー

(1) 飛行計画の立案

飛行計画は以下の点を考慮する。

① 点検実施時期

点検実施時期は、以下を考慮して安全・確実な時期を設定する。

- ・ 潮位（栈橋下面と水面との離隔）
- ・ 天候（荒天の有無、風況）
- ・ 周辺工事等の予定（対象施設内での工事・他調査の有無）等

ここで、潮位についてはドローンの飛行において必要な水面と上部工部材との離隔を考慮し、作業可能な期間及び時間帯を設定する必要がある。

[参考] 栈橋下面と水面との離隔について

実証実験時に使用した機体の場合、実際の飛行時の上下方向の動揺を考慮し、80cm を栈橋下面と水面との離隔の下限値とした。安全な飛行に必要な離隔は使用機体ごとに異なるため、事前にテスト飛行を行い把握しておく必要がある。

² https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html

³ <https://www.mlit.go.jp/common/001303818.pdf>

② 現地状況

飛行に支障のある現地の状況を把握し、飛行ルート設定及び安全管理計画に反映する。

- ・ 点検対象施設の風況・気象の詳細
- ・ 支障物件（作業可能時間、係留船舶、荷役貨物・車両、進入困難箇所等）の有無
- ・ 第三者の立入の可能性
- ・ 周辺における工事・荷役作業等の有無

③ 飛行ルート

航空写真や図面等をもとに離発着地点及び飛行ルートを設定する。なお、ドローンの飛行可能時間等をもとに 1 度のフライトで可能な限り広範囲を点検できるよう効率的な飛行ルートを立案することが望ましい。

また、上部工前垂など海中に水没する部材や、杭間の離隔が小さい範囲等、ドローンによる撮影が困難な部分がある場合は、別途代替手法を計画する。

[参考] 実証実験時の飛行ルートの考え方

実証実験では、効率的な飛行ルートとして、潮位が低い時間帯に梁の点検、潮位が高い時間帯に床版の点検を行う方法とした。

(2) 安全管理計画

点検を安全に実施するための安全管理計画を立案する。安全管理計画の一例を以下に示す。

- ・ 現地で想定されるリスクを洗い出し、リスクを回避するための対応策を検討する。
- ・ 現地で作業実施可否を判断するための作業中止基準を定める（参考：表 4-1）。
- ・ 作業体制を明確にし、作業時や緊急時の連絡体制を明確にする。
- ・ 緊急時（ドローン墜落時等）の対応策を明確にする。

[参考] 実証実験時の作業中止基準

実証実験では表 4-1 のように定めた。なお、栈橋下面の風速の作業中止基準はドローン各機体によって異なるため、使用機体の耐風速や飛行実績に応じて適切に定める必要がある。

表 4-1 作業中止基準（参考）

平均風速	地上における一般作業	10.0m/s 以上
	地上におけるドローン使用時	5.0m/s 以上 ^{※1}
	栈橋下面におけるドローン使用時	3m/s 以上 ^{※2}
視程	1,000m 以下	
降雨量	5mm/h 以上	
津波	発生の恐れがある場合すべて ^{※3}	
波高	1m 以上	
地震	震度 4 以上	

※1 国土交通省航空局 無人航空機飛行マニュアルを参考に設定

※2 現地実証実験使用機体の耐風速。栈橋下面の風速の作業中止基準は各機体の耐風速や飛行実績に応じて適切に定める。

※3 津波注意報・海上風警報・緊急地震速報（警報）より判断

上記及び「無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン（令和 5 年 1 月、国土交通省航空局）」の内容を踏まえ、ドローン運用時の事故に対応する視点から計画を立案すること。特に、栈橋上の作業であるため、海中への落水及び周辺の荷役作業・工事等との錯綜などの事故防止対策を講じる（例えば、ドローンの落水に備え機体にフロートを装着するとともに、速やかに機体を回収できるよう栈橋下にゴムボートを待機させる等）。

(3) 関係機関への許可申請等

飛行計画立案後、関係機関への許可申請及び事前調整を行う。想定される許可申請は以下の通りであるが、航空法に基づくもの以外の許可申請提出先及び事前調整の実施先は対象港湾ごとに港湾管理者及び海上保安部に確認する必要がある。

