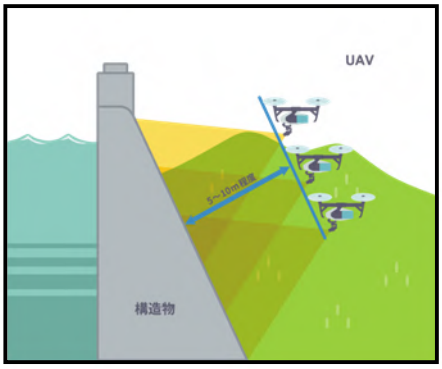
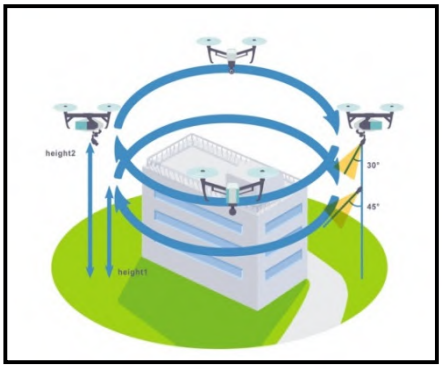
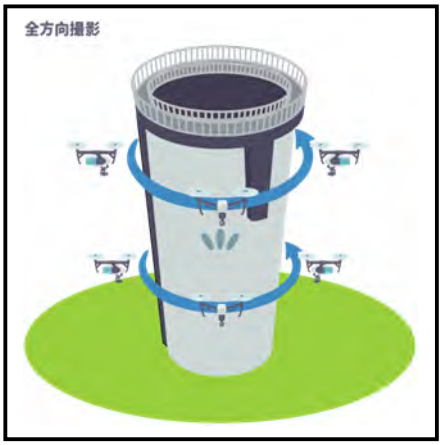
UAV を活用した
機能診断調査マニュアル（案）







UAV を活用した機能診断調査マニュアル（案）

目　　次

1.　概　説 1
1.1 はじめに 1
1.2 本マニュアル利用時の注意点 1
1.3 目　的 2
1.3.1 本マニュアルの適用範囲 4
2.　UAV を活用した機能診断 5
2.1 UAV を活用した機能診断作業概要 5
2.1.1 UAV を活用した機能診断作業概要 6
2.1.2 機能診断項目の対比 8
2.2 事前調査 11
2.2.1 UAV 飛行に関する制約条件等の確認 12
2.2.2 その他の確認事項 23
2.2.3 変状要因等の想定、UAV 調査目的の概定 24
2.2.4 UAV を活用した機能診断調査項目 25
2.3 現地踏査 26
2.3.1 UAV による現地調査にかかる現場条件の確認 27
2.3.2 テスト飛行の実施 34
2.3.3 調査対象施設の変状内容の把握 34
2.4 UAV による現地調査計画の策定 35
2.4.1 UAV による現地調査計画の策定 36
2.4.2 変状状況の把握及び定点範囲の設定 37
2.4.3 UAV 作業計画 38
2.4.4 UAV 飛行計画 41
2.5 UAV による現地調査 57
2.5.1 基準点の設置 58
2.5.2 UAV 撮影の流れ 62
2.6 SfM による画像処理 73
2.6.1 SfM（SfM :Structure from Motion） 74
2.6.2 入出力のデータフォーマット 78
2.6.3 成果品と活用方法 78
2.7 赤外線カメラ（サーモセンサー） 79
2.7.1 赤外線調査方法 80

2.8 機能診断評価 86
2.8.1 ひび割れ自動抽出ソフト 87
2.8.2 機能診断評価の手順 88
3. 資　料 97
3.1 用語集 97
3.2 引用資料 99
3.3 関係法令集 99

1. 概　説

1.1　はじめに

近年、遠隔操作による「手動飛行」やプログラムすることで「自律飛行」が可能な小型無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle（以下、UAV という。））が開発され、比較的容易に、かつ安価に空中写真撮影や動画撮影を行うことが可能となり、さまざまな分野でその利便性や機動力を生かした利活用が検討されている。

このような社会情勢の中、農林水産省では、平成 29 年度より 5 ヵ年を開発期間とする「農業農村整備事業における技術開発計画」を策定し、“ドローン”等を活用した以下の技術開発を推進している。

① 農地・施設情報の広域収集・可視化及び利活用技術
② 施設の診断・状態監視技術・劣化予測技術
③ 被災調査技術、実効性のある業務継続計画の策定技術

これまでの機能診断調査は近接調査が主体であるため、調査対象箇所に容易に立ち入ることができない場合や足場等の仮設が必要な場合は、十分な調査が実施できないことや、仮設費が高額になるようなケースもある。そこで、調査の効率化や調査費用の軽減を図ることを目的に、新たに農業水利施設の機能診断調査等、農業農村整備事業における UAV の利活用についての検討に取りかかった。

1.2　本マニュアル利用時の注意点

現時点においての「UAV を活用した健全度評価」は、一定の限界はあるものの、UAV 機器、搭載するデジタルカメラ、写真画像を処理する SfM(Structure from Motion)、ひび割れを自動抽出するソフトウェア等は、いずれも新技術で日々進歩を遂げており、これらの技術的な進歩を見据えることが重要であるとともに、特性などを十分に考慮し、適用していかなければならない。

今後、調査に関するニーズの増加、関連機器やソフトウェアの技術的発展が急速に進み、UAV 活用による機能診断事例も蓄積されていくものと考えられる。また、災害時の状況把握や農業水利施設の維持管理面での UAV 活用への期待も高まっており、マニュアルはこれらの需要に応え、適宜改訂していく方針である。

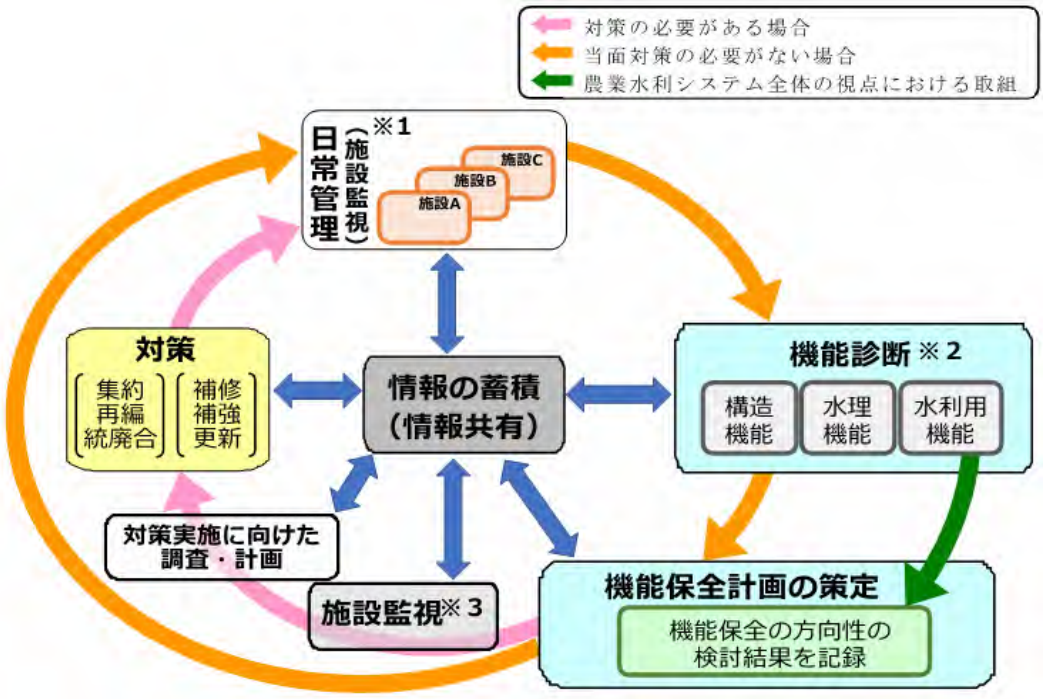
なお、本マニュアルは、農業水利施設における UAV を活用した機能診断手法の基本的な考え方と実施方法の枠組みを総論的に整理したものであり、画像からの診断手法及び三次元データを活用した診断手法の考え方については、今後「画像診断編」・「三次元データ活用編」を策定予定としている。

1.3 目　的

本マニュアルは、農業水利施設において機能診断調査の効率化が図られる作業について、従来手法に代え UAV を活用した健全度評価を行うもので、その調査手法の他、安全な利用方法、調査時の留意点等をとりまとめ、国営造成水利施設保全対策指導事業等で実施している施設機能診断への活用を検討することを目的とする。

【解説】

農業水利施設のストックマネジメントサイクルは、施設管理者による日常管理（継続的な施設監視を含む）、施設の状態を継続的に把握するために施設造成者等が定期的に行う機能診断、診断結果に基づく劣化予測、効率的な対策工法の比較検討、これらをまとめた保全計画の策定、施設監視ならびに機能保全計画及び施設監視結果を踏まえた適時・適切な対策工法の実施により構成されている。



※1　日常管理の一貫として継続的に行う施設監視（結果は機能診断・機能保全計画策定等に活用）
※2　構造機能、水理機能は、水利用機能の発揮を支える関係にある
※3　機能保全計画の精度を高め、適期に対策を実施するために継続的に行う施設監視

図 1.3-1　ストックマネジメントサイクル

機能診断は、構造物の変状を把握するために目視や簡易な器具による計測等の調査を行うことで、定量的なひび割れ・欠損・変形等の計測、周辺観測等により現状を把握している。しかしながら、容易に立ち入ることのできない場所や足場等の架設が必要となる箇所においては十分な調査の実施が困難なことから、調査の効率化を図る必要がある。

そのため、従来手法に代え UAV に搭載したカメラにより撮影した写真画像を単写真、あるいは対象施設を撮影した複数枚の写真から、対象の形状を復元する SfM により画像処理されたオルソ画像、または三次元モデルを使用して健全度評価を行うもので、その調査手法の他、安全な利用方法、調査時の留意点等をとりまとめた。

1.3.1　本マニュアルの適用範囲

本マニュアルでは、「図 1.3-2」の機能診断調査手順の UAV を利用した機能診断調査に関連する赤字の作業内容について、理論及び調査手法の他、安全な利用方法、調査時の留意点等をとりまとめるものである。

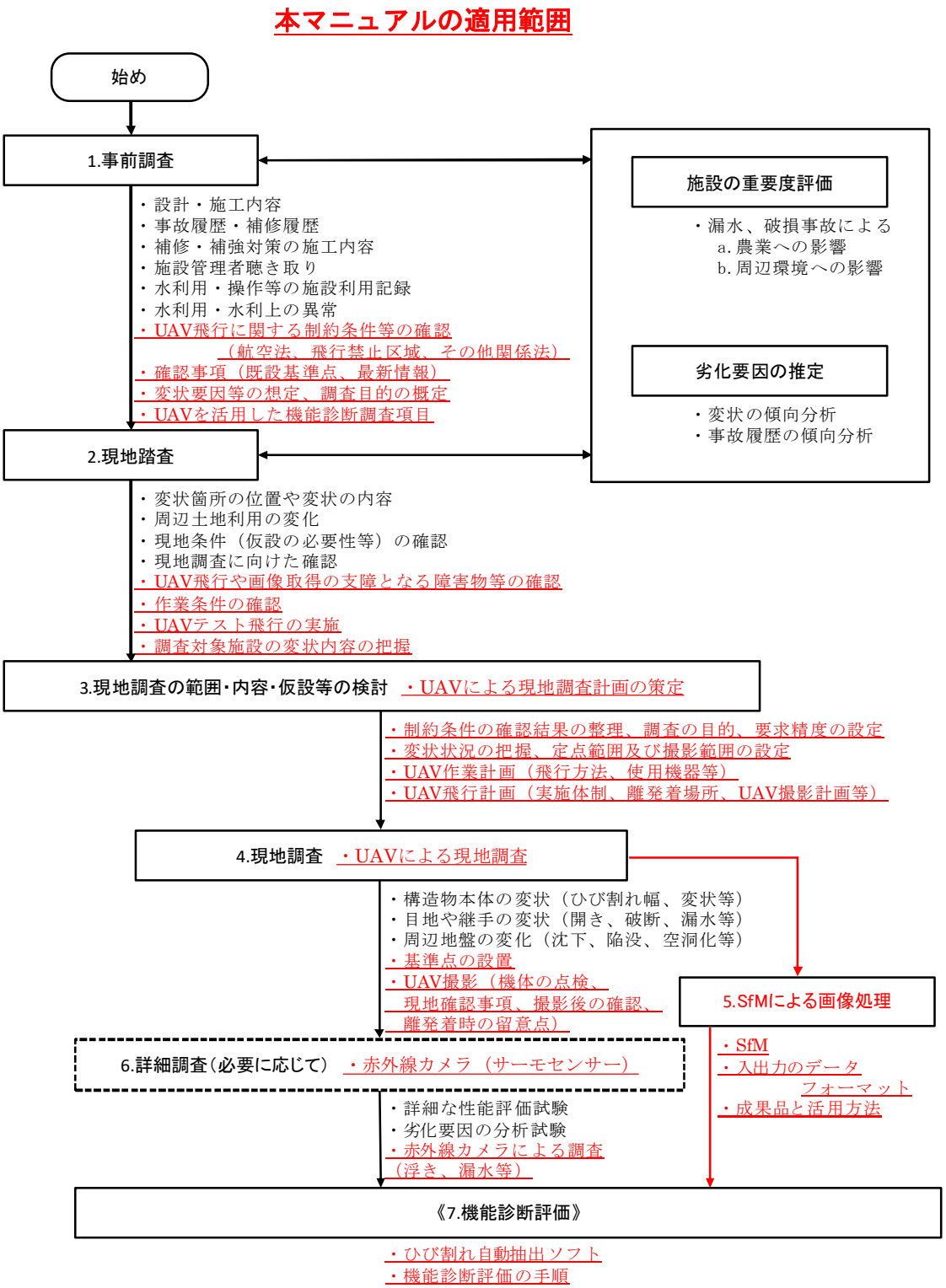


図 1.3-2　機能診断調査手順（赤字：UAV に関する作業内容）

2. UAV を活用した機能診断

2.1 UAV を活用した機能診断作業概要

UAV を活用した機能診断調査は、事前調査、UAV による現地踏査及び現地調査、SfM による画像処理、機能診断評価の 4 段階で実施することを基本とし、必要に応じて詳細調査などを実施するものとする。

【解説】

UAV を活用した機能診断調査は、UAV に搭載されたデジタルカメラで撮影された写真画像を使用することを前提としており、単写真、あるいは SfM により画像処理されたオルソ画像、または三次元モデルを使用して「表 2.1-1」に示す作業内容で実施する。

また、UAV により撮影された動画、あるいは動画より加工した静止画の利用も機能診断調査に有効である。その他にも赤外線カメラ（サーモセンサー）の利用も有望視されている。通常の機能診断と UAV による機能診断の作業項目の対比を「表 2.1-2」に示す。

1. UAV を活用した機能診断作業概要　（P.6）

2. 機能診断項目の対比　（P.8）

2.1.1 UAV を活用した機能診断作業概要

UAV を活用した機能診断調査は、通常の機能診断の作業工程に準じて実施し、通常作業を補完するものである。UAV を活用した機能診断調査作業の概要を「表 2.1-1」に示す。

表 2.1-1　UAV を活用した機能診断作業概要

作業工程	作業概要
1.事前調査	**(1) 調査対象施設の変状要因の把握、UAV による調査目的の設定** 1）通常の事前調査における変状要因を把握する。
	(2) UAV 飛行に関する制約条件等の確認 (1) 飛行に関する制約を受ける区域における許可等に係る基本的な基準 (2) UAV 飛行の許可が必要となる空域 (3) その他関係法令による規制等
	(3) その他の確認事項 1）既設基準点（GCP: Ground Control Point） 2）UAV に関する最新情報の収集
2.現地踏査	**(1) UAV による現地調査にかかる現場条件の確認** 現地にて、安全飛行の支障となる障害物、離発着場所、計測不可能箇所の確認等、空撮時の注意点を重点的に確認する。 1）UAV 飛行や画像取得の支障となる障害物等の確認 ・気象条件、障害物、衛星測位条件、電波状況、第三者の立ち入り、安全飛行を妨げる生物の生息について確認する。 2）作業条件の確認 ・調査対象施設の形状及び立地条件、離発着場所、人員配置、基準点（ターゲット）設置箇所を確認する。
	(2) テスト飛行の実施 実際に UAV をテスト飛行させ飛行条件を把握し、また取得した動画、画像を確認する。
	(3) 調査対象施設の変状内容の把握 ④ 現地において調査対象施設の変状を可能な限り把握する。 ⑤ 補完用の撮影の必要性を検討する。

作業段階	作業概要
3. UAV による現地調査計画の策定	(1) UAVによる現地調査計画の策定 1) 制約条件の確認結果の整理 ・航空法、一般事項、その他規制、飛行の許可及び承認 2) UAVによる現地調査の目的、要求精度の設定
	(2) 変状状況の把握及び定点範囲の設定 施設全体の変状状況を把握した上で健全度評価を行うための定点範囲を設定する 1) 変状状況の把握 ・画像処理は行わず、動画、画像から変状状況を把握する。 2) 定点範囲の設定 ・把握できた変状について、グループ化等を行い、定点調査範囲を設定する。
	(3) UAV作業計画 1) 飛行方法（自律飛行・手動飛行） 2) 使用機器・機材
	(4) UAV飛行計画 1) 撮影作業の実施体制 2) 離発着場所、気象条件の確認 3) 撮影距離の決定 4) UAV撮影計画 ・撮影距離、撮影コースの設定他
4. UAV による現地調査	(1) 基準点の設置 ・基準点の配点他
	(2) UAV撮影の流れ ・現地調査計画に基づき、UAVにより撮影を行う。 1) 機体の点検等 ・飛行前、飛行直前、飛行中、飛行後、その他確認事項 2) 現地における確認事項 ・気象状況（天候、風速）、撮影計画との整合性、チェックシート、連絡体制、運航実績の記録管理 3) UAV撮影 4) 離発着時の留意点 5) 撮影後の確認事項
5. SfMによる画像処理	(1) SfM（SfM :Structure from Motion） 1) SfMによる画像処理 2) 三次元モデル構築 3) 入出力のデータフォーマット 4) 成果品と活用方法
6. 赤外線カメラ（サーモセンサー）	1) 赤外線調査方法 ・接触型温度計の設置 ・画像解析
7. 機能診断評価	1) ひび割れ自動抽出ソフト 2) 機能診断評価の手順

2.1.2 機能診断項目の対比

(1) 作業項目

UAV を活用した機能診断調査と通常の機能診断調査の相違について、「表 2.1-2」にて示す。

表 2.1-2 機能診断項目対比表

作業項目	通常の機能診断	UAV による機能診断
事前調査	設計図書、管理・事故・補修記録等の文献調査やデータベースの参照、施設管理者からの聴き取り調査等により、機能診断調査に関する基本的情報を効率的に収集し、現地踏査や現地調査等の内容を検討する。	左記内容の他、UAV 飛行に関する制約条件等を把握し、現地踏査や現地調査等の内容を検討する。
現地踏査	専門的な知見を有する技術者が現地にて、巡回目視により対象施設を調査することにより、変状が生じている位置や程度等を大まかに把握する。これらを踏まえ、現地調査の単位、定点調査位置、定量的な調査項目等を決定しつつ、現地調査時の仮設工の必要性の有無等、現地調査の具体的な実施方法を検討する。	UAV 操作担当者が現地にて、UAV 飛行に関する条件を確認し、離発着場所やターゲット（対空標識）設置位置等、UAV による現地調査の具体的な実施方法を検討する。
現地調査（定点調査）	事前調査と現地踏査の結果を踏まえ、専門的な知見を有する技術者による近接目視による調査の他、施設の劣化予測や対策工法検討のために必要な指標について、定量的な調査を実施する。 損傷図等の調査結果をとりまとめる。	現地にて、ターゲット（対空標識）を設置した後、UAV を飛行させ、動画、画像を取得する。 UAV 撮影により取得した動画、単写真により、変状が生じている位置や程度等を大まかに把握する。これを踏まえ、グルーピングを行い、健全度評価の単位、定点調査位置、画像処理内容等を検討する。 設定した定点範囲について、SfM による画像処理を行い、損傷図等を作成する。
機能診断評価	定点範囲の損傷図等から、健全度評価を行う。	左に同じ。

(2) 作業効率性

UAV 計測点検手法の手引き（案）では、従来点検手法（目視・計測）手法と UAV を利用した点検手法により、作業効率性の効果検証が行われた（表 2.1-3 参照）。

表 2.1-3　従来手法及び UAV を利用した手法の調査内容

作業工種	従来手法(目視･計測)	UAV を利用した手法
計画準備	資料整理による対象施設、現場の把握	
現地踏査	調査場所の把握、現場留意事項等の把握	
実施計画	調査の実施計画、関係者調整（必要な申請含む）等 (従来手法：海岸保全施設で海上からも実施する場合は、海上保安部申請必要) (UAV：航空局、空港事務所等への申請必要、法規制外は不要)	
基準点測量	― (座標値を定めて調査をする場合は必要となる)	標定点、検証点の設置（VRS 測量） （施設端部等の物標を基準とする場合は、それらを基点とした測量が必要である。）
UAV 撮影	―	UAV による写真撮影
データ作成	―	画像解析、写真標定、データ検証 (三次元点群データ、デジタルオルソの作成)
縦断測量	主要な施設天端の現地計測	主要な施設天端の図上計測 （三次元点群データによる）
横断測量	主要な施設断面の現地計測	主要な施設断面の図上計測 （三次元点群データによる）
目視確認	目視による変状の抽出、写真撮影	写真判読による変状抽出 三次元点群データによる抽出
変状位置特定	物標からの相対位置の特定 （座標値を定める場合は、基準点からの測量が必要となる）	座標値等の図上特定 三次元点群データ、デジタルオルソによる特定
変状計測	ポール、スタッフ、スケール等による変状規模計測	三次元点群データ、デジタルオルソからの規模計測
結果の整理	現場野帳整理、様式作成	データ整理、様式作成

出典：UAV 計測点検手法の手引き（案）―海岸保全施設及び農業水利施設―、海岸保全施設及び農業水利施設国際航業株式会社、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構　p.41

その結果、UAV 計測の活用により、現地作業の労力が 2～3 割に減少し、室内作業の労力が従来の 3 倍程度に増加した。UAV 計測では従来手法に比較して、作業内容が現地作業から室内作業へ移行し、総作業量としては約 2 割の削減効果が算定された（表 2.1-4 参照）。

表 2.1-4　従来手法、UAV 手法の作業効率比較推定

作業工種	開水路 (L=1km,幅 40m、両側)			海岸保全施設 (L=1km,幅 40m)		
	規模	従来手法 (人・日)	UAV 手法 (人・日)	規模	従来手法 (人・日)	UAV 手法 (人・日)
基準点測量	36 点	—	3.0	36 点	-	3.0
UAV 撮影（幅 40m）	1km	—	3.0	1km	-	3.0
データ作成	4ha	—	5.5	4ha	-	4.5
縦断測量	2km	5.3	—	1km	2.6	-
横断測量	10 断面	4.0	—	10 断面	4.0	-
目視・計測等（変状抽出、位置、規模計測）	2km	10.7	6.5	1km	20.0	11.5
結果整理、様式作成	180 箇所	4.5	2.0	380 箇所	6.5	4.0
合　　計		24.5	20.0		33.1	26.0

注）1.UAV 手法は、計測用 UAV（f＝50mm）を用いた撮影・点検である。
2.点検は、マニュアル（作業指針等）に規定される方法に従って実施している。
3.表中の灰色が現地作業、それ以外が室内作業を示す。

出典：UAV 計測点検手法の手引き（案）―海岸保全施設及び農業水利施設―、海岸保全施設及び農業水利施設国際航業株式会社、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構　p.41

2.2 事前調査

UAV を活用した機能診断における事前調査は、通常の事前調査における調査対象施設の変状要因の把握の他に、UAV 飛行に関する制約条件や飛行及び撮影に影響を与える障害物等の情報を収集整理する。また、劣化要因推定表を用いて調査対象施設に発生が予想される変状、範囲を想定することにより、健全度評価に必要な各変状の測定精度（要求精度）を検討し、現地調査計画策定の基礎資料とする。

【解説】

UAV を活用した機能診断における事前調査では、UAV による現地調査計画策定のため、UAV により安全に適切な撮影成果が得られるよう、飛行に関する制約条件や、飛行及び画像撮影に影響を与える障害物等の情報を関連資料や調査対象施設周辺の地図等により収集整理する。

また、通常の事前調査で収集する施設の経過年数や供用環境条件等の情報から、劣化要因推定表を用いて調査対象施設に発生が予想される変状、範囲を想定することにより、健全度評価に必要な各変状の測定精度を検討し、要求精度の確保が可能となるような現地調査計画を策定するための基礎資料とする。

1. UAV 飛行に関する制約条件等の確認　（P.10）
   (1) 飛行に関する制約を受ける区域における許可等に係る基本的な基準
   (2) 飛行の許可が必要となる空域
   (3) 航空法以外の法律・条令等

2. その他の確認事項　（P.19）
   (1) 既設基準点（GCP: Ground Control Point）
   (2) UAV に関する最新情報

3. 変状要因等の想定、UAV 調査目的の概定　（P.20）

2.2.1　UAV 飛行に関する制約条件等の確認

(1) 飛行に関する制約を受ける区域における許可等に係る基本的な基準

制約を受ける区域において UAV を飛行させるには「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領（H27.11.17 制定、国空航第 684 号、国空機第 923 号)」による申請を行わなければならない。

(2) 飛行の許可が必要となる空域

航空法で定める飛行ルールでは、「図 2.2-1」の“飛行可能”以外の空域で UAV の飛行を実施する場合には、国土交通省航空局への申請・許可が必要となる。

申請については以下の URL を参照

国土交通省航空局ホームページ「ドローン情報基盤システム 2.0（DIPS2.0)」

https://www.ossportal.dips.mlit.go.jp/portal/top/

なお、許可・承認の申請手続きは、飛行開始予定日の少なくとも 10 日前までに申請する必要がある。

① 空港等の周辺の上空の空域「図 2.2-1（A)」
② 地表または水面から 150m 以上の高さの空域「図 2.2-1（B)」
③ 緊急用務空域「図 2.2-1（C)」
④ 人口集中地区の上空「図 2.2-1（D)」

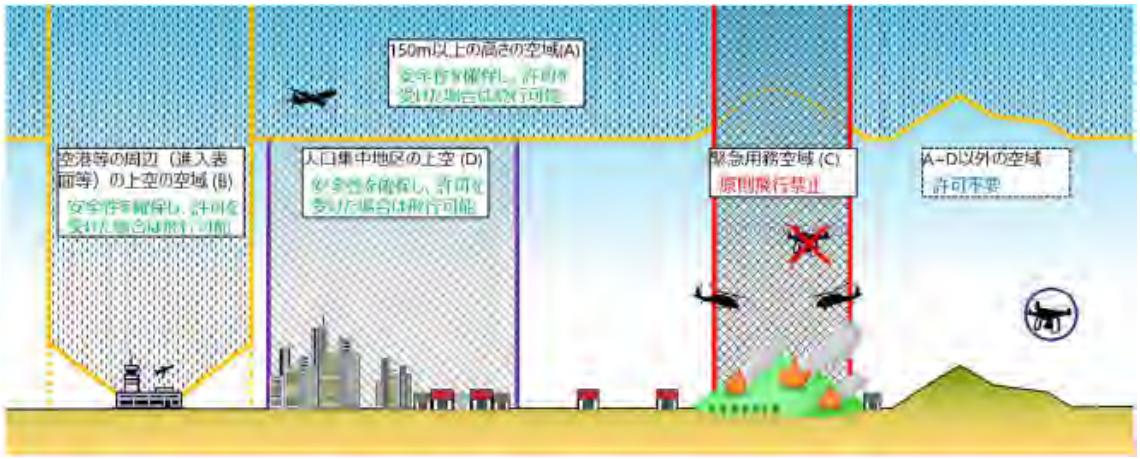


図 2.2-1　ドローン等の飛行禁止区域

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　p.3～5
国土交通省航空局
https://www.mlit.go.jp/common/001303818.pdf

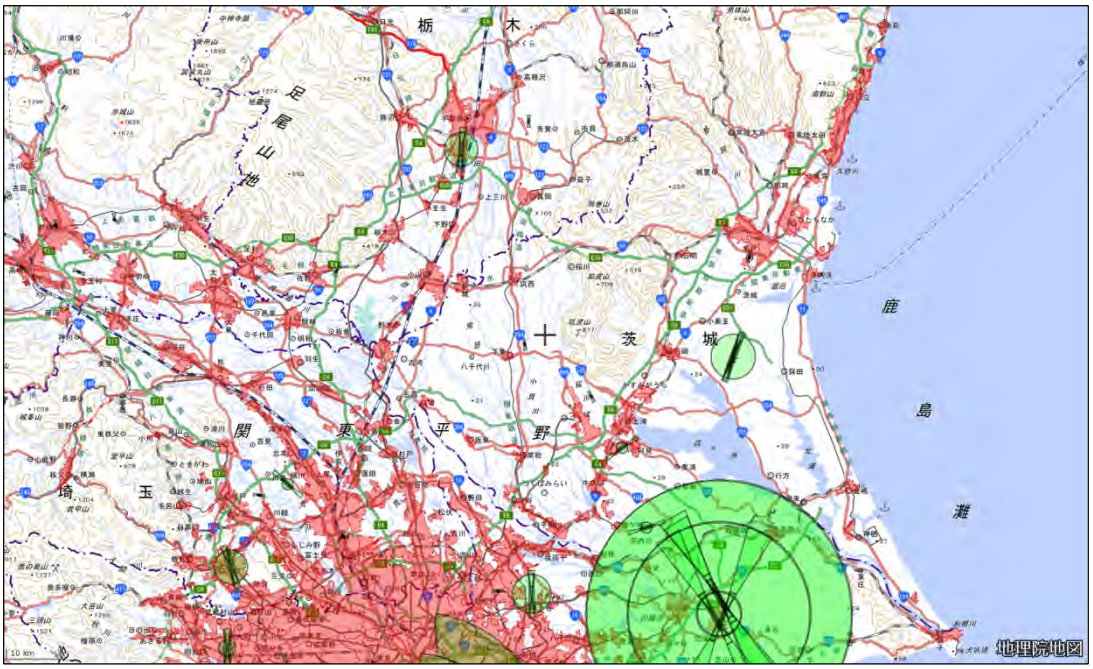
1）飛行制限区域の確認

現地踏査実施前に国土地理院 地理院地図等により飛行制限区域の確認を実施する。

なお、国土交通省 国土地理院のホームページより、人口集中地区（DID 地区）と空港周辺（進入表面等）の上空に関する情報を確認することが可能である「図 2.2-2」。

