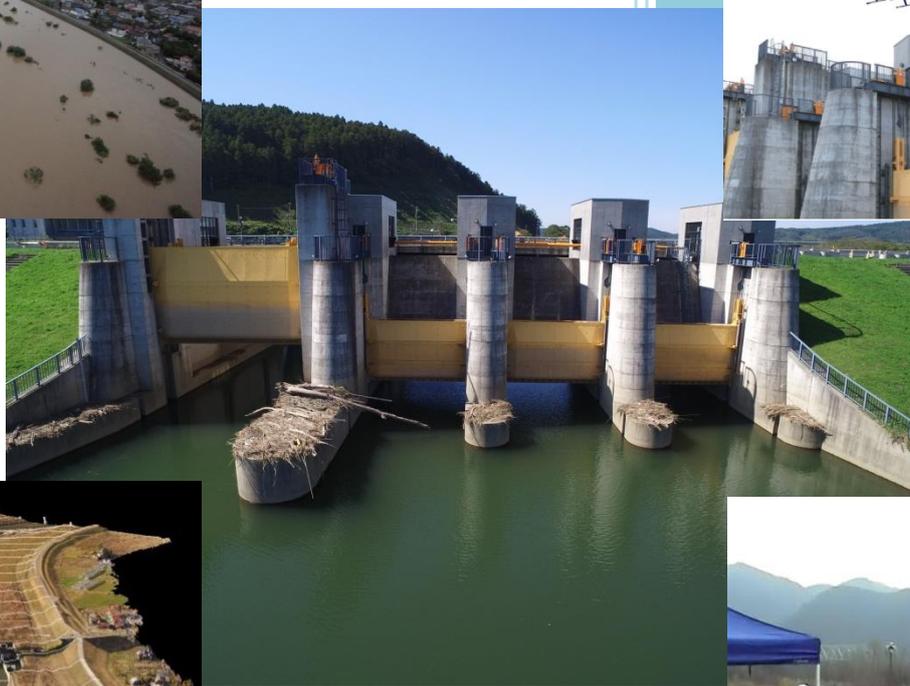


# UAVによる河川調査・管理への 活用の手引き（案）



平成28年3月

国土交通省 東北地方整備局  
東北技術事務所

## はじめに

東北技術事務所では、平成27年6月に、「河川堤防における状態監視手法の高度化及び評価検討」として、UAVを活用した2局面「洪水時における堤防挙動」・「維持管理における堤防、構造物等の河川管理施設の変状把握」の堤防調査により、【UAVによる河川調査・管理への活用の手引き(案) 暫定版】を、東北地方整備局でUAVを活用する際の基礎資料として運用を図りました。

近年、様々なシーンで活用が見られる『UAV等の無人航空機』に対して、適切な活用を図れば最適なツールの一手法として認識が高い反面、モラルのない利用による墜落事故等の発生から、社会現象に生じていることも事実です。

そのような背景により、平成27年12月10日に【UAV等の無人航空機飛行ルール】が新たに施行され、確実な安全飛行が更に求められております。

そのため、【UAV等の無人航空機飛行ルール】や新たな知見を加え、東北地方整備局管内において、UAV計測を実施する際に、安全かつ有効にUAVを運用するための基礎資料として、現場の監督員が本資料を広く活用し、今後の更なる調査・維持管理に寄与することが出来れば幸いです。

平成28年3月

国土交通省 東北地方整備局

東北技術事務所長 加藤 信行

## 目 次

策定の経緯	1
航空法の一部を改正する法律 (平成 27 年法大 67 号) 平成 27 年 12 月 10 日施行	2
1. 本書のねらい	6
1. 1 河川管理への新技術の用途と場面	6
1. 2 UAVによる河川調査・管理への活用の手引き(案)作成趣旨	7
1. 3 UAVの河川調査・管理での活用シーン	9
2. 基礎知識 ～UAVとは何か～	12
2. 1 UAVの種類とタイプ	12
2. 2 UAVの機器構成	14
2. 3 操作技術と電波に関する知識	16
2. 4 基礎用語	17
3. 撮影計画準備 ～UAVで撮影を行うための準備～	19
3. 1 共通事項	19
3. 1. 1 飛行条件	19
3. 1. 2 人員配置	22
3. 2 撮影に関連する事項	24
3. 3 目標精度	25
3. 3. 1 各場面での要求精度	25
3. 3. 2 撮影高度と計測精度(幅)	26
3. 3. 3 撮影高度と計測精度(凹凸)	31
3. 3. 4 照度等と計測精度	33
3. 3. 5 撮影計画(撮影高度・速度・撮影間隔の関係)	34
3. 3. 6 ターゲット(対空標識)	39
3. 4 自動操作と手動操作	42
3. 4. 1 飛行手法における特徴	42
3. 4. 2 自動操作	44
3. 4. 3 手動(マニュアル)操作	46
3. 4. 3 作業時間	48
4. 現地調査 ～UAVによる平常時と災害時の調査方法～	49
4. 1 共通事項	49
4. 1. 1 運用全体・平常時の運用における留意点	49
4. 1. 2 災害時の運用における留意点	50
4. 1. 3 UAV飛行チェックリスト	51
4. 2 平常時の維持管理	52
4. 2. 1 横断形状の把握	53
4. 2. 2 河床洗掘調査	55

4. 2. 3	植生調査	-----	5 6
4. 2. 4	土堤の形状調査	-----	6 0
4. 2. 5	護岸調査	-----	6 2
4. 2. 6	水質調査	-----	6 3
4. 2. 7	漏水調査	-----	6 4
4. 2. 8	礫径調査	-----	6 5
4. 3	緊急時（洪水時等）の維持管理	-----	6 6
4. 3. 1	出水時の情報収集	-----	6 7
4. 3. 2	被災現場状況の早期把握	-----	6 9
5.	解析 ～デジカメ画像からの三次元形状取得～	-----	7 0
5. 1	多視点画像三次元モデル構築技術の概要	-----	7 0
5. 2	三次元モデル構築の事例	-----	7 2
5. 2. 1	事例1：護岸形状と樹木高の計測	-----	7 4
5. 2. 2	事例2：コンクリートのひび割れ幅算定	-----	8 0
6.	安全管理 ～安全第一（航空法の改正を受けて）～	-----	8 9
6. 1	UAV安全飛行に向けて	-----	8 9
6. 2	機体	-----	9 0
6. 2. 1	運航前点検の目的	-----	9 0
6. 2. 2	チェックリストによる運航前点検の実施	-----	9 1
6. 3	操縦者	-----	9 7
6. 3. 1	教育訓練	-----	9 7
6. 3. 2	航空気象	-----	1 0 0
6. 3. 3	地形・障害物	-----	1 0 2
6. 4	運航管理	-----	1 0 4
6. 4. 1	運航ルール	-----	1 0 4
6. 4. 2	保険	-----	1 0 5
6. 4. 3	リポバッテリーの管理	-----	1 0 6
6. 5	その他の安全対策	-----	1 0 9

## 策定の経緯

「UAVによる河川調査・管理への活用の手引き（案）暫定版」公表後に施行された飛行ルールに基づき策定する。

### 【解説】

「UAVによる河川調査・管理への活用の手引き（案）暫定版」（以下、手引き）は、UAVの活用において、明確な規制がない状況で、河川管理者がUAVを活用する際、安全かつ適切な運航を図るための基礎的情報や留意点を取りまとめたものであり、河川維持管理の高度化・効率化・迅速化に向け、寄与したものである。

一方で、総理大臣官邸屋上へのドローン落下（H27.4）をはじめとし、各所でモラルの無い利用が社会現象として、UAVによる事件・事故が発生している状況を鑑み、「**航空法の一部を改正する法律（平成27年法大67号）**」（以下、**改正航空法**）が施行された（H27.12.10）。この法律は、無人航空機の飛行に関する基本的なルールを定めたものであり、第三者に迷惑をかけることなく安全に飛行させることを示したものである。

本書は、**UAV安全運用に関する事項について、改正航空法に基づき、東北地方整備局管内でUAVを活用する際に必要となる基本情報を再整理**したものである。

### 『UAVによる河川調査・管理への活用の手引き（案）』の経緯

- ① 平成27年6月 『UAVによる河川調査・管理への活用の手引き（案）【暫定版】』  
編集：東北地方整備局東北技術事務所、パシフィックコンサルタンツ株式会社
- ② 平成27年12月10日 「**航空法の一部を改正する法律（平成27年法大67号）**」施行
- ③ 平成28年3月 『UAVによる河川調査・管理への活用の手引き（案）』  
編集：東北地方整備局東北技術事務所、株式会社地圏総合コンサルタント

## 航空法の一部を改正する法律（平成 27 年法大 67 号）平成 27 年 12 月 10 日施行

無人航空機の飛行時には、第三者に迷惑をかけることなく安全に飛行させるため、以下のルールを遵守する必要がある。

- ・無人航空機の飛行の許可が必要となる空域
- ・無人航空機の飛行の方法

### 【解説】

無人航空機の飛行について、以下のルールが新たに導入された。

#### ●無人航空機の飛行の許可が必要となる空域

#### ●無人航空機の飛行の方法

無人航空機の利用者は、このルールを遵守し、**第三者に迷惑をかけることなく安全に飛行させること**を心がけなければならない。

違反した場合は、**50 万円以下の罰金**が科せられる可能性がある。また、法人が管理する無人航空機にあっては、法人も罰せられる可能性がある。

#### 無人航空機の定義

「**人が乗ることができない**飛行機、**回転翼航空機**、滑空機、飛行船であって、遠隔操作又は自動操縦により飛行できるもの（200 g 未満の重量（機体本体の重量とバッテリーの重量の合計）のものを除く）」と定義。

**UAV**、ラジコン機、農薬散布用ヘリコプター等が該当（200 g 未満のもの⇒【×：無人航空機、○模型飛行機】）

---

\*基本的なルールの詳細：国土交通省ホームページ「無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール」参照。 ([http://www.mlit.go.jp/koku/koku\\_tk10\\_000003.html](http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html))

### (1) 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域

有人の航空機に衝突するおそれや、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として、以下の空域で無人航空機を飛行させることは原則として禁止されている。

これらの空域で無人航空機を飛行させようとする場合には、安全面の処置をした上で、国土交通大臣の許可を受ける必要がある。

許可が必要となる空域は以下のとおりである。

- 空港等周辺に設定された進入表面等の上空の空域「下図 A」
- 地表又は水面から 150m 以上の高さの空域「下図 B」
- 人又は家屋の密集している地域の上空「下図 C」

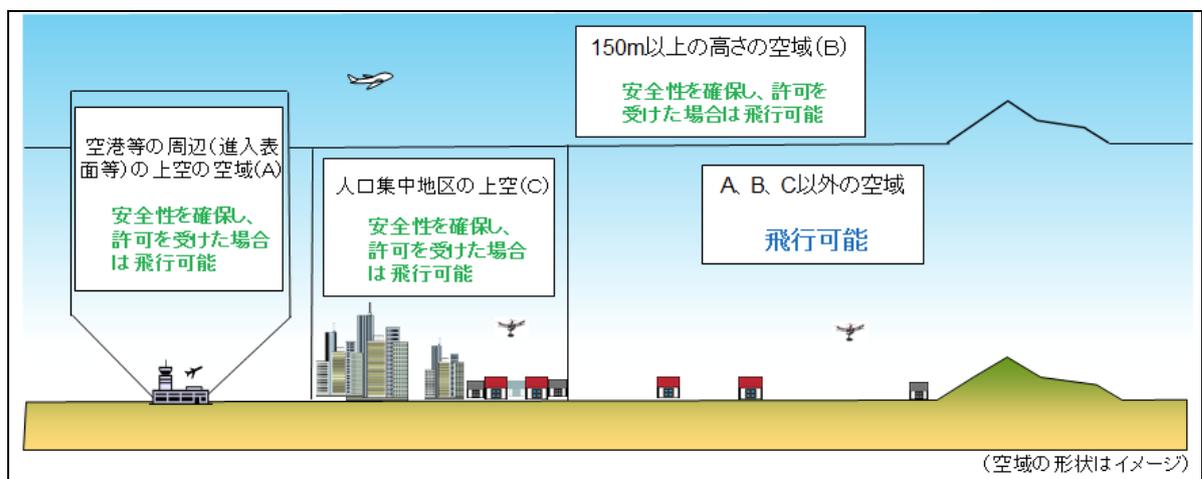


図 1 許可が必要となる空域

## (2) 無人航空機の飛行の方法

飛行させる場所に関わらず、無人航空機を飛行させる場合には、次のルールを守ることが必要である。

- ・ 日中（日出から日没まで）に飛行させること。
- ・ 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。
- ・ 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)を保って飛行させること。
- ・ 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ないこと。
- ・ 爆発物など危険物を輸送しないこと。
- ・ 無人航空機から物を投下しないこと。

上記のルールによらずに無人航空機を飛行させようとする場合は、安全面の処置をした上で国土交通大臣の承認を受ける必要がある。



図2 承認が必要となる飛行の方法

### (3) 捜索、救助のための特例について

(1) 及び (2) の飛行ルールについては、事故や災害時に、**国や地方公共団体、また、これらの者の依頼を受けた者が捜索又は救助を行うために無人航空機を飛行させる場合**については、**適用されない**。

一方、本特例が適用された場合であっても、航空機の航行の安全や地上の人等の安全が損なわれないよう、**必要な安全確保を自主的に行う必要がある**。

※国・地方公共団体に関わらない事業者独自の自主的災害対応は含まれない。

※人命や財産に急迫した危難のおそれがある場合における、人命の危機や財産の損傷を回避するための調査については「捜索・救助のために行う無人航空機の飛行」に該当する。

### (4) その他（注意事項：常日頃から）「無人航空機の安全な飛行のためのガイドライン」

- ◆無人航空機を安全に飛行させることができるよう、メーカーの取扱説明書に従って、**定期的に機体の点検・整備を実施**し、早めの部品交換など万全の状態を心がける。
- ◆航行中、突風により操縦が困難になること、又は予期せぬ機体故障等が発生する場合がある。  
このため、不測の事態を想定した操縦練習を行うなど**日頃から技量保持**に努める。
- ◆安全に留意して無人航空機を飛行させても、不測の事態等により人の身体や財産に損害を与えてしまう可能性がある。このような事態に備え、**保険に加入**しておくのが望ましい。

### (5) 重要施設上空での飛行規制強化法

**国会、首相官邸、皇居、原子力発電所、外国要人がいる施設などの敷地とその周辺 300m の上空の飛行を禁止**するドローン規制法が 2016 年 3 月 17 日に国会で成立した。

重要施設付近で不審なドローンを見つけた場合には、警察が機体を破壊したり、飛行を妨げる措置ができる。

違反者には 1 年以下の懲役または 50 万円以下の罰金が科せられる。

※本手引きは、上記法律が施行された段階において、また、UAV を取り巻く新たな環境整備が整う度毎に**適宜改訂を行い、UAV の安全な運用に向けて、最新の内容に更新**する。

## 1. 本書のねらい

### 1. 1 河川維持管理への新技術の用途と場面

河川維持管理において、目視による点検を補完する技術として、UAV 等の新技術の活用が可能である。

#### 【解説】

河川維持管理は、長い延長の堤防、高所あるいは危険なため人が容易に近づけない構造物や水際、水中部を人の経験に基づき労力をかけて目視による点検と巡視を行なっている。

MMS は、長い延長の堤防を短い時間で効率的に定量データを取得することが可能である。UAV は、人が容易に近付くことが難しい箇所や、局所的に定量化が必要な箇所における、詳細調査・補修に至る前段階の一次スクリーニングとしての活用が可能な新技術である。また、緊急時には迅速に現場状況を把握することができる。

本書では、これらの新技術の中の UAV の活用方法について整理したものである。

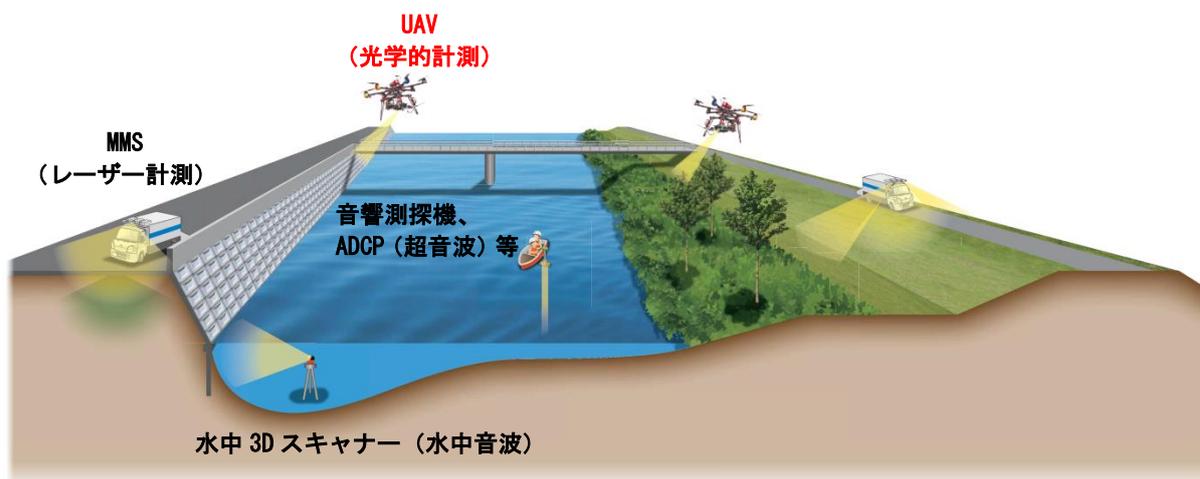


図 1.1.1 河川関係の維持管理(計測分野)における新技術

## 1. 2 UAVによる河川調査・管理への活用の手引き(案)作成趣旨

本書は、入手しやすく操縦が容易な UAV について、今後の河川維持管理への活用が増加する可能性を踏まえて、河川管理に携わる職員が、**UAV を活用する民間業者に適切な指示を行うための手引き**として、安全利用及び点検・調査時の留意点等を取りまとめたものである。

また、近年活用が始まった UAV は、河川管理施設等の上空飛行を基本とするため、確実な安全確保が必須であり、そこで遵守すべき必要な基礎資料を取りまとめ河川維持管理に寄与するものである (UAV 技術革新や適用範囲拡大に応じて随時更新を図ることを基本とする。)

### 【解説】

最近の UAV(無人飛行体)は、その機体の入手しやすさ、操縦の容易さから、急速に普及してきており、その機種や性能も多種多様である。UAV は飛行高度 150m 以下の上空から撮影を行うため、人工衛星や航空機からの三次元計測に比べ、詳細な地形の計測を容易に行える。また、形状と同時にデジタル画像や赤外線画像を用いることで、効率的に詳細な解析も行うことができる。

UAV の操縦は、従来のラジコンヘリと比較して簡単と言われる所以は、GPS を含む制御系に操縦の殆どを依存していることによる。しかし、GPS の電波受信状況は、場所・時間帯によってかなり左右されるので、運用時には細心の注意が必要である。UAV 運用者の心掛けや操縦技術次第で、便利な撮影機器として有効活用できる反面、間違った認識での運用や、取り扱い方法を誤れば、重大事故に発展しかねない要素を多分に含んでいる。

【UAVによる河川調査・管理への活用の手引き(案)】(以降、手引き(案)とする)は、図 1.2.1 のように構成されている。

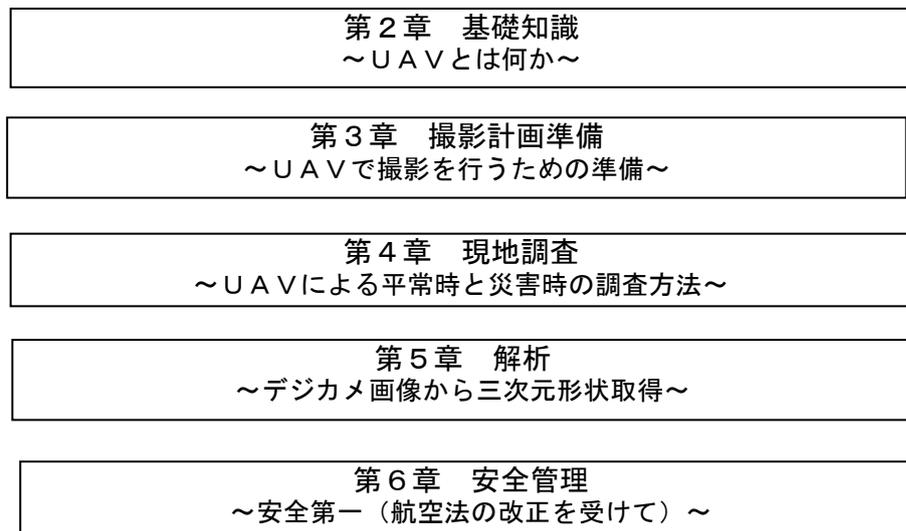
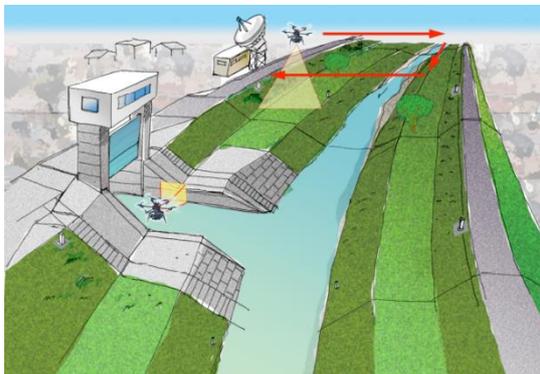


図 1.2.1 各章のあらまし

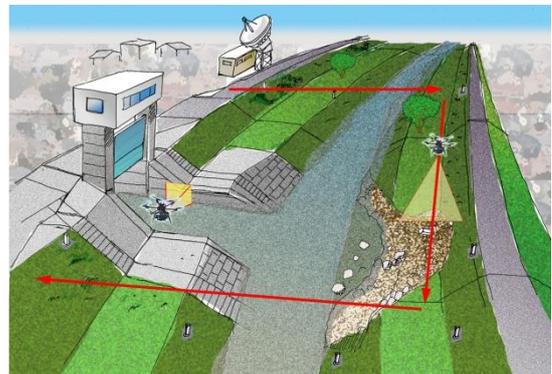
手引き(案)で取り扱う、UAVを活用した堤防、構造物等の河川管理施設の変状把握と洪水時の堤防挙動把握のイメージを図 1.2.2 に示す。

表 1.2.1 調査項目と取得画像

調査項目	対 象	調査項目	手 法	アウトプットイメージ
堤防、構造物等の河川管理施設の変状把握	堤 防	堤防の変状調査	3D画像	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 三次元モデル化、オルソ画像により堤防変状を経年的に比較し維持管理に活用</li> <li>【変状展開図、経年比較図(重ね合せ図)、対策工検討図(現況図)】</li> </ul>
	河 道	樹木の分布調査 河床形状の調査	3D画像	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 河道内樹木の分布状況を面的に把握できることにより樹林繁茂の抑制対策も面的に活用</li> <li>・ 洗掘および堆砂状況を把握することで、河道管理に活用</li> <li>【樹木抑制のための伐採計画の立案、流下能力の阻害要因の適正管理、河道の維持管理のための基礎資料】</li> </ul>
	構造物	護岸・擁壁の劣化・変状調査	3D画像 熱赤外線画像	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造物変状や劣化等の診断・点検に活用</li> <li>・ データ蓄積による構造物の変状確認(比較検証)に活用</li> <li>【ひび割れ展開図・比較図(重ね合せ図)、補修検討図(現況図)】</li> </ul>
洪水時における堤防の挙動	河川全体	災害時の情報収集	3D画像	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 緊急時における堤防の状況把握(1時間程度で速報版の報告)</li> <li>【対策工検討図(被災状況図)】</li> </ul>



平常時：精度重視



災害時(後)：迅速性重視

図 1.2.2 UAV を活用した堤防、構造物等の河川管理施設の変状把握と洪水時の堤防挙動把握のイメージ

オルソ画像：写真のひずみをなくし、無限遠から見た画像に変換したものである。地図・図面と重ねることが可能(正射投影画像)。

### 1. 3 UAVの河川調査・管理での活用シーン

UAVは足場や船が必要となるような、人が容易に近づくことが出来ない場所等の撮影が可能である。

#### 【解説】

UAVの長所を活かして、河川調査・管理の様々なシーンに活用できる。以下に例を示す。

#### 立ち入りが困難な場所での調査



急勾配護岸



河岸被災箇所

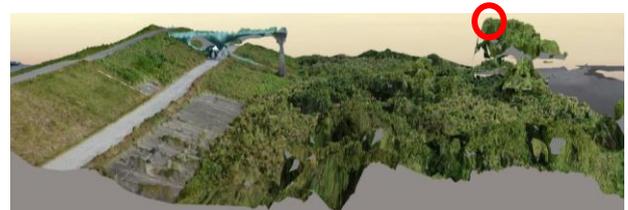


二次災害の危険が伴う箇所

#### 高所の点検



門柱上部など



樹木高



ダム

#### 上空からの状況把握



排水機場のサーチャージタンク内など



河川横断形状(河道管理)

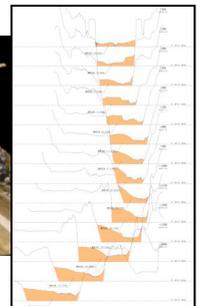
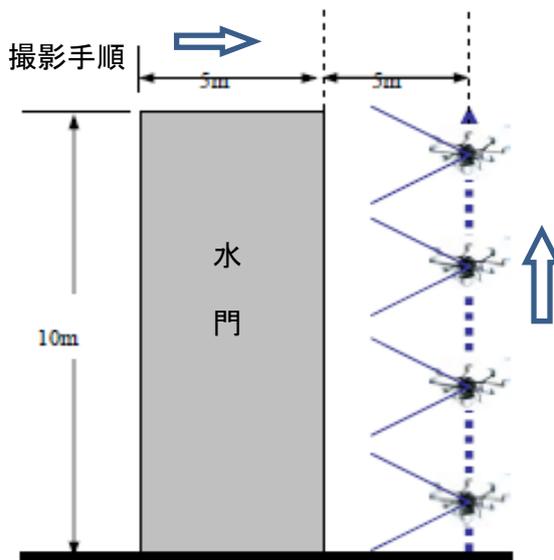


図 1.3.1 立ち入りが困難な箇所、高所、上空からの状況把握に活用した例

高さのある水門の点検

高さのある水門は点検が困難



10mもの高さがある水門

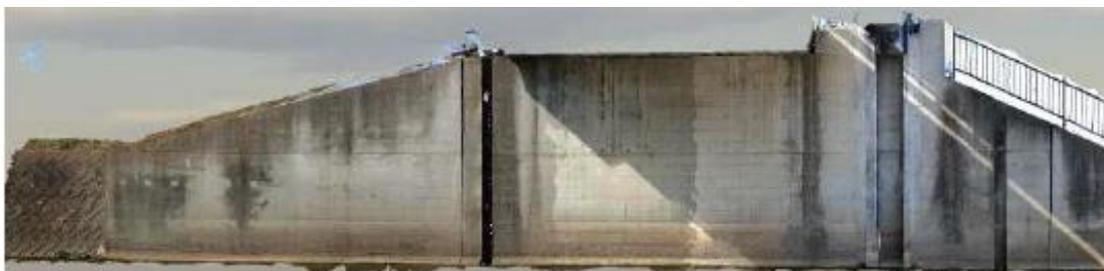


UAV撮影の写真を解析して三次元化



劣化状況の把握

水深のある場合でも、UAVで撮影



側壁全体をつなげて、劣化全体を確認できる

図 1.3.2 水門の点検に活用した例

河道内の砂州堆砂状況の把握



砂州、植生状況など

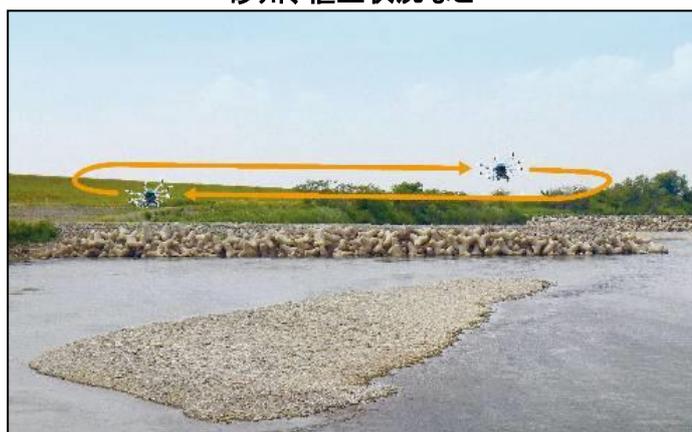


図 1.3.3 砂州や堆砂状況の把握に活用した例

災害対策活動状況の記録



図 1.3.4 災害対策活動状況の記録に活用  
(排水ポンプ車稼働状況 (24 時間体制) の例; 要承認)