なお、飛行許可申請・承認申請及び海上作業許可は承認がおりるまでにそれぞれ4週間程度の期間を要するため、点検実施時期までに余裕をもって許可申請を行うこと。

① 航空局への飛行許可・承認申請

国土交通省航空局への飛行許可・承認申請は必須である。許可・申請手続は専用システム（DIPS2.0,ドローン情報基盤システム）によるオンライン申請が可能であり、申請方法については「ドローン情報基盤システム操作マニュアル 飛行許可・承認申請編⁴」（国土交通省）を参照すること。

② 海上作業許可申請（必要に応じて）

栈橋下面でドローンによる目視点検作業を行う場合、港長または海上保安部の許可を受ける必要となる場合がある。この港内作業許可申請時には、ドローンの飛行場所と飛行経路・範囲を示した書類も合わせて提出する必要がある。

なお、本申請の要否については事前に対象港湾を所管する海上保安部に確認すること。

③ 港湾施設行為許可（必要に応じて）

港湾施設において点検等を行う場合に、港湾施設行為許可が必要となる場合がある。なお、対象施設の位置する地方自治体における申請手続きの要否・方法及び様式等については、事前に確認すること。

④ その他（必要に応じて）

点検箇所周辺に空港・ヘリポート及び自衛隊施設等重要施設がある場合は、事前に許可申請・調整等の要否について各所に確認すること。

⁴ <https://www.mlit.go.jp/common/001520747.pdf>

5 現地作業

現地においては、作業条件が事前準備において想定していた状況であるか十分確認したうえで、所定の手順に基づき安全かつ適切な点検を実施する。

【解説】

ドローンを用いた点検は気象等の現地条件の変化や機材トラブル等事故のリスクが比較的高い作業であることから、あらかじめ定めた手順に基づき確実に実施すること。

作業手順は作業内容、現場条件、機材の特性に応じて適宜設定する。現地作業手順の一例を以下に示す。

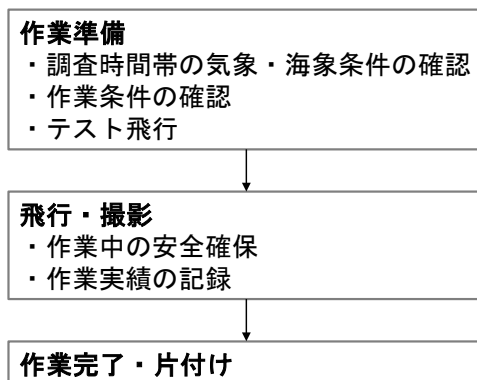


図 5-1 現地作業フロー

(1) 作業準備

現地において作業の準備及び現地状況の確認を行う。現地における主な確認項目は以下のとおりである。

① 作業時間帯の気象・海象条件の確認

作業時間帯の気象・海象条件について現況及び予報を確認する。作業時間帯において作業中止基準に抵触する可能性がある場合は、その状況の監視（観測）の頻度・方法及び確認担当者を作業開始前に定める。

② 作業条件の確認

周辺の荷役・離着岸の作業状況、海面の状態及び気象（降雨の有無・風況・視程等）より、現地作業の安全に支障がないことを確認する。

なお、ドローンの運用に大きく影響する風速について、栈橋上と調査空間の風速は異なり栈橋上では風がある状況でも調査空間では風速は小さいケースもあることから、風速の観測は調査空間においても確認することが望ましい。

[参考] 栈橋上と調査空間における風速の違い

実証実験時の観測において、栈橋上では風速 5.0m/s 超と観測されたが調査空間では 0～1.0m/s 程度であり問題なく点検が実施できたケースがあった。ただし、側面が海に接する栈橋端部の下面は吹き込む風やそれによる飛沫により機体に動揺が生じる可能性もあることについて留意する必要がある。

③ テスト飛行

本撮影に先立ちテスト飛行を行い、調査空間内でのドローンの操作性、撮影画像の画質及び無線通信の状況を確認する。

特に、無線通信の安定性については栈橋の杭や梁の配置の影響を受ける可能性があるため、実地にて電波通信状況（受信強度）を操作用モニター等（図 5-2）で確認する。



図 5-2 電波通信状況の確認イメージ

[参考] 無線レンジエクステンダーを用いた場合の無線通信距離

実証実験において使用した無線レンジエクステンダーの諸元は表 5-1 のとおりである。これを用いた場合の最長通信可能距離は、現地確認の結果約 80m であることを確認した(図 5-3)。