●国土地理院 地理院地図

http://maps.gsi.go.jp/



■（DID 地区）

■（空港の周辺区域）

図 2.2-2　DID 地区と進入表面等の上空に関する情報

2）空港周辺区域の飛行制限の確認

空港ホームページ等により、空港やヘリポート等の周辺に設定されている「進入表面、転移表面若しくは水平表面、又は法第五十六条第一項の規定により国土交通大臣が指定した延長進入表面、円錐表面若しくは外側水平表面の上空空域」の飛行制限の確認を行う「図 2.2-3～2.2-6」。

『○○表面』とは総称して、制限表面と呼ばれており、制限表面は、航空機が安全に離着陸することを目的として､空港周辺の一定の空間を障害物がない状態にするため設定される面である。つまり、無人航空機はこの設定された面の高さより低い高さで飛ばさなければならない。

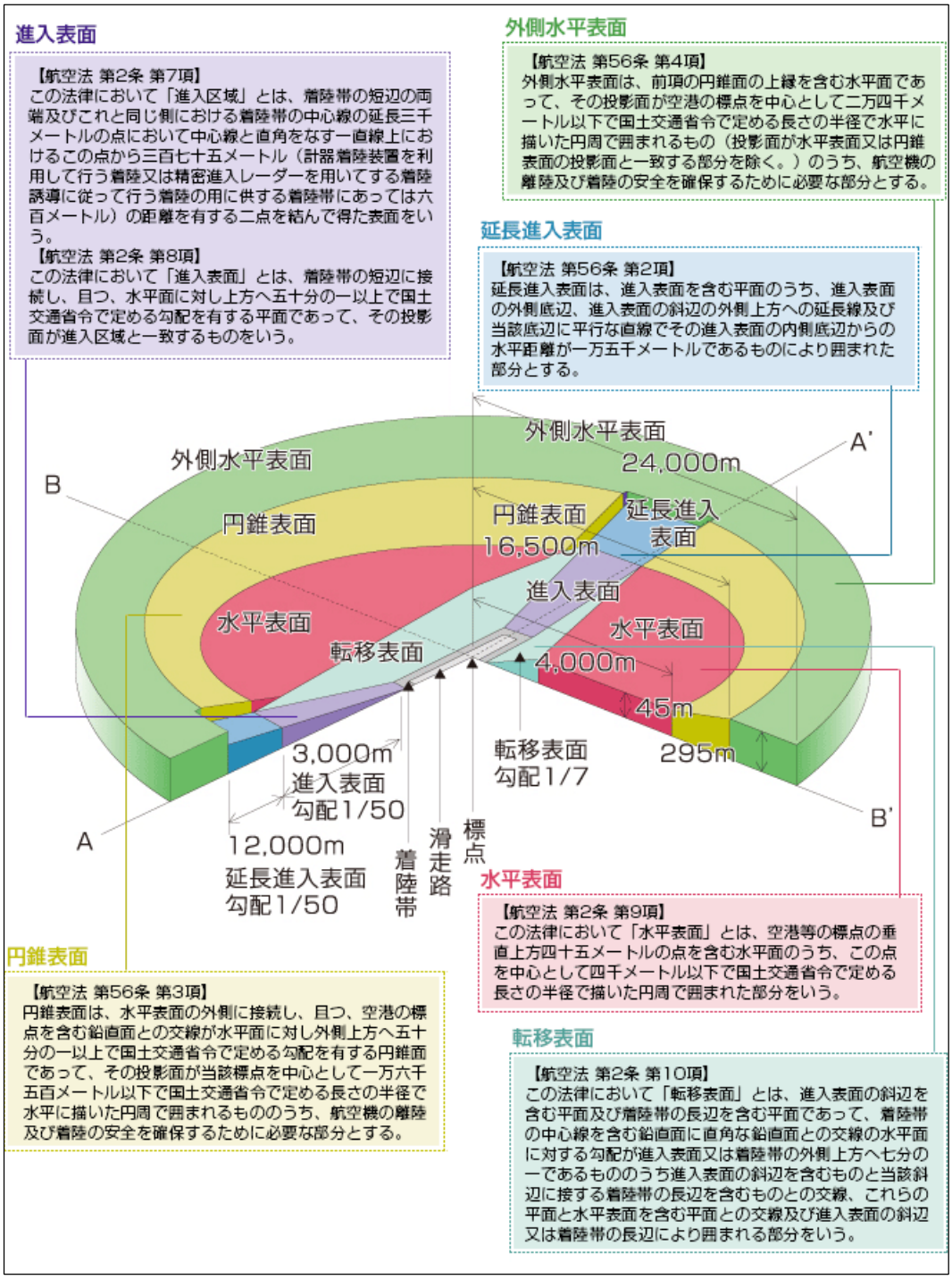


図 2.2-3　航空等の制限表面概略図　　出典：成田空港株式会社 HP

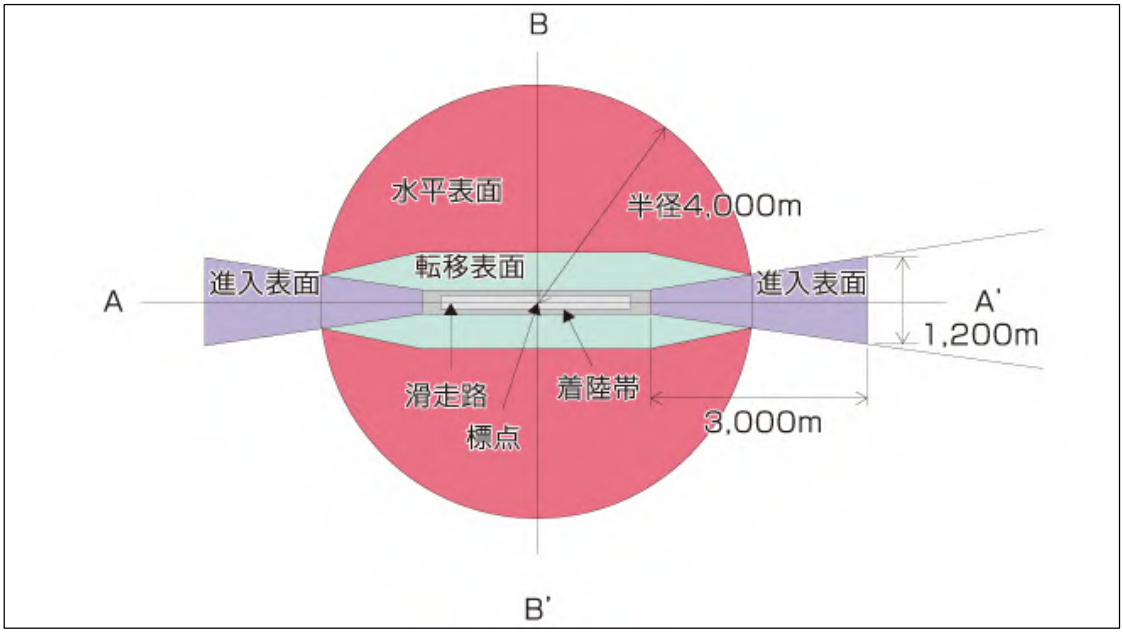


図 2.2-4　空港等の制限表面平面概略図

出典：成田空港株式会社 HP

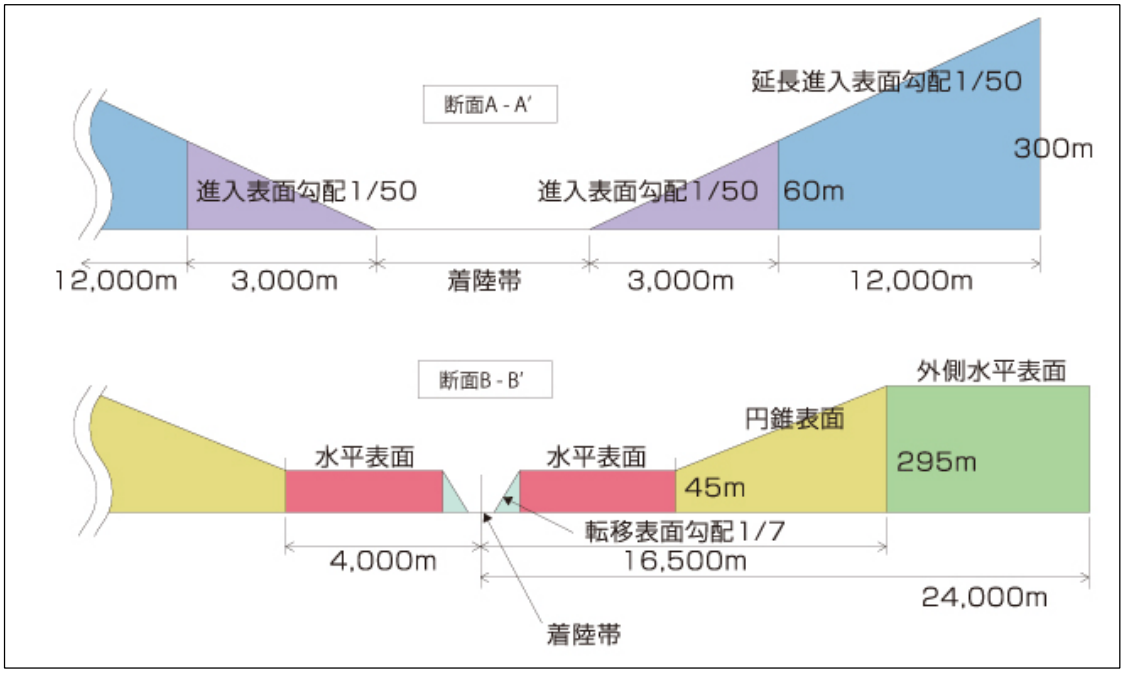


図 2.2-5　航空等の制限表面断面図

出典：成田空港株式会社 HP

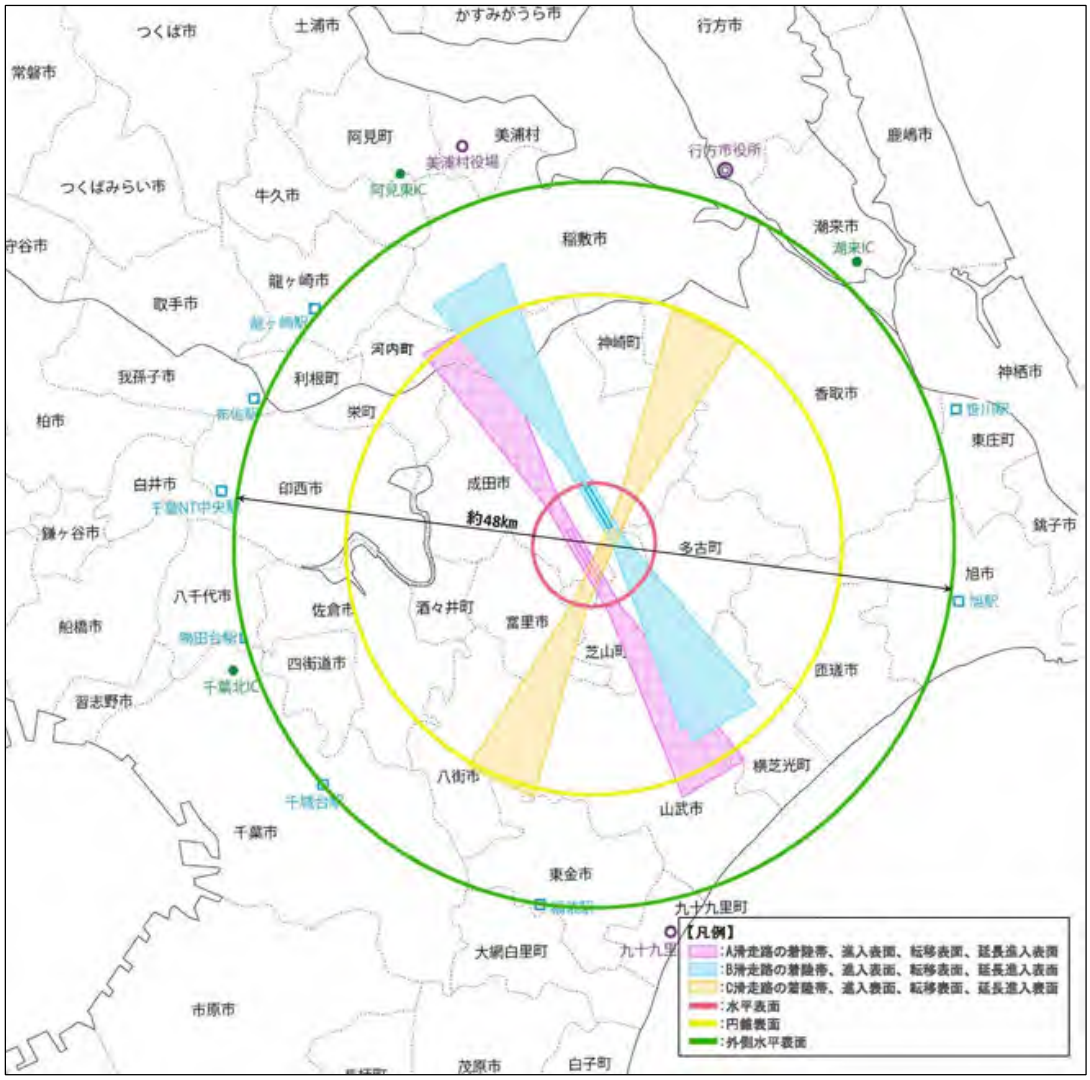


図 2.2-6　成田空港の制限表面図

出典：成田空港株式会社 HP

3）緊急用務空域

国土交通省、防衛省、警察庁、都道府県警察又は地方公共団体の消防機関その他の関係機関の使用する航空機のうち捜索、救助その他の緊急用務を行う航空機の飛行の安全を確保する必要があるものとして国土交通大臣が指定する空域（以下「緊急用務空域」という。）」を指す。

山火事等により緊急用務空域が指定された場合には、インターネット等で確認できる。

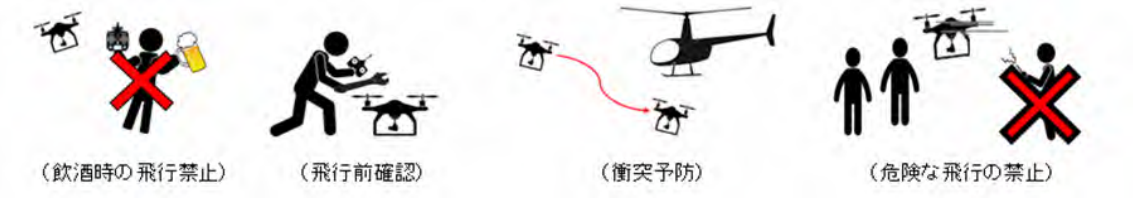
（https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html#alert）

当日飛行を開始する前に、当該空域が緊急用務空域に該当するか否かの別を確認する必要がある。

4）UAV 飛行方法

飛行させる場所に関わらず、UAV を飛行させる場合には、以下のルールを遵守する必要がある。

① アルコール等を摂取した状態では飛行させないこと。
② 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。
③ 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。
④ 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。
⑤ 日中（日出から日没まで）に飛行させること。
⑥ 目視（直接肉眼による）範囲内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。
⑦ 人（第三者）又は物件（第三者の建物、自動車など）との間に 30m 以上の距離を保って飛行させること。
⑧ 祭礼、縁日など多数の人が集まる催しの上空で飛行させないこと。
⑨ 爆発物など危険物を輸送しないこと。
⑩ 無人航空機から物を投下しないこと。



上記⑤～⑩のルールによらずに UAV を飛行させようとする場合は、安全面での処置をした上で国土交通省の承認を受ける必要がある「図 2.2-7」。

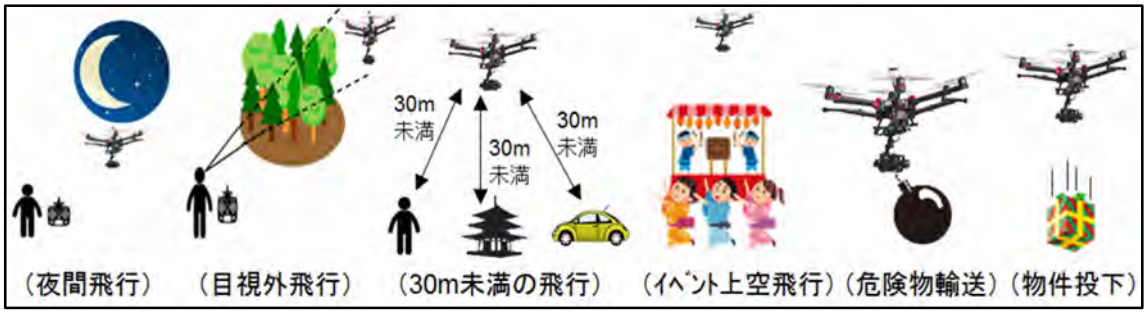


図 2.2-7　承認が必要となる飛行の方法

国土交通省（無人航空機の飛行の方法）URL：
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html#a

5）カテゴリーの概要

無人航空機の飛行形態については、リスクに応じた下記３つのカテゴリー（リスクの高いものからカテゴリーⅢ、Ⅱ、Ⅰ）に分類され該当するカテゴリーに応じて手続きの要否が異なる。

A) カテゴリーⅢ：特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じないで行う飛行。（＝第三者の上空で特定飛行を行う）

B) カテゴリーⅡ：特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じたうえで行う飛行。（＝第三者の上空を飛行しない）

C) カテゴリーⅠ：特定飛行に該当しない飛行。航空法上の飛行許可・承認手続きは不要。

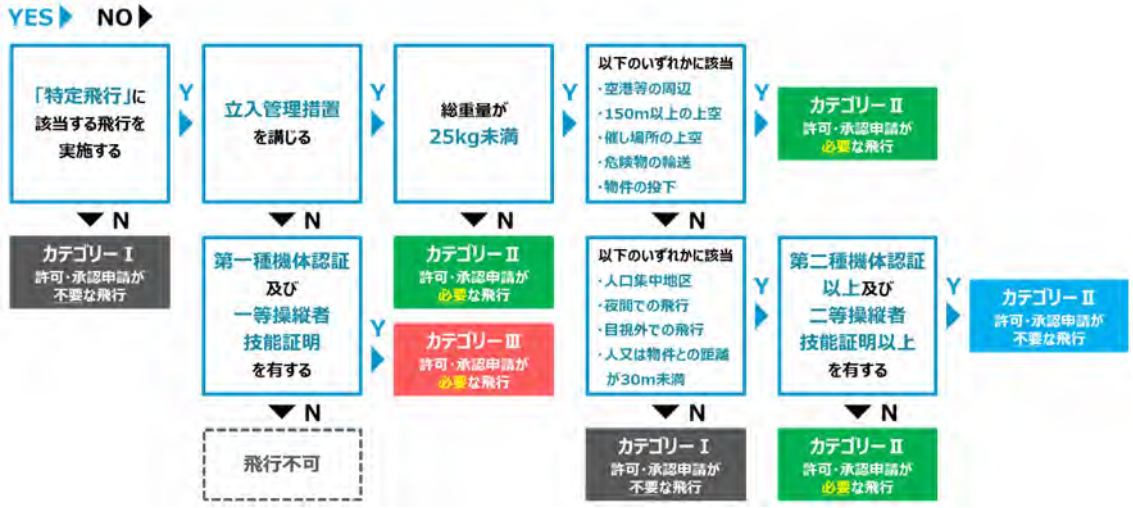


図 2.2-7　飛行カテゴリー決定のフロー

国土交通省（無人航空機の飛行許可・承認手続き）　ホームページ URL：
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000042.html

※ カテゴリーの分類やフロー図は、ルールの改訂に伴い変更となる場合があるため、国土交通省のホームページで最新の情報を要確認すること。

6）飛行判断

UAV を活用した機能診断における航空法等に伴う飛行判断の標準的な流れを「図 2.2-8」に示す。なお、航空法以外にも、UAV 飛行に関する法令・条例は多数あり、場合によっては許可申請が必要となる。なお、UAV を活用した機能診断では、土地改良区等の施設管理者の同意を得なければならないことに留意する。

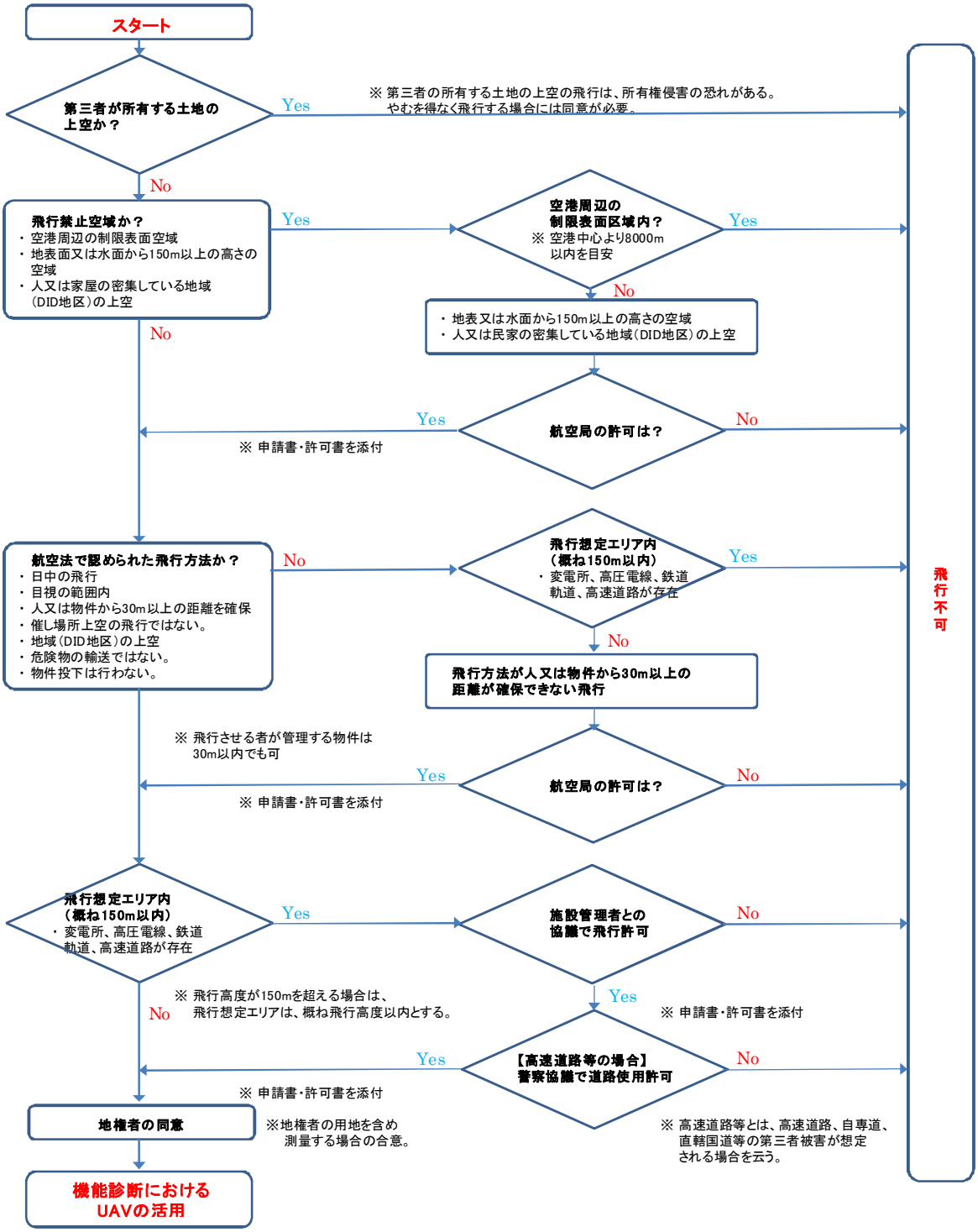


図 2.2-8　飛行判断事前チェックシート

国土交通省 四国地方整備拠局 i-Construction 推進本部より引用

【ドローン飛行前の手続】

【機体登録制度】

所有者等の把握や、危険性を有する機体の排除等を通じ無人航空機の飛行の安全の更なる向上を図ることを目的とし無人航空機の機体の登録制度が創設された。

令和４年６月に無人航空機の登録が義務化され、登録対象 100g 以上の機体の登録が対象となり、航空局から発行される登録記号を機体に貼付することが求められる。また、登録記号を含む機体識別情報（リモート ID 機能）の発信が必要になる。

【リモート ID】

無人航空機の登録義務化に伴い、機体への物理的な登録記号の表示に加え、識別情報を電波で遠隔発信するリモート ID 機能を機体に備えることが必要になった。

ただし、次の飛行を行う場合は、リモート ID 機器の搭載が免除される。

① 事前登録期間中
2022 年 6 月 19 日までに登録手続きを行った無人航空機

② 安全確保措置
飛行を監視する補助者の配置、区域の範囲の明示などの措置を講じた上で行う飛行

③ 係留飛行
十分な強度を有する紐などで係留して行う飛行
※ただし、係留飛行時の高さは 30m 以内

【ドローン情報基盤システム 2.0（DIPS2.0）】

無人航空機の許可・承認制度のオンライン受付を行っていた「ドローン情報基盤システム（飛行許可申請機能）（DIPS ：Drone/UAS Information Platform System）」、飛行計画通報のオンライン受付を行っていた「ドローン情報共有機能（飛行情報共有機能）（FISS）」及び無人航空機の登録制度のオンライン受付を行っていた「ドローン情報基盤システム（登録機能）（DRS）」が令和 4 年 12 月にドローン情報基盤システム 2.0（飛行許可申請機能）（DIPS2.0）へ統合し、各種手続きの簡略化が図られた。

※国土交通省「ドローン情報基盤システム 2.0」
https://www.ossportal.dips.mlit.go.jp/portal/top/

【無人航空機操縦者技能証明制度（免許制度）】

令和 4 年 12 月、無人航空機を飛行させるために必要な知識及び能力を有することを証明する制度（技能証明）が創設された。技能証明の試験は、国が指定する者（指定試験期間）が行い、国の登録を受けた講習期間の講習を修了した場合は実施試験が免除される。

現行の法令では、一部の特定飛行に該当する飛行以外は技能証明の取得は必須ではないが、技能証明を取得した場合、飛行許可・承認申請が不要となる場合がある。

(3) 航空法以外の法律・条令等

1) 地方条例・重要文化財保護法等

都道府県や市町村区及び自治体が公園及び観光施設等での飛行を禁止している場合があるため（右写真、参照)、役所や所轄警察署等で確認が必要となる。

※各地方自治体により定められた条例は以下の URL を参照

国土交通省ホームページ「無人航空機の飛行を制限する条例等」

https://www.mlit.go.jp/common/001370402.pdf

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　p.17

国土交通省航空局

2) 小型無人機等飛行禁止法

政府関連施設、行政関連施設、皇居、外国公館、原子力関連施設等の周囲約 300m の地域上空では、小型無人飛行機等の飛行が禁止されている（右写真、参照)。

警察省ホームページ「小型無人機等飛行禁止法関係」

https://www.npa.go.jp/bureau/security/kogatamujinki/index.html

3) 土地管理者等

民法において土地の所有権は、その上空や地下に及ぶことが定められている。

土地の所有者等が、その土地の上空での無人航空機の飛行を禁止する旨の表示等を行っている場合には、その土地の上空では無人航空機を飛行させてはならない（第三者の所有する土地の上空で無人航空機を飛行させる場合、所有権の侵害とされる可能性がある)。

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　p.17

国土交通省航空局

4) 電波法

UAV の操縦には電波を使用するため、他の装置との混線などを防ぐため「特定無線設備の技術基準適合証明（通称：技適)」の取得が義務付けられている。DJI や Parrot などの大手メーカーの正規販売代理店が販売する UAV は技適通過済のため問題ないが「海外で UAV を購入して持ち帰った」というような場合は、技適を通過していない機体である可能性が高いため注意を要する。

詳細は総務省の電波利用のホームページ参照

https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/index.htm

5）河川管理者他

河川（ダムやその貯水池を含む）において、無人航空機を飛行させようとする場合、許可申請が必要な場合や、河川管理者及び周辺自治体が河川利用のルールを定めている場合があるので、事前に飛行可能な区域か確認する。詳細は河川管理者まで問い合わせる。

※国土交通省の管理する河川の問い合わせ先は以下の URL を参照

国土交通省ホームページ「日本の川」

http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/index.html

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　p.17
国土交通省航空局

6）道路

道路法により道路上に勝手に物を置くことは禁止されている。また、道路交通法による車両や人の交通の妨害にあたるため、道路上で UAV を離発着させることは違法行為となる。やむを得ず道路上で UAV を離発着させる必要がある場合には、道路使用許可申請等の必要な手続きを取る。