## 2. 基礎知識 ～UAVとは何か～

### 2. 1 UAVの種類とタイプ

河川調査・管理においては、撮影位置に滞空が可能なマルチコプタータイプが優れている。

#### 【解説】

##### (1) UAVへの期待

UAV ( Unmanned Aerial Vehicle ) は、小型の無人航空機の総称である。空中写真測量、航空 LiDAR、地上計測に加わる計測手段として、測量・土木分野の計測手法として定着してきている。また、これまで困難とされてきた危険箇所や災害発生直後の現場などの調査が可能と期待され、**従来の航空機(ヘリ等)では近づけない様な箇所の撮影や、安価な低高度撮影が可能**である。

##### (2) UAVの特徴と機種

UAVには様々な種類がある。操作性や安定性などを考えて機種を選定する必要がある。

UAV撮影・計測には、調査自体の費用縮減と迅速化の実現が要求されているが、人材育成、衝突・墜落の危険性(安全確保)や衛星測位に依存しない自律飛行など、クリアすべき技術的課題が多い。

UAVには下記に示すような飛行機タイプ(広域を短い時間で撮影可能)と複数の羽を有しているマルチコプターがあるが、精度を要求されるような**河川調査・管理への活用を考えたとき、撮影位置での滞空が可能なマルチコプタータイプ**が優れている。



図 2.1.1 UAVのタイプ

マルチコプター：クワッドは4枚、ヘキサコプターは6枚、オクタコプターは8枚の羽根から構成され、総称してマルチコプターと呼ぶ。

これまで空撮に使用されてきたラジコンヘリと近年安価で市販されている小型ラジコン電動マルチローターヘリコプター(以下マルチコプター)の概要を紹介する。

- **構成**：複数の羽根を有しているマルチコプターは、強力な**電動ブラシレスモーター**、軽量大容量の**リチウムポリマーバッテリー**(通称リポバッテリー)、**MEMS 加速度センサー**と**ジャイロ**による機体姿勢制御システム、GPS による**位置制御と自律航行システム**から構成されている。
- **GPS 位置制御**：手離しでのホバリングや緊急時の自動帰還などを実現し、操縦ミスによる**墜落や機体の遺失の危険を大幅に減らす**ことができる。
- **騒音**：モータによる飛行のため、ラジコンヘリに比べ、**比較的静か**である。
- **飛行時の安定性**：従来のラジコンヘリに比べて優れ、**安全な撮影が可能**である。

UAV 空撮技術は、今後急速に普及することが予想されるが、安全な運用と法令遵守が最優先である。以下、本手引き(案)では、マルチコプターを UAV(無人飛行体)と称して説明する。

**表 2.1.1 ラジコンヘリとマルチコプターの相違**

	ラジコンヘリ	マルチコプター
姿図		
価格	高価 (1000 万円以上)	比較的安価 (業務用で数 100 万円)
操縦方法及び機体の動作	メインローター(主回転翼)を回転させ飛行。離着陸時には、少し複雑な操作が必要。	同心円状に正転・逆転のプロペラを配置、そのプロペラの推力で飛行。ホバリング時でも外乱がない場合は、機体は傾くことはない。
姿勢制御	サイクリックピッチコントロール。メインローターの角度を変化させ、移動分力を発生させて移動。	回転制御。各々のプロペラの回転数を変化させ、推力を増減させることで機首の方向・機体の傾きを調整。
耐風安定性	コントロール能力及びレスポンスが高く風に強い。	コントロール能力及びレスポンスは鈍く風に弱い。
飛行場所	ガソリンエンジンを利用しているため、高度 1500m 以上は不可。	電動モータを使用するため、標高の高い地域でも可。
ペイロード	一般的にペイロード能力は高い	一般的にペイロード能力は低い。
トラブルについて バッテリー切れ	オートローテーションを行える操縦技術により、安全に着陸する事も可能。	現状では、熟練者が操縦しても、自由落下する機体を傍観せざるを得ない。バッテリー管理やコンディションの正確な把握は必須。
プリフライト チェック(事前確認)	飛行前に正常に機体がコントロールできるかどうかを確認できる。	正常に飛行できるかどうかは、低空ホバリング状態で動作確認を行う。

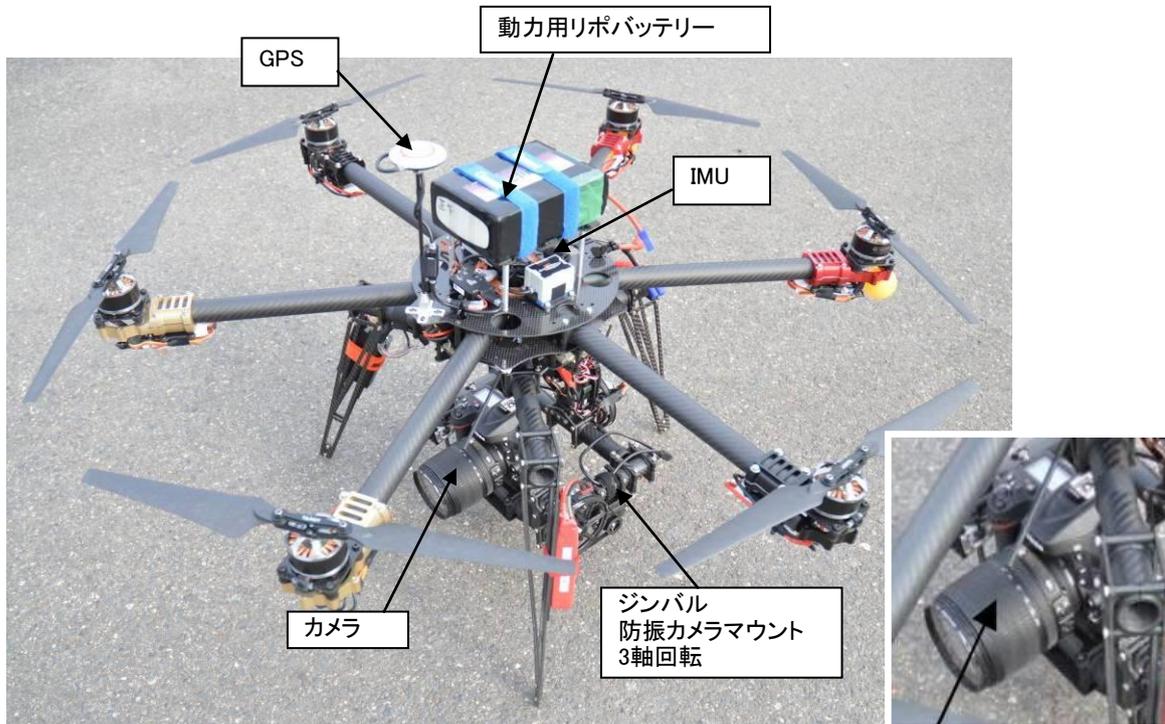
**MEMS**：(micro electro mechanical system) シリコンなどを微細加工技術で加工することによって作られ、電氣的に駆動される小さな機械。加速度センサーなどがある。  
**ジャイロ**：物体の角度や角速度を検出する計測器。姿勢制御に利用。  
**ペイロード**：UAV に搭載できる荷物の総重量。

## 2.2 UAVの機器構成

点検等に用いるマルチコプターは、デジタルカメラを搭載し、カメラを自在に動かせるジンバルが搭載可能なもの、かつ、地上で撮影範囲を常に確認しながら撮影可能なものが望ましい。

### 【解説】

UAV 機器構成を以下に示す。



機体直径1m程度、重さ約3kg  
(車に積み、人による持ち運びも容易)

市販品のカメラを搭載

### 長 所

- ・ 高所や接近が困難な場所であっても活動可能
- ・ 小型・軽量のため**運搬容易**
- ・ 操作者に**免許等の資格は不要**
- ・ 短時間で上空から**写真を撮影**
- ・ 撮影写真から**立体化 (C I M)** が可能

### 短 所

- ・ 天候、電波条件等によって使用困難
- ・ 墜落そして操作不能もあり得る
- ・ 安全に関する認知度が低い
- ・ 有人機との安全な共存の難しさ

図 2.2.1 UAVの姿図と機器類の配置

撮影に用いる UAV (マルチコプター) は、デジタルカメラを搭載することが可能である。UAV を用いることで上空からの俯瞰撮影など、様々な視点からの撮影が可能となる。マルチコプターは、従来のラジコンヘリに比べ、飛行時の操作性・安定性に優れており、より安全な撮影が可能である。また、地上から撮影範囲を常にモニターで監視しながら、カメラを上下左右自在に回転できるジンバルを操作し、手許でシャッターが切れる機器構成とするのが良い。カメラジンバルは自動的に水平を保つように制御されるものが良い。

#### (1) 安全性

- ・急速に普及する中で、免許がないため、**誰でも容易に使用**することができる。改正航空法が施行されているが、**操縦者のモラルや操縦技術がますます重要**となってきた。
- ・安全管理が喫緊の最重要課題である。
- ・米国では免許制度の導入が決定している。

#### (2) 自動制御システム

- ・ UAV 用オートパイロット (自動制御システム) の販売社数は米国 10 社、中国 8 社、日本には 1 社しかない。
- ・ 日本で最も多く使用されているのは中国の DJI 社の製品である。
- ・ 特に、安価で手軽に購入できる UAV のホビー製品には、制御系のエラーと思われる原因が特定できない突然の不具合により暴走や墜落が発生した例が多いようである。したがって、**事前の機器点検が重要**である。

#### (3) 価格帯

- ・ 10 万円程度から 1,000 万円を超えるものまで様々なものがある。10 万円程度の製品は、本来はホビー用であり、業務目的の製品は数百万円以上が多い。
- ・ 10 万円程度のものは搭載可能重量が小さく、カメラはコンパクトデジカメ程度であり、画像の解像度に制約を受け、GNSS を使った自動操縦が不可なものが多い。また、サポート体制が整っていない場合も多い。

#### (4) その他

UAV の中でも、比較的安価で手軽に導入できるホビー用製品が、現在国内に多数出回っている。しかし、これらは本来の用途がホビーである為、耐久性に乏しく、業務への転用は熟慮する必要がある。これらのホビー機では、比較的短い運用時間であるにも係らず、機体に突然不具合が発生して墜落等の事故に発展しているケースがある。

これらのトラブルの原因は一様ではなく、操縦者の未熟な取り扱いがトラブルの引き金になっている可能性も否めないため、特に注意が必要である。

---

ジンバル(Gimbal) : 1 つの軸を中心として物体を回転させる回転台の一種。

## 2. 3 操作技術と電波に関する知識

UAV は電波を使用するため、機体操作技術に習熟し、電波条件等についてよく知っておくことが必要である。安全な運用には、機体位置の把握や撮影画像の確認などのサポートが必須である。

### 【解説】

UAV 機器構成を以下に示す。

一般的な UAV で使用する電波環境は以下のとおりであるが、詳細は機種毎に確認しておく必要がある。

- ・ **プロポ使用周波数： 2.4GHz** (900MHz 帯を使用する機種もある) 空中線電力：10mW
- ・ **画像電送装置： 1.2GHz** (**2.4GHz 帯を使用する機種もある**) 空中線電力：500mW
- ・ 人員配置：電波状態の確認に関連して、機体位置の把握、UAV の操作者と撮影者との連携が必須である。



図 2.3.1 UAV の電波運用状況

重要：日本で認められない 35, 45, 49 及び 75MHz 帯等の海外製ラジコンは不法運用となり、電波法による罰則が適用される。

Inspire1 の動作周波数は 922.7~927.7MHz であり、画像転送は 2.4GHz 帯を使用。

## 2. 4 基礎用語

UAV を運用するにあたり、基本的な用語を把握しておく必要がある。

### 【解説】

本手引き（案）に用いる用語の定義を以下に示す。

- ・ UAV(Unmanned Aerial Vehicle)

無人飛行体。

- ・ グラウンドエフェクト

地表近くを飛行する場合、翼が受ける揚力が大きくなる現象。

- ・ ペイロード能力

最大積載量。

- ・ MMS (Mobile Mapping System)

モバイル・マッピング・システムはデジタルカメラと三次元レーザー計測機によって、道路および周辺の連続映像と三次元座標データを計測する車両搭載型レーザー計測装置。

- ・ リポバッテリー

高起電力ニッカドやニッケル水素の 1.2V と比べると、リポは 3.7V という非常に高い電圧を発生させる事が可能。エネルギー密度が高い。

- ・ プロポ

ラジコンを操縦するために必要な、送信機、受信機、サーボのセットの総称。プロポーションナルシステム（プロポ）という。

- ・ 空中線電力

アンテナから発せられる電波の強さ。

- ・ 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。

- ・ SIFT(Scale-Invariant Feature Transform)

特徴点の検出と特徴量の記述を行うアルゴリズム。検出した特徴点に対して、画像の回転・スケール変化・照明変化等に頑健な特徴量を記述するため、イメージモザイク等の画像のマッチングや物体認識・検出に用いられている。

- ・ GPS

測位衛星からの電波を利用した測量機をいう。現在、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規定されている。

- ・ IMU

移動計測車両の姿勢として、傾きと加速度を計測する装置で、3 軸のジャイロ及び加速度計で構成されたもの。慣性計測装置ともいう。

- ・ 解像度

画素の細かさを表す尺度のことで、ピクセル数で表す（例；1280×1024pix）。

- ・ GCP(Ground Control Point)

位置精度の検証に用いる基準となる点。

- ・ DSM(Digital Surface model)

数値表層モデル。

- ・ DEM(Digital Elevation Model)

数値標高モデルは地表面の地形のデジタル表現。

- ・ TIN(Triangulated Irregular Network)

地表面の物理的形状を表現し、X,Y,Z の三次元情報を持った点と線が、重複のない三角形の集まりとして配列されたものである。不整三角形網とも呼ばれる。

- ・ ESC(Electronic Speed Control)

電子速度調節（ESC）は、UAV 推進力システムの構成要素。

- ・ Manual MODE(マニュアルモード)

全てを手動で操作する操縦モード。

- ・ 自動操縦

GPS atti MODE を用い、指定の座標に自動で飛行させることを表す。

- ・ GPS atti MODE(GPS アッチモード)

X,Y,Z 全ての方向に対し、GPS を利用して、風が吹いてもそこに留まるモード。

- ・ Atti MODE(アッチモード)

Z 軸(高度)を一定に保つモード。ジャイロと高度計で制御。風で流される。

### 3. 撮影計画準備 ～UAVで撮影を行うための準備～

#### 3. 1 共通事項

##### 3. 1. 1 飛行条件

UAV を飛行させる際に、気象条件、障害物、墜落リスクの回避、離陸・着陸場の条件、電波条件について認識しておく必要がある。

#### 【解説】

##### 気象条件

- ・地上作業と比較して、天候・気象条件等様々な制約がある。
- ・風速10m/sを飛行の限界の目安とするが、機体の性能を踏まえオペレータが判断する。なお、風速の計測は一定時間(2分程度)を計測し、最大瞬間風速で判断する必要がある。また、上空の風にも注意する。
- ・例えば、ダムでは下流側から吹き上がりの風が吹くように、地形の特性に応じた風に注意する。
- ・雨や雪が降ると飛行できない。プロペラを回すコイルに電気を通すアンプが放熱のため剥き出しであるため、濡れるのは望ましくない。また、デジカメに水滴が付くため、良い画像が撮れない。
- ・雷が遠くで鳴りだしたら作業を中止する。

##### 障害物、墜落リスクの回避

- ・飛行前に現地を確認し最適な飛行計画を立案する。
- ・**目視できる範囲内で UAV とその周囲を常時監視して飛行させる。**
- ・地形や木々の状態や電線など周囲の障害物を把握する。家屋や電線や道路や鉄道などの上空を通過してはいけない。**イベント会場等人が多く集まる場所の上空の飛行を行わない。** UAV墜落時に事故になるためである。
- ・散歩やサイクリング者などがUAV飛行範囲下に入らないように、安全員を上下流側に立たせる。
- ・**第三者または第三者の建物や車両などの物件との間に 30m 以上の距離を保つ。**

##### 離陸・着陸場の条件

- ・風上に向かって離・着陸することを徹底する。
- ・風下側に飛行する時には、揚力に余裕が無く、モータの出力を高くしないと巧く飛行できない。
- ・操縦関係者以外の者は 30m以上機体から離れる事を徹底する。
- ・UAVは外的要因(電波条件など)やオペレータの集中不足から制御不能に陥り、突如暴走する可能性がある。
- ・離陸時は突風に注意する。横転した場合、回転するプロペラが地面に接し、暴走する。

##### 電波条件

- ・強力な電波や電磁波を発射していると思われる電波塔、発電所、変電所等の施設に注意する。
- ・磁場やノイズ等を発生させる他の調査・点検作業の有無について確認する。
- ・飛行に際して、事前に簡易な「スペクトル・アナライザー機器」で電波状況を確認することはリスク回避につながる。

##### 余裕を持った作業時間

- ・構造物の至近距離を飛行する場合など、オペレータは絶えず緊張状態にある。1日中作業を行う事には無理があり、オペレータの技量・スキルを鑑み、余裕を持った作業時間を設定する。
- ・安全に良い画像を撮影するためにも、**撮影は日中に飛行させることが基本である。**

図 3.1.1 UAVの飛行条件

### (1) 気象条件の影響について

UAV の運用は、他の地上作業と比較して、天候等、運用時の条件に様々な制約がある。作業続行不能となる場合があるので、スケジュール通りに作業が進捗しない場合も想定し、余裕を持った作業工程の立案が必要不可欠である。

そのためにもまず竜巻注意情報や強風注意報が発令されていないかの確認が必要である。飛行訓練や、実際に撮影作業を行う空域である海拔 0m から 100m までは接地境界層と呼ばれ、地面との摩擦の影響が大きく、大気の流れ、不規則な乱流の発生が活発である。この不規則な気流を予測する事は難しく、これら**乱流に遭遇しない為にも、事前に地形の起伏や構造物・河川などの細かな現地踏査が必要であり、安全運航には欠かせない**。上空と地上の風の違いにも留意する。

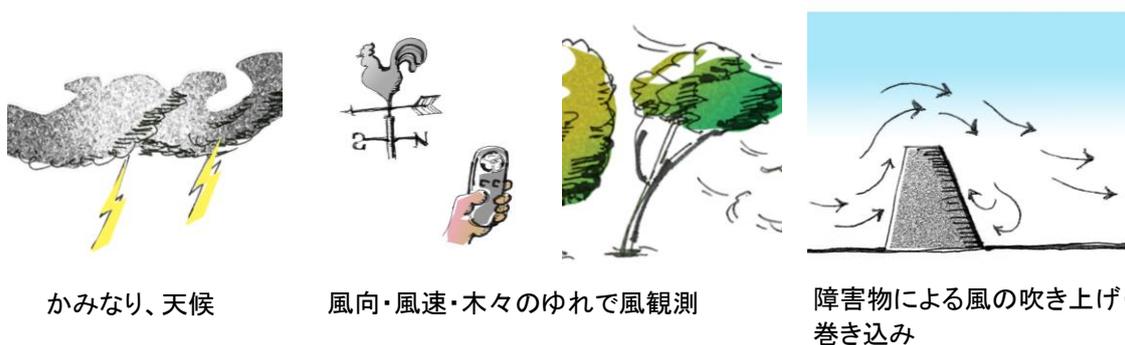


図 3.1.2 気象条件に関するリスクの例

### (2) 障害物・墜落リスクの回避

最適な飛行計画を立案するためには、障害物や周囲の状況を把握することを目的とした、事前の現地踏査が必要である。特に**強力な電波や電磁波を発射している電波塔**には注意が必要である。電波塔や、発電所及び変電所等の施設が存在する場合には、事前に「スペクトル・アナライザー機器」などを用いて使用周波数や出力及び通信状況を確認する必要がある。また、他の電磁波やノイズ等を発生させる調査などが実施されていないかの確認も実施する。その他、河川内の木々の繁茂状況、木々の枝などへの注意を怠らない。

河川堤防には第三者が立ち入ることもある。**車両や人と 30m 以上の十分な距離を確保する**とともに、横断構造物（橋梁や鉄橋）上空は、不測の事態を回避するため飛行しない。



図 3.1.3 障害物・墜落リスクの例

### (3) 離陸・着陸場の条件

#### 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、揚力に余裕が無く、モータの出力を高くしないと巧く飛行できない。

#### 2) 操縦関係者以外は 30m以上機体から離れる事を徹底

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不足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事を徹底し、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。**

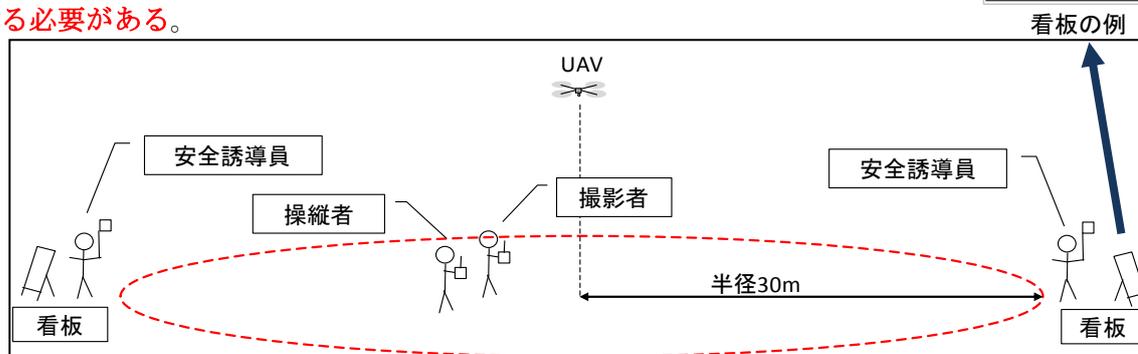
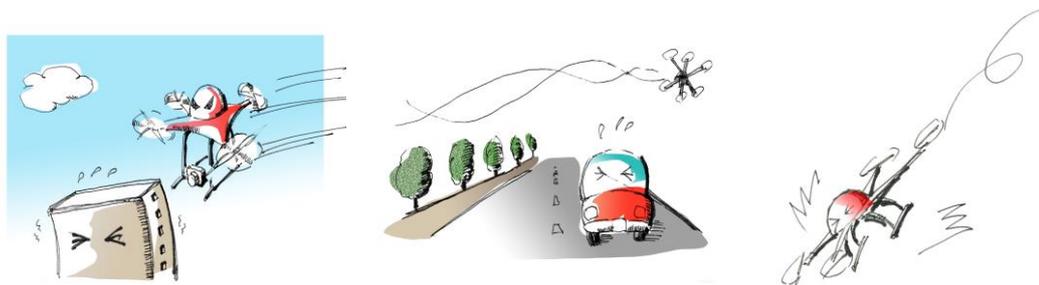


図 3.1.4 撮影体制の概要図

### (4) 電波の条件

マルチコプターは、構造上、フライトコントローラーや操縦系の受信機の周りをモータや ESC が囲むように配置されている。モータは回転すると電磁波を発生し、ESC は高周波を発生するので、それらが制御系や受信機を囲ってしまう。その他、画像伝送を使用する事になるので、**操縦用電波の受信環境はかなり劣悪な状態**にあり、**電子機器の組み合わせ如何では操縦不能に陥る**可能性がある。むやみな改造は行わない。行った際は、事前の点検により各センサーの動作確認を行う。



UAV 暴走の可能性もあるので念には念を・・・

図 3.1.5 UAV 暴走の危険性

ESC : electronic speed control 電子速度調節 (ESC) は、UAV 推進力システムの構成要素。

### 3. 1. 2 人員配置

UAV 調査においては、UAV 操縦者、撮影者および安全誘導員を配置し、第三者の安全を第一に作業を行う。

#### 【解説】

UAV 調査には最低4名以上の人員が必要である。

**UAV 操縦者**および撮影者は、モニター等で、UAV から送信されてくる機体情報（高度・距離・バッテリー残量等）を相互に常に監視し、目視と併せて機体の状態を把握する必要がある。

**撮影者**は、撮影モニターに映る画像の異常等（画像範囲が変わる等）を確認した場合は速やかに操縦者に伝え、必要な措置を講じる。

**安全誘導員**は、一般人の往来に応じて増やす。車や車両等の第三者が往来する箇所ではコーンやバリケードで注意を促すとともに、必要に応じて第三者に対する作業内容の説明や、ホバリングによる待機等を操縦者に指示する場合もある。

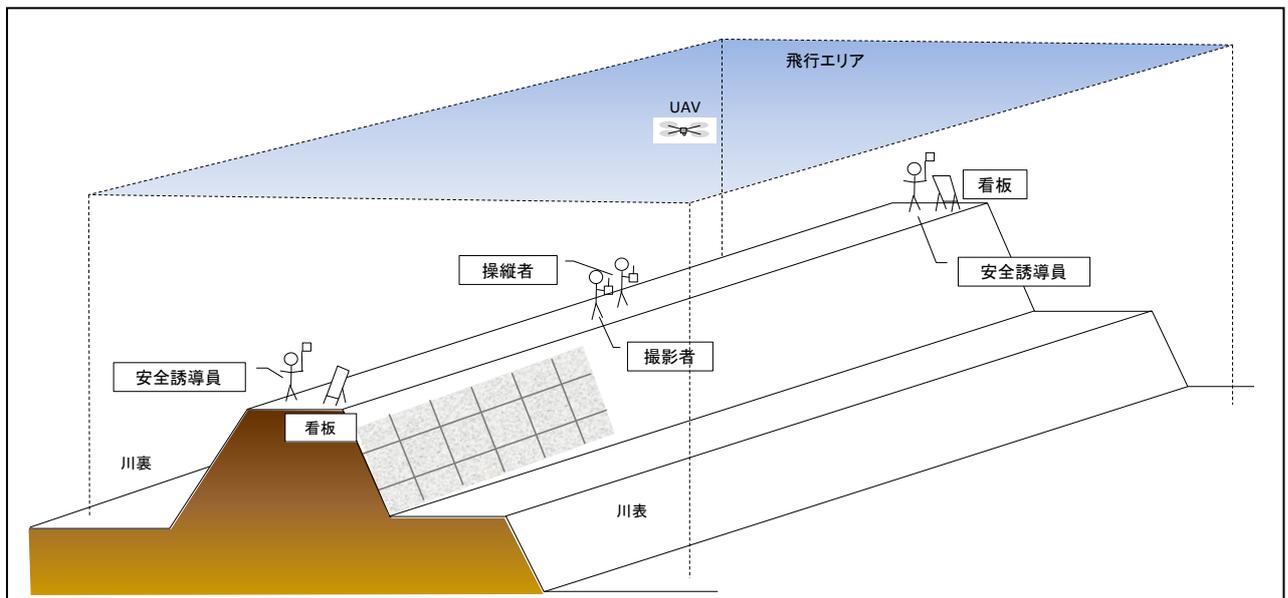


図 3. 1. 6 UAV 撮影体制（河川堤防の例）



図 3. 1. 7 撮影距離の違いによるディスプレイ上での画像範囲の違い

#### (1) 適材適所、作業方法を精査

UAV 使用を前提とした**無理な作業の立案**や手法を実行した場合には、**作業上のリスクが加速度的に上昇**する。

#### (2) オペレータは絶えず緊張状態

構造物の至近距離を飛行する場合、**オペレーターは絶えず緊張状態**にある。1 日中作業を行う事には無理があり、オペレータの技量・スキルを鑑み、余裕を持った作業時間を設定する。

#### (3) UAV 飛行速度の確認

最大飛行速度 22m/s、最大上昇速度 5m/s、最大下降速度 3~4m/s である (Inspire1、Phantom3 資料より) が、樹木等の障害物を避けることのできる速度で飛行する。

#### (4) 通信可能距離

遮蔽物が無い状況で約 2,000m の通信が可能である (Inspire1、Phantom3 資料より) が、**視認可能な飛行範囲 (距離 500m 程度以下)** で運用する。

#### (5) 飛行時間

飛行時間については、バッテリー個々の特性を把握しておく必要がある。モニターでバッテリー残量を把握できる場合は、**残量 30%を目安**とする。バッテリーの電圧で残量を把握する場合は、フル充電からの減衰特性を把握して設定する必要があるため、**バッテリーフル充電時、飛行前および着陸後の電圧と飛行時間を記録しておく**とよい (使用頻度や個々の特性により電圧低下が著しくなる場合には廃棄する)。