表 5-1 実証実験で使用した無線レンジエクステンダーの諸元

機器型式	WR-VDJ02T1
電波形式	9M00F3F 周波数 5655～5725、5740、5750Mhz
出力	10mW

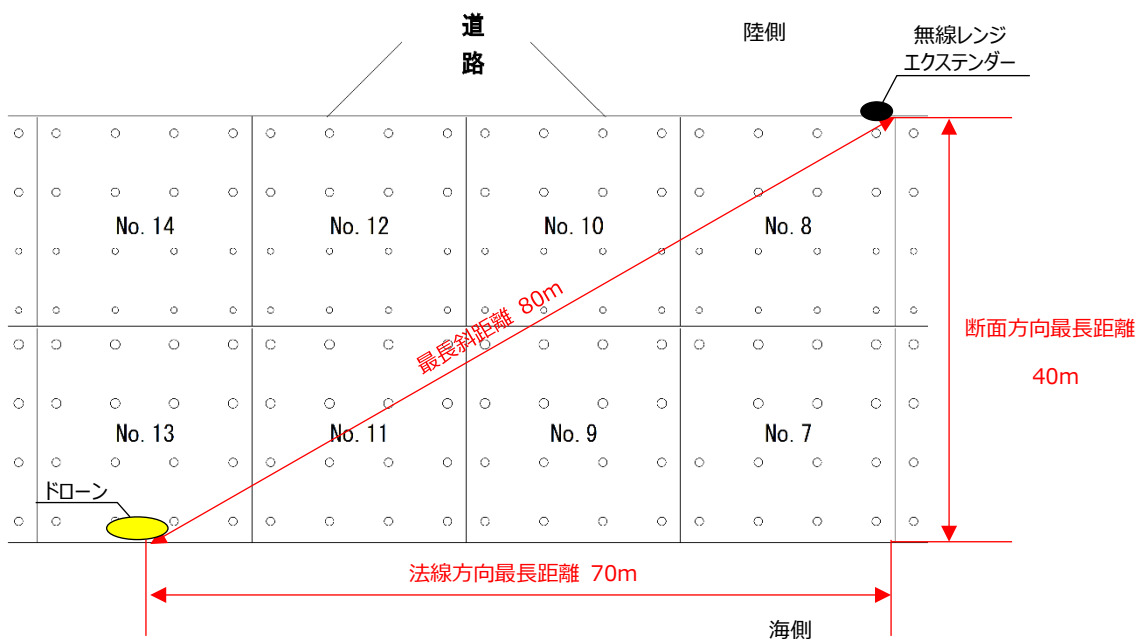
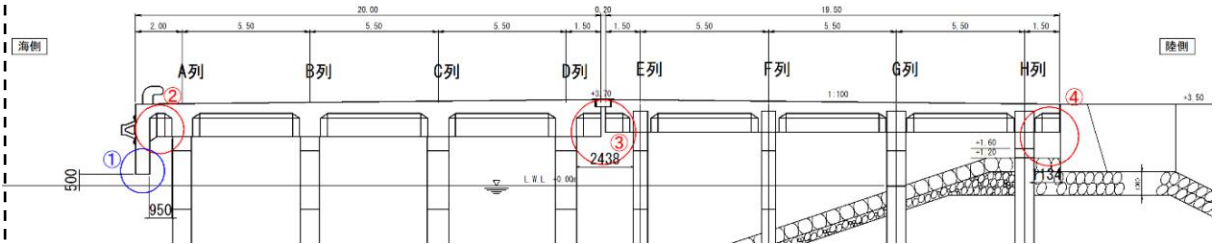


図 5-3 無線レンジエクステンダーによる無線通信の距離（実証実験結果）

[参考] ドローンによる撮影が困難な箇所

上部工部材の海面との離隔や杭・護岸同士の離隔により、ドローンによる撮影が困難な範囲については作業船を用いて直接確認・撮影する必要がある。実証実験においては、図 5-4 に示す範囲をドローンによる撮影が困難な範囲と想定していた（現地確認の結果、水没部以外は撮影可能であった）。



○：狭隘であり飛行困難となる可能性あり ○：水没部

図 5-4 実証実験実施時に撮影困難であった範囲

(2) 飛行・撮影

作業準備完了後、ドローンを飛行させ所定の範囲の撮影を行う。飛行中は以下について随時確認を行い作業中の安全確保を図る。

- ・ 気象・海象の変化（風況、波浪、潮位等）
- ・ 周辺の荷役作業・船舶離着岸及び工事実施状況、航走波の影響
- ・ バッテリーの状況（予定する飛行時間が確保できるか）
- ・ 撮影した画像の画質
- ・ 構造物（撮影対象物）とカメラとの離隔