道路の上空や周辺にて UAV を飛行させる場合には、脇見運転等、道路における交通の危険、または交通の妨害にならぬよう飛行させるコースや高度等に留意しなければならない。

7）UAV 飛行により影響を及ぼす希少生物の確認

環境省がすすめる絶滅が危惧される生物の保全について、以下の HP 等で紹介されている。必要な場合には、UAV 飛行により影響を及ぼすおそれがある希少生物の確認を行う。

また、地方自治体独自で希少生物の登録がされているか確認を行う。あわせて、鳥獣保護区の設定範囲を確認する。なお、絶滅のおそれのある希少猛禽類のイヌワシ等の生息地等は、保護を目的に一般には公開されておらず、留意が必要である。

※環境省の自然環境・生物多様性のホームページ

http://www.env.go.jp/nature/kisho/index.html

※新技術等を用いた猛禽類の調査手法に関する技術資料（国総研資料第 907 号）

https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0907.htm

8）プライバシー・肖像権及び個人情報保護法

UAV による空撮は、意図しないものを撮影してしまう可能性が高いため、細心の注意が必要となる。また、UAV で撮影した写真や映像を公表することで、関係のない第三者が映っていた場合、プライバシー侵害・肖像権侵害を生ずる恐れがある。

2.2.2　その他の確認事項

（1）既設基準点（GCP: Ground Control Point）

UAV により撮影した写真から、SfM を使用して施設の形状を復元する際には、写真画像データに記録されている Exif 情報を参照して処理を行う。その時、Exif 情報と基準点（GCP）との関連が取れていると、処理における測量精度の向上を図ることができる。そのため、国・地方自治体及び土地改良区等が管理している三角点や多角点等の公共基準点の設置状況を事前調査の段階で確認する。

（2）UAV に関する最新情報

UAV の技術は日進月歩の中、搭載するカメラの性能も含め、次々に新しい技術が開発されている。事前調査の段階でメーカーのウェブサイトやカタログ等で最新の情報を確認し、安全に飛行できる機体を使用することが望ましい。

（3）無人航空機を使用する際の情報流出防止策

国土交通省では、令和２ 年９ 月 14 日通達の「政府機関等における無人航空機の調達等に関する方針について」に基づき政府機関等は業務委託した民間企業等が使用する無人航空機について、取り扱う情報の機微性や業務の性質に応じて、情報流出防止策を講じることが定められている。

現時点で農林水産省の業務委託では適用されてないが、情報流出防止にあたり留意する必要がある。

> １．本業務において、無人航空機を使用する場合には、以下に掲げるような情報流出防止策を講じること。ただし、本業務が、「政府機関等における無人航空機の調達等に関する方針について」（令和２年９月１４日、関係省庁申合せ）に示す重要業務に該当しないことが明らかであって、業務の性質に応じて当該策を講じることが困難な場合、調査職員と協議の上、可能な限りの策を講じた上で、当該策を講じないことができるものとする。
>
> ア　インターネットへの接続については、ソフトウェアアップデート等に必要な最小限度とし、飛行中は接続しない。
>
> イ　インターネットに接続する場合も、データが流出しないよう、撮影動画等のクラウドへの保存機能を停止する、機体内部や外部電磁的記録媒体に保存されている飛行記録データや撮影動画等を飛行終了後確実に消去する。
>
> ２．前項の情報流出防止策によって業務の実施等に支障が生じる恐れがある場合は、調査職員と協議すること。

2.2.3　変状要因等の想定、UAV 調査目的の概定

UAV による機能診断を実施するにあたり、対象施設に発生しているひび割れや摩耗等の変状を予測した上で、健全度評価に必要なひび割れ幅、摩耗程度の把握等の目的を明確にし、UAV 撮影により取得すべき画像の解像度や三次元モデルの精度を決定する必要がある。

UAV による機能診断は、高所や立ち入りが困難な施設等を対象とすることから、現地での目視による変状確認が困難な場合もある。よって、事前調査で得られる情報（出来形図面、補修履歴、供用年数、環境条件等）から、変状要因推定表等を用い、調査対象施設に発生が予想される変状、範囲を想定する必要がある。

この変状内容、範囲を想定した結果を踏まえ、不同沈下、ひび割れの検出等、調査目的を概定し、健全度評価に必要な各変状の測定精度を把握し、要求精度の確保が可能となるよう現地調査計画を策定する「図 2.2-9」。

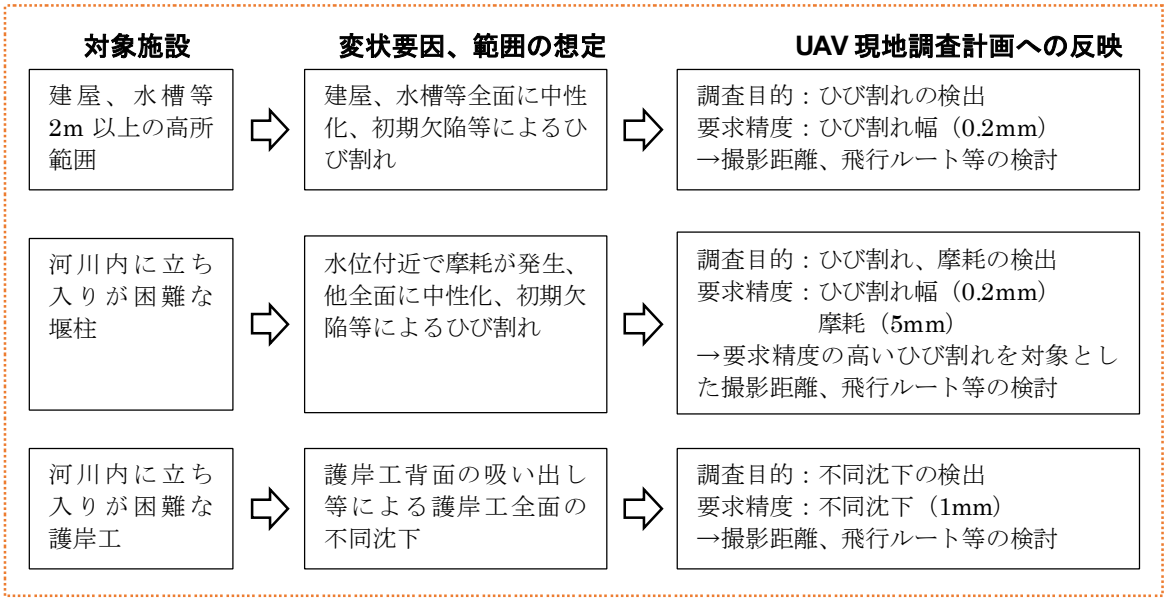


図 2.2-9　対象施設の変状要因、範囲の想定等作業イメージ

2.2.4 UAV を活用した機能診断調査項目

現状においては機能診断の調査項目を以下の 5 項目に分け、それぞれの調査内容により、調査手法、解析内容及び要求精度を設定する。

しかしながら、現状では健全度評価に必要な要求精度の確保にあたって多くの課題が存在しており、今後の全国的な検証事例の分析や撮影精度、画像処理技術の向上により、対応していくこととなる。

UAV による機能診断の調査項目と要求精度及びその根拠について、「表 2.2-1」に示す。

表 2.2-1　機能診断調査項目と要求精度

機能診断 調査項目	要求精度	根拠
①　ひび割れ	幅：0.2mm	施設状態評価表 ひび割れ幅しきい値の最小値
	長さ：1cm	cm 単位の測定
②　各変状 （剥離剥落等）	1cm	現地調査票 各変状の測定単位　0.00（m2）面積 cm 単位
③　摩耗・すりへり	5mm	施設状態評価表 最小摩耗・すりへり程度を示す細骨材の標準的な粒径
④　変形・歪み	1mm	mm 単位の測定
⑤　不同沈下	1mm	調査手法：簡易計測（スケール等） コンベックスの最小単位
	20mm	施工管理基準で考えると、基準高の管理基準値は ±20mm となる。ただし、あくまでも基準高であり、 不同沈下は別。

2.3 現地踏査

UAV を活用した機能診断における現地踏査では、通常の現地踏査内容の他に、UAV 飛行の支障となる障害物、離発着場所、撮影不可能箇所の確認等、UAV 現地調査計画策定にあたっての留意事項を重点的に確認する。

【解説】

UAV を活用した機能診断における現地踏査では、UAV 現地調査計画策定のため、UAV の飛行に関して、安全飛行の支障となる障害物等の確認を行う。また、UAV 飛行時の安全な離発着場所、人員の配置位置、調査対象施設の形状や現場の立地条件等を重点的に確認する。

実際に使用する UAV をテスト飛行させ、飛行条件の把握や取得画像の確認を行うことは、後続作業を適切に行う上で非常に有効である。遠方の現場においては、その有効性はさらに高まる。

1. UAV による現地調査にかかる現場条件の確認　(P.27)
   (1) UAV 飛行や画像取得の支障となる障害物等の確認
   (2) 作業条件の確認
   (3) ビル風の影響

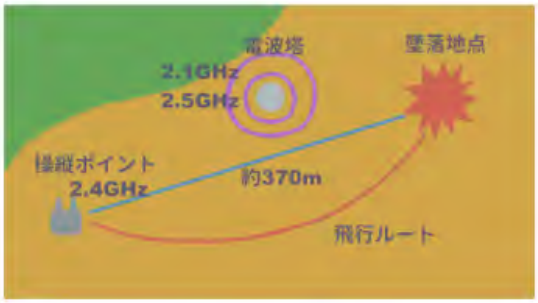
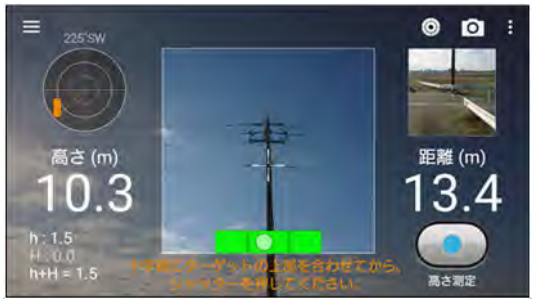
2. テスト飛行の実施　(P.34)

3. 調査対象施設の変状内容の把握　(P.34)

2.3.1　UAV による現地調査にかかる現場条件の確認

UAV 現地調査計画策定にあたっては、インターネットや資料調査のみならず、現地踏査にて必要事項の確認を確実に行い、その結果に基づいた適切な計画を策定することが撮影成果の品質確保、飛行時の安全確保等には必要不可欠である。UAV は、「表 2.3-1」に示すような事象で墜落の危険性や正常な画像取得が困難な場合があるため、調査対象施設の周辺環境を把握、整理する。

表 2.3-1　UAV 飛行範囲の注意すべき環境条件等

周辺環境等	想定される施設等	対応策
第三者の多い場所及び重要施設	住宅・市街地、観光地、交通施設、集客施設や行事会場、空港関連施設、発電施設、鉄道、高速道路及び幹線道路、防衛施設等	1）鉄道及びその周辺では、UAV の見張員を配置し、列車が走行していない時間帯に行う。 2）高速道路及びその周辺では、UAV の見張員、交通誘導員を配置し、車の走行を規制して行う。 3）集客施設及びその周辺で飛行する場合は、閉鎖されているエリア、あるいは閉鎖している時間帯に行う。
電磁場に影響を与える施設	鉄塔、架線、送電線、電波塔、Wi-Fi 基地局、大規模工場、大規模鉄骨構造物、強力な磁力、電波を反射する施設	1）これらの施設の上空、周辺では飛行させない。 ・飛行させる場合には、送信機の使用周波数帯（2.4GHz）との電波干渉を事前に調査する。  ・鉄骨構造物は UAV コンパス等に異常をきたすことがあるため留意する。 ・障害物の高さの測定は、スマートフォンのアプリ等で測定することが可能である。  （Android アプリ Smart Measure の使用例）
安全飛行を妨げる生物の存在	集団で営巣している鳥類、子育てをしている鳥類、縄張り意識が強い鳥類等	1）事前に自然環境調査（環境省）等資料より鳥類の分布を把握する。 2）飛行中に鳥類が近接してくる場合はマニュアル操作により回避する。

(1) UAV 飛行や画像取得の支障となる障害物等の確認

1) 気象条件

UAV は飛行体であるため、地上作業と比べると気象条件の影響を受けやすく、状況によっては作業が中断したり続行できなくなったりする場合がある。したがって、現地踏査では、飛行予定時刻の気象等の現地条件を詳細に調査する。

2) 障害物

調査対象物と UAV との間の樹木や、対象物の近傍または表面に植生が繁茂・被覆し、構造物の表面形状を捉えることができない場合がある。その場合は、現地踏査の際に出来るだけ除去しておく。また、対象物の周辺に噴煙や波等の動くものがあり、それらが撮影されている画像は、SfM の正常な自動処理が難しくなり、良好な結果を得られない場合が多い。対象物周辺の樹木についても同様の影響を及ぼす場合があるため、事前に樹木の種類、樹高及び樹形並びに位置を把握しておく。

なお、頭首工等の水利構造物や海岸堤防の周辺での水衝部付近は水面があり、その影響は避けられない場合が多い。

3) 衛星測位条件

一般的な UAV は、機体の安定性を保持するため、ケアフリー（CF）機能やポジションホールド（PH）機能が装備されている。これらの機能は、衛星電波を受信して機体の状態や操作を補助する機能であるが､衛星捕捉数が低下すると補助機能が効果を発揮せず機体の制御が困難となる。そのため、必ず現地踏査では離発着場所周辺の樹木や起伏を考慮して GNSS 捕捉数を確認する。GNSS 捕捉数は、6 個以上を原則とし、5 個以下となる時間帯では現地踏査及び現地調査における UAV の飛行は避ける。なお、GNSS 捕捉数が少ない場合には、アプリケーションによる制御機能が働き UAV を飛行させられない場合がある。

頭首工の監視橋や建屋の屋根のひさしの下等では、GNSS 信号が切断される可能性があり、墜落のリスクが増すことに留意する。なお、建物内では GNSS 信号が届かないため調査は不可能である。

4）電波状況

強力な電波や電磁波は、UAV 飛行に悪影響を及ぼす場合がある。そのため、強力な電波や電磁波を発射していると思われる構造物を確認した場合には、ハンディータイプの簡易測定器、あるいは電波障害検査会社に電波調査を依頼し、測定器（スペクトル･アナライザー）等で周辺の電波状況を確認することが望ましい。

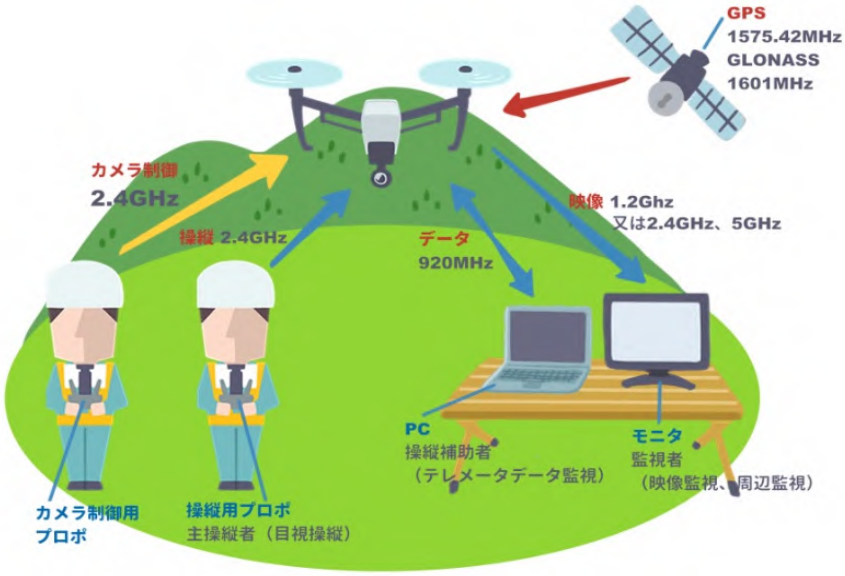


図 2. 3-1　UAV 飛行時の周波数帯

5）第三者の立ち入り

航空法では、「第三者又は第三者の建物、第三者の車両等の物件との間に 30m 以上の距離を保って飛行させること。」と第三者が存在する場合の飛行ルールが義務化されており、頭首工及び河川堤防等の第三者の立ち入りが予想される箇所では、立ち入り制限や安全誘導員による管理を行う必要がある。そのため、現地踏査時には第三者の立ち入り等について確認する。

6）安全飛行を妨げる生物

個体差や飛行時の状況により違いがあるものの、トンビやカラス等の鳥類の中には飛行中の UAV を警戒せず、近寄ってきて攻撃してくる場合がある。もし空中で衝突したら、墜落して機体は確実に使用不能となり、調査の続行は困難である。そればかりか、第三者に怪我を負わせる危険性もあるので留意する。

(2) 作業条件の確認

1) 調査対象施設の形状及び立地条件

農業水利施設特有の留意事項は、以下のとおりである。現地踏査では可能な限り風速を計測し、立地条件及び日照状況等を詳細に把握する。

① 頭首工等の機能診断において対象範囲が広い場合等、施設ごとに日陰の発生する時間帯を確認する。

② 堰柱や高架水槽等の立面（曲面）の撮影に関しては、現在自律飛行ができるプログラムがなく、手動飛行による撮影となることに留意する。

③ 頭首工等は細かな施設が入り組んでいる。また、施設に凹凸があり構造的に気流が乱れやすく、UAV を飛行させるにはかなり厳しい条件である。そのことに加えて、特に大型の UAV を飛行させる場合には、飛行させるスペースの確保が課題となる。

2) 離発着場所の確認

UAV を安全に離発着させるには、機体の大きさに応じた広くて平らな場所を確保しなければならないため、現地踏査において条件を満たす場所を確認する。

UAV は離陸前のモーター始動直前にジャイロ（機体の姿勢・速度の慣性センサー）のキャリブレーションを行う。水平でない場所でこのキャリブレーションを行うと、傾いた機体の姿勢を水平時の姿勢に決定してしまうため離陸上昇が斜めになってしまう。また、高度ホールドを ON にしてホバリングすると、傾いた方向へ流れてしまう（姿勢制御機能への障害：機種による）。

ただし、水平であっても鋼構造物施設の上や施設の付近では、電波障害の発生の恐れがあるため離発着場所には適しない。

3) 人員配置

UAV 調査は、操縦者、モニタ監視者、機体監視者及び保安員を配置し、第三者の安全確保のための人員構成・配置を確認する。

4) 基準点設置位置の確認

UAV により撮影された空中写真の正確な位置関係を求めるため、撮影範囲内に最低 3 か所に基準点を設置する必要がある。そのため、基準点の設置位置を検討できるよう現地踏査時に設置可能な箇所の確認、あるいは設置が困難な場合に備えて代替となる特徴点の調査を実施する。

【作業事例】----------

【農業水利施設周辺での UAV 飛行時の留意点】

施設周辺での UAV 飛行は、手動飛行・自律飛行を問わず、原則として機体が目視確認できる範囲で行うことを原則とする。また、対象施設に対して近接撮影する場合には、安全な撮影距離を保って飛行させなければならない。

(A) ダム・頭首工

山間部のダム・頭首工の飛行においては、風の影響ならびに飛来する鳥類に特に留意する。

(B) 管理橋・回廊下部

頭首工の管理橋や高架水槽の回廊下部の飛行においては、UAV を安定飛行させるための GNSS 信号が乱れたり切断されたりする可能性が高く、墜落のリスクが増すことに留意する。

(C) ポンプ場施設等

ポンプ場施設等の周辺の飛行においては、高圧電気設備の引き込み電柱等の障害物及び電波障害の発生に留意する。

(D) 鋼構造物施設等

頭首工の管理橋等「図 2.3-2」、鋼構造物施設の付近においては電波障害の発生に留意する。

図 2.3-2　鋼構造物施設の例

----

(3) ビル風の影響

ビル風とは、規模の大きな建物の周辺の狭い範囲で発生する風である。ビル風は建物の形状・配置や周辺の状況等により、非常に複雑な風の流れとなり、頭首工の管理橋等においても同様の風が発生する場合がある。一般にいわれる「ビル風」として、「図 2.3-3」及び「表 2.3-2」に示すようにいくつかのタイプに分類する。

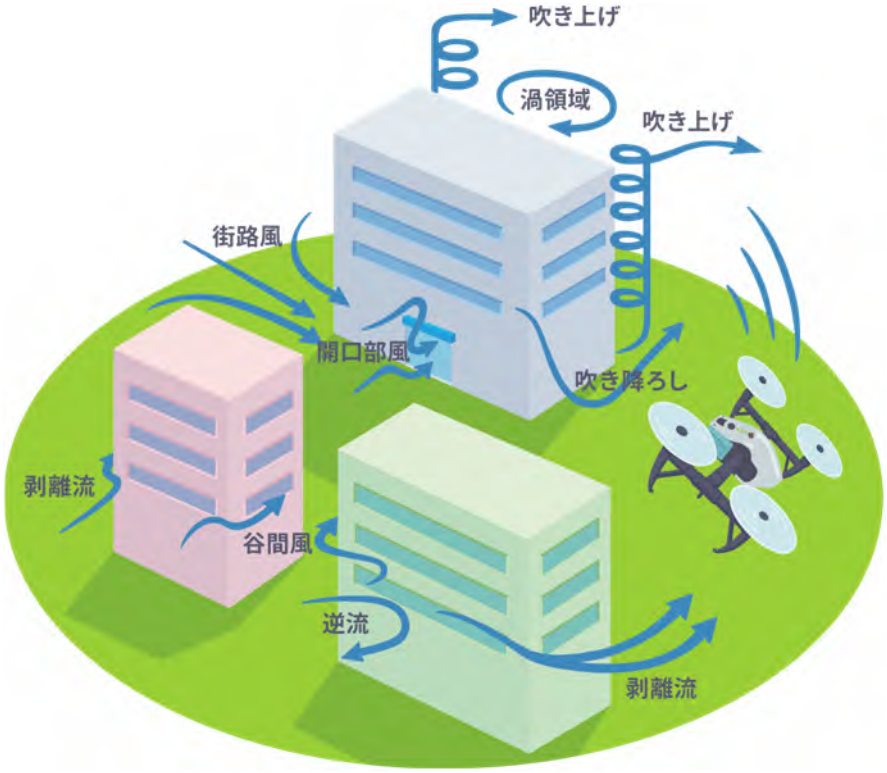


図 2.3-3　ビル風イメージ

表 2.3-2　ビル風の種類

ビル風の種類	内　容
①剥離流	風は建物に当たると、壁面に沿って流れていくが、建物の隅角部のところまでくると、それ以上壁面に沿って流れることができなくなり、建物から剥がれて流れ去っていく。この建物隅角部から剥がれた風はその周囲の風よりも速い流速をもつ。これが剥離流と呼ばれるものである。
②吹き降ろし	風は建物に当たると、建物高さの 60～70%付近（分岐点と呼ばれる）で上下、左右に分かれる。左右に分かれた風は、建物の背後に生じた低い圧力領域に吸い込まれるため、建物の側面を上方から下方に斜めに向かう速い流れとなる。これが吹き降ろしである。吹き降ろしの現象は建物が高層であるほど顕著であり、それだけ上空の速い風を地上に引きずり降ろすことになる。高層建物の足下付近では、吹き降ろしと剥離流が一緒になるため、非常に速い風が吹くことになる。
③逆流	分岐点より下方に向かう風は、壁面に沿って下降し（下降流)、地面に到達すると、一部分は小さな渦をつくりながら左右に流れ去っていくが、一部分は地面に沿って上空の風とは反対の方向に向かう。この流れは逆流と呼ばれる。特に、高層建物の前面に低層建物があるような場合は、ますます速い流れとなる。
④谷間風	計画建物に隣接して高層建物が存在していたり、計画建物が 2 棟以上の場合には、速い風が建物の間に生じることがある。これは、それぞれの建物からの剥離流、吹き降ろしが重ね合わさったために生じる現象で、谷間風と呼ばれる。
⑤開口部風（ピロティー風）	建物の下層部分にピロティーのような開口部が設けられていると、建物の風上側と風下側が 1 つに結ばれることになる。このため、この部分は風が吹き抜けやすくなり、迷い風が吹く。これを開口部風（ピロティー風）と呼ぶことがある。
⑥街路風（道路風）	市街地では風は街路や路地に沿って吹こうとする。家並みや建物が規則正しく配置されていればいるほど、また、道路が広ければ広いほど風は街路に沿って吹き抜けやすくなる。このため、高層建物からの剥離流や吹き降ろしも街路に沿って吹くという現象が生じることがある。このような性質をもつ風は一般に、街路風や道路風等と呼ばれる。
⑦渦領域	建物の背後は風速が弱く、また風向がはっきりしない部分となる。この部分は大小さまざまな渦からなり、渦領域（ウェイク）と呼ばれる。
⑧吹き上げ	建物の風下隅角部付近で、紙くず等がくるくる舞いながら上空へと飛散してゆく現象が見られることがある。これは吹き上げと呼ばれる気流現象により生じるものである。

2.3.2 テスト飛行の実施

テスト飛行は、施設の全体的な現場状況の把握が目的であり、それに適応した撮影内容で、飛行制限を受けない範囲において、安全飛行が可能な場合に限り実施する。

なお、テスト飛行の際にも安全管理に十分に対応した体制で実施する。また、テスト飛行にて撮影した画像は、現地において確認することが望ましい。さらに、調査範囲や対象施設の規模が大きい場合は、現地調査計画を策定するためのオルソ画像作成用の撮影を実施する。

テスト飛行における実施体制及び UAV 飛行の留意点等は「2.4 UAV による現地調査計画の策定」、「2.5 UAV による現地調査」を参照のこと。

【ポイント】

実際に使用を予定している UAV をテスト飛行させ、現場の飛行条件を把握することや取得した画像を確認することは、後続作業を効率的に適切に進める上で重要である。なぜなら、現地踏査時に確認した衛星測位状況や電波状況が、UAV 飛行にどのような影響を及ぼすかは、現地において実際に飛行させてみなければ確認できないためである。

2.3.3 調査対象施設の変状内容の把握

現地踏査では、事前調査段階で想定した調査対象施設の変状について、可能な限り把握する。また、垂直方向のモデルを構築する場合、使用する SfM によっては、写真枚数が少なかったり、対象施設が同じような色合いだと特徴点を認識できず、モデルが構成できなくなる場合がある。そのため、変状内容の把握にあわせて調査対象施設の状況を確認し、通常の撮影の他に補完用の撮影の必要性を検討しておく必要がある。

2.4 UAVによる現地調査計画の策定

UAVによる現地調査計画は、事前調査、現地踏査で得られた所見を踏まえ、調査対象施設の調査目的を明確にし、各変状に対する要求精度を設定し、調査手法、UAVの機体及び搭載するデバイス、地上基準点の設置箇所及び測量方法と精度検証を実施する。また、調査目的に適合した画像データが得られるようUAV飛行のコース及び撮影高度等の飛行計画の策定等を行う。

【解説】

UAVによる現地調査計画は、飛行に関する制約条件等の事前調査結果や、現地踏査で確認した現場条件を踏まえ、発生している変状に対して健全度評価が可能な調査目的に適合した画像データが得られるよう策定する。

なお、UAVを活用した機能診断調査では、通常の現地調査（定点調査）とは異なり、現地において施設全体の写真撮影を実施し、単写真、もしくはSfMによって処理されたオルソ画像より定点範囲を設定する。

1. UAVによる現地調査計画の策定　（P.36）
   (1) 制約条件の確認結果の整理
   (2) UAVによる現地調査の目的、要求精度の設定

2. 変状状況の把握及び定点範囲の設定　（P.37）
   (1) 変状状況の把握
   (2) 定点範囲の設定

3. UAV作業計画　（P.38）
   (1) 飛行方法（自律飛行・手動飛行）
   (2) 使用機器・機材

4. UAV飛行計画　（P.41）
   (1) UAV飛行時の実施体制
   (2) 離発着場所
   (3) 撮影距離の設定
   (4) UAV撮影計画策定

2.4.1 UAV による現地調査計画の策定

(1) 制約条件の確認結果の整理

事前調査により確認した、航空法で定められた飛行に関する制約及び飛行ルール、飛行区域の地方自治体や各管理者が定める規制等の UAV 飛行に関する制約条件の確認結果を整理する。

(2) UAV による現地調査の目的、要求精度の設定

事前調査、現地踏査結果より、調査対象施設で健全度評価を実施すべき変状を整理し、不同沈下、ひび割れの検出等の調査目的を決定し、各変状に対する要求精度を設定する。

UAV による機能診断の調査項目と要求精度及びその根拠について、「表 2.4-1」に示す。

表 2.4-1　機能診断調査項目と要求精度（再掲）

機能診断 調査項目	要求精度	根　拠
①　ひび割れ	幅：0.2mm	施設状態評価表 ひび割れ幅閾値の最小値
	長さ：1cm	cm 単位の測定
②　各変状 （剥離剥落等）	1cm	現地調査票 各変状の測定単位　0.00（m2）面積 cm 単位
③　摩耗・すりへり	5mm	施設状態評価表 最小摩耗・すりへり程度を示す細骨材の標準的な粒径
④　変形・歪み	1mm	mm 単位の測定
⑤　不同沈下	1mm	調査手法：簡易計測（スケール等） コンベックスの最小単位
	20mm	施工管理基準で考えると、基準高の管理基準値は ±20mm となる。ただし、あくまでも基準高であり、 不同沈下は別。

2.4.2　変状状況の把握及び定点範囲の設定

(1) 変状状況の把握

事前調査、現地踏査及び UAV のテスト飛行による現地調査により得られた変状箇所の調査結果を整理し、健全度評価の基礎資料とする。

(2) 定点範囲の設定

グルーピングや定点範囲の設定方法は、頭首工や揚水機場等の各工種の「機能保全計画の手引き」の考え方に準拠し、簡易な撮影を実施して定める場合と、詳細な撮影を実施する場合とに分け、目視、あるいは、ひび割れ自動抽出ソフトにより変状を確認し、以下の手法によって設定する。