#### (6) 人員配置 (操作員、安全誘導員)

UAV の安全な運用のため、**UAV 操縦者 (1名)、撮影者 (1名)・撮影データ管理者 (1名; 撮影者と兼務可)、安全誘導員 (2名以上: 交通・往来状況等により増員)** が必要である。

#### (7) 補助者の役割

マニュアル操作において、**UAV 操縦者は遠方になるに従い対地高度を高く飛行させる傾向**がある。UAV から送信されてくるモニターに映る情報の確認および高度を一定に保つモード (Atti MODE (アッチモード)) を活用する。場合によっては、補助者が、対象までの距離 (高度) を「液晶モニターに映る画像の大きさ」などから想定し、UAV 操縦者に伝える。

#### (8) 作業計画

作業計画にない作業は原則として行わず、発注者に報告して判断を仰ぐこととする。  
確実に**安全を確保した上で作業を実施**する。

### 3. 2 撮影に関連する事項

撮影計画・撮影に関わる事項について下記に示す。

UAVによる空撮計画の立案に際しては、各場面での要求精度や撮影高度と計測精度など精度に影響を与える環境要因を考慮して計画・立案の必要がある。

以下ではそれぞれについて説明する。

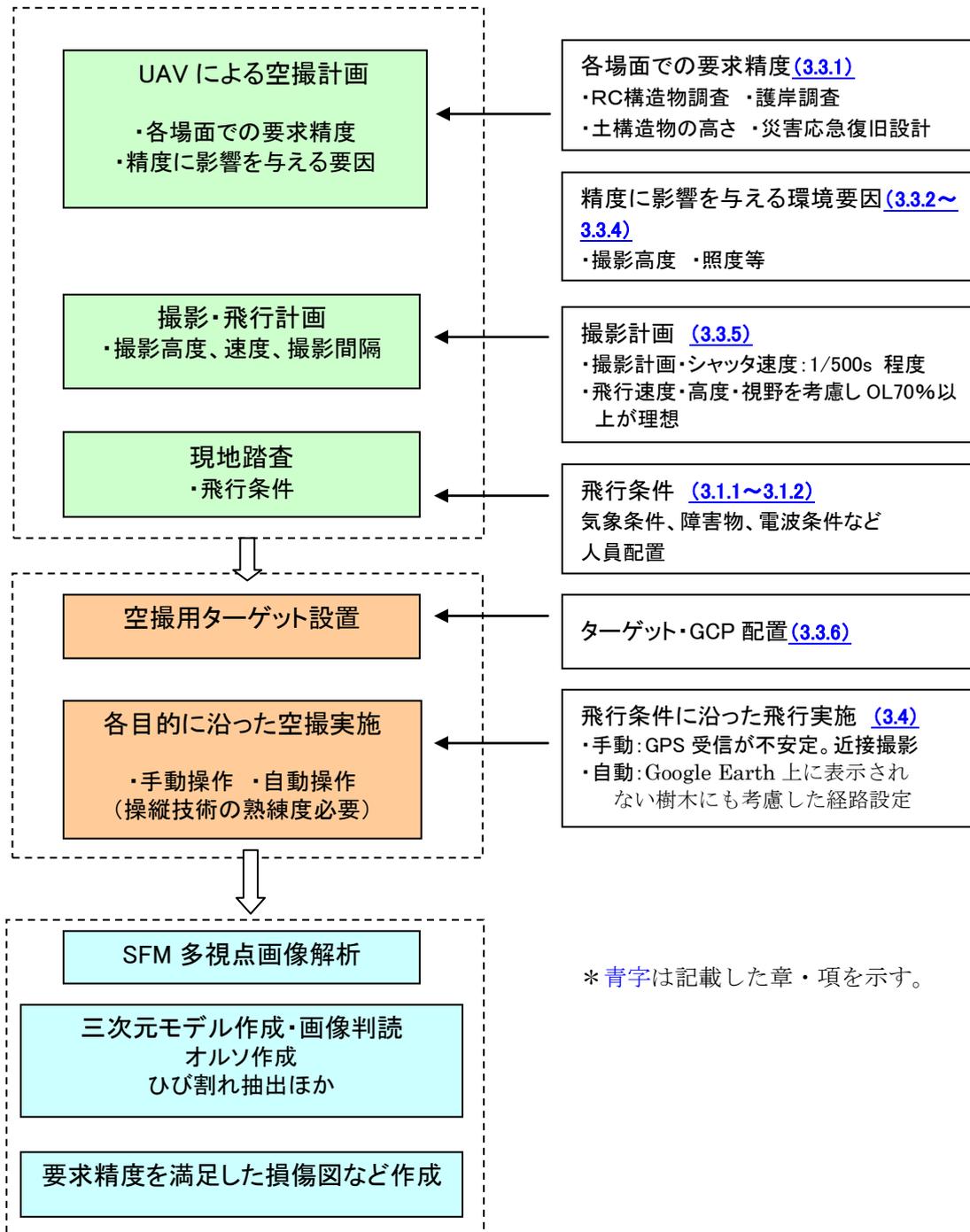


図 3.2.1 撮影に関する検討フロー

### 3.3 目標精度

#### 3.3.1 各場面での要求精度

UAV 撮影を行う際には、各場面での要求精度を把握しておく必要がある。

#### 【解説】

UAV 撮影に際し、目的を明確にしておく必要がある。目的に応じて、適切な機器の選定および撮影計画を策定し、効率的な現場作業を実施する（作業の効率化→撮影時間の短縮→墜落リスクの低減）。

R C 構造物調査、護岸調査、災害応急復旧設計等で要求される精度を、表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1 各場面での要求精度

適用場面	要求精度	根拠
R C 構造物調査	0.2mm	「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針—2013—」（H25）の補修を必要としない亀裂幅の上限値
護岸調査	2mm	「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案）」（H28.3）の評価区分 b 相当の亀裂幅
	裏込材の粒径以上 （参考：RC-40 で 2cm）	「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案）」（H28.3）の評価区分 c 相当の亀裂幅
土構造物の高さ	5cm	「河川土工マニュアル」（H21.4）の盛土工の出来高管理規格値
災害応急復旧設計	10cm 以上	災害後のポール測量相当

### 3. 3. 2 撮影高度と計測精度（幅）

撮影高度 5m では 0.2mm、50m では 2mm のクラックまでを視認※できる。コンクリートのクラック調査や護岸調査では、撮影高度 5～50m 程度での撮影が有効である。

なお、第三者あるいは第三者が所有する車両や建物から 30m の離隔を確保する必要がある。

#### 【解説】

##### (1) UAV 空撮と実機を用いた空撮の諸元の比較

表 3.3.2 は、UAV による撮影と実機を用いた空撮の諸元を比較したものである。通常実機を用いた空撮では、数値地図レベル 500（精度 25cm）相当の図面を作成するのに対し、UAV を用いた空撮では、航空法から 150m 以下の低空から撮影を行うため、市販のコンパクトデジカメでも、高度 100m の場合、31mm/pix と高い地上分解能で撮影でき、地図情報レベル 250（1/250（精度 12.5cm））以上の精度が得られる。また、カメラ一体型の UAV についても、同様の精度が得られる機種もある。

表 3.3.2 UAV 空撮と実機を用いた空撮の諸元比較の例

	UAV 空撮 1	UAV 空撮 2
カメラ	コンパクトデジカメ	一眼レフカメラ
撮影高度	100m	100m
画素数	4,590×3,450	6,000×4,000
画角	39.7°×30.3	66.3°×46.9°
CCD サイズ	17.3×13.0	23.5×15.6
焦点距離（35 換算）	24mm（24mm）	18mm（27mm）
解像度	31mm/Pix	22mm/Pix
数値地図レベル	250 レベル以上 （精度 12.5cm）	250 レベル以上 （精度 12.5cm）

	UAV 空撮 3	実機を用いた空撮
カメラ	UAV 一体型カメラ	デジタルマッピングカメラ
撮影高度	100m	700m
画素数	4,000×3,000	13,824×7,680
画角	94°	69.4°×42.0°
CCD サイズ	5.9×4.4（CMOS）	165.89×92.16
焦点距離（35 換算）	4mm（20mm）	120mm
解像度	37mm/Pix	70mm/Pix
数値地図レベル	250 レベル以上 （精度 12.5cm）	500 レベル （精度 25cm）

※「視認」：撮影したひび割れを PC モニター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。

## (2) 撮影高度と計測精度

UAV 空撮では、撮影高度が高いと 1 枚あたりで広範囲な撮影が可能であるが、撮影精度が低くなる。撮影高度が低いと撮影範囲が狭くなるが、精度は高い。そのため撮影高度を使い分ける必要がある。

本手引き(案)では、取得した画像を PC モニター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」レベルと定義している。各場面での要求精度に示したようにクラック幅については、RC 構造物調査では 0.2mm が、護岸調査では 2mm が、その他土構造物の高さは 5cm が、それぞれの測量精度に関する要求基準となっている。

図 3.3.1 は、上記で説明した各要求基準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高度のうち最高高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/pix) のカメラを用いる場合には、RC 構造物調査の要求精度である 0.2mm 以上のクラック幅に対しては高度 5m 程度以下、護岸調査 2mm に対しては 40~50m 以下で視認可能である。

河川堤防では、護岸や天端のクラック等について、1,200 万画素 (距離 100m の解像度 36.9mm/pix) のカメラにより飛行高度 20~30m で撮影した時の、クラック幅 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。

なお、付近に第三者がいる場合、あるいは第三者の所有する物件等がある場合には、30m 以上の離隔を確保する必要がある。

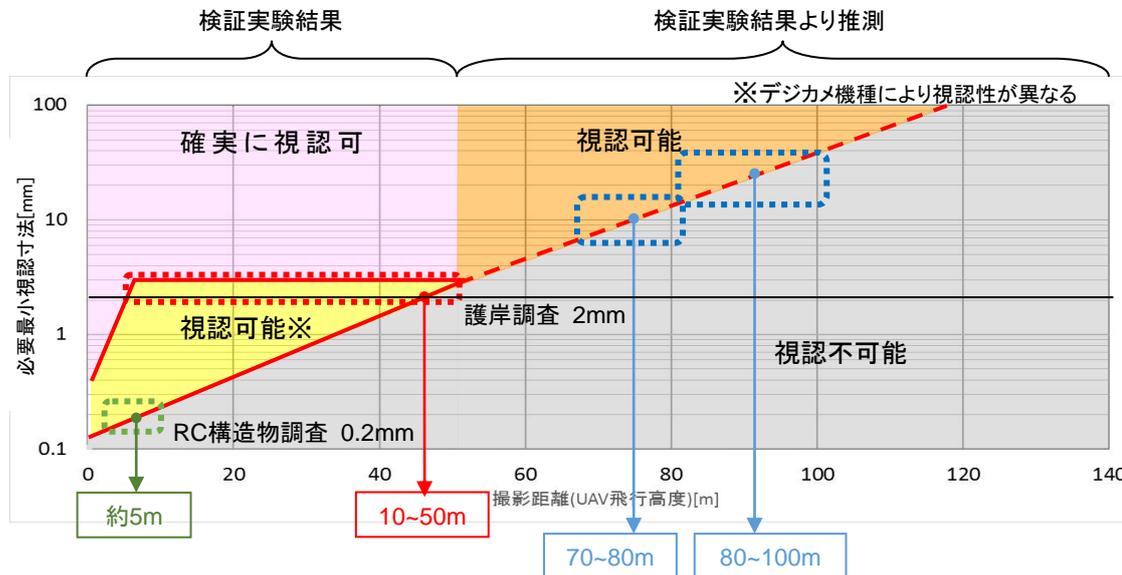


図 3.3.1 撮影高度と計測精度（「視認」精度）の関係

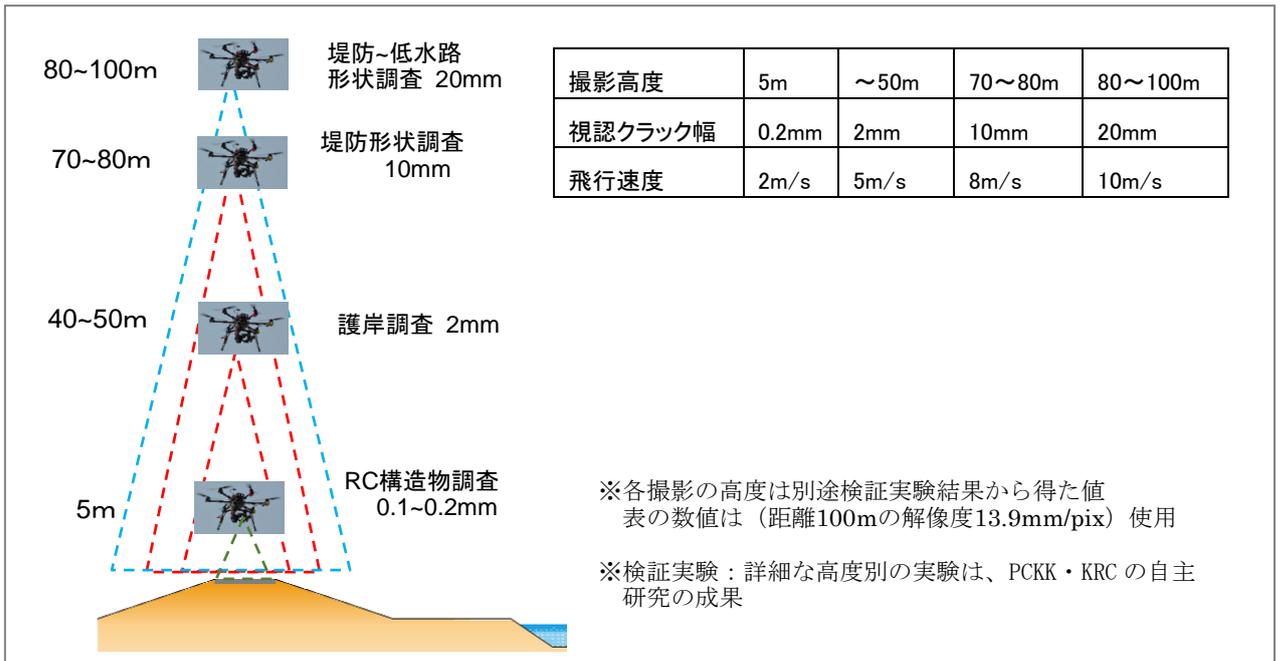


図 3.3.2 調査目的別の撮影高度のイメージ

【自然堤防における飛行高度と変状抽出の検証】

表 3.3.3 および図 3.3.3 は、河川堤防において、飛行高度を変えて撮影した画像から、幅 10mm 程度のクラック等を読み取り、現地踏査で確認されたクラック数を 100%とした時の割合を示したものである。変状抽出率は、高度 50m では 30~50%程度であるのに対し、高度 20~30m では 80%程度である。この高度以下では大きな抽出率の向上は認められない。また、高度 20~30m で抽出されなかった変状は、主に、植生や泥付着等の影響によるものである。

表 3.3.4 にその他の変状を含めた高度別抽出例を示す。

表 3.3.3 クラック等変状抽出結果

( ( ) 内の分母は現地踏査で確認した数、分子は UAV で確認した数)

変状	UAV撮影高度		
	10m	20-30m	50m
天端クラック 幅10mm程度以上	93.8% (15箇所/16箇所)	82.4% (14箇所/17箇所)	44.4% (8箇所/18箇所)
護岸クラック 幅10mm程度以上	88.2% (15箇所/17箇所)	82.4% (14箇所/17箇所)	52.9% (9箇所/17箇所)
護岸欠損 5×5cm以上	84.4% (27箇所/32箇所)	78.1% (25箇所/32箇所)	31.3% (10箇所/32箇所)

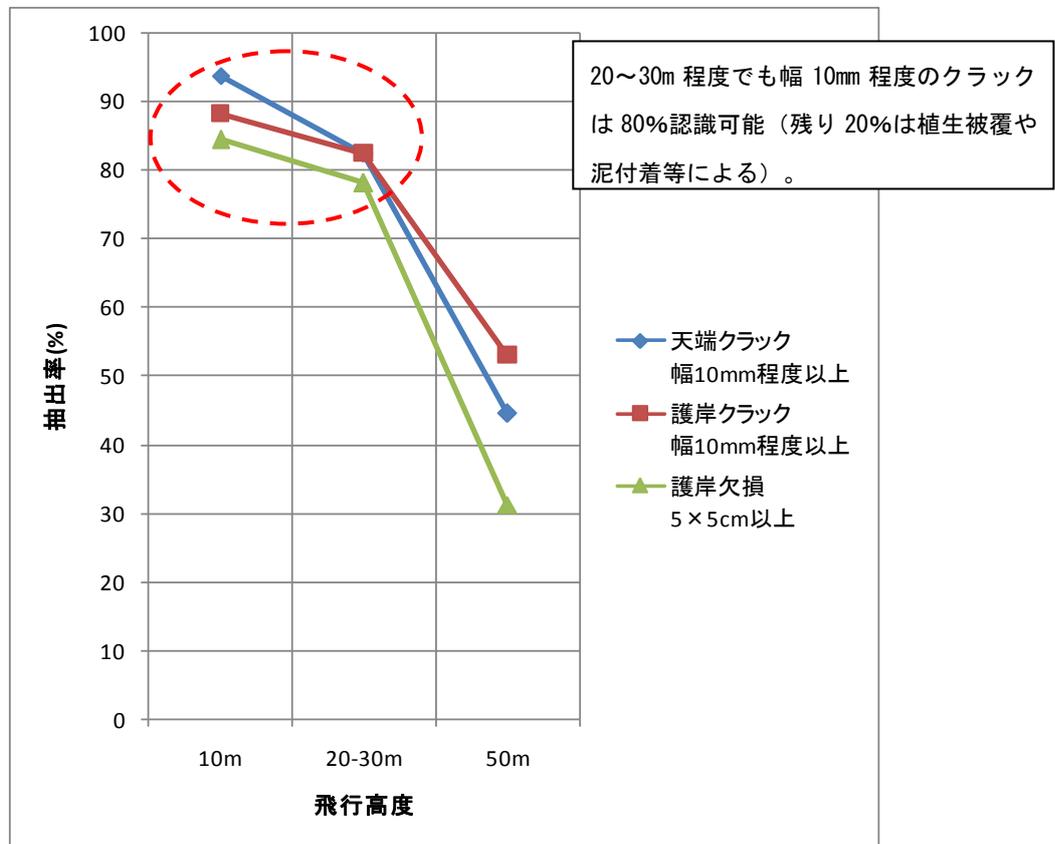


図 3.3.3 クラック幅と撮影高度

表 3.3.4 高度別変状抽出例  
 (詳細調査で確認した変状を○抽出可、×抽出不可)

	目視	UAV (高度10m)	評価	UAV (高度20-30m)	評価	UAV (高度50m)	評価
護岸欠損 12× 20cm			○		○		○
法面陥没 50× 30cm d20cm			×		×		×
護岸クラック 幅15mm			○		○		○
護岸クラック 幅3mm			○		○		×
イタドリ 2.5× 1.5× 0.2m			○		○		○
モグラ 穴 φ10cm			×		×		×
天端クラック 幅5mm			○		○		×
天端クラック 幅1mm			×		×		×

### 3.3.3 撮影高度と計測精度（凹凸）

撮影高度 50m 以下での凸形状の計測精度は、5cm オーダで計測可能である。

災害後の土の亀裂や陥没、すべり等の堤防形状調査や河道調査では、撮影高度 100m 以下で 10cm 以上の計測精度で抽出可能である。

#### 【解説】

前述の表 3.3.1 に示した各場面での要求精度のうち、土構造物の高さ、災害応急復旧設計における要求精度と UAV の撮影高度について図 3.3.4 に示す。土構造物の高さの要求精度は 5cm 以上の変状の抽出であるが、UAV を用い多視点から撮影した画像で土構造物の高さを取得するには、デジタル写真測量（SFM）の手法により三次元モデルを生成し、断面形状を作成して高さ情報を得る。そのときデジタル写真測量の平面精度（水平）と奥行き精度（垂直）の算出は次項のように与えられる。平面精度は主に高度によって変わる画像解像度によるが、奥行き精度（垂直）は、空中写真を連続して撮影するときのオーバーラップ（OL）に影響する。**土構造物の高さ精度基準 5cm を満足させるには OL が 70% のとき、最も精度の良いカメラで高度 75m、精度の悪いカメラの場合で 50m より低い高度で撮影する必要があると読み取れる。**また「**災害応急復旧設計における 10cm 以上（数十 cm）**」は、**OL70% のとき精度の良いカメラで高度 150m、精度の悪いカメラの場合で 105m 以下**であれば十分であるとそれぞれ読み取れる。

表 3.3.5 カメラ別平面精度と奥行き精度

カメラ	画素数	焦点距離 35mm換算 (mm)	ラップ率 (%)	精度 (mm)						
				撮影高度						
				10m	20m	50m	100m	150m	200m	
A	7360×4912	35	70	平面精度	1	3	7	14	21	28
				奥行き精度	7	14	34	68	102	135
B	6000×4000	36	70	平面精度	2	3	8	16	24	33
				奥行き精度	8	17	42	84	126	167
C	6016×4016	24	70	平面精度	3	5	12	25	37	50
				奥行き精度	8	17	42	83	124	166
D	4592×3448	24	70	平面精度	3	6	16	31	47	63
				奥行き精度	10	19	48	97	145	193
E	4000×3000	20	70	平面精度	4	7	18	37	55	74
				奥行き精度	8	17	42	83	125	167

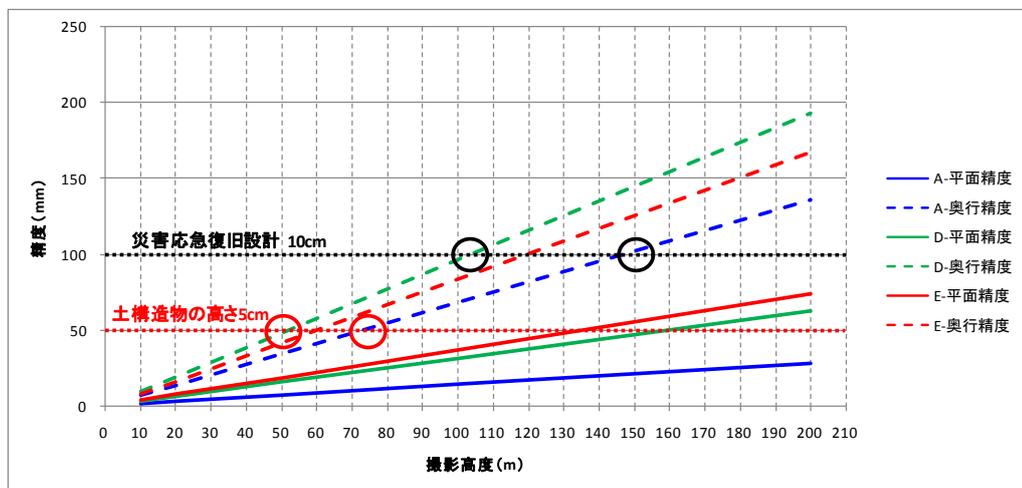


図 3.3.4 カメラ別の平面精度と奥行き精度（オーバーラップ率 70%）

●参考：基本原理と精度算出式

デジタル写真測量における計測精度は、撮影距離  $H$  に依存し、撮影基線長  $B$  は撮影距離  $H$  の  $1/3 \sim 1/6$  が理想であり、平面精度・奥行き精度とも下式により算出される。

平面精度  $\Delta x y = H \times \Delta p / f$

奥行き精度  $\Delta z = H \times H \times \Delta p / (B \times f)$

ここで、 $f$  : 焦点距離

$\Delta p$  : カメラの分解能 (mm/pix)

$B$  : 撮影基線長

$H$  : 撮影距離 (高度)

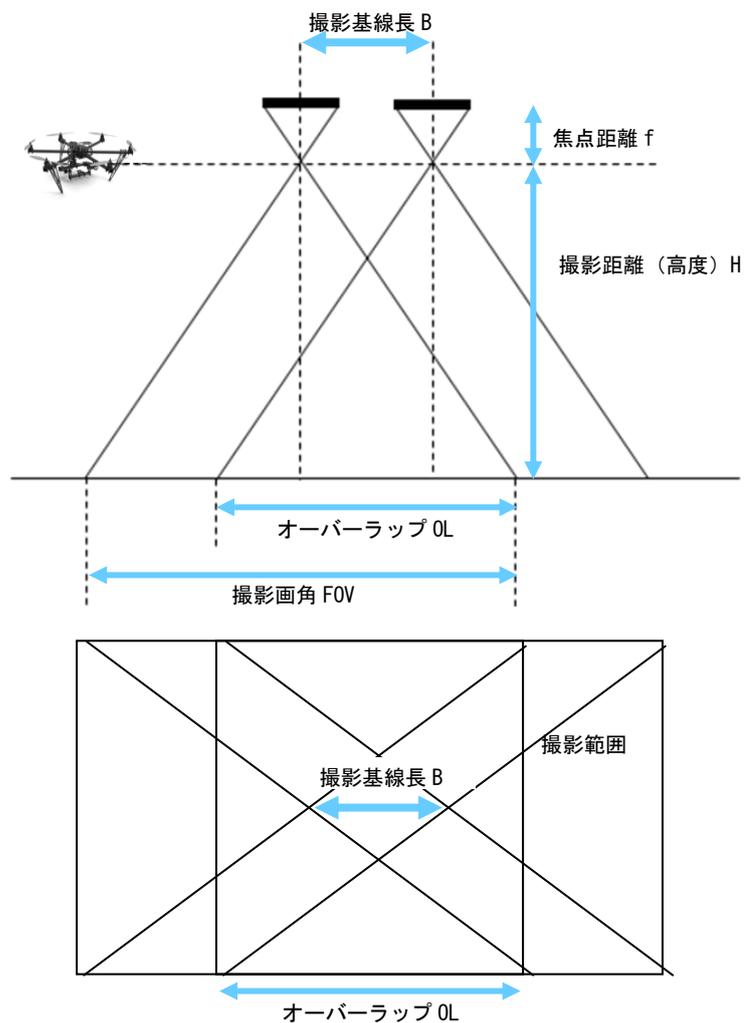


図 3.3.5 ステレオ写真測量の概要図

### 3. 3. 4 照度等と計測精度

UAVを用いた撮影条件は、以下を満足することが望ましい。

- ・撮影時のシャッター速度は 1/500s 以上を確保する。
- ・ISO800 以下で F 値が 5 程度を確保できる状態で撮影を行うことが望ましい。
- ・10,000lx 以上の照度がある状態での撮影が望ましい。

#### 【解説】

UAV を用いた撮影では、移動しながら、または UAV の振動を受けながら撮影を行うため、1/500s 程度のシャッター速度を確保する必要がある。ISO 感度も、ピクセル単位でのクラック検出においては、過度に高感度撮影した場合は、ノイズ等により正確な結果を得ることが難しい。

- ・シャッター速度 1/500s 以上で撮影を行う。
- ・ISO800 以下で F 値が 5 程度を確保できる状態で撮影を行う。

また、ひび割れ幅算定では、例えば CI 値が低下すると、ひび割れ抽出システムでは、本来の幅よりも細いものと誤判定してしまう。1.2mm、1.0mm、0.5mm 幅でも同様の傾向が見受けられる。よって、10,000lx 以下の条件下では、クラック幅を誤判定する可能性があるため、10,000lx 以上の照度がある状態での撮影が望ましい。

#### ●参考—天候と照度の目安

照度の目安 : 晴天日中 : 100,000lx 曇天日中 : 30,000lx

曇天日出 1 時間後 : 2,000lx

晴天日没 1 時間前 : 1,000lx 日出入時 : 300lx

---

CI 値 : クラックインデックス。デジタル画像からひび割れ幅を検出するクラックインデックス法におけるひび割れ幅の指標。CI 値が大きいほどひび割れ幅が大きいことを表す。5.2.2 の(9)、(10)において詳述している。