なお、撮影に先立ち、対象となる梁等部材の一部について寸法の実測や撮影範囲内にスタッフやリボンテープ等を設置しておくことで、撮影した損傷劣化等の規模や画像を使用したモデル作成の際の目安とすることができる。

また、作業進捗の確認及び次回の飛行計画の参考とするため、1フライト毎のタイムスケジュールの実績及び撮影範囲を記録しておくことが望ましい。

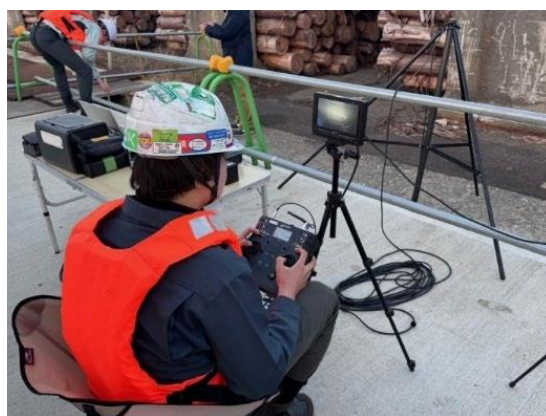


図 5-5 ドローン飛行状況



図 5-6 撮影データのイメージ

[参考] 構造物（撮影対象物）とカメラの離隔

構造物とカメラとの離隔は、画角や照度を考慮して一般的に 40～60cm 程度確保されている（現地状況による）。

実証実験では、同等の離隔を確保して撮影を行った。

(3) 作業完了・片付け

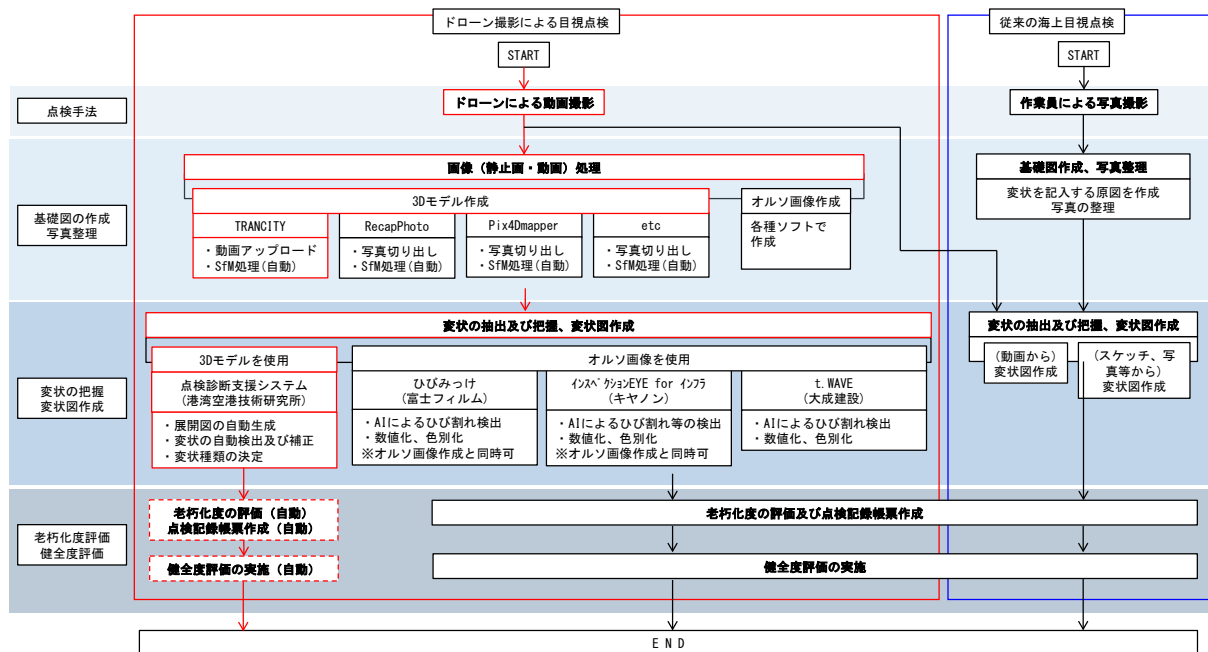
飛行・撮影作業完了後、撮影データと飛行範囲・飛行ルートを照らし合わせ、撮影データに抜け漏れがないか確認する。その後、機材の回収・片付けを行う。