1) 簡易な撮影にて決定する手法

撮影条件が良く、3.0mm/px の解像度で撮影された写真画像であれば、0.2mm 幅のひび割れは視認が可能であること前提に UAV 撮影等の作業手順を検討する。設定後に改めて定点の詳細撮影を実施し診断を行う。

① 目視確認による設定

現地踏査時に 3.0mm/px 以上の写真解像度で撮影を行い、単写真もしくは SfM を用いて作成したオルソ画像から技術者が画像を目視で確認し定点を設定する。

② ひび割れ自動抽出ソフトによる設定

現地踏査時に 3.0mm/px 以上の解像度で撮影を行い、単写真もしくは SfM を用いて作成したオルソ画像からひび割れ自動抽出ソフトを用いてひび割れを抽出し、技術者が抽出結果を確認し定点を設定する。

2) 詳細な撮影にて決定する手法

施設の形状が複雑でない場合等では、対象の施設全体に対して 1.0mm/px 以上の高解像の写真撮影を実施し、SfM を用いて作成したオルソ画像や単写真から施設全体に対して診断を実施し、定点を設定する。

2.4.3 UAV 作業計画

(1) 飛行方法（自律飛行・手動飛行）

UAV は、事前にプログラミングした飛行コースに沿って GNSS を利用した自律飛行と、操縦者が機体を目視しながら操縦レバーにより操縦する手動飛行の二つの飛行方法がある。

UAV を活用した機能診断においては、それぞれの特徴を把握し、現地踏査や現地調査結果により調査に適した飛行方法を選択する必要がある。なお、飛行方法に関係なく、山の斜面や構造物の上を越えないよう、これらに対峙する方向の飛行は避ける。

【ポイント】

人間の遠近感は 50m も離れるとあいまいになるため、UAV と障害物の距離判断が困難となる。このような場合、障害物付近に見張員を配置し、無線や電話で速やかに飛行を中止できるような確認体制を整える必要がある。さらに、施設側面を手動飛行にて接近して撮影を実施する場合には、安全確保はもとより、高い UAV 操作技術が必要となる。

その他にも、撮影した写真を用い SfM によりオルソ画像や三次元点群モデルを生成する場合、写真の重複度（ラップ率が高いほど良い）が重要となり、一定間隔で写真を連続撮影するタイムラプス機能を使用して撮影することとなるが、その際の飛行には熟練の技術が必要である。

(A) 自律飛行

事前に飛行コースや撮影間隔の設定が可能な自律飛行は、三次元モデルやオルソ画像作成等で撮影ラップ率や測量精度が要求される場合に有効である。

UAV を自律飛行させるには、専用の機器と飛行計画を行うアプリケーションを使用する。なお、飛行計画は、オルソ画像上で行うことが通常であるが、位置情報等の誤差があることに留意する。また、飛行コースの設定にあたっては、飛行範囲内の地形（山、谷、崖等）、障害物（構造物、架空線等）を回避する必要がある。

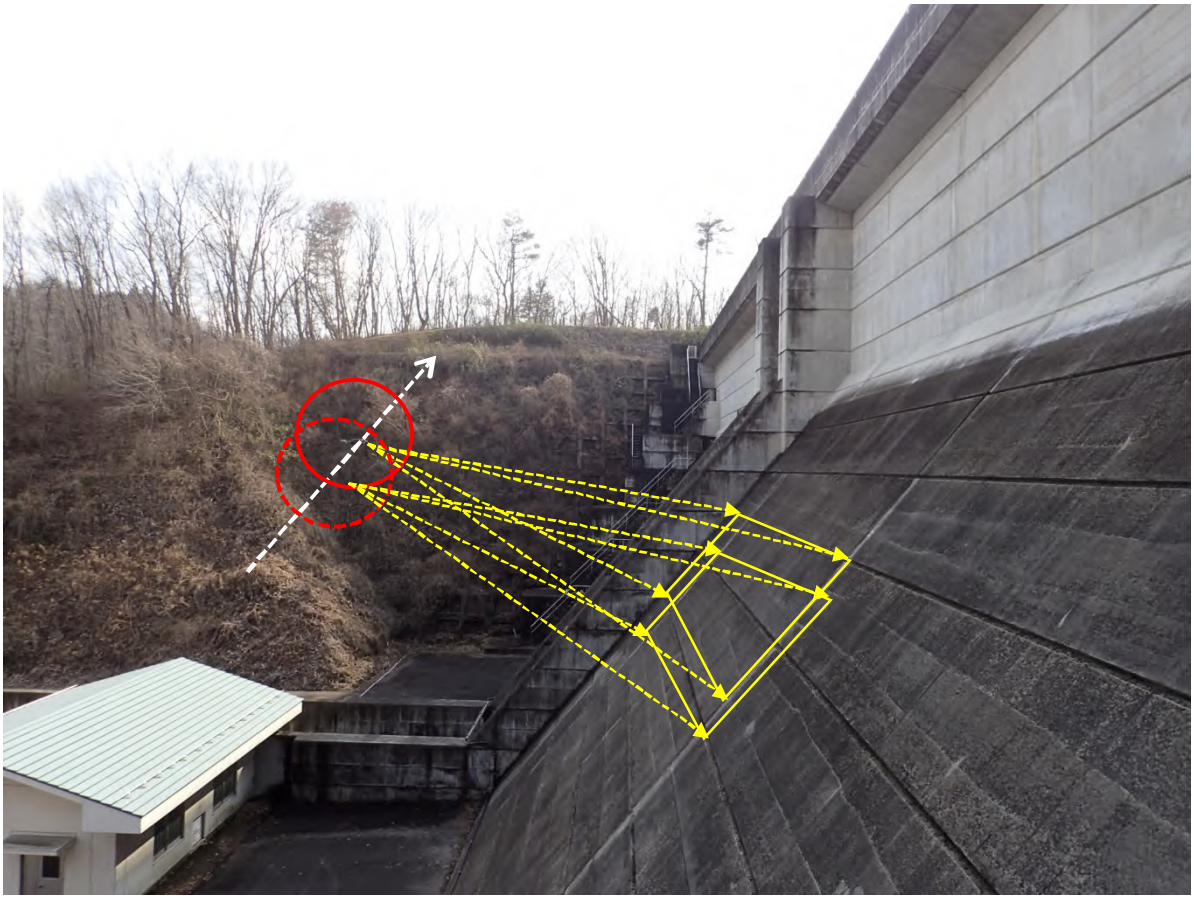
自律飛行は、プログラムによって行われるため安定した飛行が可能となるが、飛行時の監視を怠ったりしないよう留意すること。

(B) 手動飛行

手動飛行は、操縦者が機体を目視しながら操縦レバーにより操縦する方法である。

事前に飛行コースの設定が困難な場合や撮影場所が事前に特定できない場合、あるいは自律飛行できない条件の下では、手動操作にて飛行を行う。この場合、操縦者と機体との距離が離れると遠近感がなくなり、障害物と機体との距離が不明瞭となるので、障害物と機体との間には十分な距離を確保する必要がある「図 2.4-1」。

【作業事例】----------



----

(2) 使用機器・機材

施設機能診断を実施する際に必要となる要求精度等を勘案し、まずは必要な写真画像の解像度が得られるデジタルカメラ等の UAV に搭載するデバイスを選定する。その上でペイロード（積載総重量）及び飛行時間、航続時間に余裕のある機体を選定する。

1）UAV

使用する UAV は、バッテリーで起動する自律飛行が可能なマルチコプター型で、条件を満たせば産業用（業務用の中・大型機）、汎用機及びホビー機等、その種類は問わない。

通常、一定の大きさを有する UAV の方が、小型の UAV に比べ安定飛行及び長い時間の飛行が可能であり、積載能力に余裕があって搭載できるデバイスが変更できる等、機能診断での適用範囲は広くなる。なお、重量が 10kg を超える UAV を使用する場合には、安全確保上、操縦者の十分な飛行経験と操作技術が欠かせない。

2）デジタルカメラ

UAV を活用した機能診断調査では、UAV に搭載されている専用カメラ、搭載可能な市販のコンパクトデジタルカメラや一眼レフカメラを想定しており、調査目的に応じて必要な写真解像度（地上画素寸法）が得られる機器を使用する。

使用するカメラのイメージセンサー等のカメラ性能に加えて、焦点距離が異なる広角レンズ、あるいは普通角レンズ等のレンズの種類によって撮影範囲が変わってくる。なお、普通角レンズに比べ、広角レンズは撮影範囲が広くなる反面、凹凸面等での死角部分は増える。

【ポイント】

デジタルカメラのシャッター方式には、ローリングシャッター方式とグローバルシャッター方式があり、それぞれ次の特徴を有する。次頁の「図 2.4-2」にそれぞれのシャッター方式の違いを示す。

(A) ローリングシャッター

「ライン露光順次読み出し」と呼ばれ、1 ラインから数ラインを 1 つのブロックにして、このブロックごとに画像を取得し、それを組み合わせて 1 つの画像にする。そのため異なるブロック間では、若干の時間差が生じる。UAV 搭載型カメラ等はこの方式を採用していることが多い。

(B) グローバルシャッター

「同時露光一括読み出し」と呼ばれ、全画素同じタイミングで画像を取得する。スマートフォン、アクションカメラの GoPro、ビデオカメラの写真モード、コンパクトデジタルカメラ、一眼レフカメラ等は、この方式を採用していることが多い。

（A）ローリングシャッター　　（B）グローバルシャッター

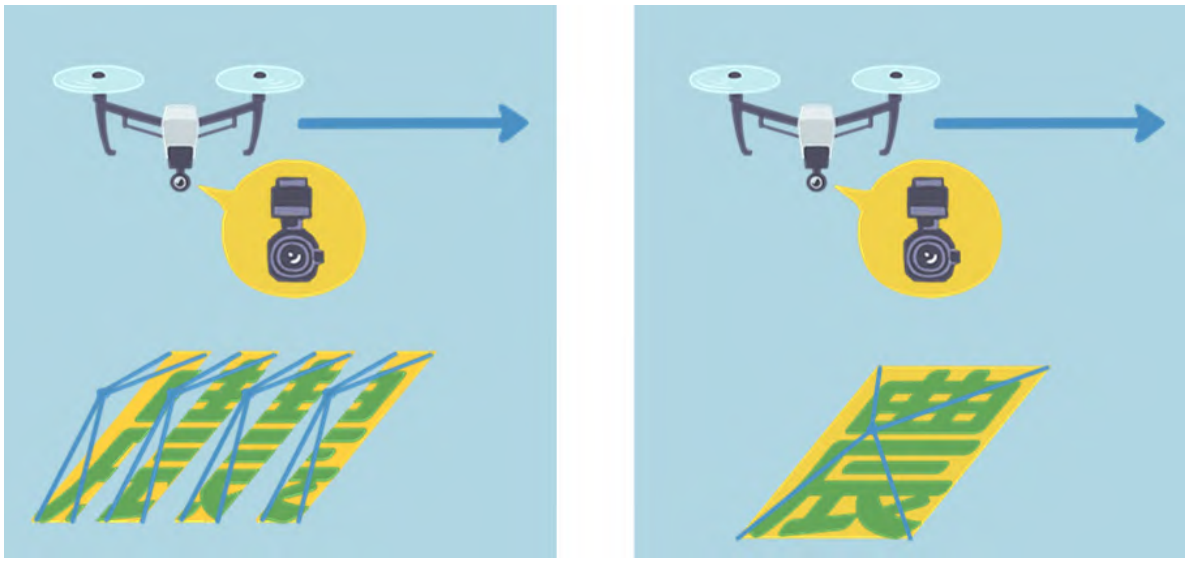


図 2.4-2　ローリングシャッター方式とグローバルシャッター方式の違

3）測量機器

基準点、あるいは地上の構造物や施設の形状の変化箇所等、代用点の位置を測量する場合には、ノンプリズム型のトータルステーション、あるいは GNSS 観測機等の測量機器を使用する。

4）パソコンまたはタブレット端末

UAV を自律飛行させる場合、事前にプログラミングした飛行コースを機器本体に送信するために、パソコンまたはタブレット端末（以下、PC と称す。）を利用する。また、撮影後の写真画像や動画を点検する際にも PC を使用する。なお、PC を長時間稼働させることができる大容量のポータブル型電源（右写真、参照）等も必需品と言える。

大容量の
ポータブル型電源の例

2.4.4　UAV 飛行計画

（1）UAV 飛行時の実施体制

安全作業を実施するにあたり、必要となる役割を明確にして一つの役割に専従できる作業体制作りが重要である。役割の内容によっては、同一の者が複数の役割を担うことができる。また、UAV の安全飛行のためには、「周辺状況、気象の安全確認」、「機体の操縦」、「機器状態のモニタ」を同時並行で行う必要があり、「表 2.4-2」を標準とする作業実施体制を整える。なお、不測の事態に備え、UAV 機器は予備機を準備し、2 機体制で臨むことが望ましい。また、予備のバッテリーやプロペラも準備しておくこと。

UAV 飛行時の飛行体制の一例を「図 2.4-3」に示す。

表 2. 4-2　UAV 飛行時の作業実施体制

作業者	主な役割
現場班長 （作業責任者）	当該現場における作業責任者として、UAV の運航に関する全ての責任を持ち、他の作業員に対して指示を行う。
操縦者	現場班長の指示に従い、UAV の操縦や運航を行う。
整備者	UAV の運航前後の機体の整備や、必要に応じた部品の交換等を行う。運航中は他の役割を担うことが可能。
モニタ監視者 （撮影者）	モニタを使用して UAV の状態を監視し、必要な情報を現場班長や操縦者に伝える。モニタとコントローラ（プロポ）が一体となっている機体の場合は、モニタ監視者を操縦者が兼務することもできる。
機体監視者	運航中、機体及び天候を監視し、異常等が発生した場合に現場班長や操縦者に伝える。 操縦者が目視できる範囲での運航であっても、操縦者以外に機体を常に監視できる者を１名以上配置する必要がある。
保安員	不特定の第三者が運航範囲に進入することがないよう適切な対応をとる。 作業範囲に不特定の第三者が立ち入らないことが明らかな場合には、保安員を配置しないことも考えられる。 地上の通行者等への対応が主な用務であり、運航中の UAV を常に監視することが難しいため、基本的に保安員が機体監視者を兼ねることはできない。

図 2. 4-3　UAV 飛行時の飛行体制の例

(2) 離発着場所

UAV の離発着場所は、機体の大きさに応じた広くて平らな場所でなくてはならない。傾斜があると着陸時に UAV が転倒するリスクが高まり、機体の破損につながりかねないので避けるべきである。また、小石やゴミ等をプロペラが巻き込まないよう専用のマットを敷いて防止することが望ましい（右写真、参照）。

専用マットの例

なお、公道道路上での離発着は、「道路交通法違反（道路交通法 76 条）」、道路上を通過させる場合は、「道路交通法違反（道路交通法 76 条）及び航空法違反（航空法第 132 条）」に抵触する恐れがあるため、留意が必要である。

(3) 撮影距離の設定

同一カメラで撮影する場合、撮影高度（被写体までの距離）を長くするほど撮影範囲は広くなり、単位面積あたりの撮影時間が短縮される。また、写真の撮影枚数が減るので、それだけデータ容量は小さくなり、解析時間が短い作業効率の良い計画となる。その反面、映し出される被写体の解像度は粗くなり、場合によっては、変状測定に必要な要求精度を満たさないこととなるので、留意が必要となる。

1) ひび割れ等の変状調査

本マニュアルでは、取得した画像を PC モニタ上で徐々に拡大表示し、淡いグレーとして確認できる最大レベルのことを「視認」レベルと定義する。36 頁の表 2. 4-1 機能診断調査項目と要求精度（再掲）に示したように、ひび割れ調査では、幅 0.2mm、長さ 1cm が要求基準となっている。

次頁の図 2. 4-5、図 2. 4-6 は、上記で説明した要求精度を満足するのに必要な画像を UAV 搭載のカメラで取得するための撮影距離のうち、最長の長さを整理したものである。

3,600 万画素相当（距離 100m の解像度 13.9mm/px）のカメラを用いる場合には、要求精度である 0.2mm 以上のひび割れ幅に対しては、高度 5m 程度以下で視認可能である。

農業用水利施設のひび割れ等について、1,200 万画素（距離 100m の解像度 36.9mm/px）のカメラにより飛行高度 20～30m で撮影した時のひび割れ幅 10mm 程度以下の抽出率は 80%程度以上である。未抽出は植生被覆や泥等により見えない箇所である。

「図 2. 4-4」にて撮影高度と計測精度（「視認」精度の関係）、「図 2. 4-5」にて調査目的別の撮影高度を示す。

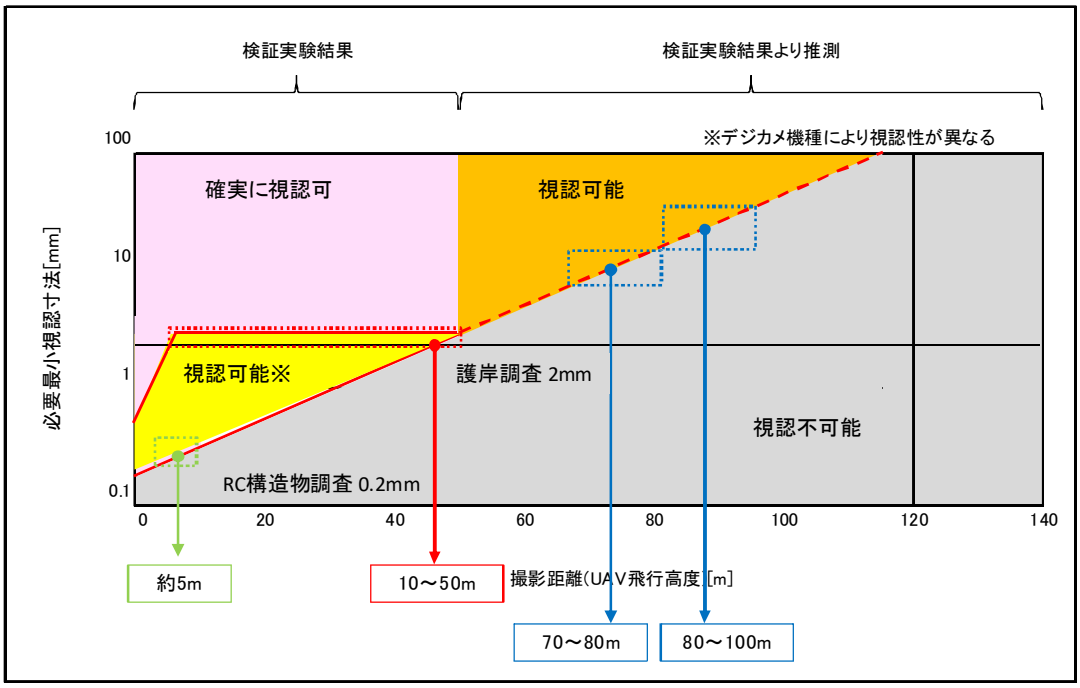
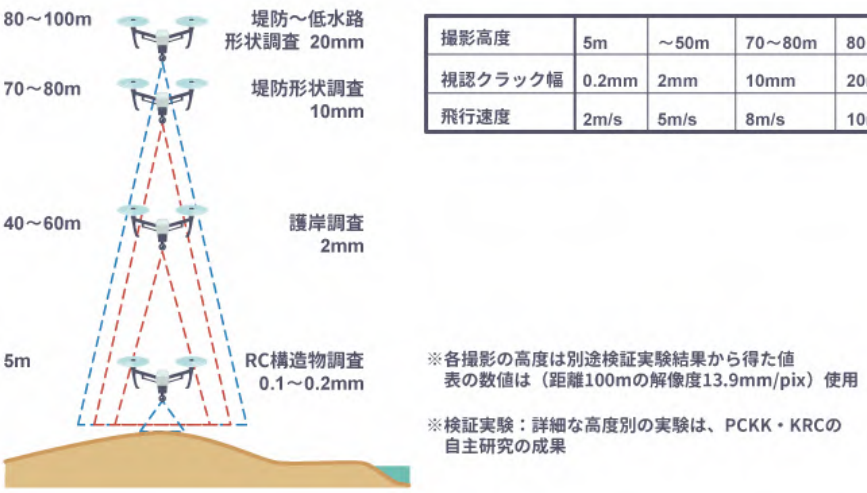


図 2. 4-4　撮影高度と計測精度（「視認」精度の関係）

出典：UAV による河川調査・管理への活用の手引き（案）【改訂版】p.26



撮影高度	5m	～50m	70～80m	80～100m
視認クラック幅	0.2mm	2mm	10mm	20mm
飛行速度	2m/s	5m/s	8m/s	10m/s

図 2. 4-5　調査目的別の撮影高度

【検討事例】----------

【解説】

UAV 計測点検手法の手引きでは、「農業水利施設の機能保全の手引き」、「農業用ダム機能診断マニュアル」および「海岸保全施設維持管理マニュアル」にあげられている変状項目について画素数が異なるカメラを UAV に搭載の上、実証調査が行われた。

実証調査で確認できた変状を表 2.4-3 に示す。

表 2.4-3　実証調査で確認できた変状

凡例）●現地確認、○確認可能（確認事例より判定）、△調査確認（条件付き）、－対象外

変状箇所	変状内容/点検内容		開水路	海岸保全施設	頭首工	用排水機場	ダム
点検数量化指標＊	ひび割れ		0.2mm	1mm	0.2mm	0.2mm	0.2mm
	抜け上がり		20cm	なし	なし	なし	なし
構造物自体	ひび割れ＊	Phantom3（解像度5.5～19.9mm）	△ 1mm≧	△ 1mm≧	△ 2mm≧	△ 1mm≧	△ 10mm≧
		Phantom4（解像度7.7～9.1mm）					
		焦点距離50mm（解像度1.7～7.4mm）	△ 0.5mm≧	△ 0.5mm≧	△ 0.5mm≧	△ 0.5mm≧	△ 0.5mm≧
		焦点距離135mm（解像度0.3～0.5mm）	●	●	●	●	●
	材料劣化	変色	●	●	●	－	●
		浮き	○	●	○	－	○
		剥離・剥落	●	●	●	－	●
		析出物（ｴﾌﾛｴｯｾﾝｽ、ｹﾞﾙ等）	●	●	●	－	●
		錆汁	●	●	●	－	●
		摩耗・すりへり・風化	●	●	●	－	●
		鉄筋露出	●	●	●	－	●
	変形・歪み	法線・天端高・はらみ出し	●	●	○	－	●
	欠　損　・　損　傷		●	●	●	－	●
	表面保護材の劣化・変形	剥がれ、段差、ズレ、変形	●	●	●	－	●
	建屋の劣化	壁面のひび割れ	－	－	●	●	－
		柱、梁、筋交いの亀裂	－	－	○	○	－
		変形、損傷、腐食	－	－	●	●	－
		屋根のひび割れ、反り	－	－	●	●	－
	目地等	目地開き、段差、相対移動	●	●	○	－	●
		継ぎ目のずれ、変形	●	●	○	－	●
		止水板の破断	●	○	○	－	●
		漏水（痕跡）	○	○	○	－	●
		周縁コンクリートの欠損	●	●	●	－	●
構造物周辺	不同沈下		●	●	○	●	○
	抜け上がり＊		○	○	●	●	○
	地盤陥没、ひび割れ		●	●	○	○	○

注）＊ひび割れ、抜け上がりは、手引き等に記載される点検数量化指標に対する確認評価を示す。

出典：UAV 計測点検手法の手引き（案）―海岸保全施設及び農業水利施設―、海岸保全施設及び農業水利施設国際航業株式会社、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構　p.22

2）撮影距離に対する撮影範囲と分解能の関係

地上（被写体）における写真解像度を固定して撮影を行う場合、撮影対象施設との距離及び撮影範囲はカメラのセンサーサイズとカメラの焦点距離によって決まる。

「図 2.4-6」に分解能 1mm/px のときの撮影範囲と撮影距離の比較を示す（分解能とは、被写体における写真解像度である）。

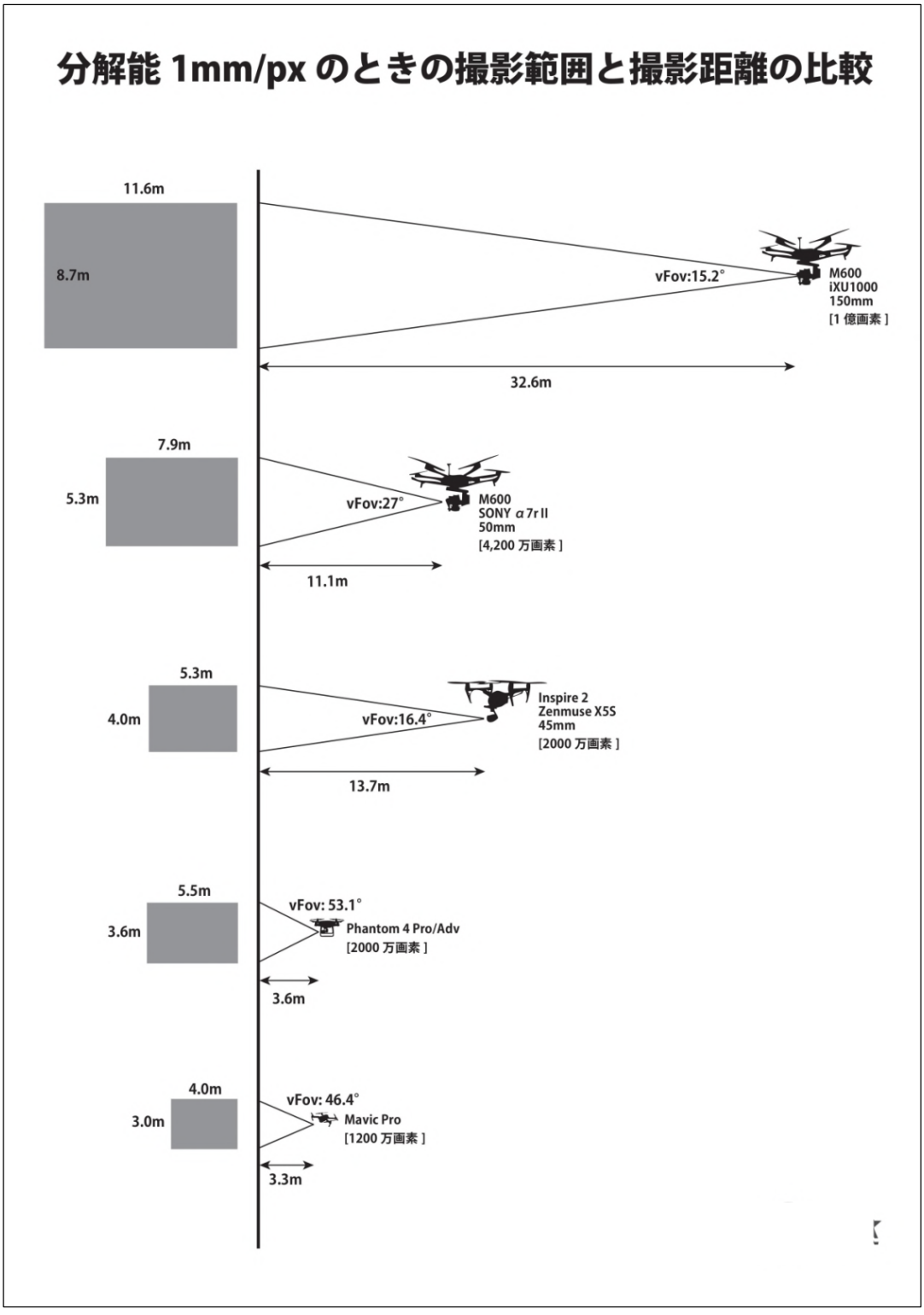


図 2.4-6　分解能 1mm/px のときの撮影範囲と撮影距離の比較（参考）

(4) UAV 撮影計画策定

1) 飛行時間

撮影計画における飛行時間は、地上と比べて上空の風が強いことや、飛行中のトラブル、着陸場所への帰還を考慮して、バッテリー全容量の 5 割程度の使用で着陸するよう余裕を持たせる必要がある。飛行距離を延ばす場合は、できる限りリスクを減らすためにフライト回数を増やして対応するよう心がける。その場合は、予備バッテリーを用意する。

2) バッテリー

バッテリーは気温の影響を受けやすく、撮影時の気温によってバッテリーの消耗時間が異なることに留意する。バッテリーはとりわけ寒さに弱く、特に寒冷地で作業を行う際には、予備のバッテリーが低温状態にならないように保温するなどの対策が必要となる。なお、バッテリーが低温状態になると、UAV を飛行させることができなくなる場合もある。

3) 撮影作業時間

自律飛行、手動飛行にかかわらず、一般的に PC（大半は送信機に取り付けたタブレット端末を指す）を UAV 監視モニタとしても利用している。こちらもバッテリーで稼動しているため、1 現場の撮影作業時間は PC のバッテリー寿命（約 3 時間）の制約を受ける。したがって、1 現場での撮影作業時間は 3 時間以内を標準として撮影計画を立案する。なお、PC 用の専用充電器等を準備した場合はこの限りではない。

4) 飛行速度の計算

UAV の飛行速度は、汎用機の場合メーカーの公式サイトによれば、時速 60km～80km 程度である。ただ、これらの数字は無風時を想定しており、気象条件や機体の状況により差が生じる。また、個体差がある可能性もある。