### 3. 3. 5 撮影計画（撮影高度・速度・撮影間隔の関係）

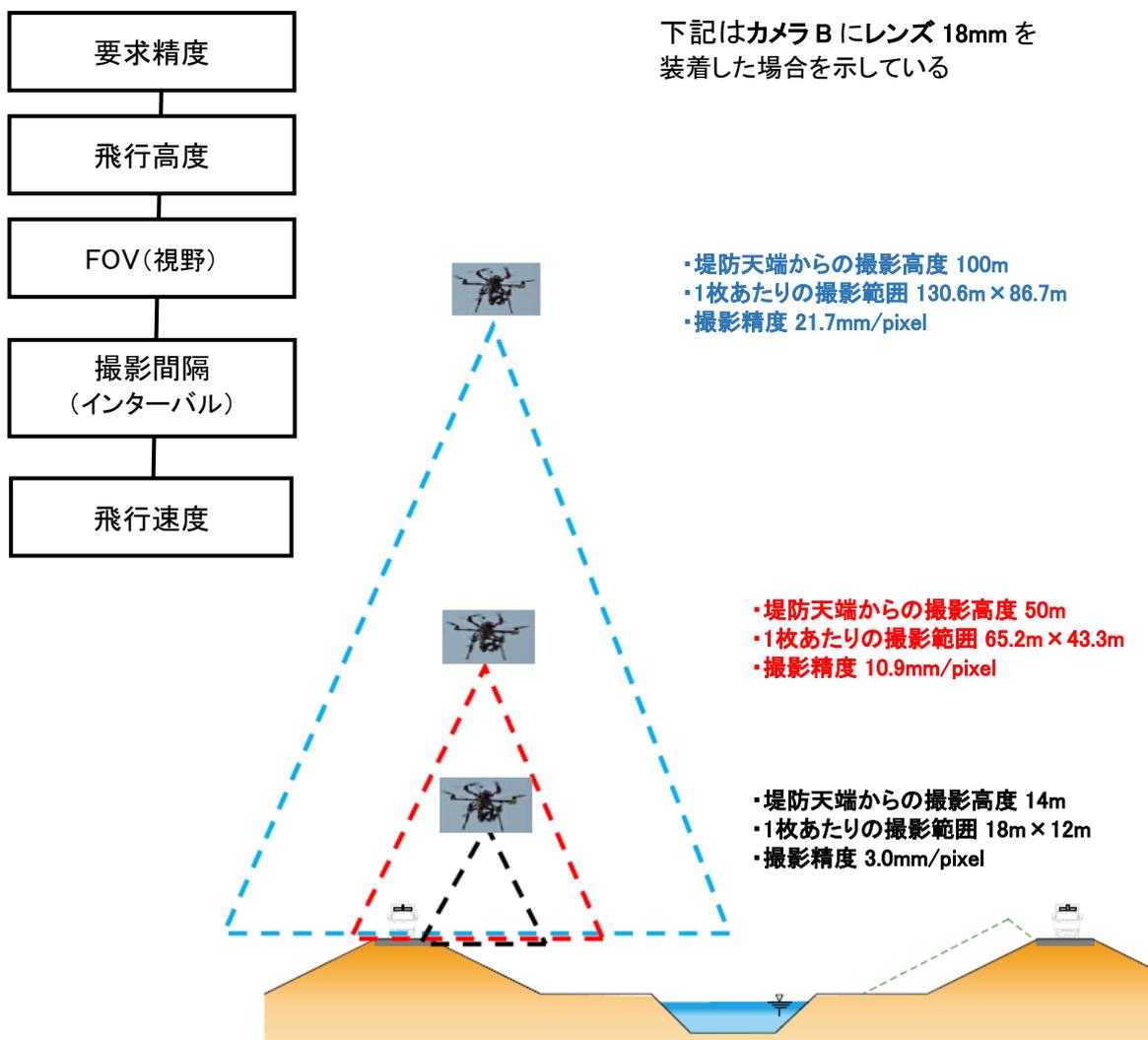
UAV 撮影計画および解析計画は、要求精度を踏まえ効率的に行う（飛行計画、撮影間隔等）。

#### 【解説】

前述したように UAV は低空飛行が可能のため、概ね 1/250 の地図情報レベルの図面が作成可能である。要求精度が決まれば、効率的な撮影高度、カメラ画角（FOV）、撮影間隔、ラップ率 OL から飛行速度が算出でき、飛行計画に反映する。このとき UAV の空撮では最低でも 1/500s 程度のシャッター速度は確保する必要がある。

ここでは前章までに設定した要求精度および最高飛行高度をもとに、適した撮影計画を行う手順について示す。

#### 効率的な飛行計画設定の考え方



### (1) 飛行高度の設定

要求精度が決まると図 3.3.1 から精度を満たす最高飛行高度が求まる。

図 3.3.1 から得られるのは最高高度であり、それよりも低高度で撮影を行えばより高精度な計測が行えるが、撮影画角が狭くなり、それにあわせて飛行速度も落とす必要があるため作業時間が増大する。さらに、同じ範囲を撮影するために必要な写真枚数が増えてしまうため、データ容量や三次元モデル化するための多視点画像解析時間も増大する。したがって、基本的には最低限必要な精度を確保できる最高高度にて飛行を行うこととし、場合によっては、精度に余裕を持たせて最高高度よりも低めの高度で飛行させる。

高い撮影高度: 作業時間は少なく済むが、精度が低下する。

低い撮影高度: 精度は向上するが、作業時間が増大する。

→基本的に要求精度を満たす最高高度に設定する。

### (2) 視野 (FOV) の算定

図 3.3.7 は撮影高度、レンズ焦点距離、センササイズ、FOV の関係を表す模式図である。これらには下記のような関係がある。

飛行高度が決定すると FOV が次式によって算定される。

$$\text{FOV} = \text{センササイズ} \times \text{撮影高度} / \text{焦点距離}$$

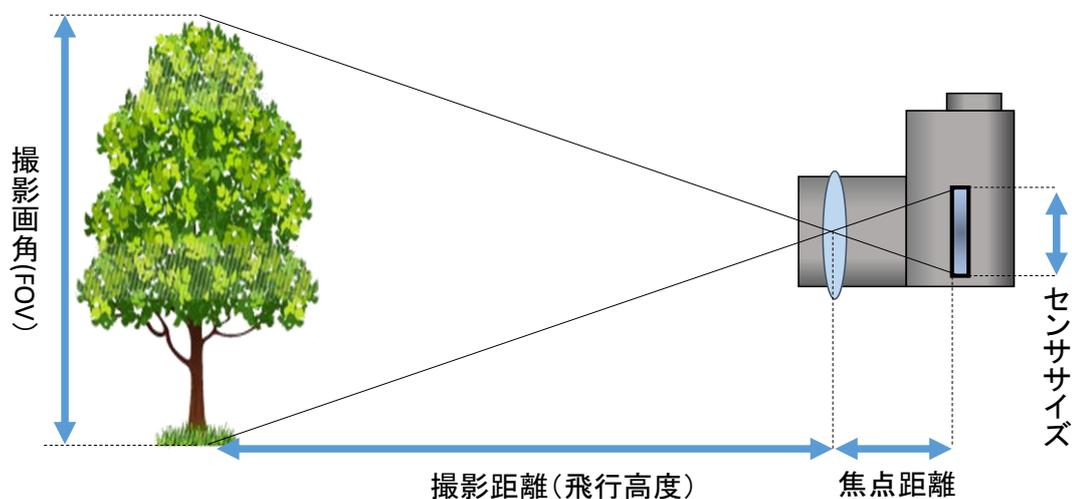


図 3.3.7 FOV の算定

### (3) 移動基線長の算定

図 3.3.8 は、FOV、オーバーラップ長、移動基線長の関係を表す模式図である。

図 3.3.8 より、「移動基線長 = FOV - オーバーラップ長」という関係が成り立つ。

オーバーラップ率[%]を OL とすると、「オーバーラップ長 = FOV × OL / 100」と表せる。

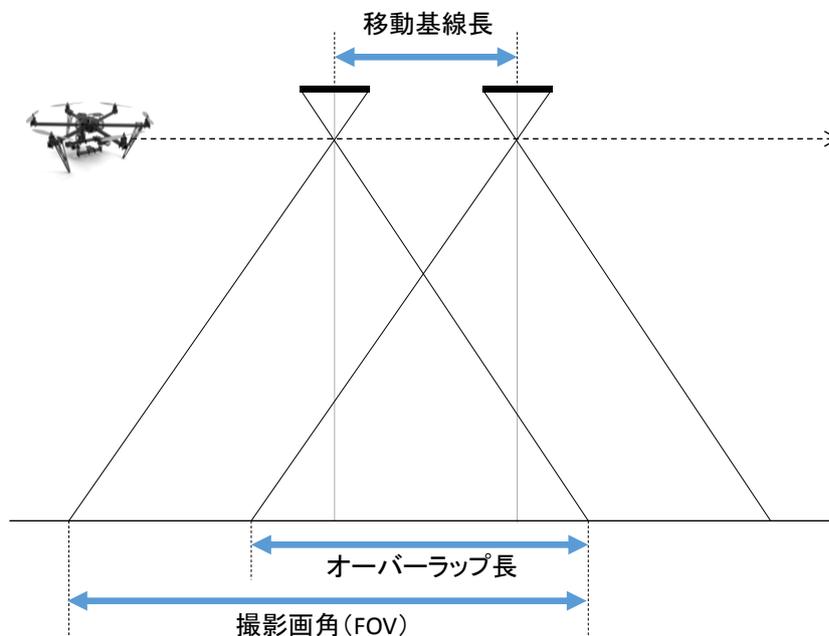


図 3.3.8 移動基線長の算定

次に移動基線長が次式によって算定される。(OL: オーバーラップ率[%])

$$\text{「移動基線長} = \text{FOV} \times (1 - \text{OL} / 100)\text{」}$$

### (4) 最大飛行速度の算定

移動基線長とインターバル撮影間隔を用いた次式によって、要求される精度とオーバーラップ率を満たす最大飛行速度が算定される。

$$\text{「最大飛行速度} = \text{移動基線長} / \text{インターバル撮影間隔}\text{」}$$

インターバル撮影間隔は、カメラの仕様によって決まる場合が多く、典型的には最速で 1 秒間隔のインターバル撮影を行うことが可能である。インターバル撮影間隔が長くなると飛行速度を上げられないため、現場での作業効率が落ちてしまうことに留意する。

## (5) 適切な飛行速度の決定

これまでに算定した最大飛行速度を超えない範囲で最適な飛行速度の設定を行う。

最適な飛行速度を決定するうえで考慮すべき要素を以下に列挙する。

### 1) 機体性能

算定した最大飛行速度と同様に、機体の最大飛行速度性能を超えない範囲で最適な飛行速度の設定を行わなければならない。また、風の影響も考慮し、カタログスペックよりも余裕を持たせた飛行速度に設定すべきである。



図 3.3.9 DJI Phantom2

既製品マルチコプターである DJI Phantom2 は最大飛行速度が 10m/s である（取扱マニュアルより）。

風速 5m/s の状況下で行うホバリングは、無風状態の 5m/s 移動と同様の動作が行われる。

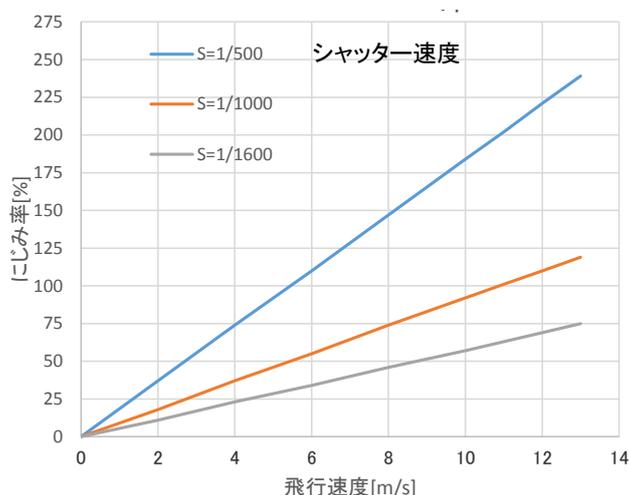
このとき Phantom2 は最大で 5m/s の移動しか行えないこととなり、カタログスペックである 10m/s での飛行計画は成立しない。

また、機体性能を超える速度でのフライトはバッテリー、モーター、ESC などのパーツに大きな負荷を与えてしまう可能性があり危険である。

### 2) 写真のにじみ率とシャッター速度

写真のにじみ率[%]とは、シャッターが開いている間の被写体の移動量で、100%を 1pix 分の移動量として定義する。写真のにじみ率は次式によって算定される。

$$\text{「写真のにじみ率[\%]} = \text{飛行速度[m/s]} \times \text{シャッター速度[s]} / \text{1pix の撮影解像度[m]} \times 100\text{」}$$



撮影解像度が 10mm/pix の場合の、にじみ率と飛行速度の関係。

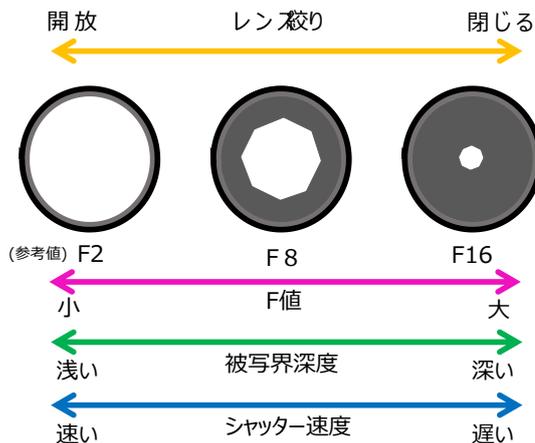
グラフからも読み取れるように、にじみ率は飛行速度に比例し、シャッター速度に反比例する。すなわち、低速で飛行し、速いシャッター速度で撮影を行えば比較的にじみ（ぶれ）の少ない写真を撮影することができる。

図 3.3.10 にじみ率と飛行速度の関係

### 3) 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、撮像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。前述のように、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ふ。

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。照度が高ければシャッター速度を上げて適正な明るさが確保できる。



シャッター速度とレンズ絞りの関係を表した図。

シャッター速度を上げてセンサーの露光時間が短くなると、レンズの絞り値（F 値）が小さくなり、被写界深度が浅くなる。

被写界深度が浅いと、ピントの合う範囲が狭い状態であり、いわゆる「ピンボケ」となる。

図 3.3.11 シャッター速度とレンズ絞りの関係

### 4) 作業効率

飛行速度を最大飛行速度に近づけるほど撮影写真枚数が少なくなり、後処理の写真整理や多視点画像解析でのデータ容量や処理時間を縮減できる。

以上の要点をまとめると、次のようになる。

機体の性能以上の速度では飛行させない。  
風の影響を考慮し、余裕を持たせた速度で飛行させる。

速い飛行速度: 作業時間は少なく済むが、にじみ率が增大する。  
遅い飛行速度: にじみ率は低下するが、作業時間が增大する。

速いシャッター速度: にじみが抑えられる → ぶれの少ない写真  
遅いシャッター速度: 明るさが確保でき、F 値を大きくできる → ピントの合った写真

適切な飛行速度を決定する上で、にじみ率と作業効率がトレードオフの関係となる。基本的には写真の質を優先させるため、確保したいにじみ率を先に決め、それを満たす最高飛行速度に設定する。ただし、撮影環境の照度によってはシャッター速度を上げすぎると被写界深度が確保できなくなってしまうため、ある程度の被写界深度を確保できるシャッター速度におけるにじみ率を考える必要があることに留意しなければならない。

### 3. 3. 6 ターゲット（対空標識）

三次元モデルに実寸法を持たせるためにターゲット（対空標識）を設置する。

ターゲットは、周辺と差別化でき、UAV から視認可能な最低 3 箇所に設置する。縦横断方向の  
高さ・位置の精度向上を図るため、偏ることなく全体に設置する。

#### 【解説】

多視点画像解析で作成する三次元モデルに実寸法を持たせるには、最低で 3 点の最新の座標値 (x、y および標高) の入力が必要となる。**面的（縦横断方向）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**し、設置したターゲットの測量を行う。河川には通常 200m 間隔で距離標が設置してあるが、UAV の撮影にあたっては、これらの座標が、基準点として用いることができるよう周辺は常に除草がされておくことが望ましい。ターゲットを設置する場合は、周辺と差別化でき、UAV から認識可能である必要がある。ちなみに 10cm 角程度であれば高度 100m からでも確認できる。



図 3. 3. 12 ターゲットの GPS 測量状況の例



距離標に設置



天端道路に設置



天端道路に設置

図 3. 3. 13 対空標識の例



図 3.3.14 対空標識配点の設置例

(測定延長 200m の堤防の例；4 隅、中間点および天端に設置。  
黄色点線は、最低限必要とされるターゲットの配置例)

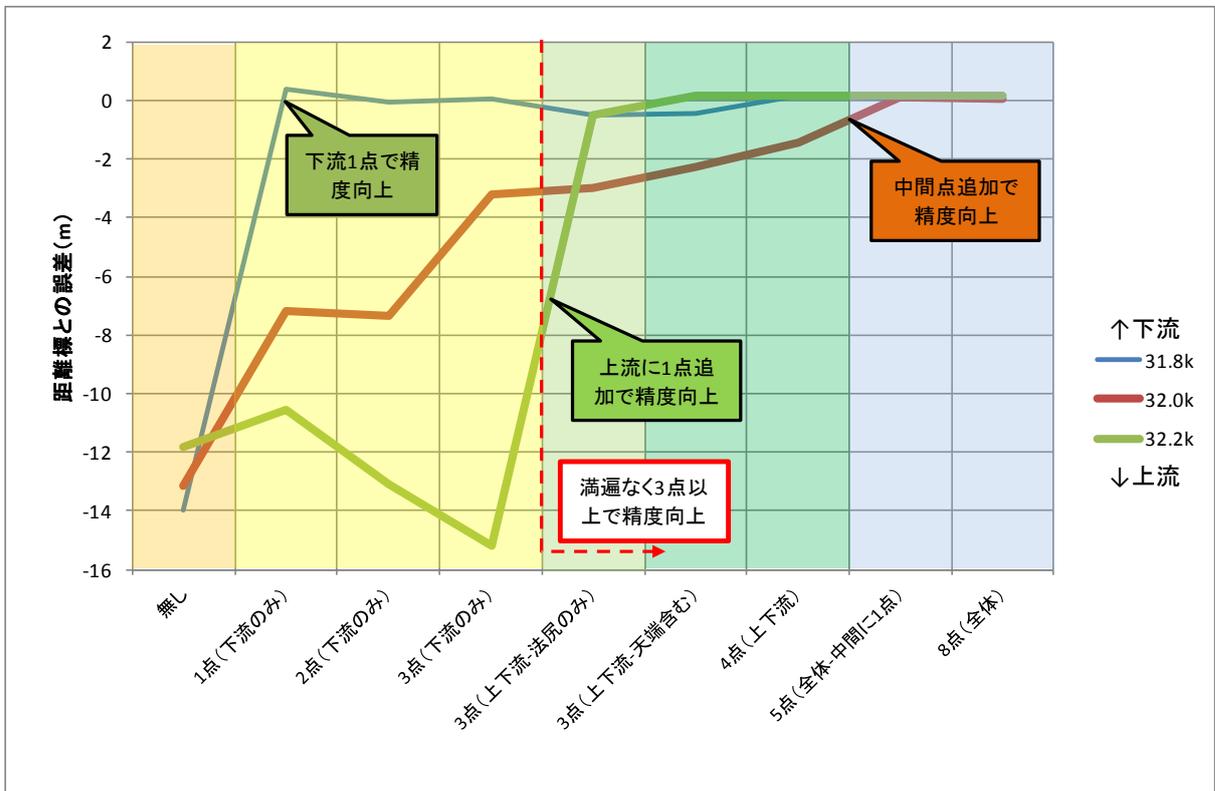


図 3.3.15 対空標識設置数および設置箇所による精度検証  
(設置場所および凡例の位置は次ページ参照)

表 3.3.6 対空標識の検証（黄色丸は対空標識設置箇所）  
 （対空標識 3 点以上で距離票との高さの誤差は解消される。  
 中間点に設置することで、中間地点の精度も向上する。）

対空標識 無し			
			
対空標識 1 点 (下流側のみ)	対空標識 2 点 (下流側のみ)	対空標識 3 点 (下流側のみ)	対空標識 3 点 (法尻 3 点)
			
対空標識 3 点 (法尻 2 点天端 1 点)	対空標識 4 点 (法尻 3 点天端 1 点)	対空標識 5 点 (中央天端追加)	対空標識 8 点
			

### 3. 4 自動操作と手動操作

#### 3. 4. 1 飛行手法における特徴

操作方法の使い分けは以下を基本とする。

(1) 自動操作が有効な場面

GPS 受信状況が万全で、かつ対象物が堤体や護岸地表面の場合

(2) 手動（マニュアル）操作が有効な場面

堰などのコンクリート構造物の損傷調査を近接から撮影する場合

#### 【解説】

現地で UAV を飛行させるには、まず安全確認のため現場での動作チェック、現場の周辺環境の確認は必要不可欠である。GPS 受信の状況、撮影対象までの距離を考慮し、自動操作と手動（マニュアル）操作とを使い分ける。自動操作と手動操作の用途、長所と短所について表 3.4.1 に整理する。

(1) 自動操作が有効な場面

GPS 受信状況が良く、構造物の形状把握など **広角・遠隔撮影で広域を洩れなく画像撮影を行う場合**に用いる。予め指定したルートを飛行するため、飛行に無駄が少なく、同じ経路を飛行するためにモニタリングに向く。

(2) 手動（マニュアル）操作が有効な場面

**水門・橋などの損傷調査等は近接撮影が必要になるため、手動（マニュアル）で操作する。** UAV 操縦技術の熟練度に左右され、熟練者の場合でも最も近接できる撮影距離は 5m 程度である。

**河川堤防の広域撮影（目視の出来る範囲内）においても、不意に堤防天端に歩行者や車両が通行する懸念がある場所、急な天候（風）の変化、野鳥、樹木等の状況の変化に即座に対応可能な手動操作が有効な場合がある。**

なお、自動操作、手動操作の何れの場合も目視可能な範囲内で飛行させる。また、**UAV 操縦技術の熟練度は双方ともに必要であり、日常的な操縦の訓練が不可欠**である。

表 3.4.1 UAV 自動操作とマニュアル操作の整理

方法	用途	概要	使用機器・ソフト	長所	短所（留意点）
共通	・光学的計測機器の搭載。	・安全への意識 フライトプラン設定。 ・人・交通箇所での飛行は避ける。 ・電波状況確認 悪天候時飛行中止。 ・近接撮影(橋梁などコンクリートの損傷調査等)の場合 0.2mm 幅を認識するには、対象に 5m 程度接近飛行が必要。	・UAV 本体 ・GPS ・ジャイロ ・画像伝送装置 (技術適合基準及び無線局取得機器) ・プロポ ・カメラジンバル	・人がアクセスできなかった高所、立ち入り困難箇所から、仮設足場等を設置することなく、撮影が可能である。	・墜落、コントロールアウトのリスクの回避に努める必要がある。
自動操作	・GPS 受信状況が良く、かつ、対象物に対し広角・遠隔撮影で対応できる場合に用いる。	・GPS 受信状況が良く、かつ対象物に対し広角・遠隔撮影で対応できる場合に用いる。 ・河川管理・埋め立地の土量管理など。	・搭載機器 DJI-2.4GHz DATA LINK unit ・ソフト DJI-Ground Station	・広域を洩れなく画像撮影が行える。 ・撮影高度が高いほど自動飛行の位置誤差による撮影画角や撮影解像度に対する影響が少なくなる。 ・同じ経路を飛行できモニタリングに向く。	・5m 前後の位置誤差がある。 ・Google Earth 上に表示されない構造物や樹木等を考慮しない経路の設定を行うと機体を接触させてしまう恐れがある。
手動(マニュアル)操作	・橋梁床版裏など GPS 受信が不安定な場合や構造物調査など近接撮影が必要な場合に用いる。 ・近接目視の代替。	・橋梁床版裏など GPS 受信が不安定な場合や、構造物調査など近接撮影が必要な場合に用いる。 ・橋梁など構造物の点検。	・肉眼で UAV を見ながら、プロポで機体を操作する。	・近接撮影ではピント、解像度が重要であり、撮影対象と UAV 機体の接触を避けながら操縦する。	・操縦者の卓越した操縦技術が必要。 ・日常的な操縦の訓練が不可欠。

### 3. 4. 2 自動操作

自動飛行は、範囲が広域でも抜けのない画像の撮影が行える。  
Google Earth 上に表示されない樹木等にも配慮した経路設定が必要である。  
Google Earth のマッピング精度は、場所によっては 5m 程度の誤差がある。

#### 【解説】

GPS 受信状況が万全かつ対象物が地表面の場合、自動飛行は範囲が広域でも抜けのない撮影が行え、撮影高度が高いほど自動飛行の位置誤差による影響が少なくなる。

#### (1) 自動操作：自動飛行専用モジュールおよびソフトウェア

自動飛行を行うには、専用の機器が必要である。

例えば、使用する UAV に標準的な機器 (DJI 2.4GHz DATA LINK unit) を搭載し、無料ソフト (DJI Ground Station) を使用する (図 3.4.1)。DJI Ground Station では、Google Earth の画面をクリックするだけでウェイポイントの設定が行えるが、後述の通り、誤差がある点に留意する必要がある。

#### (2) 自動操作における注意点

自動操作は操縦者の技量に影響を受けずに安定した飛行が可能であり、安全なように思えるが、飛行高度の設定を誤ったり、Google Earth 上に表示されない**構造物や樹木等を考慮しない経路の設定を行ったりすることで機体を接触させてしまうリスク**があり十分注意が必要である。



図 3.4.1 自動操作の状況

### (3) 自動操作における飛行経路の誤差

図 3.4.2 は、堤防天端の通路を中心に川裏・川表を飛行するよう経路設定を行った例であるが、実際にはやや川表寄りの経路で飛行した。飛行経路の誤差は、マッピングされる航空写真のずれ、GPS の測位誤差、風の影響などの原因が考えられる。GPS 測位精度は一般に単独測位の場合±5m 程度、風の影響は体感で±1m 程度、マッピング精度は、場所によって 5m 程度の誤差があると思われるので留意が必要である。

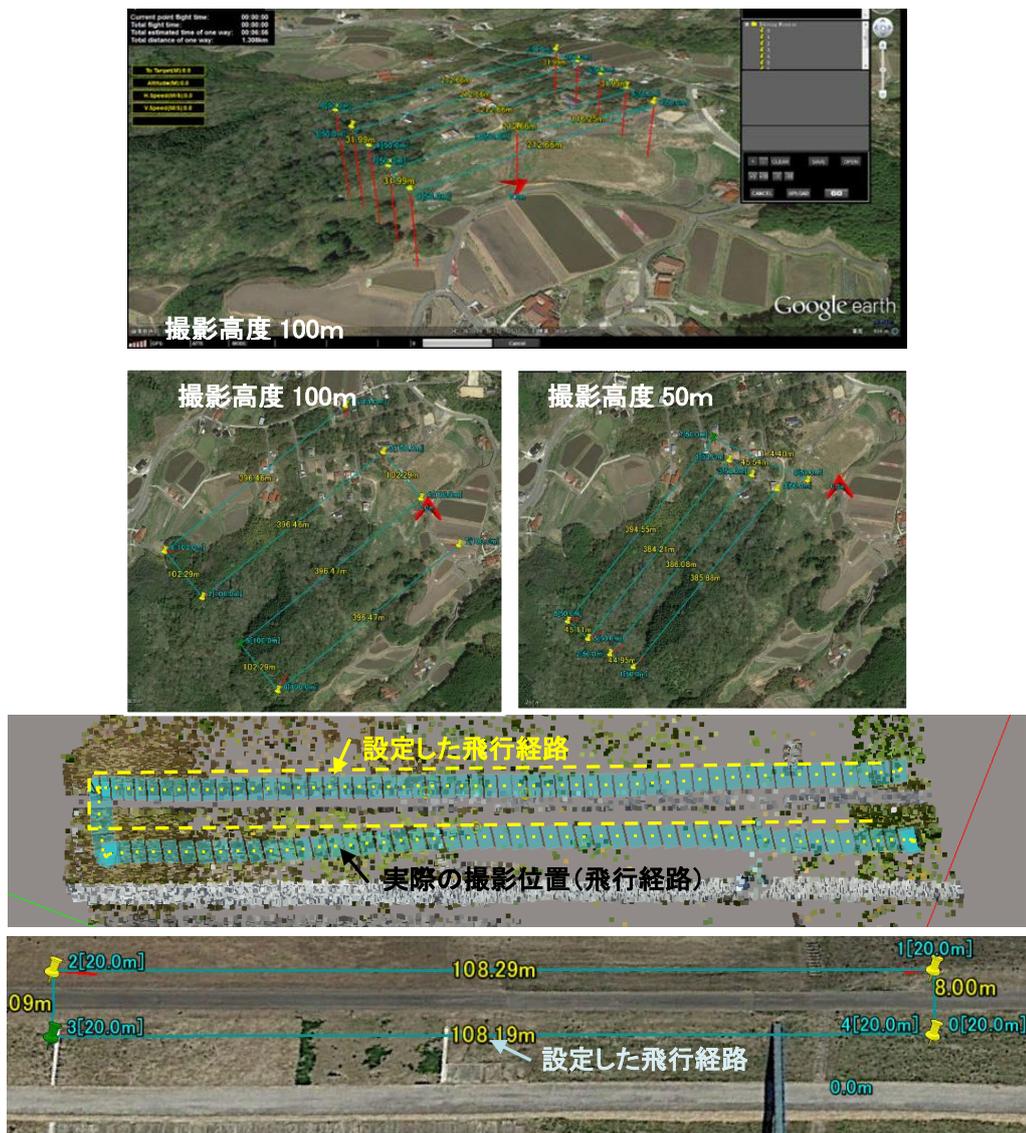


図 3.4.2 設定経路と多視点画像解析により算出した飛行経路の違い  
(設定した飛行経路と実際の飛行経路には 5m 程度の差が生じる場合がある)