6 画像処理

ドローンで撮影した画像（静止画・動画）について、診断方法に応じて画像処理等を行う。

【解説】

ドローン点検と従来の海上目視点検の点検診断フローを図 6-1 に示す。



※実証実験におけるフローを赤矢印で示す。

図 6-1 点検診断フロー

撮影した画像を使用して部材の状態評価を行うために、必要に応じて画像処理を行う。画像処理の要否及び方法については、施設の状態や診断に係る内業の方針を踏まえて選択する。

表 6-1 に診断方法の例を示す。

表 6-1 撮影画像を用いた点検診断の方法の例

No.	方法	内容	留意点	効果的な適用
1	撮影画像を直接参照して診断	撮影画像を PC 上で確認しながら部材の劣化度評価及び変状図の作成を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・撮影画像をそのまま使用するため画像処理の必要無し。 ・撮影位置がどの部位であるか、飛行ルートを確認しながら判断する必要があるため損傷劣化位置の特定に時間を要する。 ・画質は非常に明瞭である。(ただし、撮影画像の解像度による) 	<ul style="list-style-type: none"> ・スパン数が少ない小規模な施設や変状が少なく、その位置を特定する必要がほとんどない施設の点検診断に適している。
2	オルソ画像を作成して診断	撮影画像からオルソ画像を作成し、それを用いて劣化度評価及び変状図の作成を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・撮影動画から画像を切り出し、SfM 処理等を行った後、オルソ画像を作成する。 ・オルソ画像は写された像の形状が正しく、位置も正しく配置されているため、画像上で位置、面積及び距離などを正確に計測することが可能である。 ・撮影画像から作成したオルソ画像の画質は非常に明瞭である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設の部分的な場所で細かなひび割れが発生している場合に適している。
3	3D モデルを作成して診断	撮影画像から 3D モデルを作成し、それを用いて劣化度評価及び変状図の作成を行う。	<ul style="list-style-type: none"> ・撮影画像より SfM ソフトウェアを用いて 3D モデルを作成する。 ・3D モデル作成にあたっては、PC の性能やモデル作成精度によって、処理時間が長くなる。 ・3D モデル作成処理の中で解像度が低下する傾向がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・港湾空港技術研究所の点検診断支援システムに読み込むことで劣化度判定まで実施できるため、広い範囲の判定を行う場合に適している。

オルソ画像や 3D モデルを用いて診断する場合、部材のひび割れ等の変状を把握するために用いられるひび割れ検知技術の一例を表 6-2 に示す。

表 6-2 ひび割れ検知技術の一例

No.	ソフト名	開発社名	内容	使用データ	備考 (使用料 ^{※1})
1	点検診断支援システム	港湾空港技術研究所	ROV やビデオカメラ等による撮影画像から生成した 3D モデルを用いて、展開図の生成、変状の抽出、劣化度判定、点検帳票の作成までの一連の整理が可能。各部材展開図の画像の色相の変化(輝度勾配)から変状を抽出する。	3D モデル	無料 ^{※2}
2	ひびみつけ	富士フイルム	高精度 AI によるひびわれの自動検出、日本全国の膨大な数の損傷画像を使った継続的な AI 学習による精度改善が可能。	オルソ画像	ひび割れ 1shot : 400 円 ^{※3} データ保管料 : 10,000 円/月
3	インスペクション EYE for インフラ	キヤノン	高精度 AI による最小幅 0.05mm までのひび割れが検知可能。ヒトの点検結果に対する AI のひび割れ検知率は 99.5%である。	オルソ画像	200,000 円/10GP ^{※4}
4	t.WAVE	大成建設	ウェーブレット変換(画像の中にある線状の特徴範囲を抽出するのに適した画像解析技術)によりひび割れ幅や長さを高精度に数値化・色彩化し、定量的な評価が可能。	オルソ画像	不明

※1 : 2024 年 3 月時点。

※2 : 事前申請が必要。

※3 : 0.2mm 以上のひび割れを検出する場合、1shot=8.64m²(=3.6m×2.4m)。1~100shot までの使用料。

※4 : 「インスペクション EYE for インフラ Cloud Edition」においてひび割れ最小幅を 0.2mm と設定した場合、10GP=2,500m²