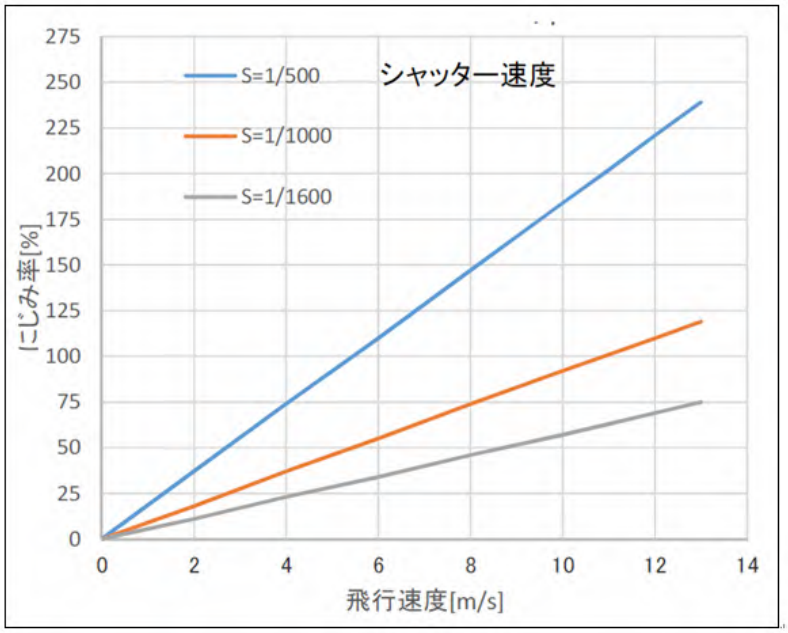
調査内容ごとに、飛行方法（自律飛行、手動飛行）、使用カメラの諸元（焦点距離、イメージセンサーのサイズ、画素数、シャッター方式等）、求める被写体における写真解像度を確保できる撮影高度、オーバーラップ率・サイドラップ率等の撮影条件によって、UAV の飛行速度を計算する。

5）シャッター速度

シャッター速度とは、写真を撮影する際シャッターが開放され、イメージセンサーがレンズを通した光にさらされる時間のことである。シャッター速度を速くするほど写真のにじみ（ぶれ）を抑えられるが、センサーの露光時間が短くなってしまう「表 2.4-3」。

シャッター速度は、撮影を行う環境の照度に応じて設定を行う必要がある。また、自律飛行で写真撮影を実施する場合には、常に UAV 機体が移動していることに留意が必要となる。

表 2.4-3　シャッター速度



出典：UAV による河川調査・管理への活用の手引き（案）【改訂版】p.37

【参考】画像の記録形式による留意点

RAW 形式での記録では画像の書き込み時間が長くなり、書き込みが終わらなければ次のシャッターは切れない。したがって SfM に用いる撮影は、撮影画像の書き込み速度の問題があるため、撮影時の飛行速度に留意する。特に汎用機は RAW 形式での書き込み時間が 5 秒程度かかるため、RAW 形式で記録させる場合、低速で飛行させなければならず工夫が必要となる。

6）撮影方法

農業水利施設は、ダム（ため池）、頭首工、揚排水機場、用・排水路、水管橋、分水工等、その種類も多く、施設によって形状もさまざまで、その形状にあった方法で撮影を実施する必要がある。更に、ひび割れ幅や錆等、機能診断の調査項目により撮影された画像に対する要求精度も異なるため、それらを満たす条件で写真撮影を実施しなければならない。また、使用する機材に搭載されているカメラの解像度、日照などの環境要因等による違いを抑えるため、撮影条件を可能な限り揃えることが必要である。

機能診断調査の内容によっては、動画や単写真を直接利用する場合もある。ただし、変状の長さやひび割れ幅を計測する場合には、写真解像度を勘案した計測用の写真撮影を実施する必要があり、その撮影ではカメラのズーム機能は使用してはならない。

なお、本書では地表面に対して直角方向の撮影を“鉛直方向の撮影”、その写真を“鉛直写真”と定義する。また、調査対象施設面に対して直角方向の撮影を“垂直方向の撮影”、その写真を“垂直写真”と定義する。

（A） 施設の撮影

「図 2.4-7」に示すとおり、オルソ画像作成を主目的とする場合には①の鉛直方向の計測用写真撮影を行う。ひび割れ幅の調査だけを目的とするのであれば、②の垂直方向の撮影を行う。施設全景の三次元モデル化が必要であれば①と②の撮影に加え、全方向（さまざまな位置と方向）からの撮影が必要となる。

また、撮影時の陰影部については、通常の撮影とは別に補完撮影を実施する。この補完撮影を実施することで、その後の SfM での処理が容易となる。

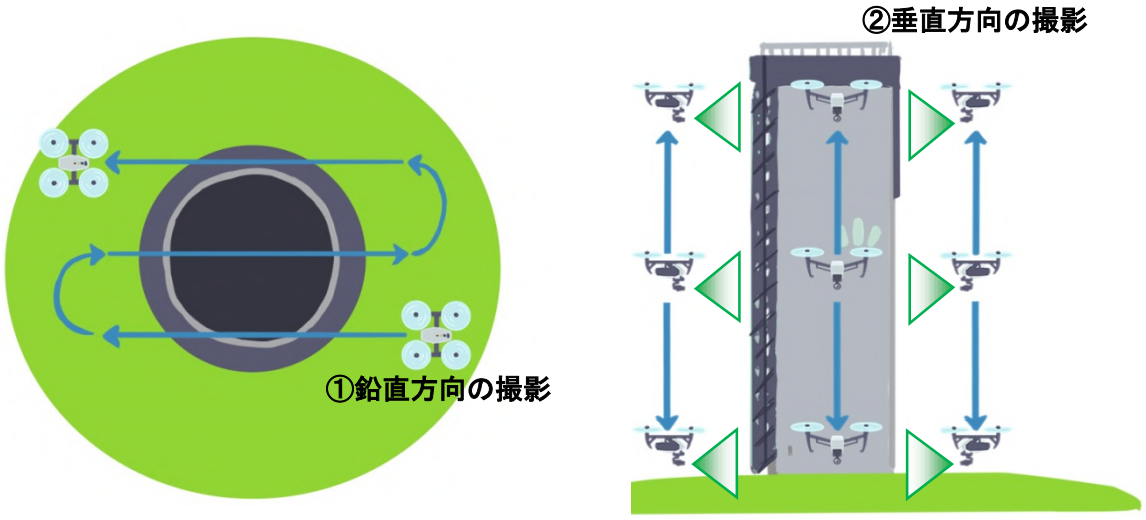


図 2.4-7　撮影方法イメージ

【検討事例】----------

【解説】

建屋の三次元モデル化を目的にした撮影方法・・・撮影画像の不足（撮影の死角）部分をなくすよう、さまざまな位置と方向から撮影を実施した事例を「図 2.4-8」に示す。

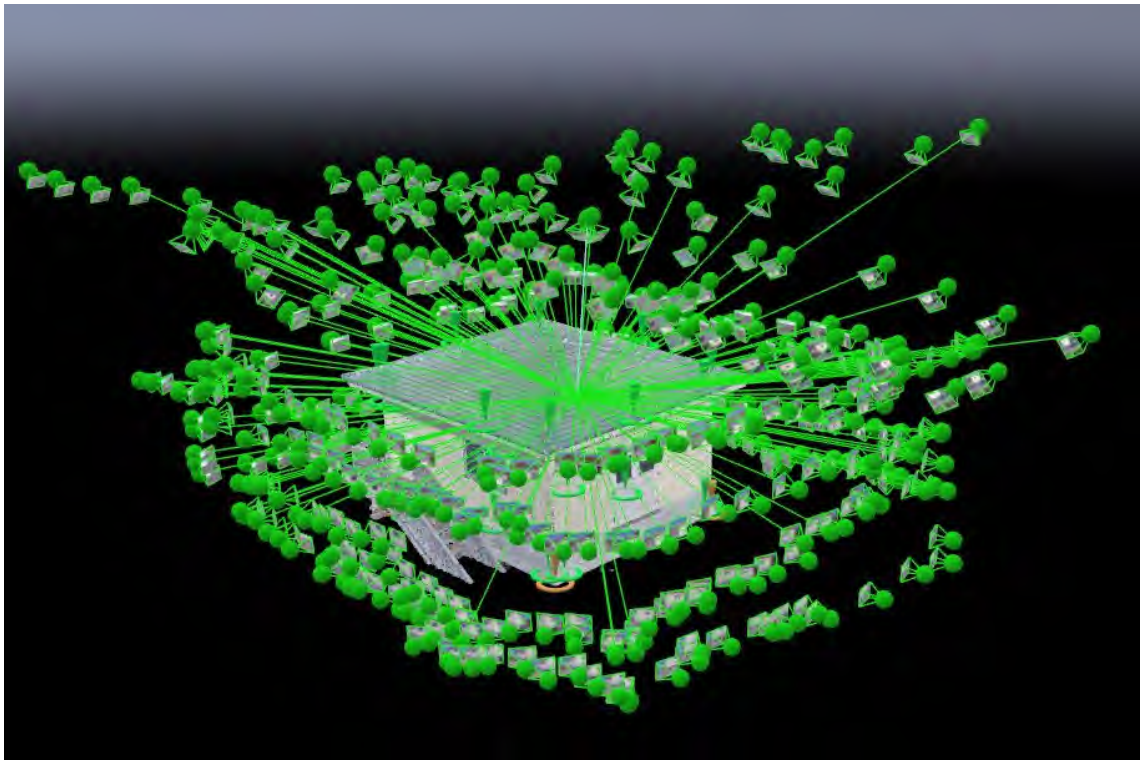
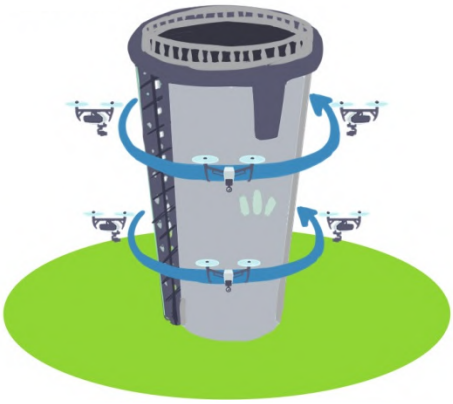


図 2.4-8　建屋における撮影方法事例

(B) 全方向撮影

高架水槽等の円柱状の施設の側面に対して、全方向撮影（円周ミッション）を実施する場合がある（右図、参照）。

全方向撮影は、施設に対して常に正対させて撮影(飛行させる)する特殊な撮影であるため、それ相応の UAV 飛行技術が必要となる。



全方向撮影イメージ

【検討事例】----------

【解説】

高架水槽の三次元モデル化を目的にした撮影方法・・・壁面と施設全体と分けて、撮影を実施した事例を「図 2.4-9」に示す。

① 壁面の撮影　　② 施設全体の撮影

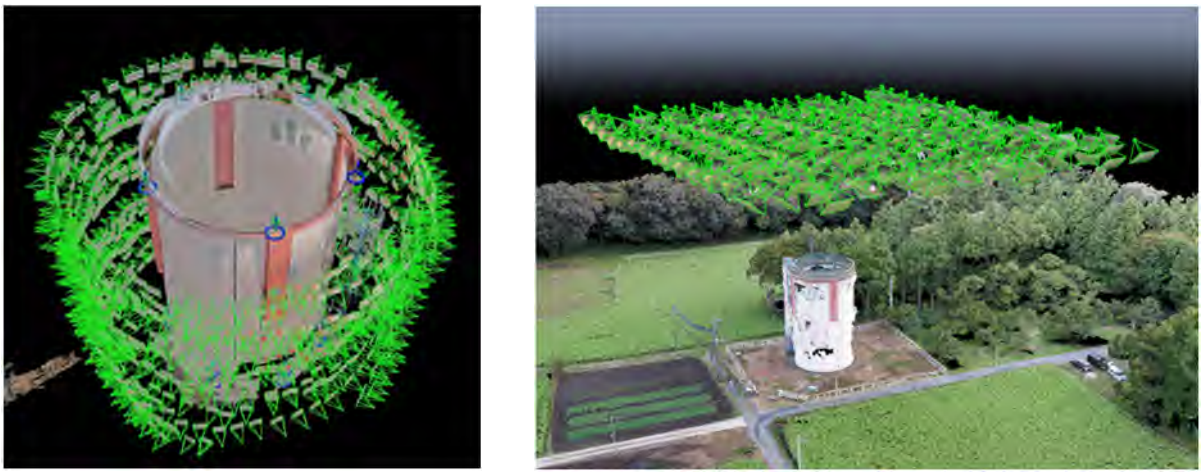


図 2.4-9　建屋における撮影方法事例

7）撮影コースの設定、画像間のオーバーラップ率の設定

UAV により撮影した計測用写真の重複は、進行方向に対するオーバーラップ（以下、OL：Over Lap）と、コース間に対するサイドラップ（以下、SL：Side Lap）がある「図 2. 4-10」。

なお、UAV の写真を SfM により画像処理する場合は、画像間の重複率が大きいほど出力される三次元モデルの精度が高くなる。なお、標準的な同一コース内の重複率（OL）：80%以上、隣接コースとの重複率（SL）：60%以上とされる。撮影コースは、計画した画像間のオーバーラップ率を考慮し、設定する。

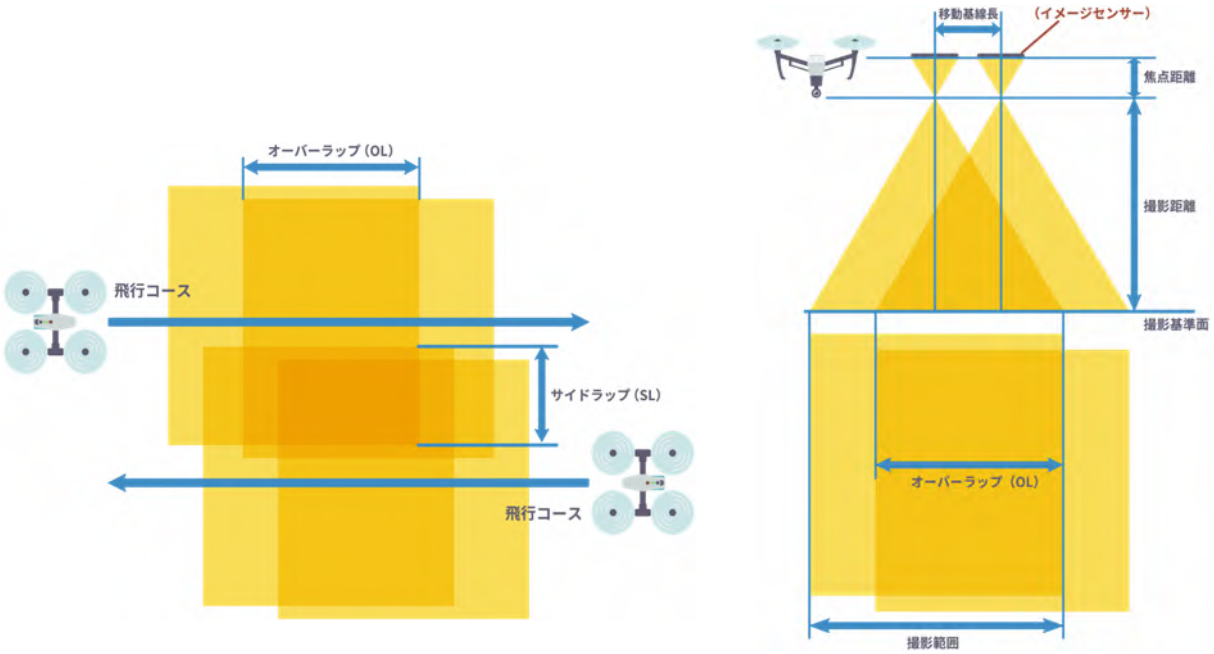


図 2. 4-10　写真画像の重複度

8）撮影計画立案

決定した飛行コースを基に、撮影画像のオーバーラップ・サイドラップ率「図 2.4-11」及び撮影に使用するデジタルカメラの焦点距離や画角等のカメラ諸元より UAV の撮影計画を立案する。

なお、「図 2.4-12」に示すように、高架水槽等の高い施設を鉛直方向に撮影する場合等では、施設の比高差により部分的に写真に写らない場合があるため、施設の高さを考慮した撮影計画を立てる。

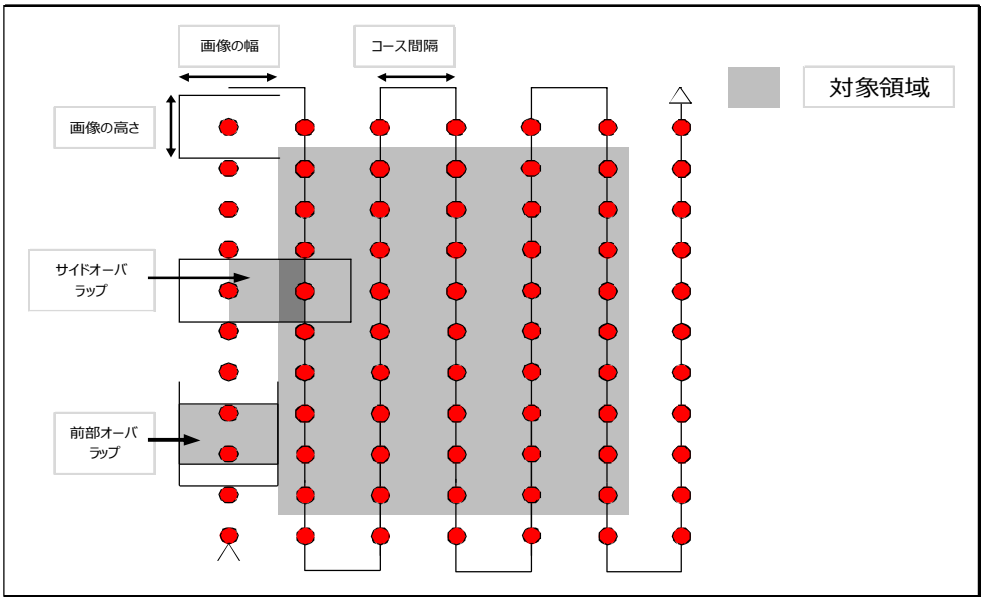
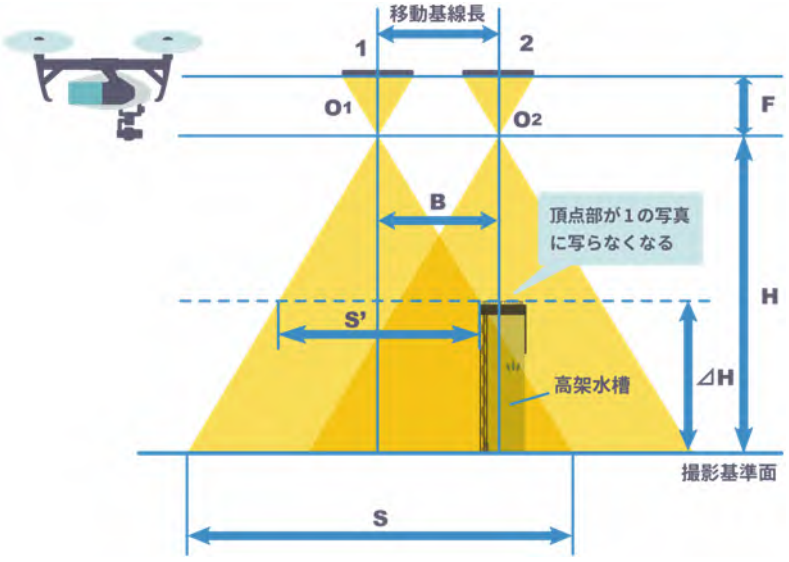


図 2.4-11　オーバーラップ・サイドラップ率の関係



1：左写真、2：右写真
O：カメラのレンズ焦点
F：カメラの焦点距離
B：移動基線長
H：撮影距離
ΔH：撮影距離
S：撮影範囲（地上部）
S'：撮影範囲（高架水槽頂点部）

図 2.4-12　オーバーラップ・サイドラップ率の関係

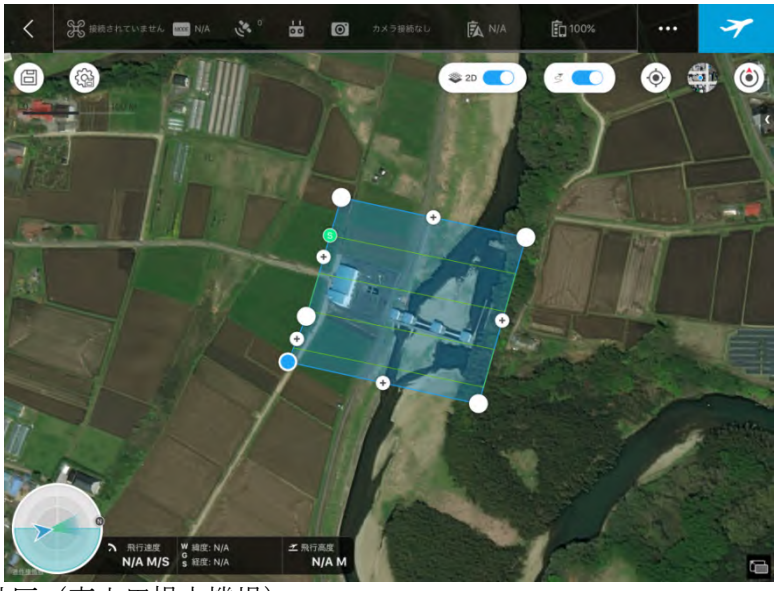
【作業事例】----------

【解説】

「図 2.4-13」に撮影計画の事例を示す。

撮　影　条　件：高度＝80m、OL＝80%、SL＝60%
「UAV を用いた公共測量マニュアル」に基づき条件を設定
地 上 解 像 度：2.0cm/px（高度 80m）垂直撮影時

◆芳賀台地地区（森田頭首工・森田揚水機場）



◆霞ヶ浦揚水地区（東山田揚水機場）

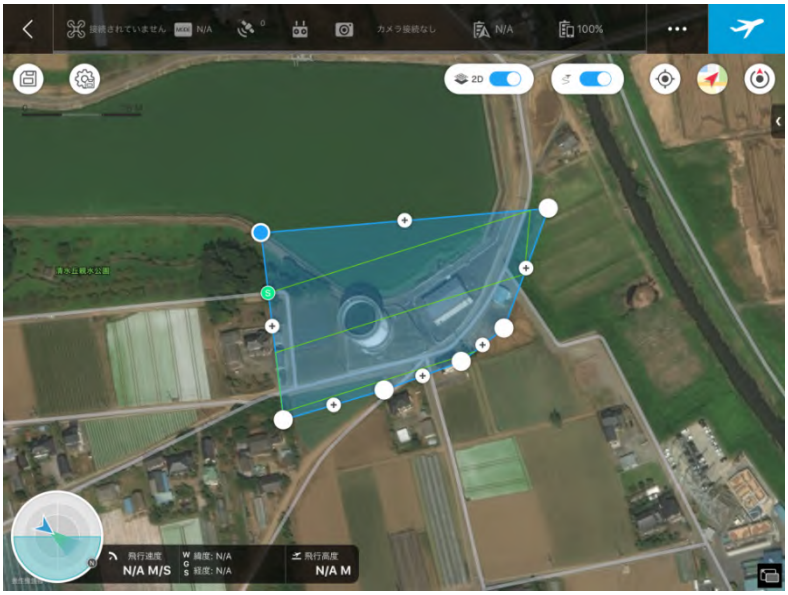


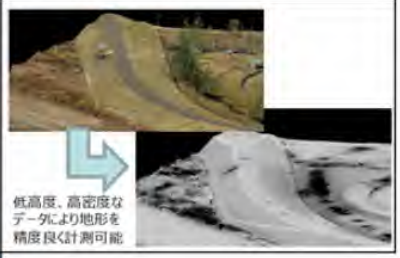
図 2.4-13　撮影計画事例

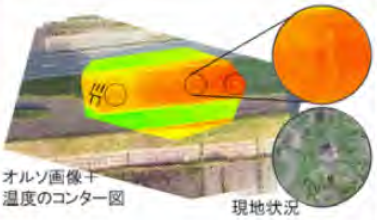
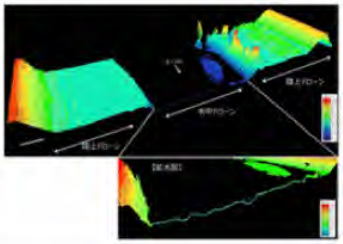
【検討事例】----------

【解説】

砂防設備点検における UAV の活用手引きでは、非 GPS 環境下でも安定した飛行ができる機体や夜間撮影が可能となる機体、UAV の弱点である飛行時間や悪天候、水中等を解決する機体の開発が進められている。

表 2.4-4　令和 2 年時点の UAV 技術

手法	写真撮影	写真測量	レーザ測量
概要	• 上空から写真撮影を行う。これより対象を把握する。	• 撮影した写真よりSfM解析により画像解析を行い、3Dデータ等を作成する。	• レーザプロファイラを搭載することで、レーザ測量を行う。
特徴	• 写真撮影のみのため、安価 • 拡大し、細かい変状等の把握が可能 • 撮影画像より、河床材料分布等が可能	• 水深が浅ければ水面下の地形把握が可能 • 規模によるが、レーザー測量(UAV、LP、地上)より安価	• 樹木が繁茂した箇所の地形も計測可能 • 航空レーザーより低高度で実施ができるため高密度なデータが得られる。
点検への適用	• クラックや陥没、法崩れ、植生異常、河道形状の変化など見た目の変化が生じる変状の評価が可能	• 左記に加えて、はらみだしや寺勾配など見た目と形状の変化が生じる変状の評価(定量化)が可能。	• はらみだしや寺勾配など形状の変化が生じる変状の評価(定量化)が可能で、植生がある場合においても適用可能。
制約	• 定性的な評価である	• 植生等がある場合、地形把握が困難。 • 写真の枚数に応じて解析コストが増加する。	• 水面下の地形は計測不可 • 写真測量に比べて高価
機材	• デジタルカメラ	• デジタルカメラ	• レーザプロファイラ
使用例			

手法	サーモグラフィ調査	グリーンレーザ測量
概要	• 赤外線カメラを搭載することにより、温度分布を可視化する。	• グリーンレーザを用いて水中部の地形を測量する。
特徴	• 護岸裏や法面裏の空洞、漏水のような温度差が出る変状を把握可能 • 光がない状況(夜間)でも撮影可能	• グリーンレーザを用いることにより、水面下の河床形状の測量が可能。
点検への適用	• 護岸等の背面の空洞やモグラ穴、漏水等の把握が可能。	• 水面下の護岸や基礎、床止め等の施設の変状、地形の変化
制約	• 温度分布の可視化であり、評価は定性的 • 通常の写真との比較も必要	• 適用範囲:水深2.5m程度まで • 現状は、ライン計測(面的計測不可)
機材	• サーモカメラ	• グリーンレーザ
使用例		

出典：砂防設備点検における UAV 活用の手引き（案）、国土交通省 北陸地方整備局　p.27

----

(5) 飛行計画の通報

ドローンの飛行に当たっては特定飛行の場合、飛行計画の通報が義務付けられている。また、特定飛行に当たらない場合でも飛行計画の通報と飛行日誌の作成は推奨されている。

1) 飛行計画

飛行計画の通報は、ドローン情報基盤システム（DIPS）における飛行計画通報機能（以下、通報システムという）を用いて電磁的に行う。

2) 飛行計画の通報事項

通報システムを用いて、次の事項を（通報事項）を明らかにする必要がある。

① 当該特定飛行の日時、経路
② 無人航空機の登録記号及び種類（試験飛行機等で登録記号を受けていない場合は、当該試験飛行に係る届出番号）
③ 無人航空機の型式（型式認証を受けた型式の無人航空機に限る）
④ 操縦者の氏名
⑤ 操縦者の無人航空機操縦者技能証明書番号（無人航空機操縦者技能証明書の交付を受けている場合に限る）
⑥ 許可又は承認（法第 132 条の 85 第２項若しくは第４項第２号の許可又は法第 132 条の 86 第３項若しくは第５項第２号の承認）の番号（許可又は承認を受けている場合に限る）
⑦ 飛行の目的、高度及び速度
⑧ 飛行させる飛行禁止空域及び飛行の方法
⑨ 出発地
⑩ 目的地
⑪ 目的地に到着するまでの所要時間
⑫ 立入管理措置の有無及びその内容
⑬ 無人航空機の事故等により支払うことのある損害賠償のための保険契約の有無及びその内容
⑭ その他参考となる事項

2.5 UAVによる現地調査

UAV による現地調査は、現地調査計画に基づき、基準点を設置した後、UAV による写真撮影等を実施する。UAV による撮影は安全に十分に配慮し、また、撮影後は速やかに画像等の点検を行い画像の品質を確保する。

【解説】

UAV による現地調査は、現地調査計画に従って実施する。なお、SfM で作成した三次元モデル上で変状の物理的な大きさや位置を計測するには、位置精度を保持した三次元点群モデルを生成する必要があることから、地上や調査対象施設に基準点を設置した後、UAV 撮影を実施する。

UAV 撮影は安全を確保するため、機体の点検、現地の状況（天気・風等）、撮影計画、人員配置と操縦者の技量を確認する必要がある。また、撮影した画像は、速やかに品質を確認し、画像や撮影手法に不具合があった場合には、必要な処置を施し再撮影を実施する。

1. 基準点の設置　(P.58)
   (1) 基準点

2. UAV 撮影の流れ　(P.62)
   (1) 機体の点検等
   (2) 現地における確認事項
   (3) UAV 撮影
   (4) 離発着時の留意点
   (5) 撮影後の確認事項

2.5.1　基準点の設置

機体を制御するための UAV 保有の GNSS 受信機は、軌道情報（カメラ撮影位置・撮影時の姿勢）が、それほど正確ではない。

UAV によって撮影した写真画像に正確に位置情報を与えるため、また、SfM 処理によって作成した三次元モデルに実寸法を持たせるために、地上や調査対象施設に基準点を設置し、その位置をトータルステーションなどの測量機器で測量する。その測量成果により UAV の軌跡を推定させ、求める測量精度を確保する。