### 3. 4. 3 手動（マニュアル）操作

手動操作によるマニュアル飛行は、比較的構造物に近づく撮影に有効である。

広域でも、第三者や気象等の状況変化が懸念されるような箇所では、即座に対応できるため、有効である。また、GPS のマッピング精度に左右されず、漏れの無い撮影が可能である。

#### 【解説】

手動によるマニュアル操作とは、一般に GPS もジャイロも解除した飛行モードを表す。座標入力によらずプロポでフライト指示を行う。自動操縦の場合、5m 程度の誤差が生じる可能性があるため、構造物に近接して点検する際は、マニュアル操作の方が安全である（衝突の危険性を回避できる）。

第三者や車両の通行があるような箇所、あるいは地形条件等から気象が急変する可能性があるような箇所、また、災害時の状況把握等で、現地状況の把握があらかじめ困難な箇所等で広域を撮影する場合にも、マニュアル操作の方が安全かつ有効な場合がある。精度を要求される三次元画像用の撮影を行う場合は、完全マニュアルではなく、**AttiMode（アッチモード）を活用する等し、飛行高度を一定に維持して精度を確保する。**

なお、**急な状況変化に対しては、ホバリングや緊急帰還等で迅速に対応し、第三者に危害を加えないことを徹底する。**

撮影において、風などの影響で機体がずれた場合は、操縦者は再度その上空を飛行し、撮影漏れの無いようにする。撮影者は飛行の軌跡と撮影写真を確認し、撮影漏れの有無を確認する。

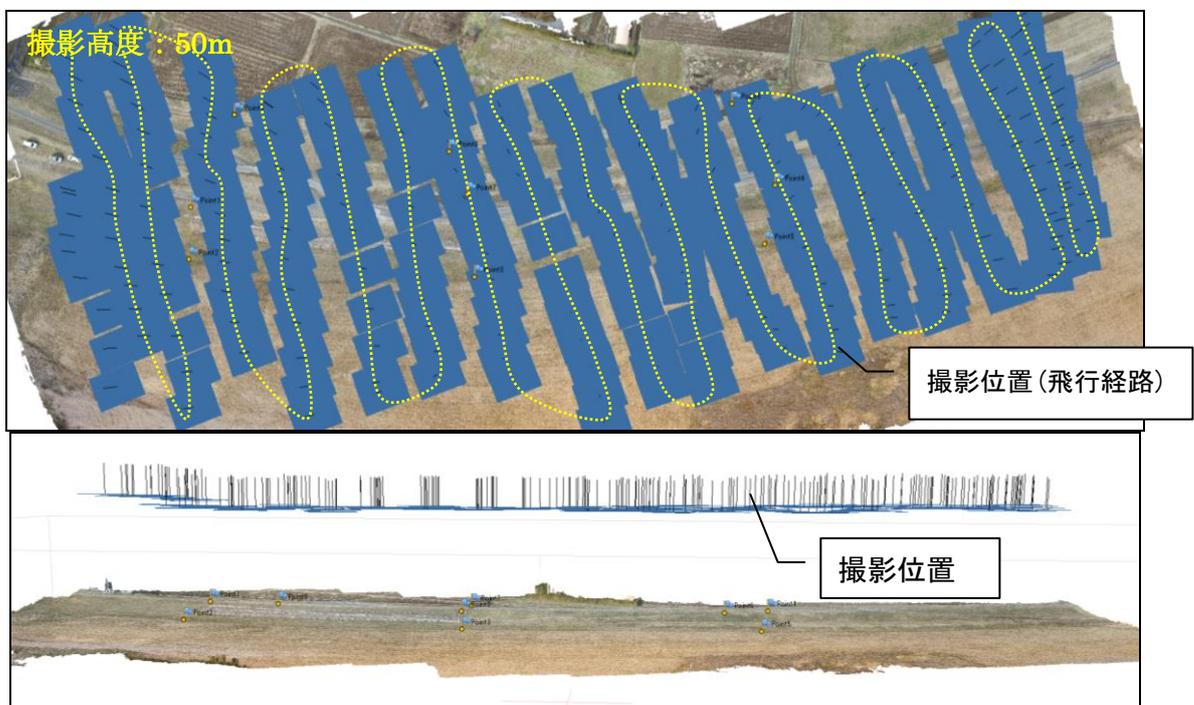


図 3.4.3 AttiMode を用いたマニュアル撮影の例

（上：写真撮影位置を示したオルソ画像、下：横から見たところ（ほぼ一定の高さから撮影））

<補足>

・Manual MODE(マニュアルモード)

全ての操作を手動で行うモード。

・自動操縦

GPS atti MODE を用い、指定の座標に自動で飛行させることを表す。

・GPS atti MODE(GPS アッチモード)

X,Y,Z 全ての方向に対し、GPS を利用し、風が吹いてもそこに留まるモード。

・Atti MODE(アッチモード)

Z 軸(高度)を一定に保つモード。ジャイロと高度計で制御するが、風にあおられると流される。

### 3. 4. 3 作業時間

撮影高度を上げるほど視野が広く、単位面積当たりの現場での作業時間が短くなる。また、データ容量が小さくなり、解析時間も短い効率の良い飛行計画となる。

汎用的なバッテリーの使用可能時間は 10 分間程度であり、飛行計画は余裕をみて 8 割以内に収まるようにするとよい。

#### 【解説】

河幅 300m の横断全体を UAV で計測する場合、1 日で縦断的に何 km できるかについてその算出の過程を示す。UAV には、バッテリーの性能要件から連続飛行 10 分間程度以内、また飛行速度は 10m/s 以下にしなければ撮影時に画像がにじむといった機能上の制約がある。

撮影高度：50m

撮影範囲幅：300m

測量（公共座標）は、左右岸の距離標から算出

#### <撮影条件>

使用カメラ：カメラ B（焦点距離：18mm）

インターバル撮影：2 秒間隔 オーバーラップ率：縦方向 70%，横方向 50%

飛行速度：5m/s～10m/s（写真のにじみ率、機体飛行性能を考慮し決定）

#### ●1 フライトあたりの所要時間

フライト前準備：10 分間 フライト時間：10 分間

機材撤収時間：10 分間 休憩、予備時間：15 分間

合計 約 45 分間

⇒1 日の実作業時間を 4 時間とすると、約 6 フライト実施可能=約 1km

#### ●1 フライトの撮影範囲

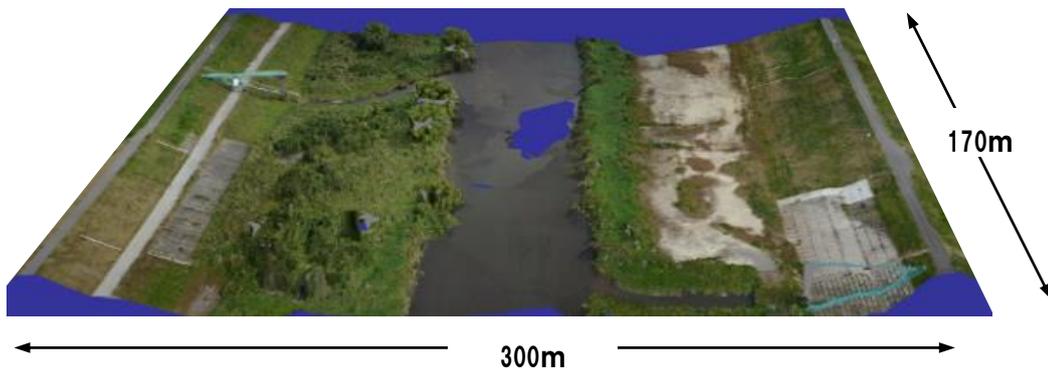


図 3.4.4 1 フライトによる撮影・三次元モデル化のイメージ

## 4. 現地調査 ～UAVによる平常時と災害時の調査方法～

### 4. 1 共通事項

#### 4. 1. 1 運用全体・平常時の運用における留意点

平常時は、**精度向上**を目的とした運用を行う。

改正航空法を遵守し、**第三者に迷惑をかけることなく安全な運用を徹底**する。

#### 【解説】

**精度向上を目的とした平常時の運用**については、安全かつ可能な限り多くの情報量を取得できる効率的な撮影高度を設定する必要がある。撮影対象の要求精度および撮影高度については前項までに述べたとおりであるが、撮影高度については現地状況を踏まえ適切に設定する。

精度・品質に関する留意点は以下のとおりである。

- ・平常時の堤防形状調査および護岸調査では、**撮影高度 30m 程度で、評価区分 c 相当（『堤防及び護岸点検結果評価要領(案)；H27.3』）の変状は抽出可能**である。
- ・水面付近は計測精度が悪くなるため、ターゲットの追加が必要である。三次元モデルの精度を向上させるためには**最低 3 点を範囲全体に設置**する必要がある。また、詳細に確認したい場所については、ターゲットを設置することで対象箇所のモデル化精度が向上する。
- ・照度が低いと画像品質・精度の確保ができない。⇒日出 1 時間後～日没 1 時間前の時間帯で作業を行う。

運用全体および平常時の安全上の留意点について再掲する。

#### 【改正航空法等遵守事項－第三者に迷惑をかけないことの徹底】

- ・飛行予定の空域について、付近の**空港の有無や人口集中地区の確認**を行う。
- ・150m 以下で飛行する。**堤防の状態監視においては 30m 程度の高度で十分な精度**が得られる。
- ・日中に飛行する。
- ・UAV が**視認可能な飛行計画を策定**する。
- ・**第三者および第三者の所有する車や物件から 30m 以上離して飛行**する。
- ・イベント等人が集まる箇所での運用は避ける。

#### 【その他の安全上の留意点】

- ・電波状況を確認する。
- ・悪天候時の飛行は避ける。
- ・基本的に**風速 10m/秒を飛行の限界**とする。雷が遠くで鳴りだしたら速やかに作業を中止する。
- ・地形や木々の状態を観察し、気流の流れや、方向・風速を推測する。
- ・障害物や周囲の状況を把握する為に現地踏査を行う。
- ・強力な電波や電磁波を発射している電波塔、及び河川内の木々の繁茂状況、木々の枝などへの影響把握が必要である。事前に使用周波数や出力及び通信状況を確認する。
- ・電磁波やノイズ等を発生させる他の調査・点検作業の有無について確認する。
- ・コンクリート構造物付近のクラック調査では、第三者の存在を常に確認しながら運用する。
- ・電圧の不十分なバッテリーは使用しない。

#### 4. 1. 2 災害時の運用における留意点

災害時の運用では、周囲の状況を平常時よりも厳密に監視するものとし、安全が確保できないと判断した場合には、二次災害を防ぐために飛行を中止する。

災害時には、**迅速性**を考慮した運用を行う。

##### 【解説】

災害発生時は、災害箇所の上空を報道ヘリや救助ヘリ等が飛行していることも多く、二次災害の危険があるため、これらを確認した場合には飛行を中止する（他の有人航空機からは、小型のUAVは視認困難である）。



図 4. 1. 1 出水時に確認した災害箇所上空の有人飛行機  
(平成 27 年常総市の水害；30 分で少なくとも 14 機に遭遇)  
(防災科学技術研究所資料より)

上空に他の飛行物体が無く、UAVによる情報収集を行う場合は、迅速な情報入手が必要であり、飛行ルート、撮影時間、解析量、解析時間をこれに合わせて計画し、運用する。飛行方法については、迅速性と併せて現地状況の変化や不測の事態に対応できるよう、マニュアル操作の採用を考慮する。飛行高度は、UAV視認のため50mを基本とする。

災害発生後の緊急点検で運用する場合は、土の亀裂や陥没、すべり等の堤防形状調査や河道調査を主目的とし、高度50mからの撮影を基本とする。特に対岸等の離れた場所に飛行する場合などには、UAV視認のため、むやみに高度を上げない。

### 4. 1. 3 UAV飛行チェックリスト

現地調査に際しては、周辺の安全を確認し、記録に残す。

#### 【解説】

安全な運用のため、UAVを飛行させる際には、安全チェックリストに従い、周辺環境（天候等）および機体の状態等について必ず確認作業を行い、記録に残す。安全管理の具体的方法は、6章に再掲する。

表 4.1.1 UAV 運航点検 チェックリスト

【 UAV運航点検 チェックリスト 】

日 時: 平成 年 月 日 :		操縦者:		
場 所: 人口密集地に該当 <input type="checkbox"/> する <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 最新版のソフトウェア(OS,オペレーションソフトなど)		
	GPS	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> フェイルセーフ動作の事前設定と動作確認		
	プロポ	<input type="checkbox"/> 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		
	バッテリー	必要電源容量 <input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/>	気温 <input type="checkbox"/> °C	
		気圧 <input type="checkbox"/> hpa	※2分間観測値 瞬間最大風速10m/s以上は飛行禁止	
		風向 <input type="checkbox"/> 度	風速 平均 <input type="checkbox"/> m/s 最大瞬間 <input type="checkbox"/> m/s	
	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	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 操縦者 <input type="checkbox"/> 運行管理者(時間・風速など) <input type="checkbox"/> 撮影者 <input type="checkbox"/> 誘導員	安全掲示 <input type="checkbox"/> 第三者へ明示資料の掲示(看板など)	
③ 機体準備	機 体	<input type="checkbox"/> ネジ類の緩み	<input type="checkbox"/> プロペラの固定	
		<input type="checkbox"/> プロペラのキズや摩耗	<input type="checkbox"/> フレームのガタつき	
		<input type="checkbox"/> 手動回転によるモーターの異音、ガラつき	<input type="checkbox"/> コネクタ部への腐食	<input type="checkbox"/> 配線ケーブルの損傷
		<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 機体とジンバルの固定		<input type="checkbox"/> ジンバルとカメラの固定
		<input type="checkbox"/> ケーブル類の接続		<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> バッテリーID		
		<input type="checkbox"/> バッテリーセル数	<input type="checkbox"/> 容量 mAh	
		<input type="checkbox"/> 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)	
バランス	<input type="checkbox"/> 総重量	<input type="checkbox"/> 重心		
プロポ	<input type="checkbox"/> スロットル"ゼロ"	<input type="checkbox"/> スロットルの物理的破損	<input type="checkbox"/> レバーの方向	
その他	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> コンパスキャリブレーション		
	バッテリー	<input type="checkbox"/> バッテリー残量		
	機 体	<input type="checkbox"/> プロペラの正常な回転		<input type="checkbox"/> プロペラ回転時の異常な振動や音
		<input type="checkbox"/> 駆動系の異常		<input type="checkbox"/> LEDライト(警告灯などの状態)
		<input type="checkbox"/> 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)		
		<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> ジンバル・カメラの異常		
		<input type="checkbox"/> シャッターの制御	<input type="checkbox"/> ジンバルの制御	<input type="checkbox"/> 画像転送
	プロポ	<input type="checkbox"/> 電波状態 <input type="checkbox"/> バッテリー残量		
オペレーション ソフト	<input type="checkbox"/> 飛行計画の確認 <input type="checkbox"/> フェイルセーフの設定			
	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 離陸方向の確認(風上順守)		<input type="checkbox"/> 操縦者以外の人と機体との距離(30m以上順守)	
	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> ホバリングの安定性 地上(3~5m目安)		
		<input type="checkbox"/> プロペラやモーターの音		
		<input type="checkbox"/> プロポ操作との連動性		
		★動作確認 <input type="checkbox"/> 前後移動 <input type="checkbox"/> 左右移動 <input type="checkbox"/> 左旋回・右旋回		
機体情報	<input type="checkbox"/> HDOP感度(GPS)の状態	<input type="checkbox"/> 高度情報	<input type="checkbox"/> 距離情報 <input type="checkbox"/> バッテリー残量	
⑥ 着陸後 確認	目視確認	<input type="checkbox"/> プロペラの亀裂や破損		
		<input type="checkbox"/> 機材やバッテリーの異常な発熱		
	<input type="checkbox"/> 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。

□・・・チェック箇所    ■・・・記入箇所

#### 4. 2 平常時の維持管理

平常時の河川維持管理における撮影は、除草後あるいは草枯れ時に実施することを基本とする。植生調査を実施する場合は、除草前に実施する。

##### 【解説】

堤防の形状変化を精度よく把握するためには、除草後もしくは草枯れ時が望ましい。

通常堤防天端付近には 200m 間隔で距離標が設置してあり、UAV の撮影では、これらの座標が、基準点として用いることができるように、距離標周辺は常に除草し上空からでも距離標を確認できるようにしておくことが望ましい。

一方で、撮影時期と除草のタイミングによっては、必ずしも距離標が見える状態ではないこともあるため、任意のターゲットを用意しておく必要がある。また、距離標は河川の形状によっては直線上に分布することもあり、解析時に偏った高さが得られる可能性があるため、このような観点からも、距離標とは別に任意のターゲットを用意するとよい。

#### 4. 2. 1 横断形状の把握

UAV 撮影に基づく三次元化モデルから、任意の横断図の作成等、河川の形状の把握が可能であり、河川の維持管理等への活用が期待できる。

##### 【解説】

UAV 撮影画像を用いて三次元化モデルを作成することで、任意の断面図を作成することが可能である。また、堤防および河床の形状を記録することができる。データとして蓄積できるため、経年変化を捉えることも可能となる。

##### (1) 横断図の取得

植生の少ない場合の堤防形状は概ね定期横断図と一致するが、高水敷の植生繁茂箇所および水面における形状推定は困難である。

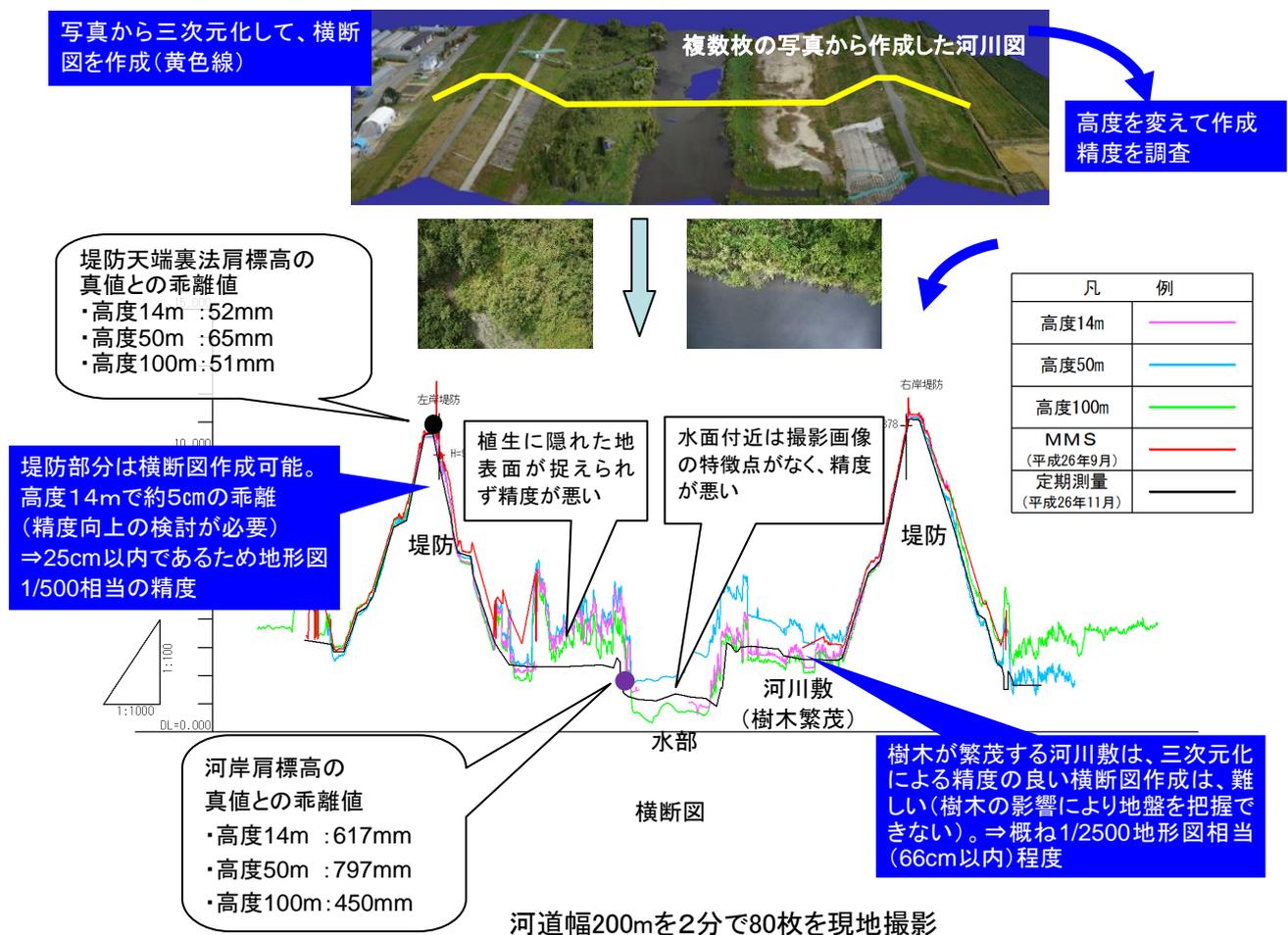


図 4. 2. 1 断面形状と標高 (吉田川土堤)

※H26 年度業務成果による検証事例

## (2) 横断面図を用いた河床堆砂量の推定

UAV 撮影画像から三次元化モデルが作成できれば、任意の横断を作成することができる。これを利用し、堰開放時の水位低下に伴い露出した河床形状（植生が無い）から、堆砂量を推定することなどが可能である。

- ① 定期横断面図との比較によれば、植生に覆われている高水敷を除いてほぼ一致した形状を示しており、取得データが要求される精度（ $100\text{m}^3$  オーダーで堆砂量算出）に対して問題はない（図 4.2.2）。
- ② 三次元化したデータを用いて、堰と平行に  $50\text{m}$  ピッチで断面図を作成し、平均断面法により、堆砂量を推定することもできる（図 4.2.3）。

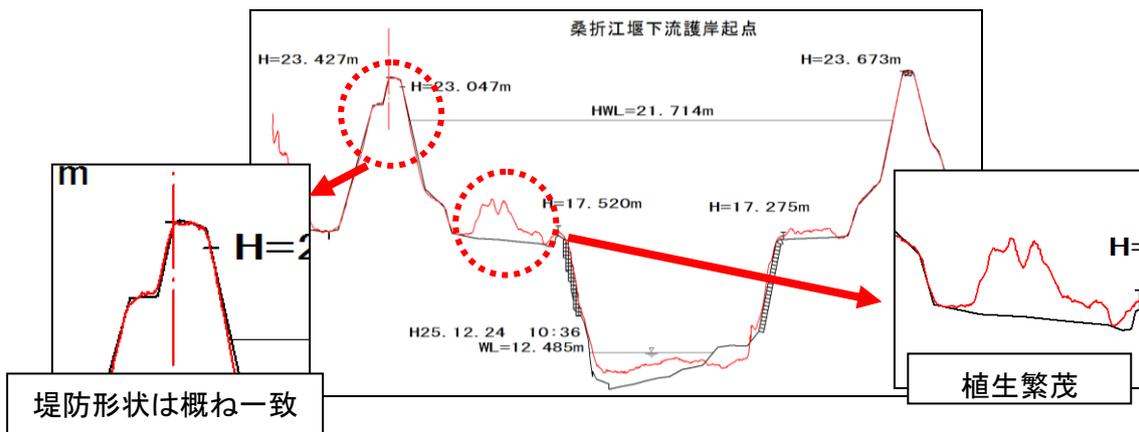


図 4.2.2 定期横断面図との比較（赤：UAV、黒：定期横断）

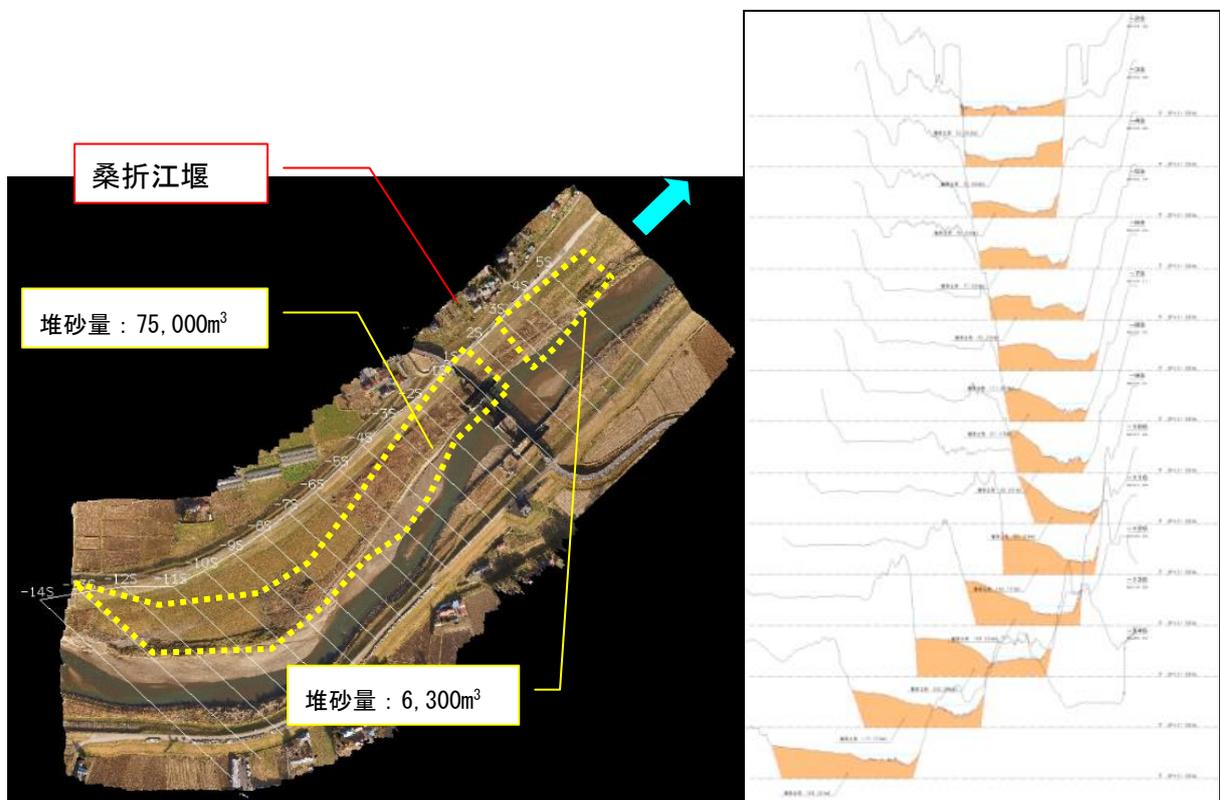


図 4.2.3 断面作成位置（左；オルソ画像）と各断面の堆砂範囲（右）

#### 4. 2. 2 河床洗掘調査

河床の三次元化モデルから河床の洗掘状況を把握することができる。

##### 【解説】

渇水期に河床を撮影し、三次元モデルを作成することで、河床の洗掘状況を把握できる。これらの計測データは、数値データとして蓄積できるため、経年変化の把握に活用できる。