栈橋下面の撮影画像を用いた点検診断においては、港湾空港技術研究所が公開している「点検診断支援システム⁵」を使用することが可能であり、同システムを用いることで栈橋上部工の展開画像の作成、梁側面も含めた劣化度判定及び点検記録帳票の作成まで一連で整理することができる。また、上部工下面の展開画像、部位ごとの劣化度判定、変状図・点検記録帳票作成及び点検データの BIM/CIM 連携をシステム上で行うことができる。ただし、同システムの使用に際し、撮影した画像から上部工下面の 3D モデルを作成する必要がある。

3D モデルは市販の SfM ソフトウェアを使用して作成することが可能であるが、栈橋上部工は梁や杭頭部、前垂れを有する複雑な構造であるため、ドローンを用いて撮影面と一定の距離を保ちながら撮影することが難しい。このため 3D モデルには歪みが生じる可能性がある。また、3D モデル作成処理の中で画像解像度が低下する傾向があり、微細な損傷劣化が判別できない可能性がある点について注意する必要がある。

[参考] SfM ソフトウェアによる処理

SfM (Structure from Motion: 視点画像を用いて 3D 形状を復元する技術) では多くの視点から撮影した写真を基に、各写真のパターンマッチングを行い、写真撮影位置を推定する。推定した写真位置を基に MVS で対象物の高密度な 3 次元点群データ (生データ) を取得する。データを扱いやすくするために、点群データをもとに多角形の集合体からなる 3D モデルの作成が可能である。また、撮影した写真をテクスチャとすることで、実物に近い 3D モデルの作成が可能となり、オルソ画像の作成も可能である。

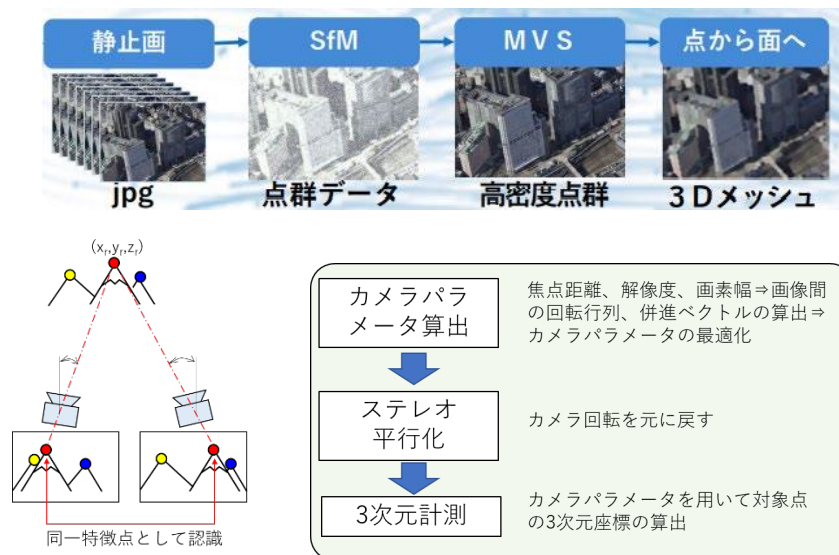


図 6-2 SfM 処理の概要

⁵ <https://www.pari.go.jp/unit/lcm/sip/lcm-soft/>

[参考] SfM ソフトウェア

3D モデルを作成するための SfM ソフトウェアの例を表 6-3 に示す。モデル作成精度・所要時間や価格、制約条件（処理可能な画像数等）等を確認して使用すること。

表 6-3 SfM ソフトウェアの例

No.	ソフト名	開発社名	作成概要	ソフト使用料※1	
1	TRANCITY	CalTa(日本) JR 東日本コンサルタンツ(日本) JR 東日本(日本)	撮影動画をサーバにアップロードすることで 3D モデルの自動作成が可能。	200,000 円/月	
2	ReCapPhoto	Autodesk(アメリカ)	撮影画像をインポートすることで 3D モデルの自動作成が可能。	57,200 円/年 7,700 円/月	※2
				522,500 円/年 64,900 円/月	※3
3	PIX4DMapper	Pix4D(スイス)	撮影画像をインポートすることで 3D モデルの自動作成が可能。	865,000 円 (買取) 54,000 円/月 540,000 円/年	