（1）基準点

現地調査計画に従い現地において基準点を設置し、座標値（X、Y、Z）を測量し、SfM の画像処理時にその位置情報を付与する。なお、現場の状況や施設の形状によっては、基準点が設置できない場合があるが、その場合は、撮影写真上で位置が特定可能な地上の構造物や施設の形状変化箇所を代用することができる「図 2.5-1」。

基準点は、要求する位置精度によって配点するとともに、その精度に応じた測量を実施する必要がある。なお、基準点は、周辺と明確に識別でき UAV から視認可能な箇所に設置する。ちなみに 10cm 角程度のターゲットであれば撮影距離が 100m 以上でも確認できる。次頁「図 2.5-2」に基準点の設置状況例を、「図 2.5-3」に基準点の配点状況例を示す。

（地上点）　　（施設（代用点））

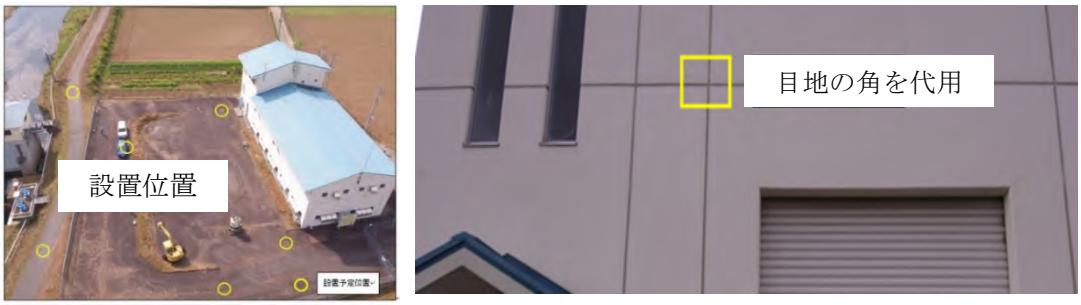
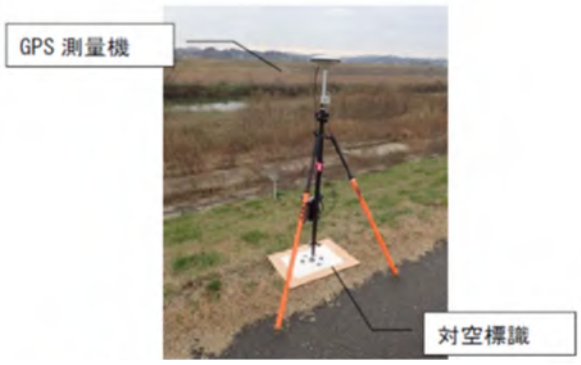


図 2.5-1　基準点の設置例

【ポイント】

- 施設の形状や範囲により、どれだけの数の基準点をどの位置に設置すればよいかの判断が難しい。SfM で作成する三次元モデルに精度よく実寸法を持たせるためには、計測範囲に 3 点以上のターゲットを偏りなく囲むように設置する。これを基本とするが、より精度を高めたいのであれば基準点の数を増やす必要が生じる。ただし、一定数を超えると撮影写真との関連性が崩れるため、画像処理を実施する上で悪影響を及ぼす場合がある。
- 機能診断にあたり、撮影画像の視認精度を高めるためには、撮影距離を短くすることが考えられるが、撮影高度を低くすることで GNSS の位置情報が遮断されやすくなるといった課題がある。

【作業事例】----------



基準点（ターゲット）の GNSS 観測状況_事例

図 2.5-2　基準点の設置状況例

出典：UAV による河川調査・管理への活用の手引き（案）【改訂版】p.39

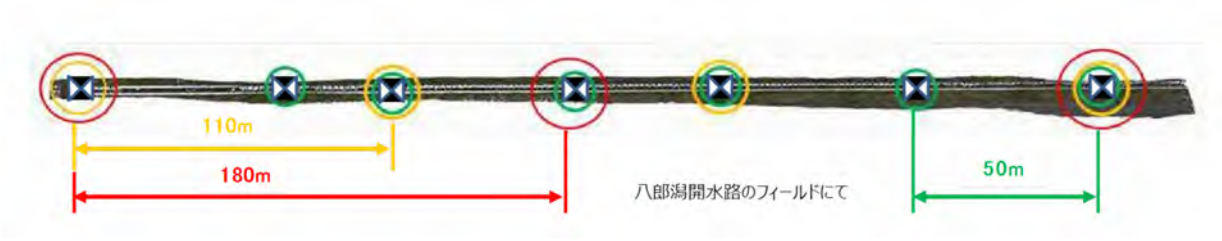


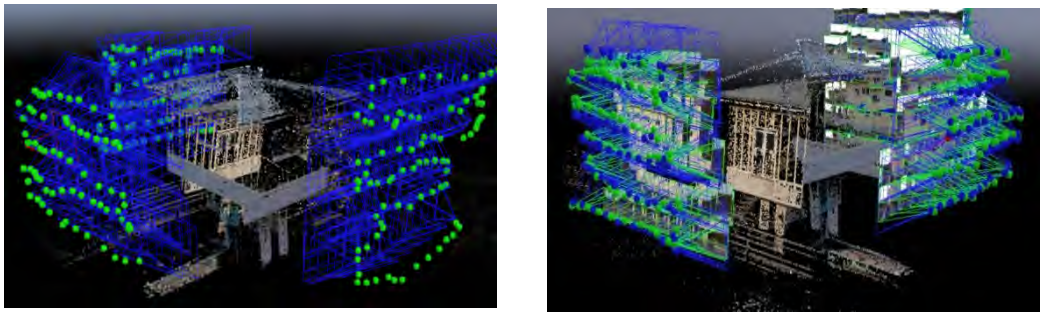
図 2.5-3　基準点の配点状況例（八郎潟開水路の事例）

出典：官民連携新技術研究事業 農業水利施設及び海岸保全施設のストックマネジメントのための無人航空機（UAV）の活用手引き（案）p.23

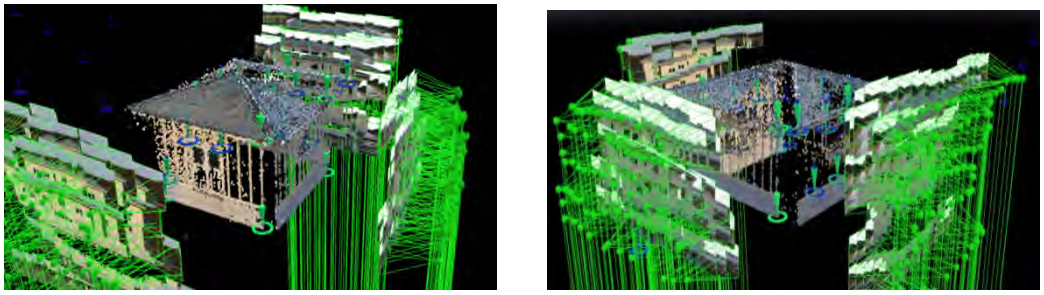
【作業事例】----------

【解説】

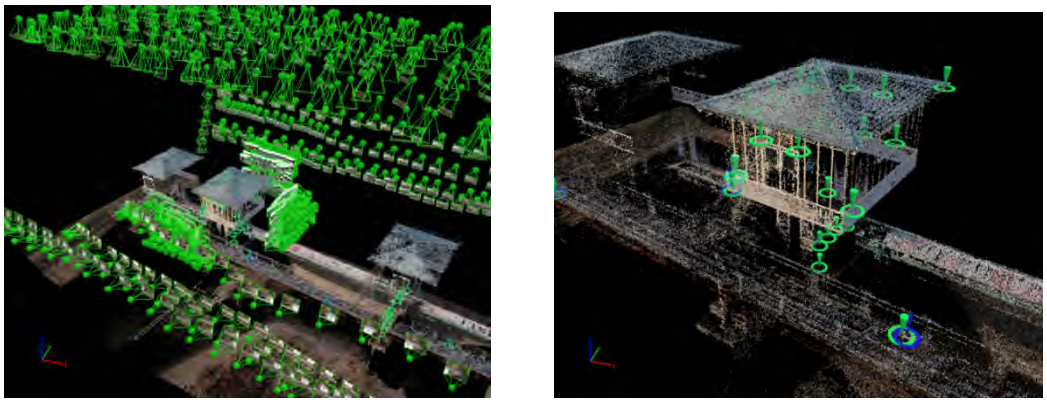
建屋は「図 2.5-4」に示すとおり、Exif 情報のみでは三次元モデル化されなかった。そこに、基準点の情報を与え、さらに補完用の撮影写真を加えることで三次元化することができた。



―Exif 情報のみ―



―Exif + GCP―



―Exif + GCP + 補完撮影―

図 2.5-4　SfM の処理（画像処理例）

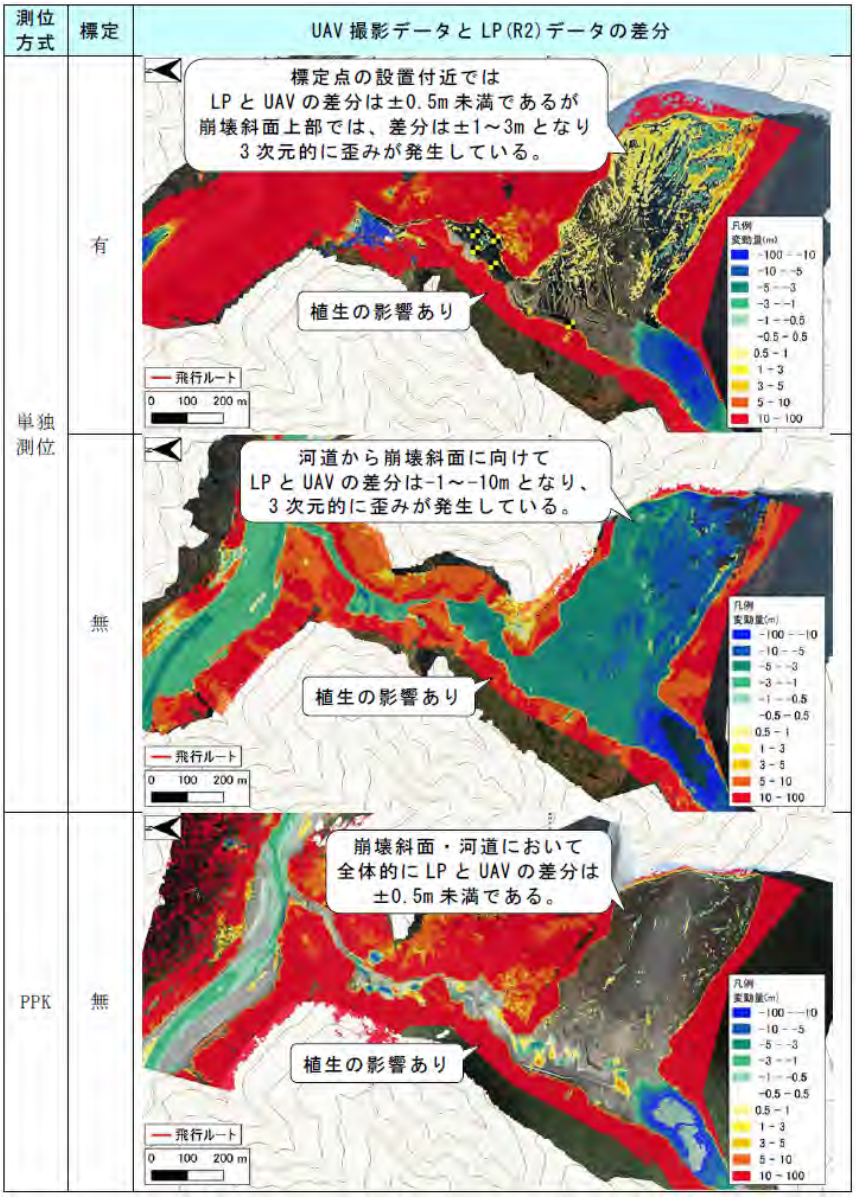
【検討事例】----------

【解説】

UAV の自律飛行による砂防関係施設の自動巡視・点検に関する手引きでは、標定点の設置が不要となる PPK※（Post processing Kinematic：後処理キネマティック）を用いて撮影を行い、3 次元点群データの精度が行われた。

その結果、単独測位の表定点有・無と比較しても斜面崩壊・稼働において±0.5m 未満の精度である上、3 次元的な歪みがなかった。

表 2.5-1　評定点なしによる 3 次元点群データの制度確認結果



出典：UAV の自律飛行による砂防関係施設の自動巡視・点検に関する手引き
近畿地方整備局　大規模土砂災害対策技術センター　p.5-7

※PPK を UAV に搭載することで、単独測位より精度の高い自己位置推定が可能になり、撮影写真の位置精度が向上するため、標定点の設置が不要となる。

2.5.2 UAV 撮影の流れ

UAV を安全に運用するためには、機体の点検、現地の状況（天気・風等）、撮影計画、人員配置と操縦者の技量等を総合的に判断する必要がある。

(1) 機体の点検等

UAV を安全に運用するためには機器の点検が重要となる。日頃からメンテナンスを実施するとともに、飛行前と飛行後に以下の項目について確認する。また、メーカーが定めた飛行回数、飛行時間のいずれかに該当する場合は、消耗品の交換を推奨する。

(A) 飛行前

- 機体、プロペラ、ケーブル等の外観に損傷、歪み、脱落等の異常はないか。
- 各機器（バッテリー、プロペラ、ジンバル・カメラ等）は、確実に取り付けられているか。
- プロペラを外した状態で、モーターの音、発熱、回転速度、臭い等の異常がないかどうか。
- 送信機と機体のバッテリーは、十分に充電されているか。また、予備も含めバッテリーの数は足りているか。

(B) 飛行直前

- 各機器は安全に取り付けられているか。ネジ類に緩みはないか。
- LED の点灯は正常か。
- モーターに異音はないか。
- プロペラに傷や摩耗はないか。
- バッテリーは満充電となっているか。
- 積載重量は適正範囲内か。
- 送信機との通信、撮影計画ソフトとの連動は問題ないか。
- 天候、風速などの気象条件に問題はないか。
- 周囲に電線や樹木等の安全飛行に障害を与える物がないか。
  ある場合には、十分な距離を保って飛行させることが可能か。
- 周囲に鉄板等、コンパスエラーが起こりやすい場所や物はないか。
- 高度制限、距離制限、障害物検知機能等の設定が正常であるか。
- 第三者が周囲に居たり、立ち入ったりしていないか。第三者からは 30m 以上の距離を保って飛行できるか。

【ポイント】

コンパスキャリブレートが、「異常」のまま UAV を飛行させると、真っ直ぐに飛ばなかったり、斜めに飛んだりと、正常に飛行させることができない。思わぬ事故やアクシデントに繋がりかねないため、適時、コンパスキャリブレーションを行う「図 2.5-5」。

図 2.5-5　コンパス
キャリブレーション実施風景

(C) 飛行中

- 離陸、着陸共に姿勢は安定しているか。
- ホバリングや飛行は安定しているか。
- GNSS（GPS）の感度は安定しているか。
- 機体全体の動きは正常か。
- プロペラは正常に回転しているか。
- ステータスに異常はないか。
- 機体が障害物や第三者に近づいたり、鳥等が近づいたりしていないか。
- バッテリー残量が十分に帰還できる状態であるか。
- 気象や風量に変化はないか。

(D) 飛行後

- 機体に塵、ゴミは付着していないか。
- 発熱している機器はないか。
- プロペラに亀裂や欠け等の損傷はないか。
- モーターやバッテリーに異常な発熱はないか。

(E) その他、確認事項

- 冬季の屋外等、気温が低い環境では、バッテリーの性能が著しく低下するので、事前にバッテリーを暖めておく。
- デバイスの OS、アプリ、機体、送信機、バッテリーのバージョンが最新か確認する。
- 飛行場所を変えた場合や飛行が安定しない場合には、再度コンパスキャリブレーションを行う。
- 20 時間の飛行毎に以下の事項について無人航空機の点検を実施する。
  - ・交換の必要な部品はあるか
  - ・各機器は確実に取り付けられているか（ネジの脱落やゆるみ等）
  - ・機体（プロペラ、フレーム等）に損傷やゆがみはないか
  - ・通信系統、推進系統、電源系統及び自動制御系統は正常に作動するか

(2) 現地における確認事項

UAV を実際に飛行させるために確認すべき事項を下記に記載する。これらの事項について確認を怠ると、重大な事故等に繋がる恐れがあるため、確実に実施しなければならない。

(A) 天候

現地飛行予定時間の気象情報を確認し、急激な天候の変化がないことを確認する。飛行に適している天候は「晴れ」もしくは「曇り」が好ましいが、光量が多すぎるとハレーションが起こり、少ないと撮影画像が暗くなるため注意が必要である。

一般的にドローンは、降水時に飛行させると雨水やごみがモータ等の機体内部に入り込み、故障の原因となる。最悪の場合は墜落の恐れがあるため、降雨時の飛行は取りやめること。また、雷が聞こえたら、すみやかに飛行を中止すること。

(B) 風速

UAV の機体性能には風速にどの程度耐えられるかが記載されているが、安全面を考慮すると地上風速 10m/s 以上の場合は原則として飛行を中止する。上空では地上よりも風速が強い場合が多々有り、設定している飛行ルートと乖離してしまう可能性があるためである。

急な気象の変化・突風が起きる等の可能性は常にあるため、一時中断のための判断を下せるよう必要時には風向きを確認する（右写真、参照）。

風速計による測定事例

(C) UAV 撮影計画と現地の整合性

作成した飛行ルートは撮影諸元どおりか。また、作成した飛行ルート上に自動航行を妨げる障害物（樹木・電線等）はないか等、撮影計画との整合性を現地において最終確認する。

(D) チェックシート

UAV を安全に運航させるため、UAV を飛行させる前に必ず機体の安全管理を実施する。

次頁の「表 2.5-2」にチェックシートのサンプルを示す。

表 2.5-2　チェックシートサンプル

【 UAV運航点検　チェックシート 】

日　時:	平成	年	月	日	:		操縦者:				
場　所:	人口密集地に該当　□する　□しない						補助者:				
目　的:											

※飛行対象機種について該当項目を確認し、安全飛行に影響がないことを確認したものに☑マークを記入する。該当しない項目には☒を記入する。

① 事前準備	制御ソフト	□最新版のソフトウェア(OS,オペレーションソフトなど)					
	GPS	□飛行予定日のGPS情報(衛星情報の事前確認)					
	フェイルセーフ	□フェイルセーフ動作の事前設定と動作確認					
	プロポ	□プロポのキャリブレーション(レバー操作と、制御ソフトの正常な連動)					
	飛行計画	総飛行予定時間　　分					
		撮影条件					
	バッテリー	必要電源容量		□耐熱,耐火運搬用具の準備			
② 現地確認	気象条件現地実測	天気	気温　　℃	気圧　　hpa	※2分間観測値 瞬間最大風速10m/s以上は飛行禁止		
		風向　　度	風速 平均　　m/s	最大瞬間　　m/s			
	障害物の確認	□障害物の確認 無線局アンテナ,電波塔,鉄塔,鉄道架線,テレビ・ラジオ放送局など		電波状況の確認	□電波状況の確認 スペクトルアナライザーなどによる電波状況確認		
	役割分担	□操縦者　□運行管理者(時間・風速など)　□撮影者　□誘導員			安全掲示	□第三者へ明示資料の掲示(看板など)	
③ 電源OFF 機体準備	機　体	□ネジ類の緩み	□プロペラの固定	□プロペラのキズや摩耗	□フレームのガタツキ		
		□手動回転によるモーターの異音、ザラつき		□コネクター部の腐食	□配線ケーブルの損傷		
		□計器類の固定(GPSマスト,フライトコントローラー,電源系ケーブルなど)					
	ジンバルカメラ	□機体とジンバルの固定	□ジンバルとカメラの固定				
		□ケーブル類の接続	□ケーブル類の適度なたるみや緊張				
		□撮影予定枚数(保存容量)　　枚　　GB					
	バッテリー	□バッテリーID					
		□バッテリーセル数	□容量　　mAh				
		□実測電圧　最大値　　V　最小値　　V　(最大-最小の差が0.03V以内が安全利用の目安)					
		□バッテリーの固定	□バッテリーの接続	□飛行時間の目安　　分			
	バランス	□総重量	□重心				
	プロポ	□スロットル"ゼロ"	□スロットルの物理的破損	□レバーの方向			
		□モード確認					
	その他	□不要なモバイル機器の電源OFF					
④ 電源ON 離陸前確認	時　間	起動開始時間　　時　　分					
	コンパス	□コンパスキャリブレーション					
	バッテリー	□バッテリー残量					
	機　体	□プロペラの正常な回転	□プロペラ回転時の異常な振動や音				
		□駆動系の異常	□LEDライト(警告灯などの状態)				
		□計器類のセンサー異常(GPSマスト,フライトコントローラーなど)					
		□計器類の異常な振動(GPSマスト,フライトコントローラー,電源系ケーブルなど)					
	ジンバルカメラ	□ジンバル・カメラの異常					
		□シャッターの制御	□ジンバルの制御	□画像転送			
	プロポ	□電波状態	□バッテリー残量				
	オペレーションソフト	□飛行計画の確認　□フェールセーフの設定					
		□機体,カメラ,プロポ等との連動、機体情報の正常な受信					
	その他	□離陸方向の確認(風上順守)	□操縦者以外の人と機体との距離(30m以上順守)				
		□周囲の確認, 第三者の接近					
⑤ 電源ON 離陸後確認	安定性操作性	□ホバリングの安定性　地上(3～5m目安)					
		□プロペラやモーターの音					
		□プロポ操作との連動性					
		★動作確認　□前後移動　□左右移動　□左旋回・右旋回					
	機体情報	□HDOP感度(GPS)の状態	□高度情報	□距離情報	□バッテリー残量		
⑥ 着陸後確認	目視確認	□プロペラの亀裂や破損					
		□機材やバッテリーの異常な発熱					
		□ジンバル・カメラの破損					

バッテリー交換毎に、②→③→④→⑤を必ず実施する。　　ver.04

□・・チェック箇所　　・・記入箇所

(E) 事故発生時の対応

国土交通省では、UAV の飛行による人の死傷、第三者の物件への損傷、飛行時における機体の損失、又は航空機との衝突もしくは接近事故が発生した場合の情報提供を求めており、事故が発生した場合には、直ちに事態の詳細を国土交通大臣へ報告する必要がある。

そのため、UAV を飛行させる場合は、事故などの非常時に備えて事前に土地管理者や土地所有者などの連絡先を把握しておく必要がある。万一、UAV の飛行による事故等が発生し負傷者がでた場合には、その救済を第一に優先させ、二次災害が起こらないよう十分に注意を払って、以下の順序で行動する。

(ア) 負傷者の救護（救急車の要請含む）
(イ) 事故の続発防止措置（安全のため機体からバッテリーやプロペラを外す）
(ウ) 消防への連絡や消火活動
(エ) 警察への通報（墜落して見失った場合、遺失物届を提出）
(オ) 関連各所への連絡（施設管理者、土地所有者、保険会社、国土交通省等）

(F) 事故・重大インシデントの報告

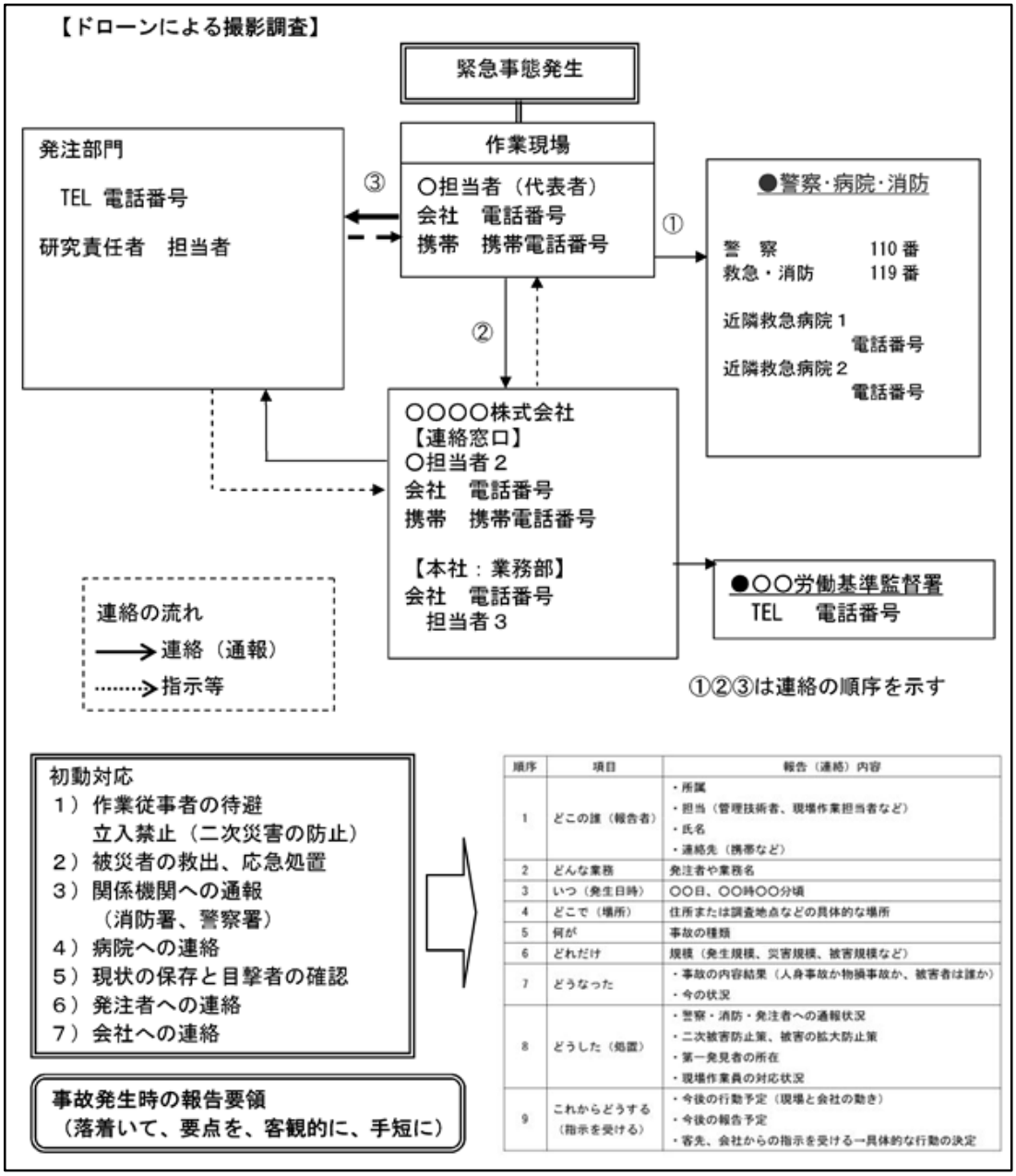
無人航空機に関する事故または重大インシデントに該当する事態が発生した場合は、ドローン情報基盤システム(DIPS 2.0)の事故等報告機能を用いて、報告先官署宛てに速やかに報告を行う。

(ア) 事故
・無人航空機による人の死傷（重傷以上の場合）
・第三者の所有する物件の損壊
・航空機との衝突又は接触

(イ) 重大インシデント
・航空機との衝突又は接触のおそれがあったと認められるもの
・無人航空機による人の負傷（軽傷の場合）
・無人航空機の制御が不能となった事態
・無人航空機が発火した事態（飛行中に発生したものに限る）

(G) 連絡体制

現地作業時に事故・災害が発生した場合には、被害を最小限にとどめるように適切な措置を講じるとともに、「図 2.5-6　緊急時の連絡体制図」にしたがって、速やかに必要関係各所に連絡する。



順序	項目	報告（連絡）内容
1	どこの誰（報告者）	・所属 ・担当（管理技術者、現場作業担当者など） ・氏名 ・連絡先（携帯など）
2	どんな業務	発注者や業務名
3	いつ（発生日時）	○○日、○○時○○分頃
4	どこで（場所）	住所または調査地点などの具体的な場所
5	何が	事故の種類
6	どれだけ	規模（発生規模、災害規模、被害規模など）
7	どうなった	・事故の内容結果（人身事故か物損事故か、被害者は誰か） ・今の状況
8	どうした（処置）	・警察・消防・発注者への通報状況 ・二次被害防止策、被害の拡大防止策 ・第一発見者の所在 ・現場作業員の対応状況
9	これからどうする（指示を受ける）	・今後の行動予定（現場と会社の動き） ・今後の報告予定 ・客先、会社からの指示を受ける→具体的な行動の決定

図 2.5-6　緊急時の連絡体制図の例

(H) 運航実績の記録、管理

ドローンの飛行に当たっては特定飛行の場合は飛行日誌の作成が義務付けられている。また、特定飛行に当たらない場合でも飛行計画の通報と飛行日誌の作成は推奨されている。

飛行日誌は、以下の 3 点で構成される。

① 飛行記録

② 日常点検記録

③ 点検整備記録

【飛行記録】

飛行記録の作成においては次の事項に留意すること。

A) 無人航空機を飛行させた都度記載する

B) 直近の整備以降の飛行記録を携行する

表 2.5-3 無人航空機の飛行記録

無人航空機の登録記号 REGISTRATION ID OF UAS	

無人航空機の飛行記録
JOURNEY LOG OF UAS　　(NR.　　)

飛行年月日 FLIGHT DATE	飛行させた者の氏名 NAME OF PILOT	飛行概要 NATURE OF FLIGHT	離陸場所 FROM	着陸場所 TO	離陸時刻 OFF TIME	着陸時刻 ON TIME	飛行時間 FLIGHT TIME	総飛行時間 TOTAL FLIGHT TIME	飛行の安全に影響のあった事項 MATTERS AFFECTED FLIGHT SAFETY