図 4.2.4、4.2.5 は、渇水時の水位低下に合わせて、河床の露岩や洗掘状況を UAV で撮影記録した事例である。



図 4.2.4 俯瞰（斜め）写真（黄色破線；露岩箇所）

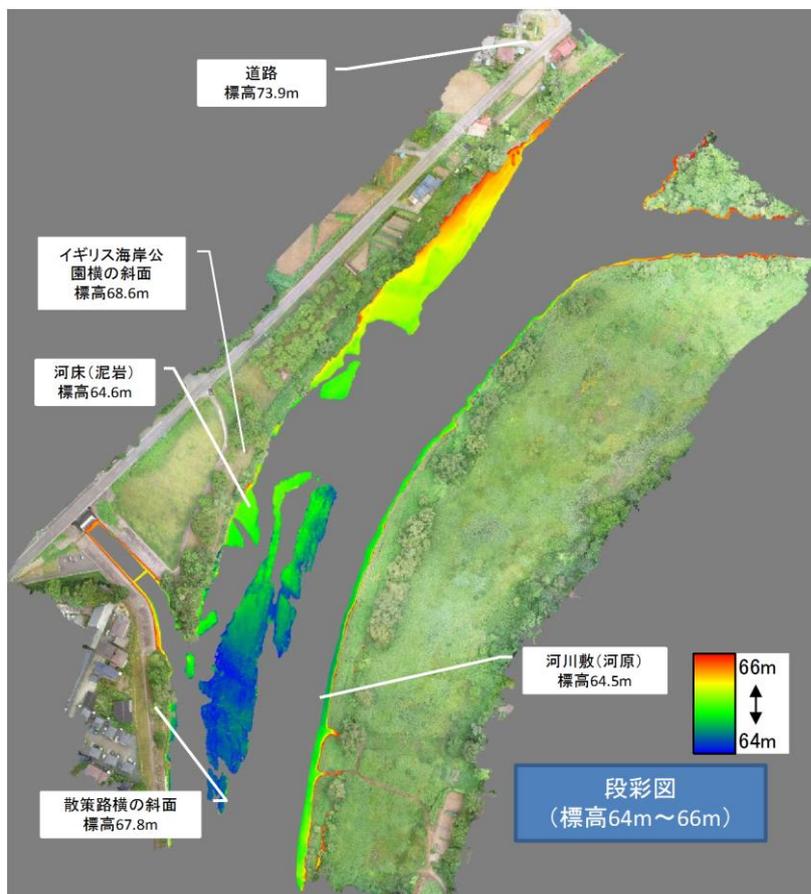


図 4.2.5 段彩図による河床露岩部の形状  
(未着色部は水域、濃い青の部分が河床洗掘進行箇所)

### 4. 2. 3 植生調査

樹木の繁茂状況を三次元モデル化することで、樹木の高さや密度を算出でき、樹林化のモニタリングならびに伐採計画に活用が期待できる。

特徴的な植生（葉の形状や花の色等）であれば、植種や群生範囲を把握可能であり、堤防補修計画への活用が期待できる。

近赤外画像を取得することで、植生の活性度を広域的に把握することができる。

#### 【解説】

##### (1) 樹木繁茂状況の把握（樹高・密度）

###### ● 樹高計測

上空から平面撮影した写真では、木本、灌木、芝草の上部がモデル化され、地表面の形状データは得られない。一方、地上撮影では、樹幹はモデル化しやすいが、樹木の上部は困難である。植生がまばらな場合は UAV の平面撮影で作成した三次元モデルから直接高さが算出できる（植生が鬱蒼としている場合は、困難な場合がある）。

高水敷付近の三次元モデルを示す。樹木高の取得精度は、高度 50m で TP+13.6m、高度 100m で TP+13.5m であった。測量で確認した樹木高 TP+13.8m と比べ、0.3m 程低かったものの、10m の高さの樹木高を 95%程度の精度で計測できた。



図 4. 2. 6 樹木繁茂状況の把握（樹高）

● 樹木の密度

河川敷の藪化・樹林化は、治水上、流下能力の低下を招き、環境面でも河川らしい景観の消失、種の多様性の低下、生態系の単純化をもたらす。これら河川敷の藪化・樹林化問題は、全国河川で緊急の課題となっている。UAV を用い上空から河川敷を撮影し、河川敷を含めた樹木の三次元モデル化は樹林化のモニタリングに対して効果的な手法になるものと考えられる。

図 4.2.7 は河川敷を含めた樹木の三次元モデルを、標高値（青～赤）で段彩表示したものである。段彩表示をスライドさせることで単木を区分することができ、それを平面的に表示することで図中右下の樹木をプロットした MAP の作成が可能となる。これらに基づき、高水敷の伐採計画等に活用することが可能である。

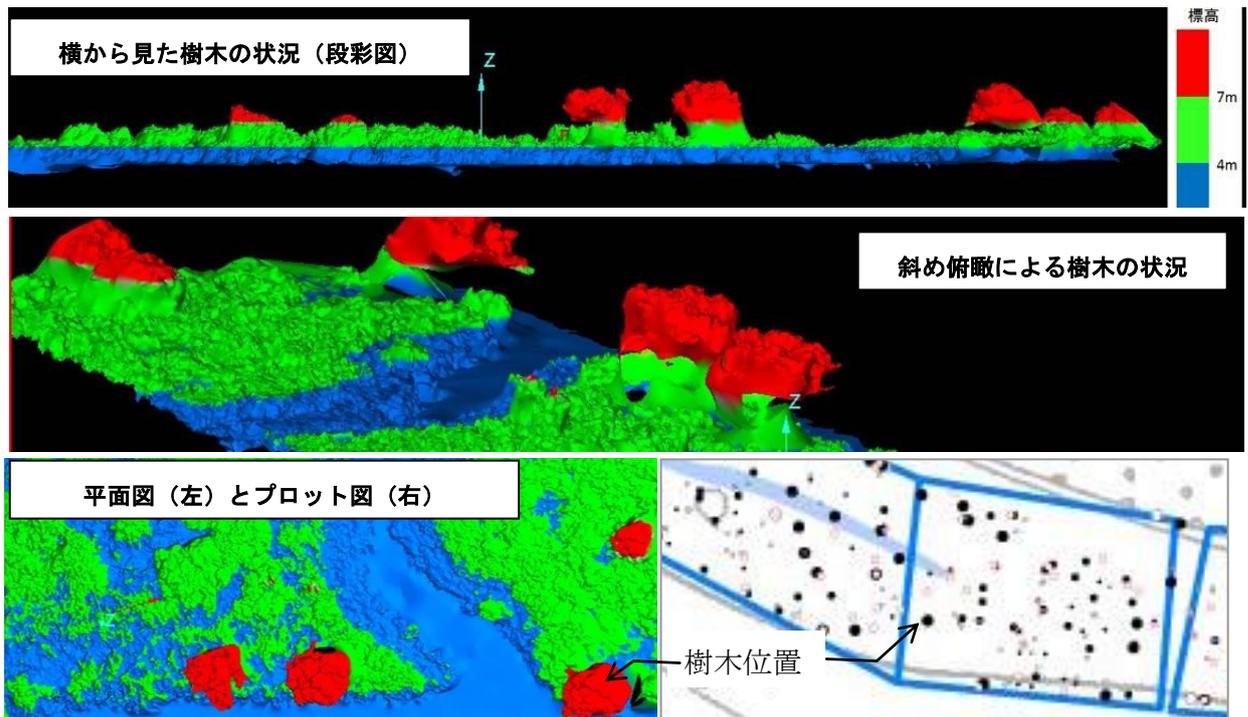


図 4.2.7 樹木繁茂状況の把握 (密度)

(2) 植種の判読

葉の形状や除草後の状態等から判読可能な有害植物がある。

堤防に対する有害植生として代表的なイタドリは、葉の大きさ、形状から、高度 30m程度のオルソ画像から判読することができる。イタドリが繁茂している箇所は、除草後あるいは草枯れ時期には褐色化した裸地として確認することができる。

また、三次元画像から面積を算出することができ、位置も記録されているため、群生の広がりへのモニタリングや堤防補修計画（段切り補修が必要な範囲の算出）に活用できる。

表 4.2.1 踏査時に撮影したイタドリ（左）と同一地点における  
オルソ画像によるイタドリおよび除草後の裸地化痕跡（右）

現地	UAV（オルソ画像）
 <p data-bbox="491 1064 614 1097">イタドリ</p>	 <p data-bbox="1074 1064 1197 1097">イタドリ</p>
 <p data-bbox="411 1458 699 1491">法肩の土（礫）の露出</p>	 <p data-bbox="994 1458 1281 1491">法肩の土（礫）の露出</p>
 <p data-bbox="512 1850 600 1883">裸地化</p>	 <p data-bbox="1090 1850 1177 1883">裸地化</p>

### (3) 活性度調査

緑葉、土壌、水の典型的な反射スペクトル特性を図 4.2.8 に示す。緑葉の反射率は赤領域で小さく、近赤外領域で大きくなる。赤外線カメラ画像を利用し、赤波長と近赤外波長の値を用いて正規化植生指数 (NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)) を算出し植物の活性度 (繁茂している領域の有無) を面的に表現することができる。

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (R: \text{可視領域赤の反射率}, \quad IR: \text{近赤外領域の反射率})$$

NDVI は-1 から 1 の間で正規化した数値となり、正の大きな値になるほど植生の活性度が高いことを表す。

NDVI の算出を行うために、IR バンドの撮影が行える IR カメラを用いるのが一般的である。尚コンパクトデジタルカメラに IR 領域が撮影できるように改造して撮影することも可能である。

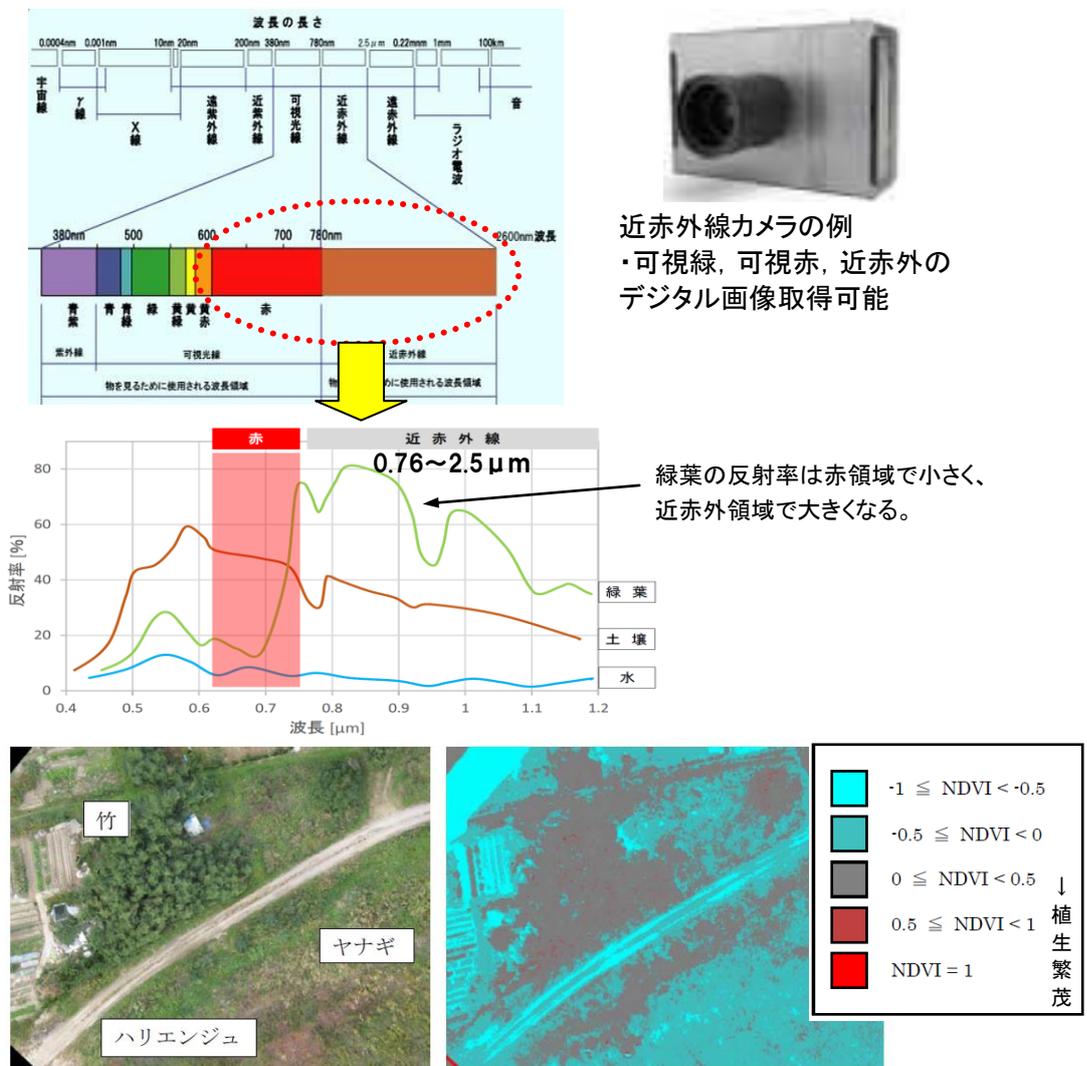


図 4.2.8 赤～近赤外領域の植生のスペクトル例 (中段の緑) と撮影例 (下)

#### 4. 2. 4 土堤の形状調査

オルソ画像を用いて堤防の変状を把握することができる。

##### 【解説】

##### (1) 表層の変状

土堤において、法面損傷（人為的な損傷やキャタピラ痕による裸地化等）、モグラ塚（径 20cm 程度）、天端クラック（植生や泥等の被覆が無ければ幅 10mm 程度以上はほぼ抽出可能）、植生異常（裸地化）、天端の局所沈下等の表層の変状をオルソ画像により確認することができる。また、変状の範囲（面積）や規模（長さ）の計測も可能である。



法面損傷（高度 30m）



モグラ塚（高度 30m）



天端クラック（高度 20m）



裸地（高度 20m）



天端の沈下（水たまり跡）（高度 30m）

図 4. 2. 9 オルソ画像による形状変化抽出例

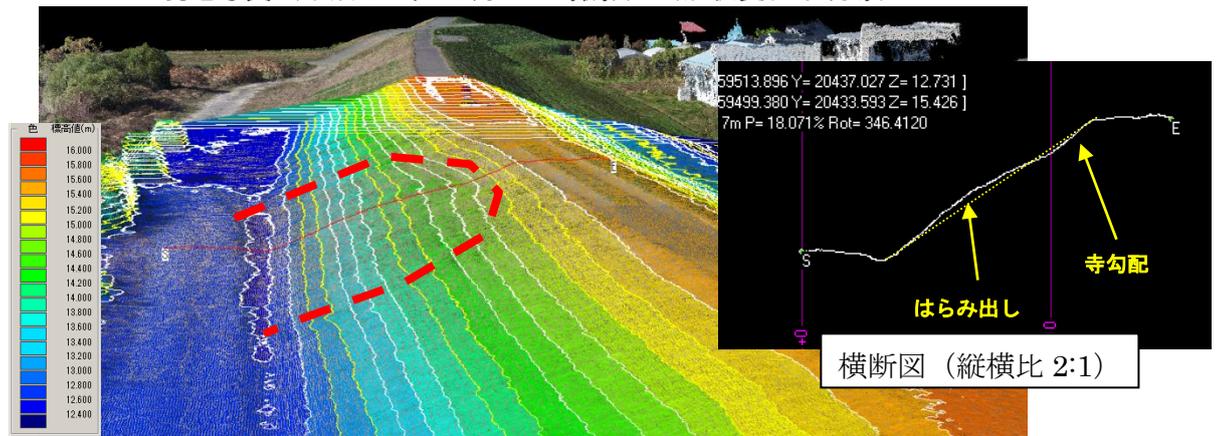
## (2) 形状の変化

三次元モデルから、段彩図表現を用いることで、現地写真では認識することが困難な、堤防の形状変化（はらみ出し、寺勾配等）を抽出・把握することができる。また、変状の範囲や規模の計測も可能である。

さらに、堤防天端高の縦断方向の変化（樋門等構造物周辺の抜け上がりや局所的な天端の沈下等）についても、段彩図で表現することで確認することができ、定量化も可能である。



現地写真（平成 27 年 12 月 10 日撮影）（形状変化不明瞭）



段彩図

図 4.2.10 はらみ出しと寺勾配の抽出

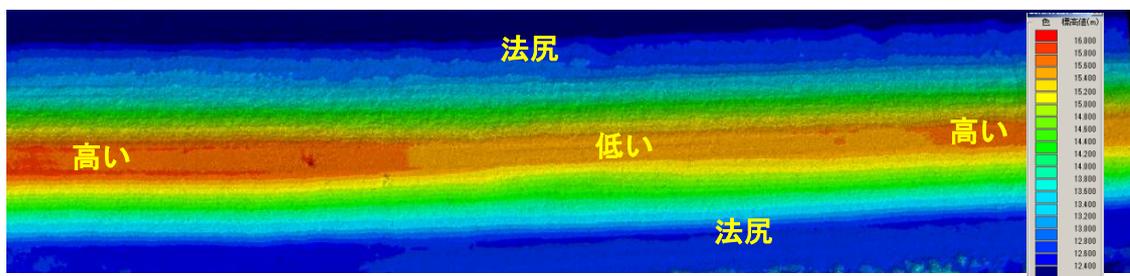


図 4.2.11 縦断方向の段彩図の例

#### 4. 2. 5 護岸調査

オルソ画像を用いて護岸の変状を把握することができる。  
 人の立ち入りが困難な低水護岸、根固めブロックや溪岸の状況確認に有効である。

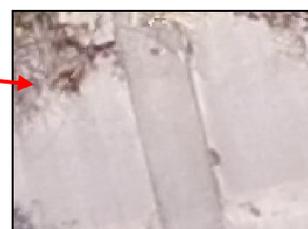
##### 【解説】

護岸工の亀裂（植生や泥等の被覆が無ければ幅 10mm 程度以上はほぼ抽出可能；表 3.3.5 のカメラ E 使用時）や欠損（植生や泥等の被覆が無ければ 5cm 四方程度以上はほぼ抽出可能；表 3.3.5 のカメラ E 使用時）を把握することができる。人が容易に近づくことが困難な、溪岸の洗掘状況、低水護岸および根固工の変状の有無を確認することができる。

また、熱赤外カメラを用いることで、護岸工背面の空洞化範囲等を把握できる可能性がある。一般にコンクリート構造物背後に空洞があると、気温が低い夜～早朝と昼間のコンクリート表面の温度差が周囲に比べ大きくなる。図 4.2.13 は、法枠護岸の背面空洞形成箇所（植生侵入箇所）の温度差が他よりも大きくなっている例である。植生侵入箇所の護岸工背面に空洞化あるいは緩みが形成されているものと推定される。



護岸工のクラック（幅 5mm）（高度 20m）



低水護岸工  
 （変状は認められない）

低水護岸と根固めブロック工の状況（高度 30m）

図 4.2.12 護岸工等のオルソ画像の例

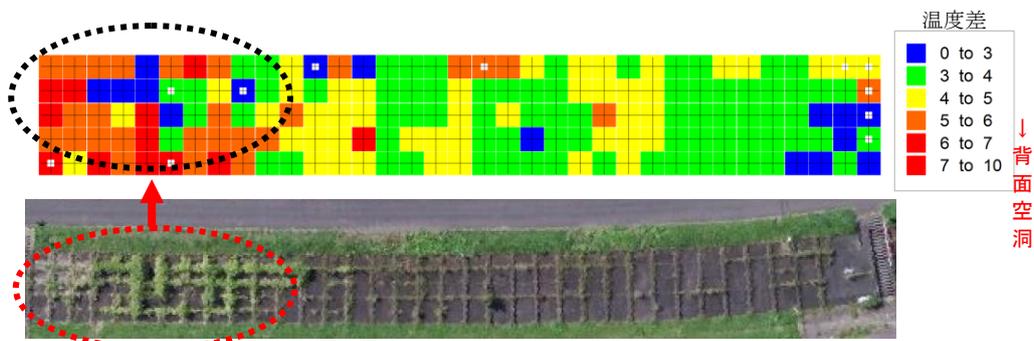


図 4.2.13 熱赤外画像（8 時と 13 時の温度差）（上）と堤防護岸（下）  
 （背面空洞が生じている植生繁茂箇所において温度差が高くなっている）

#### 4. 2. 6 水質調査

UAV 画像を活用した水質監視手法の検討が進められている。  
将来的にはアオコ発生 の簡易予測が可能となる。

##### 【解説】

三春ダム（国土交通省三春ダム管理所）の報告書からの抜粋事例を示す。

##### ■目的

ダム湖内に発生するアオコ の発生予兆を把握し、画像を活用した水質監視手法を確立するための検討を行ったものである。

##### ■検討方法

可視・近赤外・サーモカメラを用いて湖面を撮影し、データ蓄積と解析の繰り返しにより、画像と水質情報の関係性の有無を解析している。

##### ■解析

画像からアオコの原因となるミクロキスティスと関連性のあるクロロフィル a の発生予兆を予測しているもので、将来的にはアオコ発生 の簡易予測が可能となるものと思われる。

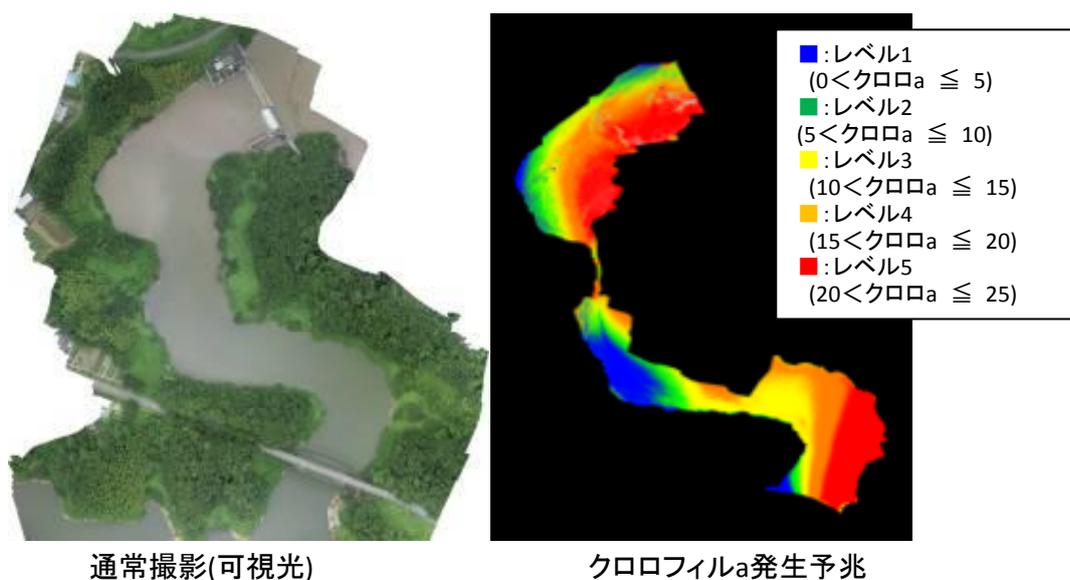


図 4.2.14 クロロフィル a 発生予兆調査

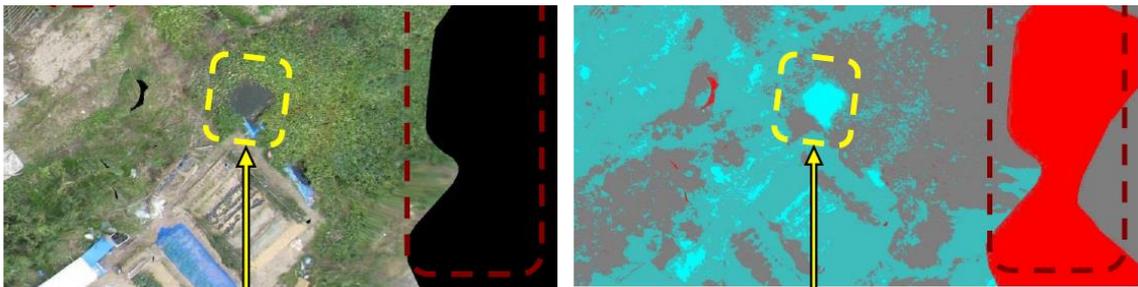
H 2 6 砂州樹林化抑制管理検討業務 UAV 飛行調査から

#### 4. 2. 7 漏水調査

近赤外線（IR）画像解析あるいは熱赤外線カメラを用いることにより、漏水調査への活用が期待できる。

##### 【解説】

水は近赤外領域をほとんど反射しないため、水たまりや漏水箇所などは NDVI 値が-1 に近くなる。このような特徴を利用して、漏水調査への活用も期待できる。また、漏水箇所や湧水箇所は周辺よりも低温となるため、UAV に熱赤外線カメラを搭載し撮影することで、漏水箇所や湧水箇所を推定することができる可能性もある。



水は近赤外領域をほとんど反射しないため、水溜まりや漏水箇所は NDVI 値が-1 に近くなる

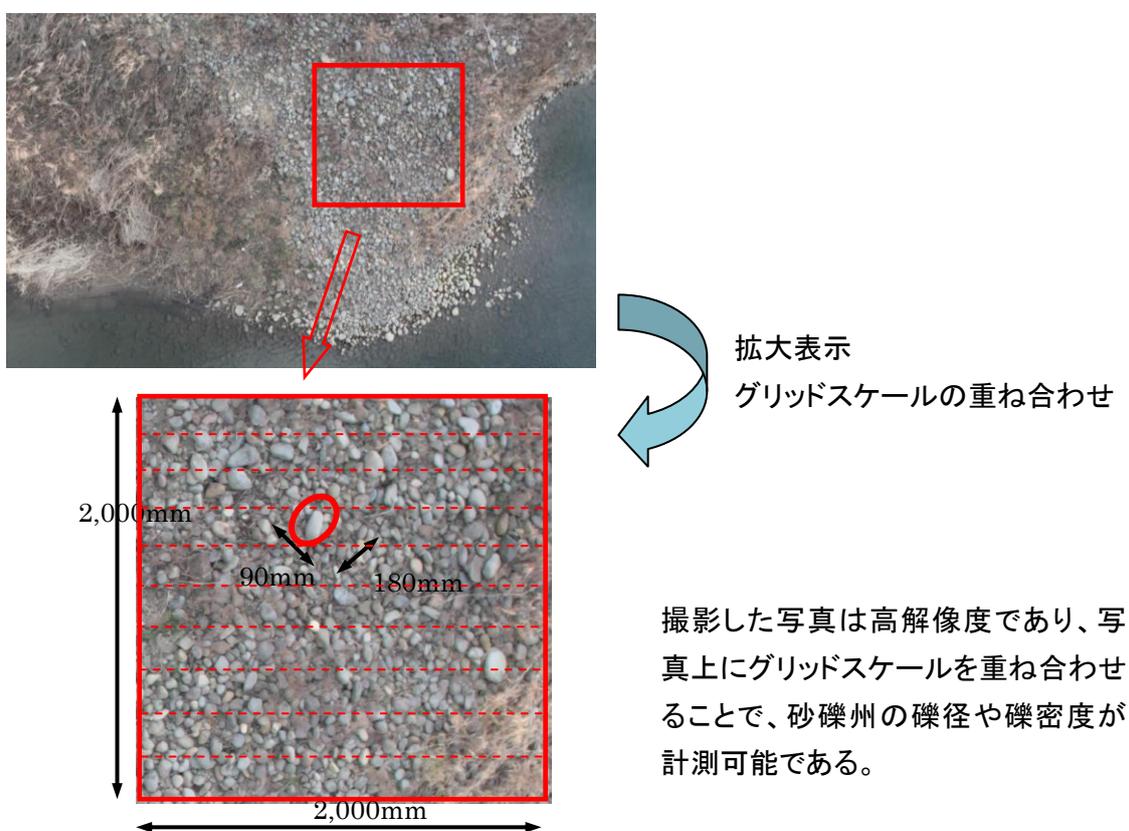
図 4.2.15 近赤外線撮影画像から作成したオルソ画像

#### 4. 2. 8 礫径調査

低高度からの UAV 写真により、礫河原の微地形計測、礫河原の河床材料調査を効率よく実施できる。定期的に観測することで、経年変化（分布変遷の傾向）や出水が及ぼす地形および河床材料への影響等を詳細に確認することができる。

##### 【解説】

低高度からの UAV 写真により、礫河原の微地形計測、礫河原の河床材料調査を効率よく実施できる。撮影する画像は、高分解能、高精度であり、また、定期的に観測することもでき、礫材等の分布変遷の傾向や、出水が及ぼす地形および河床材料への影響等を詳細に確認することができる。



名取川 UAV\_砂礫州撮影写真

\* 寸法を持った画像であり、礫径や分布範囲など、数値を算出可能

図 4. 2. 16 粒径調査の例

#### 4. 3 緊急時（洪水時等）の維持管理

緊急時には、**迅速性を重視して現場状況を速やかに報告するために UAV を活用**できる。

##### 【解説】

UAV は人が容易に近づくことが出来ないような箇所の情報を、離れた場所から安全に取得することができる。

**洪水時や洪水直後等の緊急時においては**、現場状況を把握し、必要に応じて避難勧告や避難指示、車両通行規制等を出すため、**迅速性が重要視される**。特に堤防が緩んでいる状態等、二次災害が発生する危険性のある箇所での早急な情報収集は重要である。