※1：2023 年 3 月時点

※2：ReCapPhoto のみの場合（ReCapPro のサブスクリプションを通じて利用可能）

※3：AEC Collection の場合（他の Autodesk 製品も利用可能）

[参考] 3D モデル

実証実験データを用いて作成した 3D モデルの一例を図 6-3 に示す。

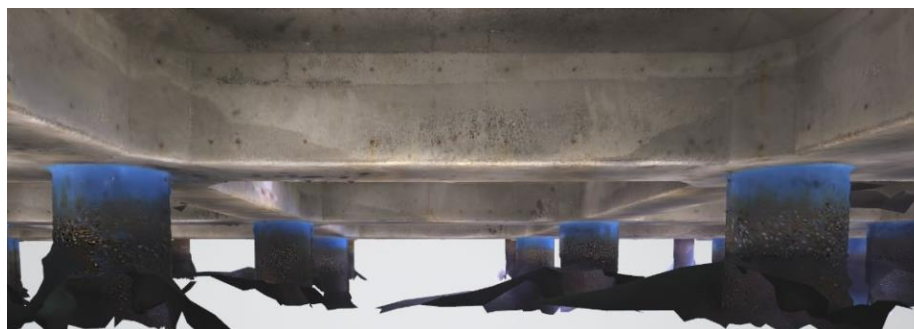


図 6-3 3D モデル

[参考] オルソ画像

実証実験データを用いて作成したオルソ画像の一例を図 6-4 に示す。

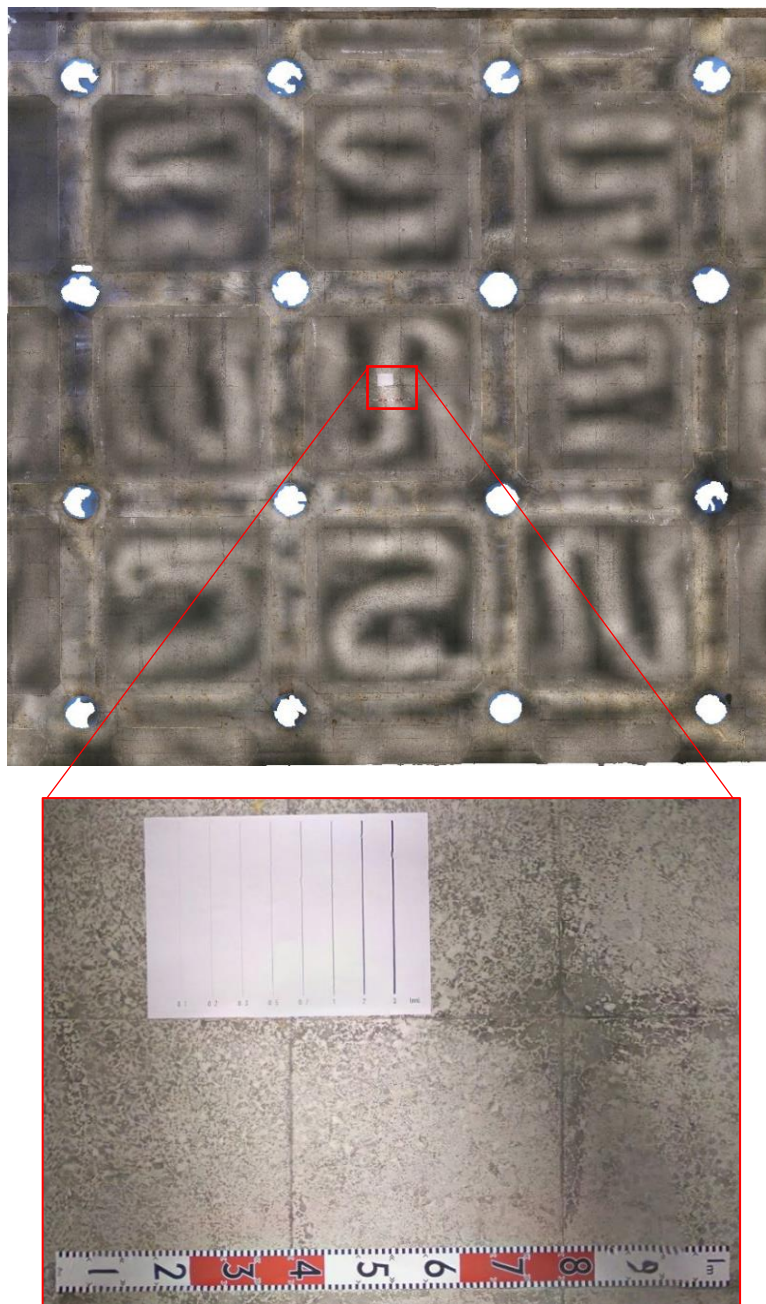


図 6-4 オルソ画像

7 BIM/CIM 連携

作成・整理した点検データについては、BIM/CIM モデルに格納するなど今後の維持管理に活用可能な方法で保管・管理することが望ましい。

【解説】

(1) BIM/CIM モデルとの連携の有効性

点検により取得したデータについて、今後の維持管理に活用するため、BIM/CIM モデルに格納するなどの方法で保管・管理することが望ましい。

点検データの一例として、点検診断支援システムを用いて作成した点検データの形式を表 7-1 に示す。栈橋上部工の維持管理において供用期間内に保持・確認する情報としては、部位ごとの状態（劣化度）評価結果、及び評価の根拠資料として各部位に生じた変状の規模・位置が確認できる資料（図面及び写真）が重要であり、これらを BIM/CIM データに紐づけて管理することが考えられる。

表 7-1 点検において取得・作成したデータ

データの種類	データ形式	データの整理単位	備考
劣化度評価 (a~d)	csv ※1	部位	
画像データ	3D モデル (obj ファイル) ※1 またはオルソ画像 (jpg ファイル)	スパン	栈橋下面の 3D モデルは SfM で作成
帳票・変状図	帳票データ (.xls) ※1	スパン	