記事 REPORT	発生年月日 SQUAWK DATE	不具合事項 FLIGHT SQUAWK	処置年月日 ACTION DATE	処置その他 CORRECTIVE ACTION	確認者 CONFIRMER

国土交通省（無人航空機の飛行日誌の取扱要領）　ホームページの URL：
https://www.mlit.go.jp/koku/content/001574394.pdf

【日常点検記録】

日常点検記録の作成においては次の事項に留意すること。

A) 無人航空機を飛行させた都度記載する

B) 無人航空機の設計製造者が指定する日常点検様式がある場合は、下表に代えて日常点検記録とすることが可能である

C) 紙媒体で日常点検記録を作成・管理する場合は、操縦者は無人航空機の飛行にあたり、直近の日常点検記録を携行する

表 2.5-4　無人航空機の日常点検記録

無人航空機の登録記号 REGISTRATION ID OF UAS	

無人航空機の日常点検記録
DAILY INSPECTION RECORD OF UAS

(NR.　　)

点検項目 INSPECTION ITEMS		結果 RESULT	備考 REMARKS
機体全般 UAS GENERAL	機器の取り付け状態（ネジ、コネクタ、ケーブル等）		
プロペラ PROPELLER(S)	外観、損傷、ゆがみ		
フレーム FLAME	外観、損傷、ゆがみ		
通信系統 COMMUNICATION SYSTEM	機体と操縦装置の通信品質の健全性		
推進系統 PROPULSION SYSTEM	モーター又は発動機の健全性		
電源系統 POWER SYSTEM	機体及び操縦装置の電源の健全性		
自動制御系統 AUTOMATIC CONTROL SYSTEM	飛行制御装置の健全性		
操縦装置 FLIGHT CONTROL SYSTEM	外観、スティックの健全性、スイッチの健全性		
バッテリー、燃料 BATTERY, FUEL	バッテリーの充電状況、残燃料表示機能の健全性		
特記事項 NOTES			

実施場所 PLACE	実施年月日 DATE	実施者 INSPECTOR

国土交通省（無人航空機の飛行日誌の取扱要領）　ホームページの URL：
https://www.mlit.go.jp/koku/content/001574394.pdf

【点検整備記録】

日常点検記録の作成においては次の事項に留意すること。

A) 無人航空機を飛行させた都度記載する

B) 無人航空機の故障等の不具合に起因する故障探求、是正処置等に関する整備作業の実施状況を記載する

C) 操縦者は無人航空機の飛行にあたり、全ての点検整備記録を携行する。

D) 無人航空機の設計製造者等により点検整備等が行われ、専用の様式に点検整備の記録が記載された場合には、下表に代えて日常点検記録とすることが可能である

表 2.5-5　無人航空機の点検整備記録

無人航空機の登録記号 REGISTRATION ID OF UAS	

無人航空機の点検整備記録
INSPECTION AND MAINTENANCE RECORD OF UAS

(NR.　　)

実施年月日 DATE	総飛行時間※ TOTAL FLIGHT TIME	点検、修理、改造及び整備の内容 DETAIL	実施理由 REASON	実施場所 PLACE	実施者 ENGINEER	備考 REMARKS

※前回の機体認証を受検するにあたり実施した点検整備以降の総飛行時間を記入する。機体認証を受けていない無人航空機は、点検整備作業を実施した時点での総飛行時間を記入するものとする。

国土交通省（無人航空機の飛行日誌の取扱要領）　ホームページの URL：
https://www.mlit.go.jp/koku/content/001574394.pdf

(3) UAV 撮影

撮影時に施設までの距離を測定する必要がある場合には、測定用テープや測量機器（ノンプリズム型のトータルステーション）、市販のハンディー型の距離測定器等を用いて行う（右写真、参照）。

なお、「図 2.5-7」のような頭首工堰柱等、垂直方向の飛行に際しては、以下の事項に留意する。

ハンディー型
距離測定器の例

① 垂直方向の構造物に対して手動操縦となるため、一定の距離を保った状態で写真を撮影することが難しい。

② UAV から垂直方向に対しての撮影は高度計を確認することで可能であるが、水面の場合は高度を正しく計測できず、高さを安定させることが難しい。

図 2.5-7　手動飛行風景

(4) 離発着時の留意点

UAV を離発着させる際には、以下の事項を徹底する。

① 風上に向かって離･着陸を徹底

UAV は基本的に風上に向かって離陸、着陸させる。風上側に飛行している時は揚力にも余裕がありモーターの出力を温存できるが、逆に風下側に飛行する時には、揚力に余裕がなく、モーターの出力を高くしないとうまく飛行できない。

② 操縦関係者以外は 30m 以上機体から離れることを徹底

UAV は外的要因（離陸直後の突風による転倒：回転するプロペラと地面が接触）やオペレータの集中力の低下等から制御不能に陥り、突如暴走する可能性も否定できない。操縦関係者（操縦者、撮影者）以外は、離着陸地点から 30m 以上機体から離れることを徹底し、基本的にその付近での作業は一時中断する。また、必要に応じて看板を設置し、作業内容等を明示する。

なお、プロペラは 8,000rpm で高速回転する刃物のようなものであり、大きな怪我や事故につながる恐れがあるため、操縦者、撮影者ともに十分に注意する必要がある。

(5) 撮影後の確認事項

撮影した画像は直ちに品質を確認し、画像の乱れや撮影漏れなどの不具合があれば、その原因を特定（画像そのものか、あるいは飛行の影響によるものなのか）し、必要な対策を講じて再撮影を実施する。その際には、要求内容や当日の天候に応じて、対象施設やターゲットの向きを勘案した撮影方法を検討する必要がある。例えば、施設の側面を計測したい場合には、対象となる面が影で暗くならないような時間帯に再撮影を実施しなければならない。

「図 2.5-8」に撮影時間による対象施設の陰影例を示す。

図 2.5-8 撮影時間による対象施設の陰影

出典：官民連携新技術研究事業 農業水利施設及び海岸保全施設のストックマネジメントのための無人航空機（UAV）の活用手引き（案）p31

2.6 SfM による画像処理

UAV を活用した機能診断調査における撮影成果は、機能診断調査の変状検出に活用することを前提としていることから、 SfM による画像処理を実施し、変状等の確認に適した形式に加工する必要がある。

【解説】

UAV を活用した機能診断調査では、鉛直写真及び対象物と正対するような垂直写真をもとに変状の検出を行う。これらの撮影画像を SfM に取り込み、画像処理を実施し、オルソ画像を生成することで、概略の施設の形状、施設全体について劣化状況と損傷規模を面的に把握する。また、SfM の画像処理により得られた三次元モデルから、写真画像では判断しづらい高さ（不陸や高低差等）の変状を施設全体について面的に把握する。

1. SfM（SfM :Structure from Motion）　（P.74）
   (4) SfM による画像処理
   (5) 三次元モデル構築

2. 入出力のデータフォーマット　（P.78）

3. 成果品と活用方法　（P.80）

2.6.1 SfM (SfM :Structure from Motion)

現在国内では、普及している主な SfM は下表のとおりであり、それぞれの特徴を「表 2.6-1」に示す。

表 2.6-1　国内で使用されている主な SfM

製品名	Pix4DMapper	ContextCapture （旧 Smart3DCapture）
メーカー	Pix4D 社	BentleySystems 社 （旧 Accute3D 社）
開発国	スイス	アメリカ （旧フランス）
特　徴	撮影画像を用いた精細なキャリブレーション補正で極めて高精度。 国内及び欧米で実績が多い。	カメラレンズのキャリブレーション補正を解析処理時に同時に行わない。 画像マッチングに特化している。

注）市販のソフトの他、オープンソースからも入手可能である。

・SfM では、複数の UAV で撮影した画像や手持ちカメラの画像を組み合わせて三次元モデルを生成することもできる。

(1) SfMによる画像処理

SfMによる一般的な画像処理の流れを「図2.6-1」に示す。SfMで画像処理を行なって得られた三次元モデルは、相対的な位置関係の情報であり、地理空間座標が定義されていない。そのため、モデル上の複数の基準点の座標を関連づけることによって地理空間座標を定義する。

この手順で、UAVで撮影した画像から、撮影範囲が三次元モデルとして再現され、その中の施設構造物の形状も三次元の座標データとして生成される。

また、必要に応じて、三次元モデルに撮影した画像から生成した色を貼り付け、より現実的なモデル（DSM：Digital Surface Model）への加工やオルソ画像を作成することができる。

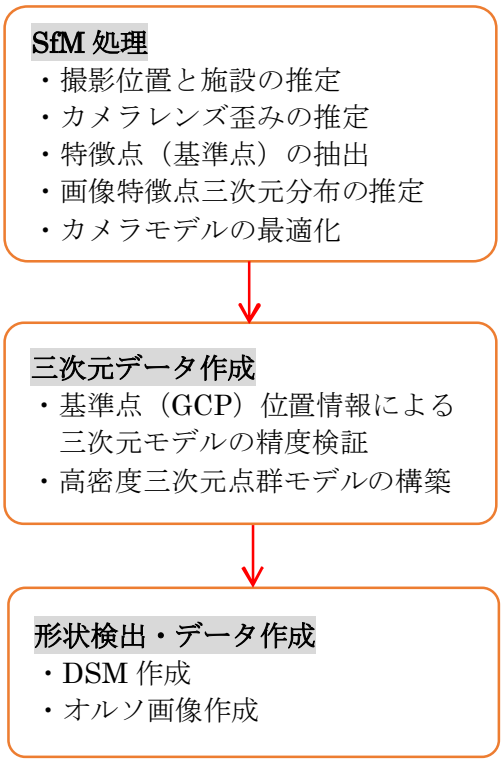


図2.6-1　SfMによる画像処理手順

【ポイント】

センサーサイズの小さいカメラで撮影した写真は1枚に写る範囲が狭いため、特徴点の抽出が難しくなり、三次元モデルが正常に作成されない恐れがある。また、小規模な構造物を調査する場合、一定方向だけの撮影では特徴点の抽出やカメラ位置の決定が十分でなく、三次元モデルが構成できなくなる恐れがある。このため、補完用の写真撮影も行う必要がある。

SfMによる画像処理においては、このような留意点や課題があることを十分に理解して、UAVによる撮影を実施する。

【画像処理事例】----------

【解説】

SfM による PC タンクの三次元化の画像処理事例を「図 2.6-2」に示す。

① DSM：Digital Surface Model

SfM による画像処理により三次元点群データが作成され、そのデータをクリーニングして施設表面の三次元点群データが整備されるが、それだけでは点の集合体なので、通常はサーフェスモデル（３つの点を結んだ三角形に面＝ポリゴンを貼った三次元モデル）を生成し、さまざまな調査や解析等に用いる。

② 三次元オルソ

サーフェスモデルに写真画像を貼れば三次元オルソが、それを正射投影すればオルソ画像が作成できる。

図 2.6-2　SfM 処理（三次元解析例）

----

(2) 三次元モデル構築

SfM による三次元モデル構築の実施例を「図 2.6-3」に示す。なお、この実施例は、確立された標準的な実施手順ではなく、使用する SfM によっては適合しない場合もあるため留意する。

① 使用する写真の選別

撮影した複数の写真の中から処理に使用する写真を選別し、画像処理を実施する。なお、処理が正常に実行されない場合には、写真の入れ替えや不正な処理の原因となる写真を取り除く。

② 写真と基準点の関連付け

写真画像と基準点との関連付けが少なく不正な処理となる場合は、写真画像と基準点の関連付けを増やしたり、任意の特長点を追加したりする。

③ 写真の解析の実施

解析の処理が終われば特徴点が抽出され、カメラ位置が特定される。カメラ位置、基準点の測量誤差の確認を行い、誤差が大きい場合や三次元形状が正確に復元されていない場合は、使用する写真を厳選し、①～③の手順を繰り返し行い、正しい処理結果となるまで解析を繰り返す。

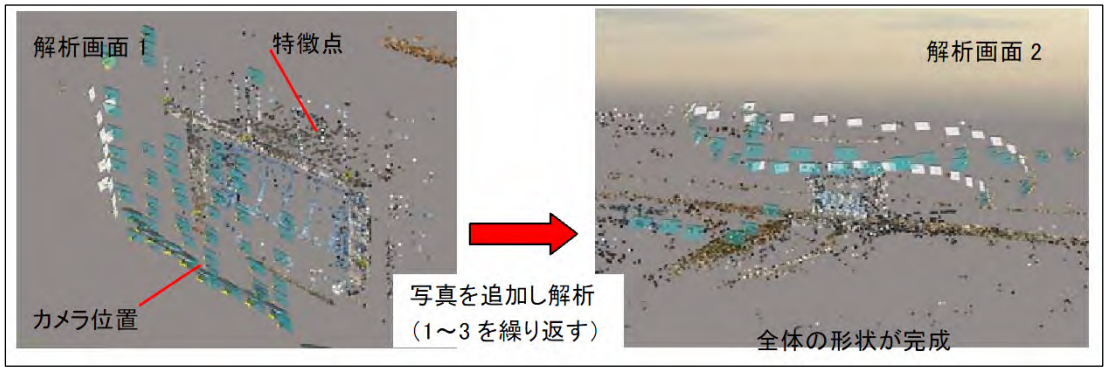


図 2.6-3　三次元形状の復元イメージ

出典：UAV による河川調査・管理への活用の手引き（案）【改訂版】p.85

2.6.2 入出力のデータフォーマット

SfM の画像処理によって得られた点群データは、汎用的な TXT 形式、もしくは LAS 形式で入出力できる。これらのデータは、CAD ソフトに取り込むことにより図面作成等、汎用的な利用が可能となる。

2.6.3 成果品と活用方法

撮影した画像を SfM により画像処理を実施し、オルソ画像を生成することで、概略の施設の形状、施設全体について劣化状況と損傷規模を面的に把握することが可能となる。また、SfM の画像処理により得られた三次元モデルから、写真では判断しづらい高さ（不陸や高低差等）の変状を施設全体について面的に把握することができる。

UAV で撮影した画像をもとに作成する成果とその活用方法を「表 2.6-2」に示す。

表 2.6-2　成果品の活用例

基礎データ	成果	活用方法
画像	単写真 （画質調整画像）	オリジナルの写真画像を拡大表示し、詳細な状況を検出する。 日射状況により暗い写真画像等は、明るさやコントラストを変えることで、検出できることがある。
	オルソ画像 （位置情報保有）	施設全体の概略の損傷状態を把握する。また、連続する損傷が存在する場合、その位置の特定、長さ（延長）、範囲等を計測する。
三次元点群データ	等高分布図 等高線図	三次元モデルの標高を一定の高さごとに色分け表示することで、画像のコントラストの変化による高低差が検出しやすくなる。 施設の面的な陥没、隆起や沈下を検出する。
	縦断面図	天端の標高を連続で把握したり、施設の不陸や目地の段差等を検出し、絶対的、相対的な高さを計測する。
	横断面図	三次元モデルから任意の断面図を作成することで、不陸を検出し、絶対的、相対的な高さを計測する。

2.7　赤外線カメラ（サーモセンサー）

現在、UAV に搭載可能な赤外線カメラ（サーモセンサー）は数種類あり、その中には汎用機に取り付け可能なカメラも含まれ、機能診断調査における赤外線カメラの利用も有望視されている。

【解説】

赤外線による機能診断は、施設構造物を構成する材質や熱的性質の違いによって生じる物体の表面温度の温度変化の速さが異なることを利用し、空洞や漏水等の変状部と健全部との温度の違いを熱画像中から抽出し判定する解析技術である。

検出できる変状の深さは、最大で 5 ㎝程度で、内部に空気層を持つコンクリートの浮きやはく離・剥落、塗膜の浮きや剥がれ等が調査対象となる。よって、水槽やダム等のコンクリート構造物における機能診断調査では、効果を発揮することが期待される。

（赤外線カメラの例）

1. 赤外線調査方法　（P.80）
   (1) 接触型温度計の設置
   (2) 画像解析

2.7.1　赤外線調査方法

(1) 接触型温度計の設置

赤外線画像撮影時には、撮影時の温度環境を同時に計測することが望ましいため、温度計を設置する。使用する温度レコーダーの仕様例を「表 2.7-1」に、外観状況、設置状況を「図 2.7-1、図 2.7-2」に、設置個所例を次頁の「図 2.7-3」に示す。

表 2.7-1　撮影に使用する温度レコーダーの仕様例

寸法・性能	
測定チャンネル数	1ch
温度測定範囲	-40～80℃
温度精度	平均±0.5℃
測定表示分解能	0.1℃
センサー	サーミスタ内蔵
応答性	熱時定数：約 25 分
記録間隔	1 秒～60 分（15 通り）
記録容量	16,000 データ

図 2.7-1　外観状況例

図 2.7-2　設置状況例

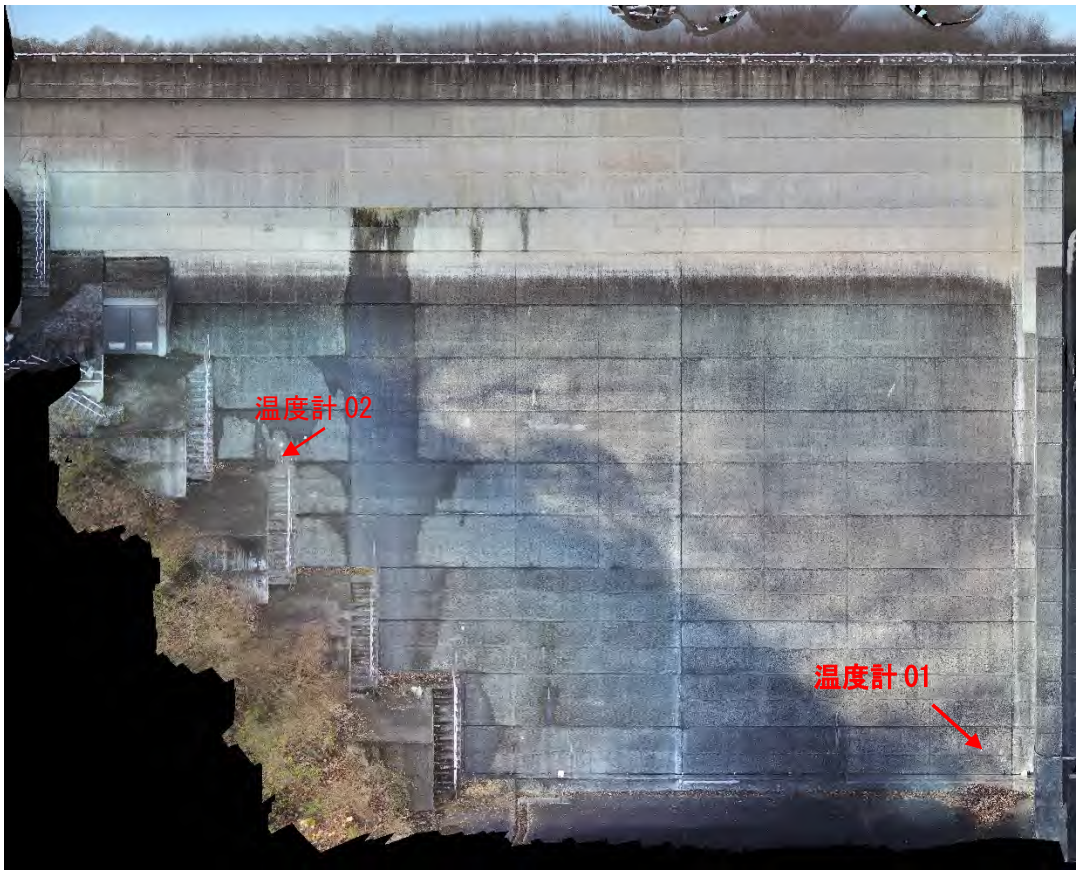


図 2.7-3　温度計設置状況

※画像は、UAV によって撮影された可視画像（オルソ画像）及び、赤外線画像を使用した。

(2) 画像解析

1) 赤外線画像接合による解析

現地で撮影記録した施設のデータは、「図 2.7-4」に示すフローにて画像処理を行い、漏水・浮き・剥離部は熱画像を用い、ひび割れ、鉄筋露出、錆汁、遊離石灰、塗膜剥離等の変状については、可視画像から目視で確認する。

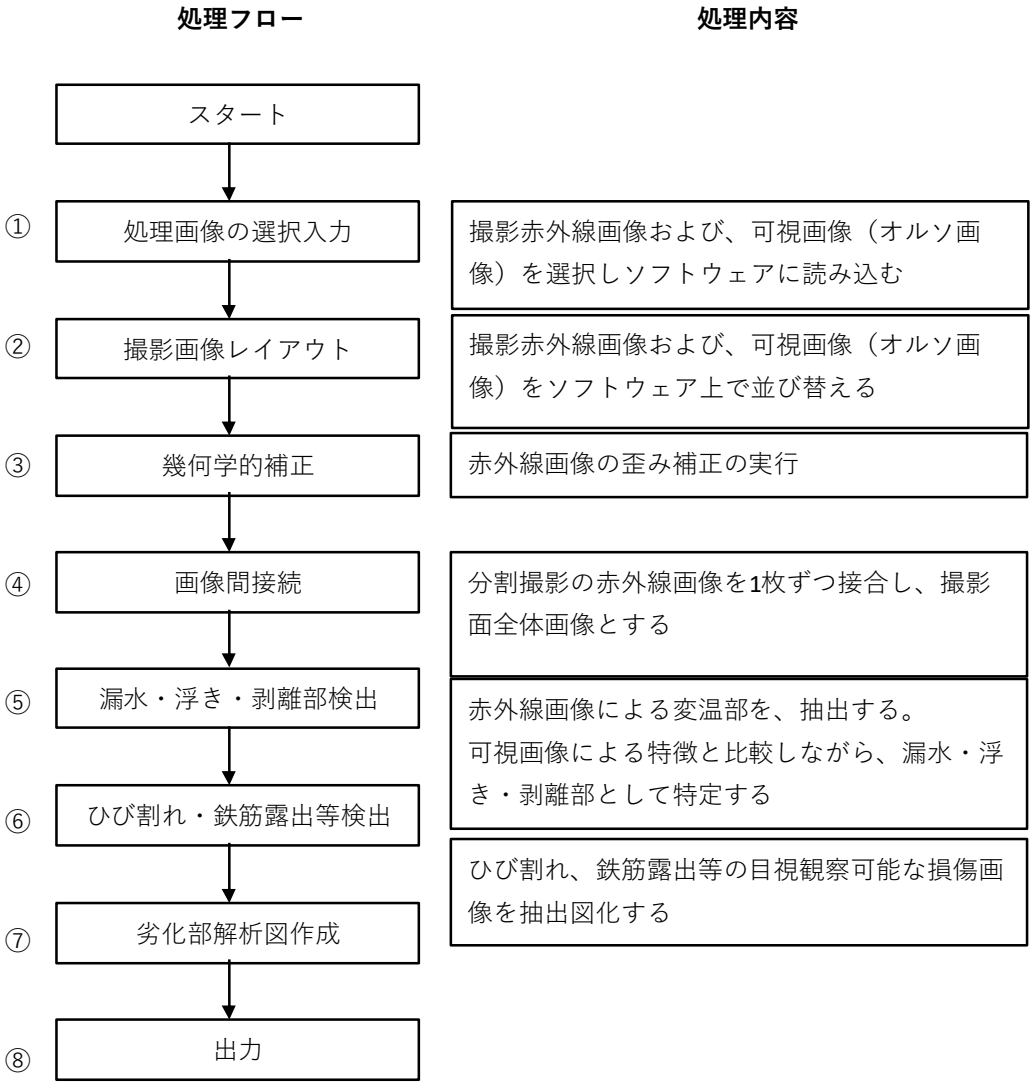
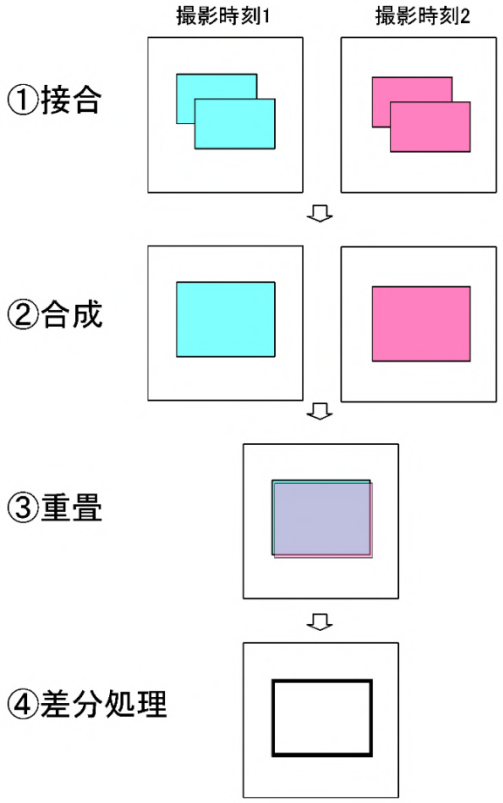


図 2.7-4　画像処理のフロー

2）差分処理による解析

接合された２時刻の画像の差分を求めることで、２時刻の温度変化の可視化を行う。差分処理は、撮影時刻の異なる画像を異なるレイヤーに接合、合成し、ソフト上で重なっている画素の差分を行い、その結果を赤外線画像として出力する「図 2.7-5」。



同じ箇所の撮影を 2 時刻で行い、接合する。

それぞれの時刻で画像を合成し、合成する。

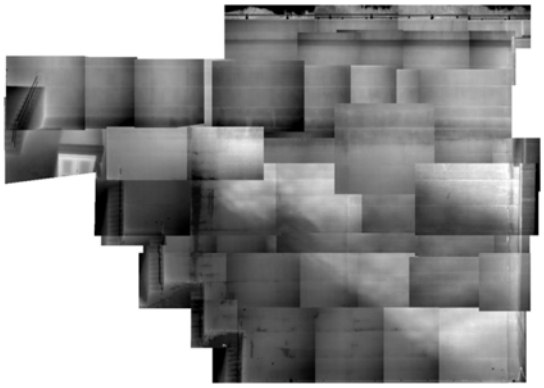
2 時刻の画像を重ね合わせる。

差分処理を実施する。

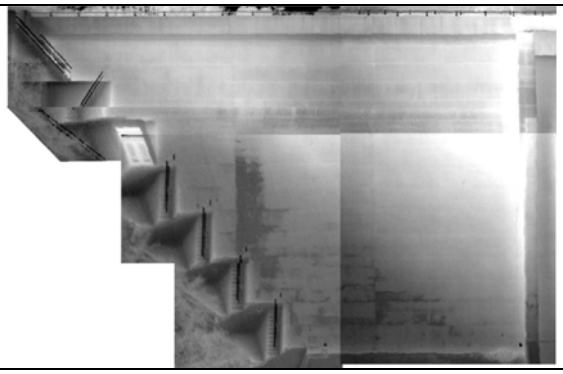
図 2.7-5　差分処理

【作業事例】----------

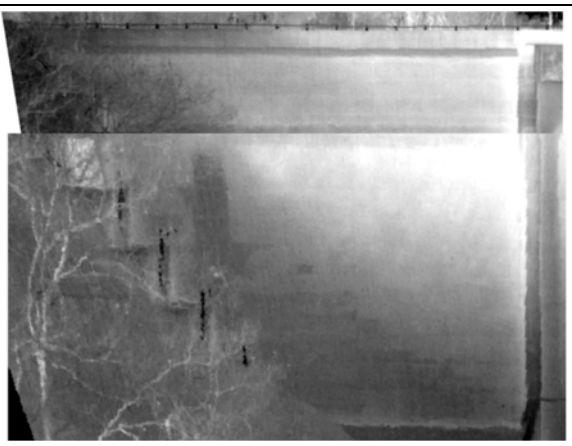
（１）可視画像



（２）赤外線画像（午前 10mm/px）



（３）赤外線画像（午前 50mm/px）



（４）赤外線画像（午前 70mm/px）

図 2.7-6　差分処理の作業事例

2.8 機能診断評価

UAV を活用した機能診断における機能診断評価は、損傷図等の画像処理結果を用いて行う。評価方法は、通常の機能診断評価手法に基づくものとし、損傷図等から現地調査票を作成し、施設状態評価表により健全度評価を行う。

【解説】

UAV を活用した機能診断における機能診断評価は、要求精度を満たした損傷図等の画像処理結果により、施設状態評価表を用いて行う。機能診断調査結果は、情報共有及び変状の進行状況のモニタリングが可能となるようデータベース化を図る。

なお、ひび割れ自動抽出ソフト等のソフトウェアも撮影条件によって精度の限界があり、目視調査と比較して正確性が低いところがある。表面上の判断しかできないため、触診、打診等、従来の点検方法との併用が望ましい。

1. ひび割れ自動抽出ソフト　（P.87）

2. 機能診断評価の手順　（P.88）

2.8.1 ひび割れ自動抽出ソフト

現在市販されている代表的なひび割れ自動抽出ソフトには、「Kuraves-Actis」とクラウド上で処理を行う「ひびみっけ」がある。それぞれの特徴を「表 2.8-1」に示す。

表 2.8-1　ひび割れ自動抽出ソフト

ソフト名	Kuraves-Actis	ひびみっけ
開発社 （販売先）	（株式会社保全工学研究所）	富士フィルム株式会社
特　徴	・画像の濃淡でひび割れを診断する。 ・オルソ画像から診断できる。 ・画像の補正及び結合が可能。 ・円柱形状の施設は画像処理で補正することで診断可能。	・単写真からひび割れを診断する。 ・ＡＩ技術でひび割れを診断している。 ・クラウド上で処理を行う。 ・クラウド上でのデータ保管期限があり、期限を過ぎると取り出せなくなる。 ・損傷図として利用している画像は見せるためだけのものである。 ・円柱形状の施設は処理できない。 ・処理可能な写真枚数は一回あたり３０枚以内。
HP	http://www.kuraves-navi.com/software_a/	https://fujifilm.jp/business/material/infraservice/