ただし、UAV は、雨天時の運行が出来ないため、天候回復後の運用となる。

##### （1）提供する情報

UAV による緊急の報告としては、俯瞰（斜め）写真の提供が想定される。また、ターゲットの設置を省き、飛行高度を高くして、撮影枚数を少なくすることで、精度は粗いが、三次元モデルを速やかに提供することも可能である。

##### （2）飛行高度

飛行高度の目安としては、機体の視認性を考慮し、50m 程度を基本とし、むやみに高度を上げることは安全上望ましくない。ただし、被災範囲が広範囲におよぶ場合には、状況に応じて対応する。

##### （3）他の飛行物体の確認

前述のとおり、UAV を運用する場合は周辺の安全確認（特に他の飛行物体の有無）は徹底して行う。

##### （4）飛行手法

迅速性が要求されるため、手動による**マニュアル操作が有効**である。操縦者は、安全に運航可能な操縦技術が必要となる。

### 4. 3. 1 出水時の情報収集

出水中は、流況および堤内地の漏水の有無、概略の堤防形状の変化を、俯瞰写真や三次元モデルを用いて確認・報告する。

出水後は、堤内地の漏水痕跡の有無、形状変化、洗掘跡、洪水痕跡等の現地状況を確認することができる。

#### 【解説】

出水時の人による点検は、危険が伴う上に時間がかかり、定量化が困難である。これを補完するため、UAVにより、安全に被災状況を把握することができる。

- 人による点検は、危険が伴う上に時間がかかる。
- UAV を使い、安全かつ迅速に把握する。洪水後は、精度良い定量的なデータを取得できる。  
(ただし、周辺の安全確保と天候回復が条件)

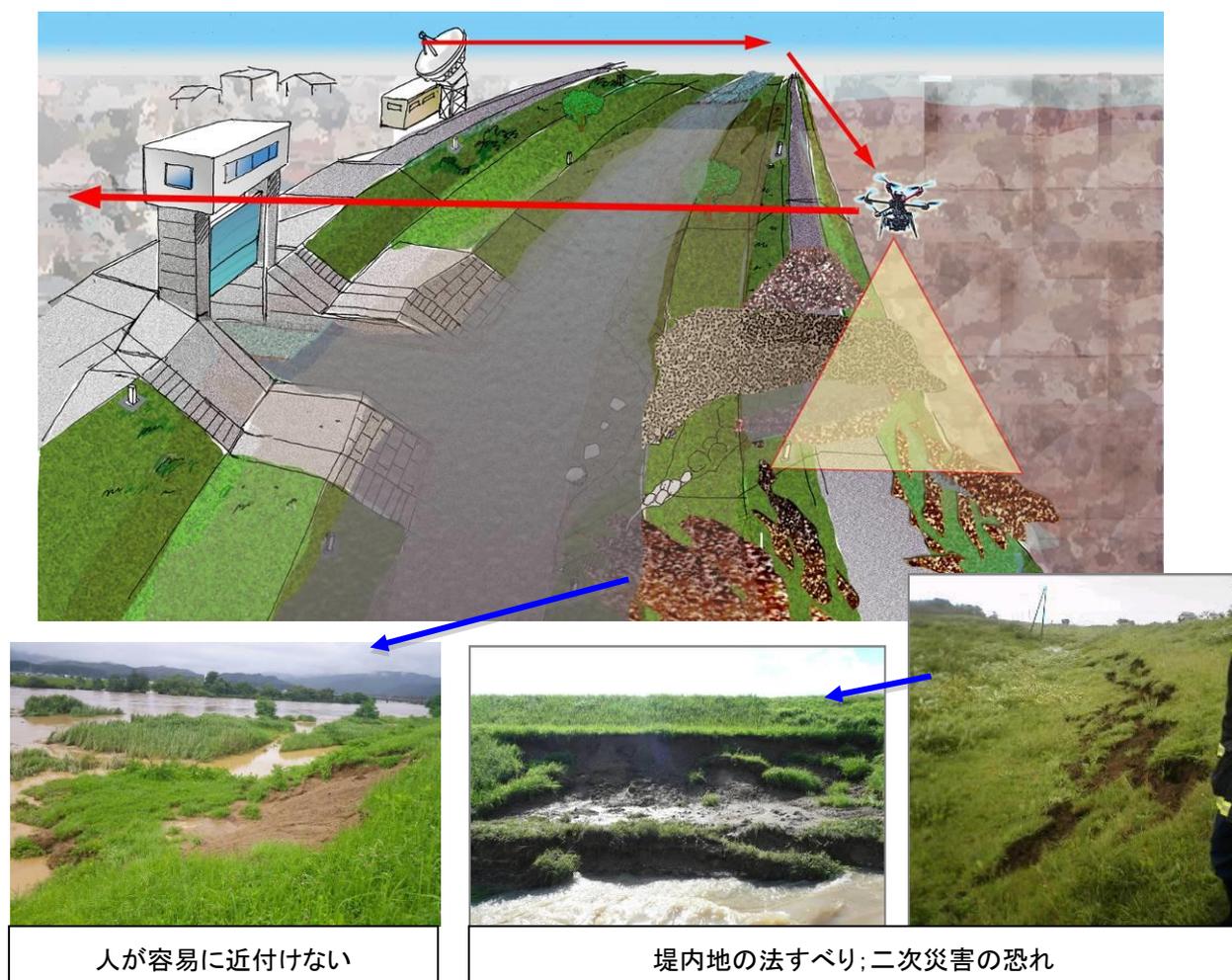
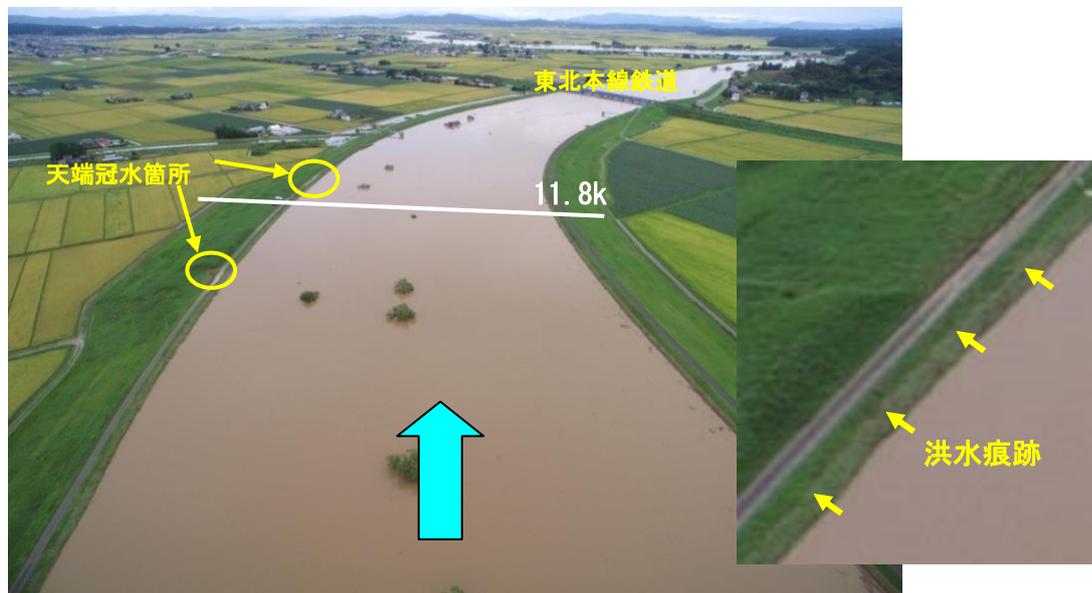


図 4. 3. 1 活用方法：出水時のイメージ

(1) 出水時の情報収集および提供時間の検証

検証事例(図 4.3.2)では、現地到着から出水時の俯瞰写真により流況等を報告するまで、50分程度の時間を要している。俯瞰写真からは、冠水状況や洪水痕跡が確認できる。現地作業においては、電波状況、天候急変、第三者の立入り等、不測の事態への対応が必要な場合がある。



2015年9月11日午後14時頃 UAVより撮影

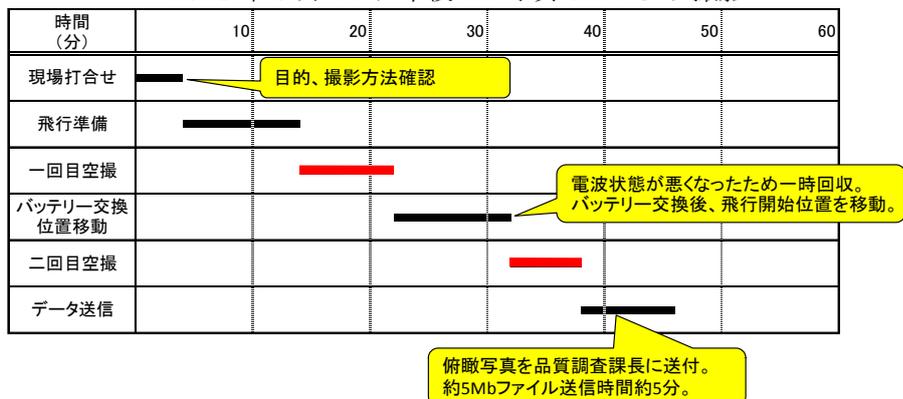


図 4.3.2 吉田川の出水状況(上;俯瞰写真、下;俯瞰写真提供までの時間)

(2) 三次元モデルの作成

UAV 撮影画像を用いて三次元化モデルから距離標位置の断面図を作成し、出水前後の形状に大きな変化が無かったことを確認した。現場で三次元化モデルを作成することも可能である。

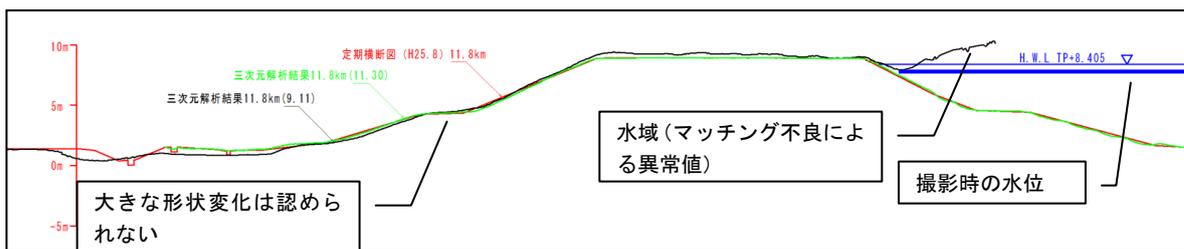


図 4.3.3 三次元モデルから作成した 11.8k 付近の横断面図

### 4. 3. 2 被災現場状況の早期把握

被災時は、速報として、三次元モデルで概略的な状態の把握と報告を行う。  
その後の詳細解析により、クラック幅等具体的変状を把握し、報告する。

#### 【解説】

現地の被災状況を早急に把握するため、比較的高い高度から撮影し、枚数が少ない状態で三次元解析を行う（航空法の上限高度は150m）。図4.3.4の事例では、詳細解析は、写真枚数が速報に比べ3倍の枚数で実施したが、おおむね7倍の時間を要している。



- 速報で道路クラックの大まかな状態を把握。
- 詳細解析でクラック幅等の具体を把握。

#### 【現地処理 作業時間】

- ①作業開始準備: 20分
- ②撮影(1フライト): 11分
- ③データ移動: 1分
- ④解析(三次元解析からコンター生成): 約17分



	現地処理(速報)	詳細解析
画像処理枚数(全402枚)	70枚使用	200枚使用
処理時間	約17分	約5時間30分
地上画素数 (高度200m)	約28cm	約7cm
<b>作業開始から解析終了までの時間</b>	<b>総時間 49分</b>	<b>総時間 362分 (速報の約7倍)</b>

図 4.3.4 作業開始から49分で速報（三次元モデル）を報告

## 5. 解析 ～デジカメ画像からの三次元形状取得～

### 5. 1 多視点画像三次元モデル構築技術の概要

SFM 解析技術を用いることで、UAV で撮影した複数枚の画像から、簡易に三次元形状を構築できる。

#### 【解説】

従来 UAV を用いた写真測量では基準点（標定点）を外部標定要素とし、パスポイントなどを手動で選定するため、かなりの時間を要していた。一方、コンピュータービジョンの分野で開発されてきた SFM 解析が、写真測量分野においても応用が進んでいる。

SFM 解析は、カメラの視点を変えながら撮影した複数枚の画像から、三次元形状とカメラの位置を同時に復元する手法であり、対象の護岸などを UAV で飛行しながら撮影した各写真の撮影位置を解析的に算出することで、複雑な護岸の三次元モデルが生成できる。

- 1) 数百枚の撮影画像の各特徴点を自動認識し、画像毎のカメラ撮影位置を自動解析する。
- 2) 写真画像がマッピングされた三次元モデルを生成する。
- 3) ビューアで任意方向からの閲覧と距離測定が可能である。
- 4) 拡大表示すると、元の撮影解像度のまま表面性状を確認できる。

解析に必要な現地作業は、デジタルカメラによる多方向から対象構造物を 70%以上ラップさせて撮影を行うのみで、これらを用いて三次元モデルが構築できる。

本技術を護岸などの調査・点検に適用することで、現地作業の大幅な効率化が図れる。

本解析に用いる市販のソフトには、Smart3DCapture、PhotoScan、PIX4DMapper などがある。

以下では、この SFM 解析のアルゴリズムを元にした多視点画像計測手法を用いた解析の手法について紹介する。

#### (1) 概略の処理フロー

概略の処理フローは、使用するソフトにより若干異なるが、概ねは以下に沿った流れである。

その流れとは、「①画像取込み→②SIFT による特徴的抽出→③特徴点マッチング→④カメラの自己位置推定」であり、処理結果は、図 5.1.1 に示すように写真画像がマッピングされた三次元モデルが生成され、ビューアで任意方向からの閲覧と距離測定が可能である。

なお、SFM の特徴として、イメージマッチングの困難な地形起伏の大きい場所や、視点位置によって見え方の大きく変化する場所（例えば複雑な法面勾配で構成された場合）では、画像間のラップが少ないと問題が発生しやすくなる。

---

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ーの算出を行う。

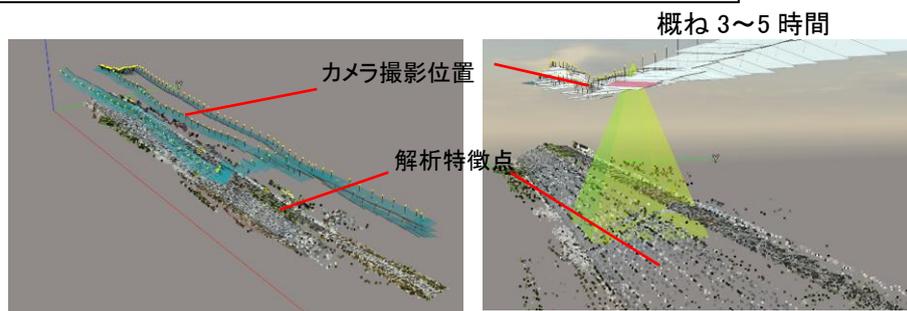
SIFT : (Scale-Invariant Feature Transform) は、特徴点の検出と特徴量の記述を行うアルゴリズム。検出した特徴点に対して、画像の回転・スケール変化・照明変化等に頑健な特徴量を記述するため、イメージモザイク等の画像のマッチングや物体認識・検出に用いられている。

**①撮影画像**  
70%以上ラップさせて撮影

効率的に解析処理するために画像の精選を実施  
全体で 100 億点 (pix) 30Mpix×300 枚程度に画像を精選

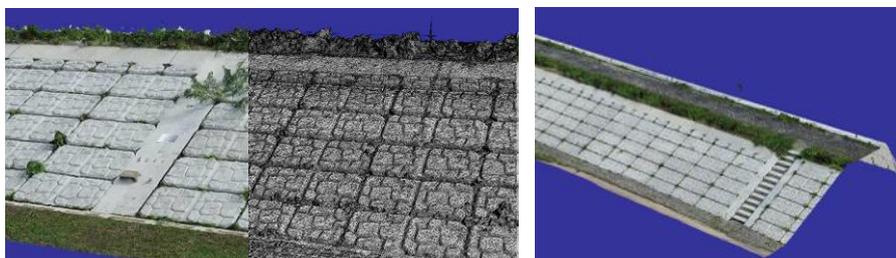


**②SIFT による特徴的抽出 ③特徴点マッチング ④カメラの自己位置推定**



概ね 3~5 時間

**⑤写真画像がマッピングされた 3D モデル生成**



概ね 15~30 時間

左: 写真テクスチャ表示 右: TIN モデル表示

3D モデル化

\*任意の視点から三次元モデルの閲覧が可能。任意の寸法も計測可能。

図 5.1.1 SFM 解析・処理のフロー

(2) SFM 自己位置推定の課題点

カメラの自己位置推定の課題と留意事項として、以下のものがある。

■GCP 配置による問題

対象を取り囲む様に広範囲に GCP を配置する必要がある。

■水面付近の計測

水面付近は計測精度が悪くなるため、ターゲットの追加が必要である。

■植生の影響

植生の中に埋没している対象物は三次元計測できない。

■日照

照度が暗いと精度確保できない。

## 5. 2 三次元モデル構築の事例

UAV 撮影を行うことで、従来の航空機からの三次元計測では不可能であった詳細な地形形状の三次元モデル化が容易に行えるようになった。また、可視域のデジタル画像のみでなく赤外線画像も活用でき、それぞれの利点を活用することで、効率的に樹木の活力度や構造物の損傷調査、漏水調査などにも展開が期待される。

以下は、堤防、構造物等の河川管理施設の変状把握を目的に、4 章までに各紹介した事項をそれぞれ参照しながら、如何に与えられた命題に対し、調査目的毎に適した撮影高度と撮影精度及び操作方法に対し、撮影・飛行計画から実飛行、そして解析・処理を行っていけばよいかについて下記の 2 事例を用いて具体的に紹介する。

【事例 1】堤防の変状挙動・樹木の分布調査 ⇒ 迅速性重視

・高い高度で、精度より迅速性を重視した事例：吉田川

【事例 2】河川管理施設の変状把握 ⇒ 精度重視

・低い高度で、迅速性より精度を重視した事例：新川水門

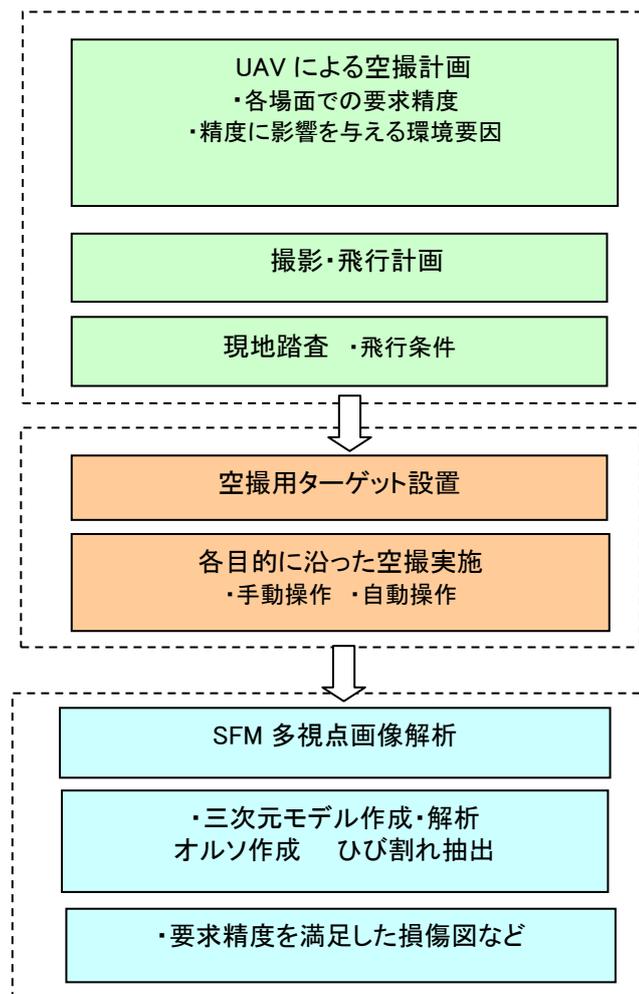


表 5.2.1 調査項目・対象とアウトプットイメージ

調査項目	対 象	調査項目	手 法	アウトプットイメージ
堤防、構造物等の河川管理施設の変状把握	堤 防	堤防の変状調査	3D 画像	三次元モデル化、オルソ画像により堤防変状を経年的に比較し、維持管理に活用。
	河 道	樹木の分布調査	3D 画像	河道内樹木の分布状況把握により樹林繁茂の抑制対策に活用。
	構造物	護岸・擁壁の変状調査	3D 画像 熱赤外線画像	構造物変状や劣化等の診断・点検に活用データ蓄積による構造物の変状確認(比較検証)に活用。
洪水時における堤防の挙動	河川全体	災害時の情報収集	3D 画像	緊急時における堤防の状況把握(1時間程度で速報版の報告)。

## 5. 2. 1 事例1；護岸形状と樹木高の計測

### ◆事例：護岸形状と樹木高（吉田川 16.0k 付近）

河川堤防天端道路の標高および高水敷の樹木高の調査を目的とした UAV 空撮について、3.2 撮影に関わる検討フローにしたがい、UAV 空撮計画の立案、空撮の実施、解析を行った事例を示す。



図 5.2.2 計測箇所

#### (1) UAVによる空撮計画

##### 【各場面での要求精度】

はじめに、計測の目的に合った精度を設定する。今回の「河川堤防天端道路の標高および高水敷の樹木高の調査」という場面は、要求精度を 5cm（河川土工マニュアルの盛土高管理基準における「土構造物の高さ」）とした。

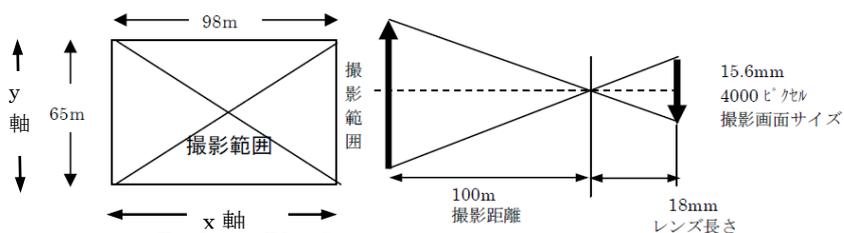
##### 【精度に影響を与える環境要因】

撮影高度など、精度に影響を与える要因について考える。また、同時に撮影高度から導かれる飛行速度とシャッター速度についてもここで言及する。

なお、撮影の条件を次のように定める。

##### ＜撮影の前提条件＞

- ・使用カメラ：カメラ B（表 3.3.5）
- ・焦点距離：18mm（ぶれを少なくするためにできるだけ広角なレンズを選択する）
- ・インターバル撮影：1 秒間隔（カメラ B の仕様より）
- ・オーバーラップ率：70%以上（SFM 解析の要件より）



## (2) 撮影高度の設定

### ●最高撮影高度

図 3.3.4 を参照すると、上記の撮影条件で 5cm 精度を確保できる最高撮影高度は約 50m であることが分かる。最低限の精度を確保できるカメラ D (表 3.3.5) による撮影高度で設定することとした。

### ●選択する撮影高度

撮影高度の選択に関して、精度を追求すれば作業時間を費やすというように、精度と作業時間がトレードオフの関係となる。

高い撮影高度: 作業時間は少なく済むが、精度が低下する。

低い撮影高度: 精度は向上するが、作業時間が増大する。

## (3) 飛行速度の設定

### ●最高飛行速度

撮影の前提条件および設定した撮影高度を用いて、要求精度を確保できる最高飛行速度を以下のように算出する。

#### ・FOV (視野)

$$\text{センササイズ} \times \text{撮影高度} / \text{焦点距離} = 15.6 \times 50 / 18 = 43.33 \text{ [m]}$$

#### ・OL 率 70%を満たす移動基線長

$$\text{FOV} \times (1 - 0.7) = 43.33 \times 0.3 = 13 \text{ [m]}$$

#### ・最高飛行速度

$$\text{OL 率 70\%を満たす移動基線長} / \text{インターバル撮影間隔} = 13 / 1 = 13 \text{ [m/s]}$$

### ●選択する飛行速度

飛行速度の選択に関して、作業時間の速さを追求すれば被写体ぶれ (以下にじみ率) が生じるというように、対象を動きながらカメラで撮影した時に生じる写真のにじみ率と作業時間がトレードオフの関係となる。

速い飛行速度: 作業時間は少なく済むが、にじみ率が増大する。

遅い飛行速度: にじみ率は低下するが、作業時間が増大する。

今回は要求精度を満たし、かつにじみ率が 75%以内となる最高飛行速度である 8m/s (シャッター速度 1/1000s) に設定することとした。

にじみ: 動いている対象をカメラで撮影した時に生じる「ぶれ」、つまり「被写体ぶれ(英語で blur)」を本手引き(案)では、「にじみ」と称し、「にじみ率」を以下のように定義した。

写真のにじみ率[%]: シャッターが開いている間の被写体の移動量、100%のとき 1pix 分の移動として定義。UAV 飛行速度[m/s] × シャッター速度[s] / 1pix の撮影解像度[mm] で算出される。

写真のにじみ率[%]:

シャッターが開いている間の被写体の移動量、100%のとき 1pix 分の移動として定義。

UAV 飛行速度[m/s] × シャッター速度[s] / 1pix の撮影解像度[mm] で算出される。

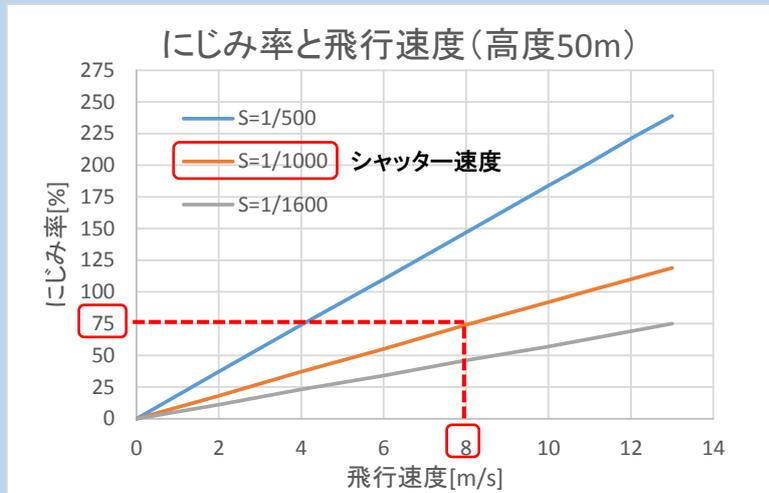


図 5.2.3 にじみ率と飛行速度の関係 (カメラ B; 表 3.3.5)

※図 5.2.3 のにじみ率の算出法

ここでは、図 5.2.3 において赤枠で囲われた条件のもと実際に算出を行う。

ここで y 軸方向は FOV の短手方向を示す。

カメラ B の FOV (高度 50m 時、y 軸方向) : 43.3[m]

カメラ B の解像度 (y 軸方向) : 4,000[pix]

したがって、カメラ B の撮影解像度は  $43,300[\text{mm}] / 4,000[\text{pix}] = 10.83[\text{mm}/\text{pix}]$  …①

飛行速度 8[m/s]、シャッター速度 1/1,000[s] のとき、シャッターが開いている間の被写体移動量は、 $8,000[\text{mm}/\text{s}] * 1/1,000[\text{s}] = 8[\text{mm}]$  …②

①と②より、1pix を 100%としたときのシャッターが開いている間の被写体移動量は  $8[\text{mm}] / 10.83[\text{mm}] * 100 = 0.738[\%]$

#### (4) シャッター速度の設定

UAV 空撮では、最低でも 1/500s 程度のシャッター速度は確保する必要がある。撮影現場の照度が高ければ、さらに速いシャッター速度で撮影を行うことも可能である。今回は天候が良い条件であったため、にじみ率を抑えるために 1/1,000s のシャッター速度を選択した。

速いシャッター速度: にじみが抑えられる → ぶれの少ない写真

遅いシャッター速度: 明るさが確保でき、F 値を大きくできる → ピントの合った写真

#### (5) その他の環境要因

- ・ 水面付近の計測: 水面付近ではあるが試験的な計測事例であり、ターゲット配置は最低限とした。
- ・ 植生の影響: 計測対象の撮影を妨げるような植生はないことを確認した。
- ・ 日照: 晴天、11:00 頃の撮影であり、比較的良好な照度条件であった。