※1 点検診断支援システムを使用した場合

ここで、点検により取得した情報（劣化度評価結果及び根拠写真・図面）は、当該施設の維持管理において以下のように利用される。

(a) 施設の状態把握及び補修要否・補修範囲の判断

点検時点の状態とあわせて、時系列で劣化進行を把握することで変状の進行性や補修の緊急性を評価することが可能である。

(b) 劣化進行予測

今後の劣化進行を予測するうえでの基礎情報となる。例えば、劣化度分布を集計することで確率論的な劣化予測が可能となる。また、コンクリート試験の要否及び供試体採取箇所の選定などに活用できる。

上記で示した維持管理に関する作業において、点検データと BIM/CIM データの関連付けを行うことにより、時系列でのデータ管理や点検や部材の情報など複数の情報の一元化が可能となる。

(2) 点検データの BIM/CIM データへの保管反映方法

点検データ（劣化度評価、関連する写真・図面及び帳票）は、BIM/CIM データの栈橋上部工モデルの属性として紐づけることができる。なお、画像から作成した 3D モデルは、撮影した画像から SfM を使用して生成した点群データであり、BIM/CIM データと比較して歪み・寸法の不整合が大きい。これを BIM/CIM データに重ねて取り扱う事は困難であることから同データも外部参照データの一つとしてモデルに紐づける形で管理することが望ましい。

また、保管管理するデータの整理単位については、現行の「港湾の施設の点検診断ガイドライン（平成 26 年 7 月、令和 3 年 3 月一部変更）、国土交通省 港湾局」の帳票作成単位との整合を考慮し、スパン単位とすると関連資料を一連で確認しやすい。

[参考] BIM/CIM データへの連携イメージ

BIM/CIM モデルへの連携イメージを図 7-1 に示す。

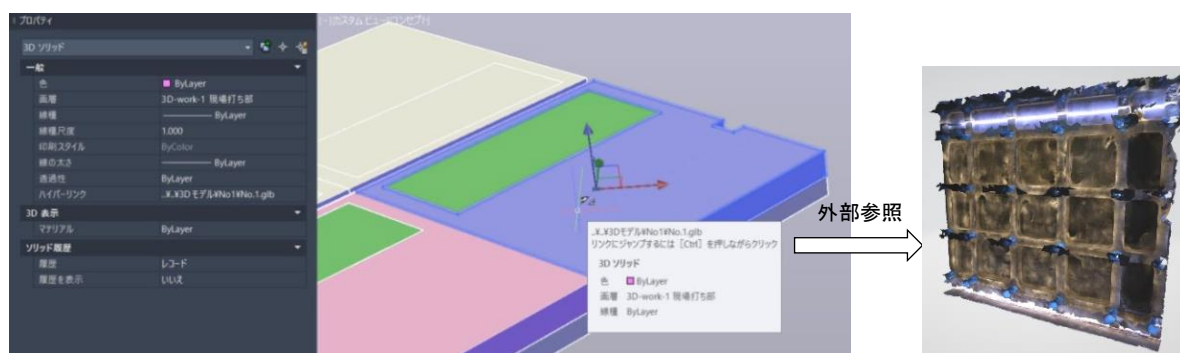


図 7-1 BIM/CIM モデルとの連携イメージ