2.8.2 機能診断評価の手順

各評価項目に対して、具体的な機能診断評価手法を「表 2.8-2」に示す。

表 2.8-2　機能診断評価手順

評価項目	要求精度	機能診断評価手法	備考
ひび割れ	ひび割れ幅 0.2mm ひび割れ長 1cm	・定点範囲のオルソ画像を用い、ひび割れをトレースし、損傷図を作成する。損傷図により、ひび割れの長さを計測する。 ・ひび割れ幅は、オルソ画像での計測は現状では困難であり、以下の手法で推定する。 ① クラックスケールシートを用い、ひび割れの濃淡によりひび割れ幅を推定する。 ② ひび割れ解析ソフトを用い、ひび割れ幅を推定する。	ひび割れ段差については、段差の生じる恐れのある無筋コンクリートの貫通ひび割れ等について、ひび割れ幅を勘案して実施する。
その他の変状 ：浮き、剥離剥落、析出物、錆汁、鉄筋露出	1cm	・定点範囲のオルソ画像を用い、各変状を確認し、変状の種別を特定する。オルソ画像ではその他変状種別が確認しがたい場合は、画像劣化のない単写真により確認する。 ・定点範囲のオルソ画像を用い、各変状範囲をトレースし、損傷図を作成する。損傷図により、その他の変状内容、その他変状の範囲、箇所数を計測する。	
摩耗	5mm	・定点範囲のオルソ画像を用い、摩耗範囲の標準的な骨材の大きさの測定、剥離等の状況を確認し、摩耗程度（細骨材露出、粗骨材露出、粗骨材剥離）を特定する。 ・定点範囲のオルソ画像を用い、摩耗範囲をトレースし、損傷図を作成する。損傷図により、摩耗範囲を計測する。 ・三次元モデルより計測する手法により、摩耗深さの計測も可能である。	
変形	1mm	・定点範囲のオルソ画像を用い、任意の垂直２点を（定点＝測線）を設定し、その傾きで変形量を計算する。	調査計画時に対象構造物により、画像処理内容を検討する。 例えば、排水機場等の樋管であれば、抜け上がりを確認する。
沈下	2cm	・標高分布図により、定点範囲全体の沈下程度を把握し、沈下が想定される範囲について、任意の断面図を作成し、その断面図を用い沈下量を測定する。	

【作業事例】

【ひび割れ自動抽出ソフトによるひび割れ解析】

デジタル画像により撮影したひび割れは、一般的に取得した画像を白黒２値に変換し、ひび割れの幅や長さを抽出する方法と、取得した画像を白～黒の 256 色（グレー階調）に変換し、ひび割れ幅や長さを抽出する方法がある。後者では、グレー配色（256 色）することにより、汚れやコンクリート表面の色調差によって２値化では抽出の難しいひび割れについても抽出が可能である。「図 2.8-1～図 2.8-3」に原画像、２値化した画像、グレー変換した画像例を示す。２値化では、濃度で２値に分け、一定以上の値を黒、それ以外を白として表現するため、原画像では表示されていたひび割れ部分も白色になってしまうことがある。

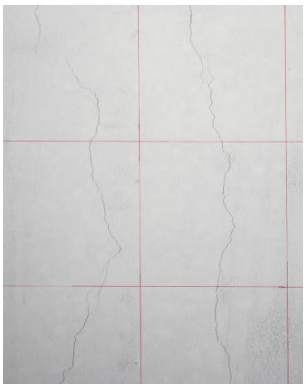


図 2.8-1　原画像

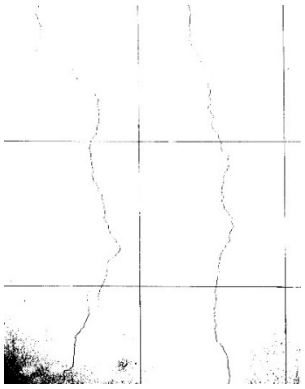


図 2.8-2　２値化画像

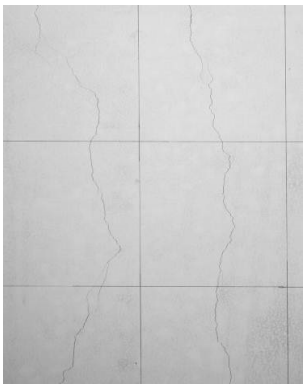


図 2.8-3 グレー画像

デジタル画像からひび割れを抽出する際は、1px の 20%程度までのひび割れを抽出できると言われており（武田他、2001 参考文献）、この原理からひび割れの最小検知サイズを決定する。ひび割れは、デジタル画像で撮影した際は、拡大すると「図 2.8-4」の様に撮影されており、ひび割れの濃度が場所によって異なっていることがわかる。

図 2.8-4　ひび割れ拡大画像

参考文献:（RC 構造実験におけるひび割れ計測の適用、武田他、コンクリート年次論文集、Vol. 23, No. 3, 2001）

【作業事例】----------

【オルソ画像による損傷図作成のイメージ】

定点範囲のオルソ画像を用い、ひび割れをトレースした事例は「図 2.8-5」のとおりである。

作業手順

① 定点範囲について、SfM によるオルソ画像を作成する。

② 位置情報を保有するオルソ画像を CAD に取り込む。その際、オルソ画像の位置情報も取り込む（スケールを有する）。

③ CAD 上でオルソ画像を拡大し、ひび割れを確認する。

④ CAD 上で確認したひび割れをトレースする。

以降、通常の損傷図作成の作業を行う。

下図は、揚水機場建屋の作業事例である。

図 2.8-5　オルソ画像による損傷図作成

【作業事例】----------

【クラックスケールシートによるひび割れ幅推定のイメージ】

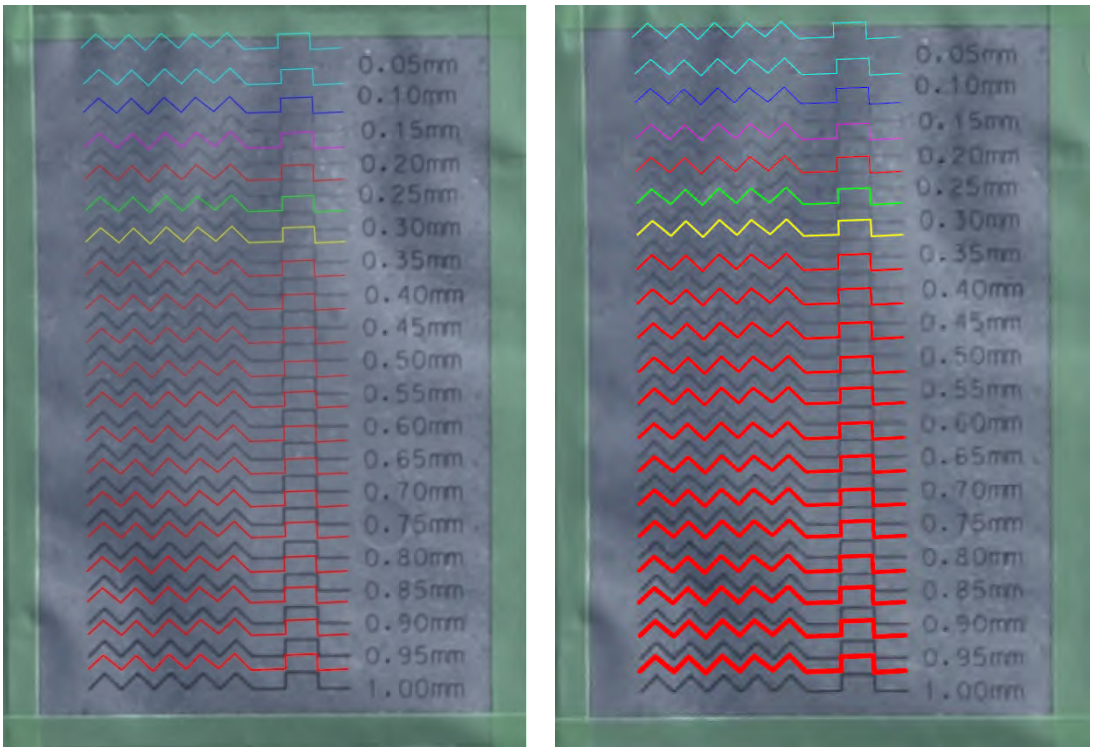
クラックスケールシートを用い、ひび割れ幅を推定した事例は図 2.8-6 のとおりである。

作業手順

① クラックスケールを対象施設に貼り付けて撮影を行う。
対象施設に貼り付けが困難な場合は、類似の施設に貼り付け、その時の写り方を把握する。

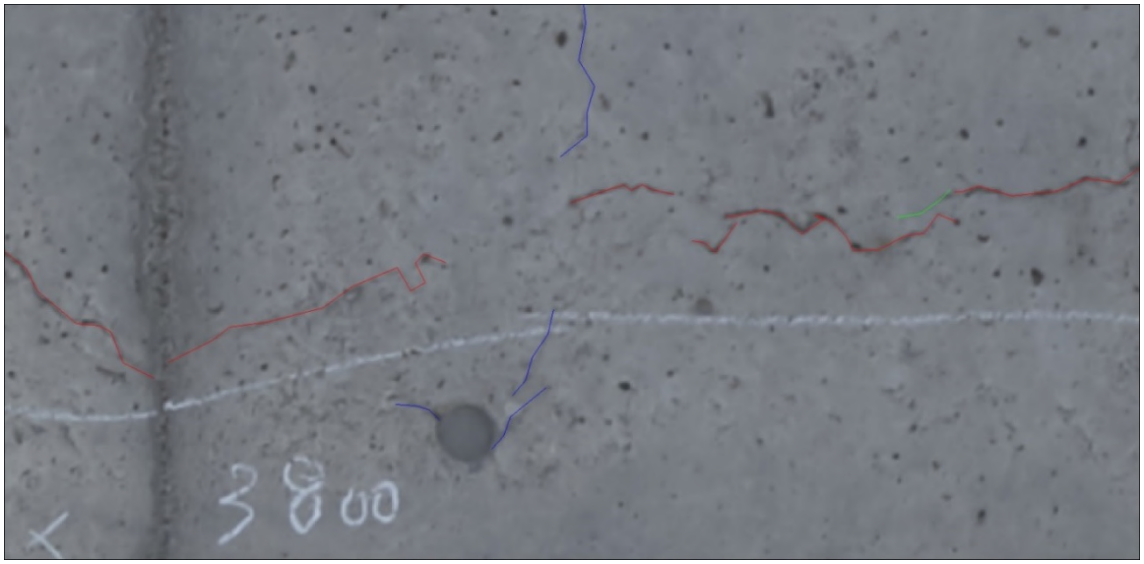
② 撮影したクラックスケールに合った線幅の線種を作成する。
下図では、実線幅×3 倍と画像のひび割れ幅がほぼ一致している。

③ CAD 上で確認したひび割れを線でトレースし、ひび割れが隠れるサイズの線種のひび割れ幅が推定ひび割れ幅となる。

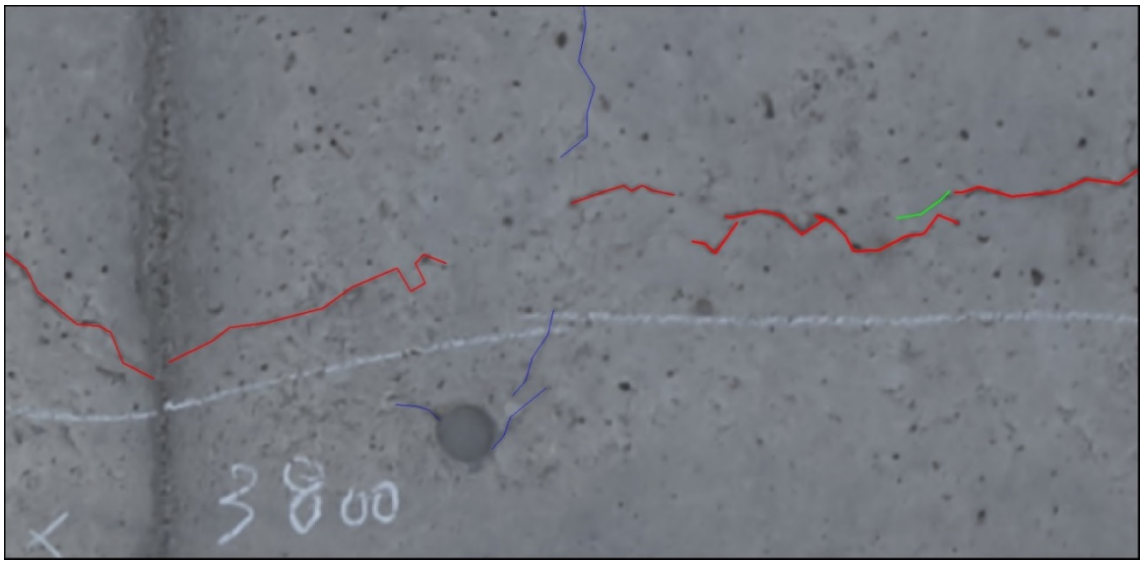


左図　実線幅×等倍　　右図　実線幅×3 倍

図 2.8-6　クラックスケールシートによるひび割れ幅推定（1/2）



―線幅＝実幅―



―線幅＝実幅×３倍―

0.10mm
0.15mm
0.20mm

図 2.8-7　クラックスケールシートによるひび割れ幅推定（2/2）

【作業事例】----------

【オルソ画像による摩耗程度の把握のイメージ】

定点範囲のオルソ画像を用い、摩耗程度を把握した事例は「図 2.8-8」のとおりである。

作業手順

① 定点範囲について、SfM によるオルソ画像を作成する。

② 位置情報を保有するオルソ画像を CAD に取り込む。その際、オルソ画像の位置情報も取り込む（スケールを有する）。

③ CAD 上で、摩耗範囲の標準的な大きさの骨材について、大きさを測定する。

下図は、頭首工堰柱の作業事例。

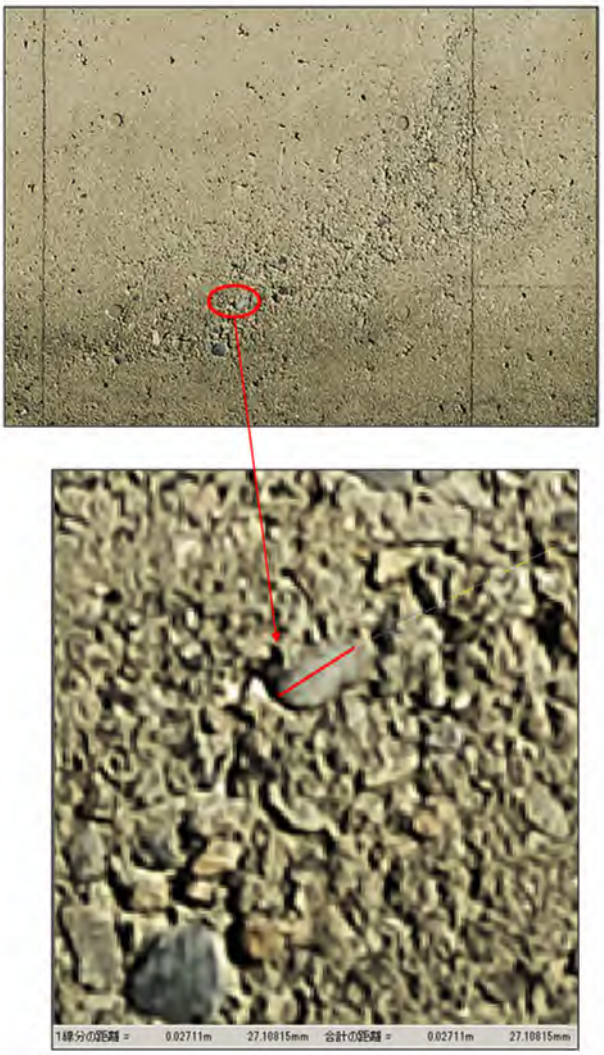


写真 2.8-8　オルソ画像による摩耗程度の把握

【作業事例】----------

【オルソ画像による変形程度の把握のイメージ】

定点範囲のオルソ画像を用い、変形程度を把握した事例は「図 2.8-9」のとおりである。

作業手順

① 定点範囲について、SfM によるオルソ画像を作成する。

② 位置情報を保有するオルソ画像を三次元 CAD に取り込む。その際、オルソ画像の位置情報も取り込む（スケールを有する）。

③ 三次元 CAD 上で、垂直な任意の２点を設定し、その角度を測定する。

下図は、頭首工堰柱の作業事例。

図 2.8-9　オルソ画像による変形程度の把握

【作業事例】

【三次元点群による不同沈下等の把握のイメージ】

定点範囲のオルソ画像を用い、不同沈下程度を把握した事例は「図 2.8-10」のとおりである。

作業手順

① 定点範囲について、SfM によるオルソ画像を作成する。

② 位置情報を保有する 3 次元点群を三次元 CAD に取り込む（スケールを有する）。

③ 三次元 CAD 上で、任意断面の横断図を作成し、沈下程度等を確認する。

下図は、頭首工護岸工の作業事例。

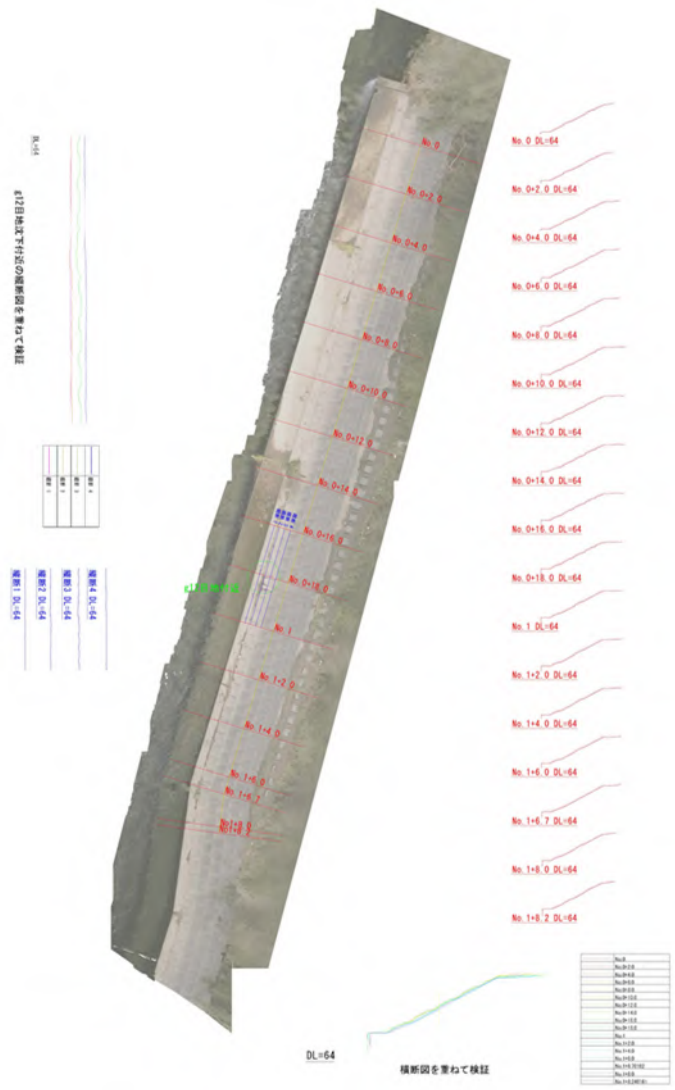


図 2.8-10　三次元点群による不同沈下の把握のイメージ

【作業事例】

【AI による画像判定】

画像診断 AI での機能診断作業の検討が進められている。

UAV やカメラによる写真撮影を行い、適切な画像を採用の上でオルソ画像を作成し、画像診断 AI へ入力すると各変状が出力される。出力後のデータに対して画像処理や機械学習を行い、目的とする施設状態表が作成される仕組みである。

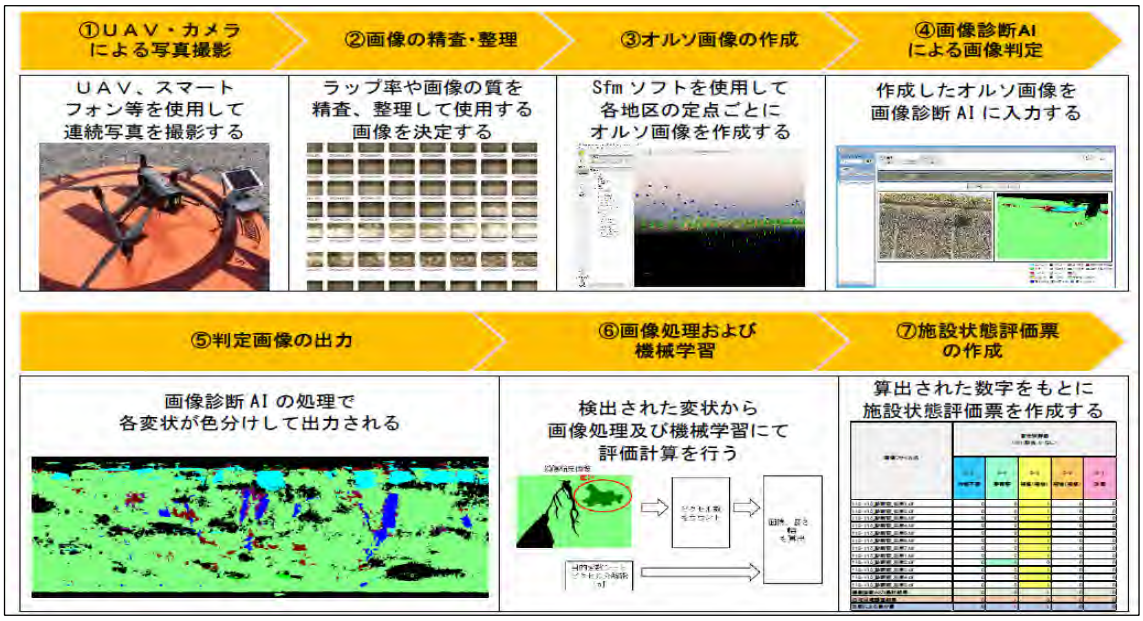


図 2.8-11　画像診断 AI での機能診断作業例

出典：農林水産省令和 2 年度　機能診断 AI 活用実証業務

関東農政局 利根川水系土地改良調査管理事務所 2-30p

なお、画像診断 AI に使用するオルソ画像の作成には以下の点に留意する。

① 処理単位の分割：

Sfm ソフトで処理を実施する単位で平坦になる範囲を小さく分割する。

② タイポイントの設定：

カーブ現象を改善するため、Sfm ソフト処理を実施する際にはタイポイントを設定し、ヒトによる判断で画像同士が一致する位置を工程し、計算処理を実施する。

③ 重複度の多い撮影の実施：

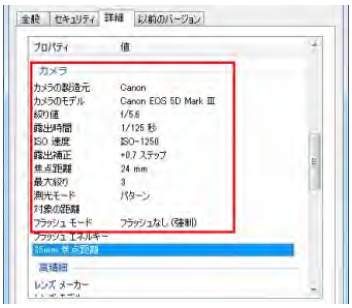
オーバーラップ・サイドラップの重複度を多く取り、撮影コース数を増やす。

④ 正対した撮影：

画像の歪みが生じ、正確な計測数値を導きだすためには施設に対して正対して撮影を行う。

3. 資　料

3.1　用語集



・いぐじふじょうほう（Exif 情報）

Exif とは、デジタルカメラで撮影した画像データに、撮影条件に関する情報（メタデータ）を追加して保存できる画像ファイル形式の規格のことである。**Exif** では、撮影した画像データとあわせて、撮影した日時やデジタルカメラの機種、絞り値、画素数、ISO 感度、色空間、といった情報をまとめて記録することができる。

・えす・えふ・えむ（SfM：Structure from Motion）

SfM は、移動するカメラから撮影された複数の写真画像から撮影時のカメラの位置と傾きを推測して、被写体の三次元モデルを生成する技術である。SfM によってオルソ画像や三次元点群データが自動的に簡単に得られるようになり、UAV（写真測量）の利活用が広がった。

・オーバーラップ（オーバーラップ）

UAV による空中写真撮影において、計測用のステレオ写真を撮影する場合の隣り合わせた写真間の重複割合。SfM を行う場合には 80%～90%を標準とする。なお、オーバーラップ率を高くすると写真撮影時の死角は少なくなる。

・おるそがぞう（オルソ画像）

中心投影された写真画像は、写真の中心から外周に行くに従って、構造物に傾きや歪みが生じる。この歪みを修正し、平面図と同じく正射投影することをオルソ補正といい、この補正をかけた写真画像のことをオルソ画像という。

・カメラ（レンズ）キャリブレーション（camera calibration）

カメラ（レンズ）キャリブレーションとは、レンズ並びにイメージセンサー、又はビデオカメラのイメージ センサーのパラメーターを推定することで、これらのパラメーターを使用して、レンズ歪みの修正やサイズ測定、撮影時のカメラ位置の判定等を実行する。

・サイドラップ（サイドラップ）

UAV により複数コースで空中写真撮影を行う場合の隣り合わせた撮影コース間の重複割合。SfM を行う場合には 60%を標準とする。

・さんじげんてんぐんでーた（三次元点群データ）

三次元座標を持つ点の集合体のことで、UAV による写真測量やレーザースキャナ計測により作成される。

・しにん（視認）

実際に目でみて確認すること。撮影したひび割れを PC モニタ上で徐々に拡大表示し、淡いグレーとして確認できる最大レベルのことを「視認」レベルと定義。

・じぃ・えぬ・えす・えす（GNSS）

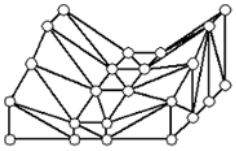
GNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)は、GPS、GLONASS、Galileo、準天頂衛星（QZSS）等の衛星測位システムの総称。

・じんばる（ジンバル）
　枠と同一平面内に回転軸を設けた装置。円環状の枠であれば、その直径方向を回転軸とし、通常、軸が直交するように二つの円環状の枠を組み合わせたもので、UAV のカメラ等の取り付け架台を指す。

・たいくうひょうしき（対空標識）
　ターゲット（指標）を空中写真に明瞭に表示させるために設置する標識。SfM 処理や三次元モデルの絶対的な精度を向上させるために使用される。撮影用カメラと被写体までの距離に合わせた大きさと、検証部分の判読がしやすいパターンを使用する。

・ちじょうがそすんぽう（地上画素寸法）
　使用カメラの１画素あたりのサイズ。カメラのセンサーのサイズと焦点距離、撮影高度から計算できる。

・てぃん・もでる（TIN：Triangulated Irregular Network）
　TIN は、数値地形モデルの作成にあたって、地表を連続した三角形の格子で被った三次元モデル。



・でぃ・えす・えむ（DSM：Digital Surface Model）
　DSM は、建物や樹木を含んだ地表面の高さの数値表層モデルの通称で、三次元点群データのオリジナルデータ。

・でむ（DEM：Digital Surface Model）
　オリジナルデータから建物や樹木等の高さを取り除く「フィルタリング」を行って得た地盤の高さの数値標高モデルの通称で、三次元点群データのグランドデータ。

・はれーしょん（ハレーション）
　フィルム（イメージセンサー）に非常に強い光が当るとき，感光層を通り抜けた光がフィルムベースの裏側で反射されて戻ることによって起こるかぶりをいう。強い逆光線や明るい光源に向けて写真を撮るときによく起こる現象のこと。

・らす（LAS）
　LAS ファイルは、航空機 LIDAR データを格納する業界標準のバイナリ形式で、LIDAR データを点群またはトライアングル サーフェスとして 2D および 3D ですばやく表示する。

3.2 引用資料

1）農林水産省農村振興局「農業水利施設の機能保全の手引き」（令和 5 年 4 月）

2）農林水産省農村振興局「農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」」（平成 28 年 8 月）

3）農林水産省農村振興局「農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」」（平成 28 年 8 月）

4）農林水産省農村振興局「農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工」」（平成 28 年 8 月）

5）国土交通省国土地理院「UAV を用いた公共測量マニュアル（案）」（平成 29 年 3 月）

6）国土交通省国土地理院「公共測量における UAV の使用に関する安全基準（案）」（平成 28 年 3 月）

7）国土交通省東北地方整備局「UAV による河川調査･管理への活用の手引き（案）【改訂版】」（平成 28 年 3 月）

8）国際航業株式会社・農研機構・ 公立大学法人 秋田県立大学「官民連携新技術開発事業 農業水利施設及び海岸保全施設のストックマネジメントのための無人航空機（UAV）の活用の手引き（案）」（平成 29 年 3 月）

9）国土交通省北陸地方整備局「砂防設備点検における UAV 活用の手引き（案）」（令和 2 年 3 月）

10） 国際航業株式会社・国立研究開発法人・農研機構「UAV 計測点検手法の手引き（案）」（令和 3 年 3 月）

11） 国土交通省「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）」（令和 4 年 3 月）

12） 全国土地改良事業団体連合会（全国水土里ネット）「ドローンを活用した農業水利施設管理の手引き」（令和 5 年 3 月）

3.3 関係法令集

1） 国土交通省　ドローン情報基盤システム
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_ua_dips.html

2） 国土交通省　無人航空機安全な飛行のためのガイドライン
https://www.mlit.go.jp/common/001303818.pdf

3） 国土交通省　ドローン飛行ルール
https://www.mlit.go.jp/koku/content/001465741.pdf

4） 国土交通省　飛行禁止区域、緊急用務区域の図解
https://www.mlit.go.jp/common/001406479.pdf

5） 国土交通省　無人航空機を屋外で飛行させるために必要な手続きフロー
https://www.mlit.go.jp/common/001485447.pdf

6） 国土交通省　無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html