## (6) 撮影・飛行計画

### <飛行手法>

- ・GPS受信状況が良好と思われる見通しのよい場所である。
- ・目的：高水敷の樹木高計測 → 接写する必要はない。
- ・計測範囲：両岸の堤防まで含めて三次元モデル化を行うため広範囲である。  
上記のような条件から、飛行手法としては自動飛行が適していると判断した。

## (7) 現地踏査

### <飛行条件>

- ・気象条件：晴天、ほぼ無風の状態。
- ・障害物、墜落リスクの回避：家屋等は計測範囲外のため上空を飛行しない。  
堤防天端道路に監視員2名を配置した。
- ・離陸・着陸場の条件：風の影響はほぼなし。
- ・操縦者以外を離発着場から退避させるスペースは十分確保できる。
- ・電波条件：付近に電波塔、変電所等はなし。
- ・余裕を持った作業時間：フライト時間、現場作業時間ともに十分に確保できる。



図 5.2.4 現地の周囲状況と天候

## (8) 空撮用ターゲット設置

今回は、両岸の距離標と新たに測量を行った2点の合計4点を標定点として使用した。測量を行った2点には空撮用ターゲットを設置し、距離標はそのままの状態で行った。



図 5.2.5 距離標と空撮用ターゲット

### (9) 空撮実施

<設定項目まとめ>

- ・ 飛行高度：50m
- ・ 飛行速度：8m/s
- ・ シャッター速度：1/1,000s

撮影の前提条件および、設定した項目をもとに自動飛行経路を作成し、空撮を実施した。結果として撮影対象の連続空撮写真（約 80 枚）が得られた。



図 5.2.6 自動飛行経路設計と撮影した連続写真

### (10) 写真解析

SFM 解析により撮影対象の三次元モデルを得た。

なお、解析に用いるソフトは多種類あるが、今回は Smart3DCapture を用いた場合を例として示す。

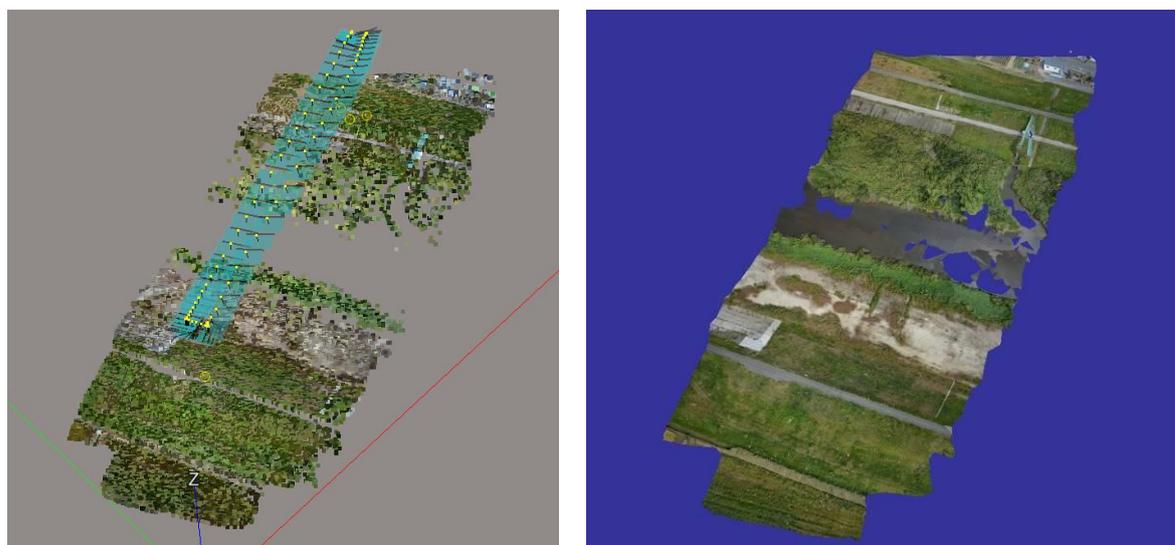


図 5.2.7 SFM 解析結果と生成した三次元モデル

### (11) 三次元モデルから標高値を取得

三次元解析ソフトを用いて、堤防天端道路および樹木の標高を取得した。

#### ・堤防天端道路

図に示される堤防天端道路における点の標高は TP+10.294m である。これは縦断測量によって得られた標高値 TP+10.285 を真値とすると約+0.01m (1cm) の精度で計測が行えたといえ、要求精度である 5cm を十分満たす結果となった。



図 5.2.8 堤防天端道路の標高

#### ・樹木

図に示される樹木の天端高は TP+13.6m であった。これは三次元レーザスキャナ計測によって取得した天端高 TP+13.8m を真値とすると -0.2m の誤差が生じたこととなり、今回の要求精度である 5cm を満たさない結果となった。樹木の測定においては、枝葉が揺らぐと正確な三次元形状が復元できないために想定よりも精度が低下したと考えられる。

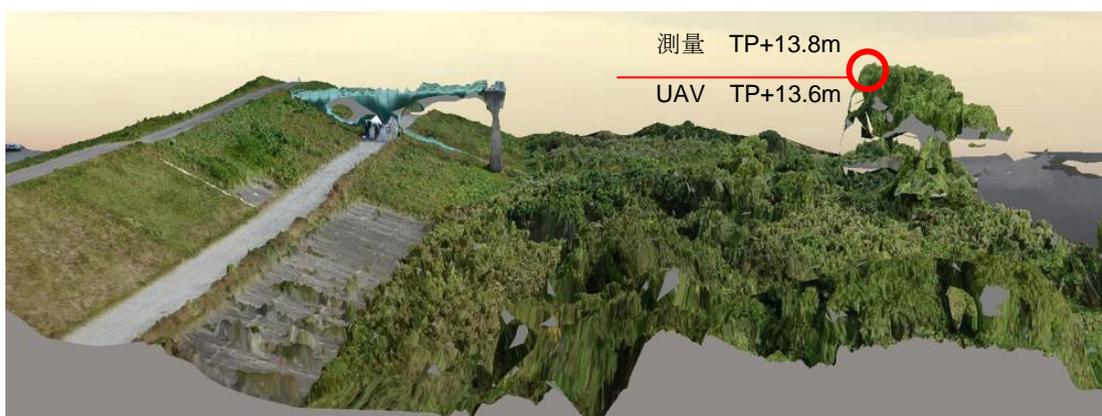


図 5.2.9 高水敷樹木の標高

## 5. 2. 2 事例 2 ; コンクリートのひび割れ幅算定

### ◆事例 : コンクリート壁面に発生しているひび割れ幅算定

コンクリートの樋門を対象に、UAV を用いて撮影し、0.2mm 以上のひび割れの抽出と樋門の三次元モデル化を実施した。なお、精度検証のため三次元レーザスキャナ計測も一部実施した。



図 5.2.10 対象の水門

UAV の飛行速度は、撮影距離(5m)とカメラの画角から一度に撮影される範囲を計算し、画像のオーバーラップを 70%と決め、そこから逆算し 3.9m/秒と算定される。以下にその飛行計画、算定手法について述べる。

#### (1) UAVによる撮影の計画

今回の必要精度を満たす撮影計画として、0.2mm 以上のひび割れを確認できる解像度を得ることを目標とした。また、飛行の安全面を考慮し、手動によるマニュアル操作での撮影を実施することとした。

#### (2) UAVの仕様と撮影条件

UAV の仕様を図 5.2.11 に示す。また、同図に示すデジタルカメラ(画素数 5184×3456、焦点距離 : 24mm)を搭載し、ステレオ撮影する計画とした。また搭載している GPS は 1 周波の低精度(誤差 5m 程度)であり、風速などの影響により機体が流されることも考慮し、安全性を確保するため構造物から 5m を確保する計画とした。撮影対象は、壁面に垂直移動しながら撮影する計画とした。飛行ルートの関係から対象面における画像解像度は 0.9mm/pix 程度である。一般的に、撮影解像度と捕捉可能なひび割れ幅については、きれいに清掃した明るい壁面の場合、1/10 位の解像度まで認識可能と報告されている。今回は捕捉対象のひび割れ幅は門柱の汚損状況の影響も考慮し、解像度の 1/5 である 0.2mm を目標とした。

以上のように、0.2mm のひび割れを確認するために、撮影距離 5m、基線長 1m での撮影を計画した。

表 5.2.2 使用する UAV と撮影条件

UAV		カメラ	
搭載重量	1.5kg	画素数	5,184 × 3,456
耐風安定性	10m/s	焦点距離	24mm
飛行時間	~15min	撮影距離	5m
飛行距離	1~1.5km	撮影画角	4.65 × 3.1m
高度	~300m	解像度	0.9mm/pix
GPS	1周波		



特徴点の抽出が困難な塗装面などで、マッピングのズレや不整形 TIN が確認できる



図 5.2.11 三次元モデル化・解析結果

### (3) 標定点の設置と測量

解析モデルに尺度を与えるためには、少なくとも3点以上の標定点とその座標が必要である。

通常は対空標識やターゲットなどを対象周辺に配置し、測量を行うことが望ましいが、この事例では、三次元レーザスキャナを用い構造物の形状（座標）を取得することで、任意の箇所を標定点とし、解析を行った。

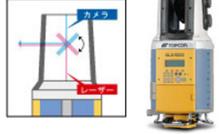


通常は対象物にターゲットを配置し、測量を行う。ターゲットは対象に対し広く配置することが望ましい。

図 5.2.12 ターゲットの設置

### ■三次元レーザスキャナによる計測

三次元レーザスキャナで取得した点群は三次元座標を持つため、寸法の参照が可能である。このデータから必要寸法を参照し、三次元モデルのスケールとした。

機器 イメージ	
測定範囲	2~330m (反射率 90%)
測定精度	4mm (φ) / 1~150m
レーザー波長	約 16mm / 100m
加-情報取得	スキャナー本体にデジタルカメラを搭載。 正確な RGB データを取得 2メガピクセル (1600 X 1200)
主な用途	土木・大型構造物
備考	3D距離画像の他にデジタルカラー画像を合成



取得した点群は三次元座標 (x,y,z) をもつため、任意の箇所の座標や寸法値を取得することが可能。  
また、様々な角度からデータを閲覧可能であり、対象の全容を容易に知ることが可能。

使用機器

計測状況



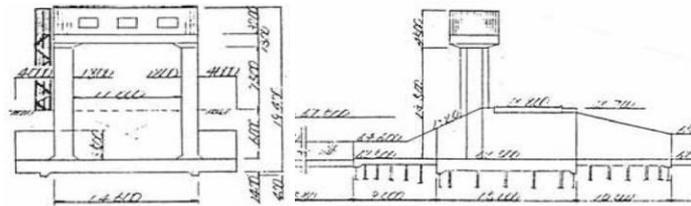
図 5.2.13 三次元レーザスキャナによる計測

・災害時など緊急を要する場合

ターゲットの設置、測量などを行うことができない場合、または迅速な現場対応が必要な場合は、対象の寸法を巻尺などで測り実測する、または既存の図面を利用することで代用することができる。しかし、その精度は実測値や使用する図面精度に依存するため注意が必要である。



各部寸法の実測など



既存図面

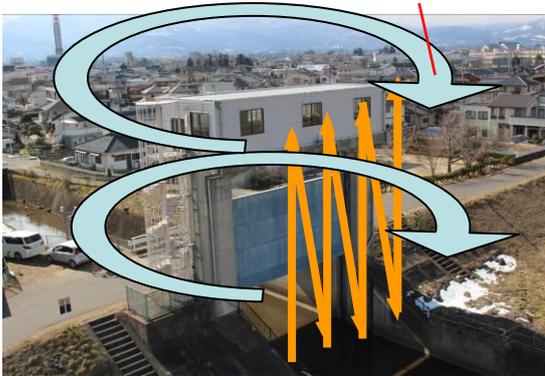
#### (4) 撮影の実施

今回の事例は、ひび割れの算出と構造物全形の三次元モデル化が目的であることから、対象壁面に正対した高解像度（必要解像度を満たす）の撮影と、全体をとらえながら周回して撮影する俯瞰撮影の2種類を実施した。この際には、60~70%以上のラップをさせての撮影とした。

また、全体の三次元モデルを作成するには、詳細撮影のほかに遠方からの俯瞰画像も撮影した方がその後の解析が容易となる。

俯瞰撮影：対象と周囲を広く撮影

詳細撮影：必要解像度で対象に正対して撮影



撮影のイメージ



撮影のイメージ(詳細撮影)



俯瞰撮影写真



↑西側面近景

↑鉄筋露出

↑西側面遠景

図 5.2.14 UAV を用いた対象の撮影

## (5) ソフトウェアでの多視点画像三次元構築の実施

Smart3DCapture での解析を例に説明する。

### 1) 写真の選定と挿入

撮影で得た写真を選定しソフトウェアに挿入する。また、撮影カメラ情報を入力する（ほとんどのカメラの場合、EXIF 情報から自動で入力される）。

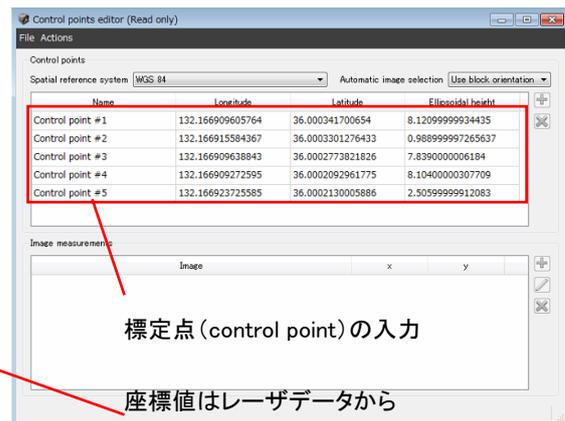


不要な写真は省くほうが解析がうまくいきやすい。  
(離発着時や対象が写っていないものなど)

図 5.2.15 撮影写真

### 2) 標定点の入力

測量で得た標定点の数値を入力する(数値の入力は手入力または、TXT データでの挿入が可能)。今回の場合は、三次元レーザスキャナから任意の点を取得が可能であるため、対象物の特徴的な箇所 5 点の座標を参照した。



標定点 (control point) の入力

座標値はレーザデータから

図 5.2.16 標定点の入力

入力した標定点を撮影写真上に指定していく。この際、標定点は 3 点以上必要であり、少なくとも 1 つの標定点に対して 3 枚以上の写真が必要である。



図 5.2.17 写真と標定点の対応

## (6) 解析の実施

撮影写真と標定点の対応が終了したら、写真の解析を実行する。

特徴点が抽出され、カメラ撮影位置が特定される。カメラ位置、標定点の測定誤差などの確認を行う。誤差が大きい、または取得したい三次元形状ができていない場合は、写真を厳選し、(1)～(3)の手順を繰り返し、写真を追加していく（一部分ずつ解析を進め写真を追加）。

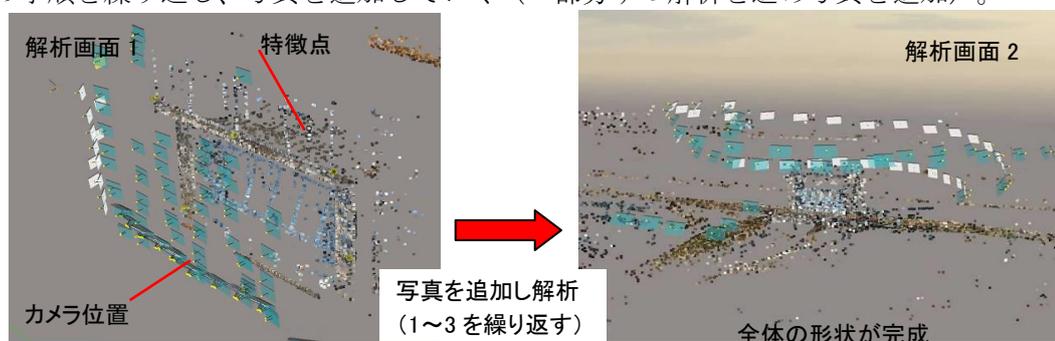


図 5.2.18 写真と標定点の対応

## (7) 三次元モデルの作成

上記の解析が完了したら、解析データから三次元モデルを作成する。モデル作成の範囲、クオリティを選択し作成を行う。モデルは Smart3DCapture 形式 (s3c) や obj 形式、fbx 形式など様々な形式で書き出すことが可能である。モデルの範囲、解像度などによっては非常に時間がかかる工程であるため注意が必要である（数時間以上）。

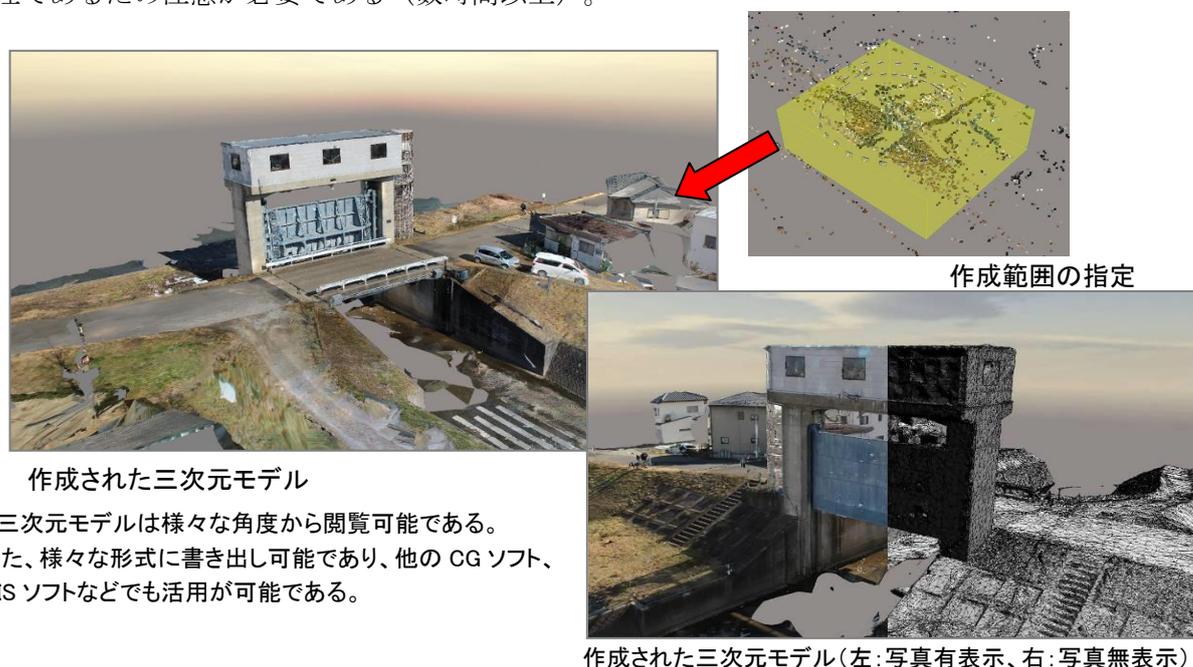


図 5.2.19 三次元モデルの作成

obj 形式 : Wavefront 社提供のファイルフォーマット。CG ソフトの中間ファイルフォーマットとして広く使用されている。

fbx 形式 : Autodesk 社提供のファイルフォーマット。ポリゴン（形状）だけでなく、カメラ・ライトの情報も保存可能である。

### (8) オルソ画像の書き出し

実際に作成したオルソ画像の書き出しを行う。

Smart3DCapture では、垂直面に対するオルソ画像の書き出しは実装されていないため、別のCGソフトへと読み込み作業を行う（この事例では Autodesk 社 3DsMAX を用いた）。

Smart3DCapture から obj 形式でモデルを書き出し、3DsMax へと読み込む。

モデルは(2)で設定した座標系になっているため、取得したい壁面に正対するようソフト上で投影方向を設定し、モデルのレンダリング書き出し (JPG) を行った。画像は 1mm/pix の解像度で書き出しを行った。

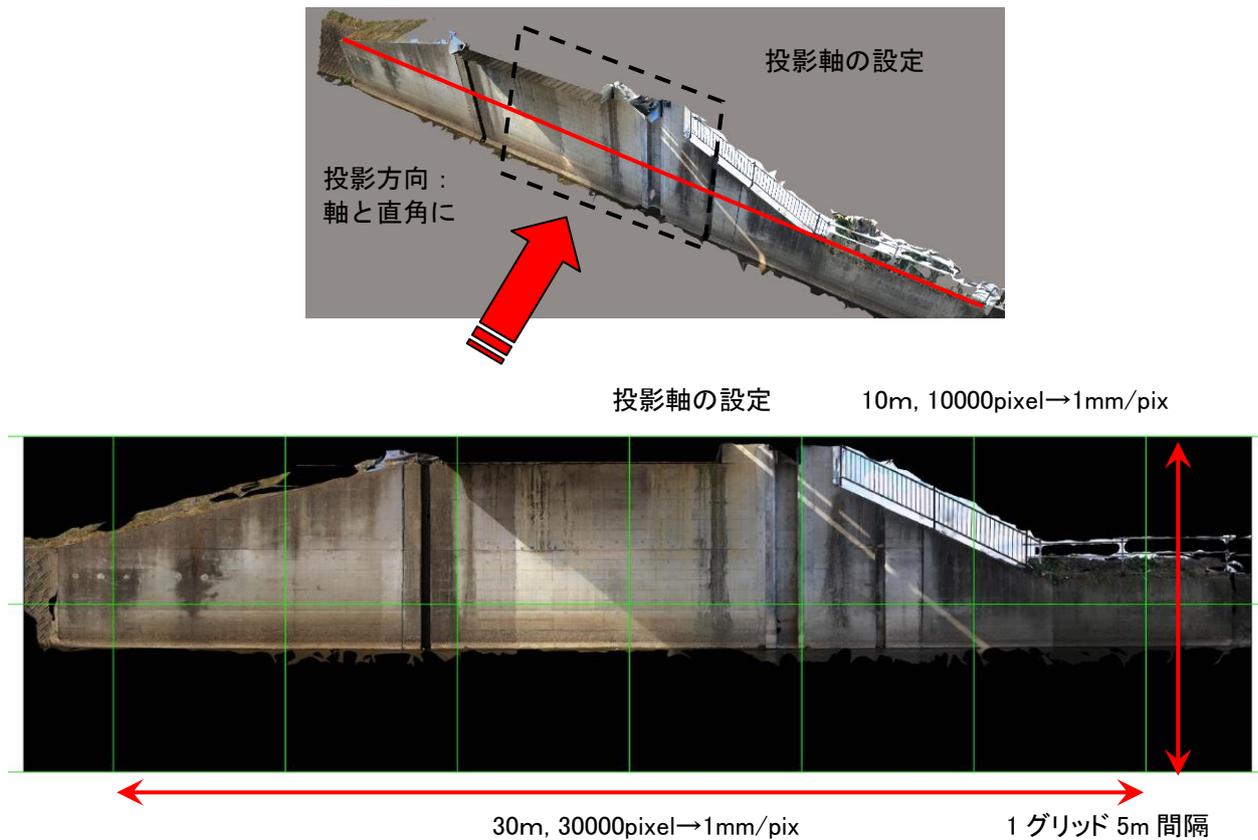


図 5.2.20 オルソ画像の書き出し

※SFM ソフトウェアによっては、別のソフトを介さずに直接オルソ画像が書き出せるものもある。  
(例：Photoscan など、Smart3DCapture は真上撮影からの投影のみ可能)

---

レンダリング：三次元物体のデータを画像化すること

(9) ひび割れ幅の計測手法

取得した画像からひび割れ幅を算出する手法を説明する。

UAVで撮影したデジタル画像（解像度：2mm/pix）から、ひび割れ幅を「検出」する手法として、ここではクラックインデックス〔CI〕を用いた手法（西村ほか，2012）について説明する。

●クラックインデックス〔CI〕から算出する手法

図5.2.23は、クラック近傍の濃淡分布を模式化したものであり、これらの事項を元に、クラックインデックス（以下〔CI〕）：「特徴値×分布幅」という指標からひび割れ幅を算出する手法である。〔CI〕は、分解能以下のクラックがCCDに取り込まれた際に各クラックが有する面積といった概念で、クラック幅が大きいと〔CI〕値も大きくなる。そしてピーク値から概ね±4ピクセルで周辺の基調レベルに落ちつく。なお、特徴値は式(5.1)で与える。

$$D(i) = \text{GRAY}(i) - (\text{GRAY}(i-4) + \text{GRAY}(i+4)) / 2 \quad (5.1)$$

ここでD(i)：特徴値 GRAY(i)：各クラックピーク値のグレイレベル

図5.2.25は〔CI〕とクラック幅との関係を示したものである。〔CI〕とクラック幅とは明瞭な相関を持ち、撮影された分解能以下のクラック毎に〔CI〕を求めることでクラック幅を定量的に算定することが可能となる。

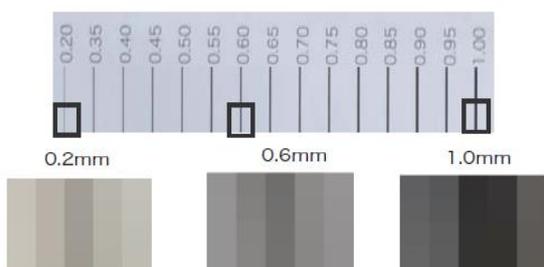


図 5. 2. 21 クラックスケールの撮影画像拡大

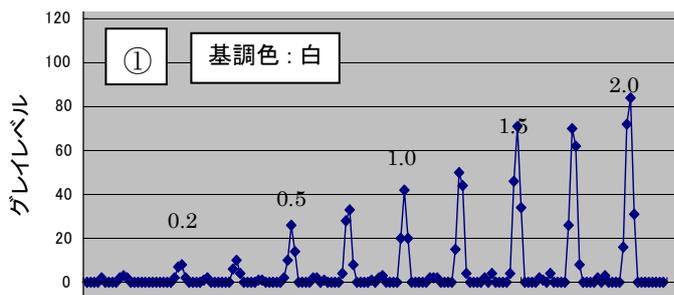


図 5. 2. 22 クラックの濃淡（基調色：白）

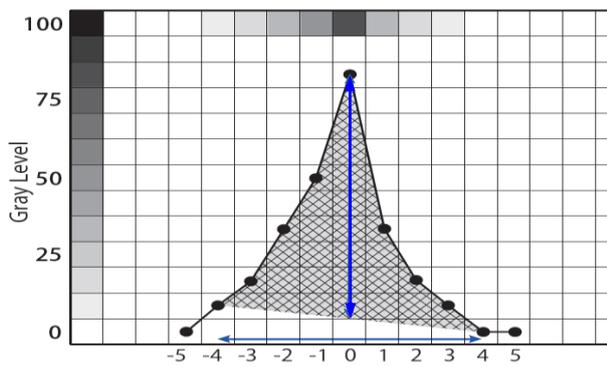


図 5. 2. 23 特徴値の計算手法模式イメージ

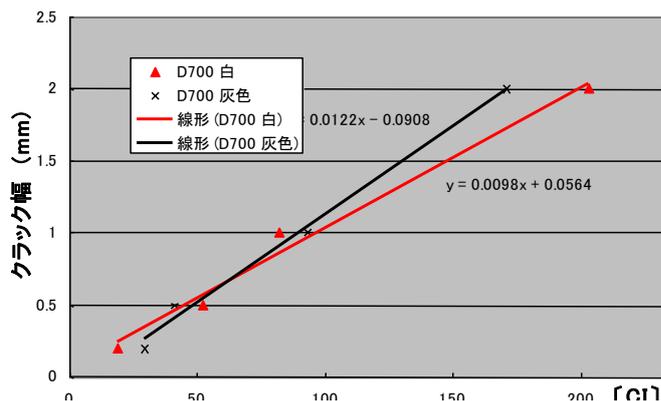


図 5. 2. 24 〔CI〕とひび割れ幅の相関

西村正三ほか；「3D レーザ・デジタル画像を用いた軍艦島計測と損傷図作成－3D 点群のレンダリング・ひび割れ描画支援システム－」，日本写真測量学会 写真測量とリモートセンシング Vol.51, No.1, pp 46-53 (2012.3)

### (10) ひび割れ描画支援システムによるひび割れの算出

前述した手法によるシステムを用い、書き出したオルソ画像からひび割れ幅の算出を行う。ここで紹介するひび割れ描画支援システムは、〔CI〕とクラック幅の関係を元に、技術者の解釈も組み込んだ半自動でひび割れ抽出・描画が可能なシステムである。オルソ画像内からひび割れを探し、そのひび割れに対して大まかなトレースを行うと、システムがひび割れの詳細な形状と幅を自動で判別するシステムとなっている。

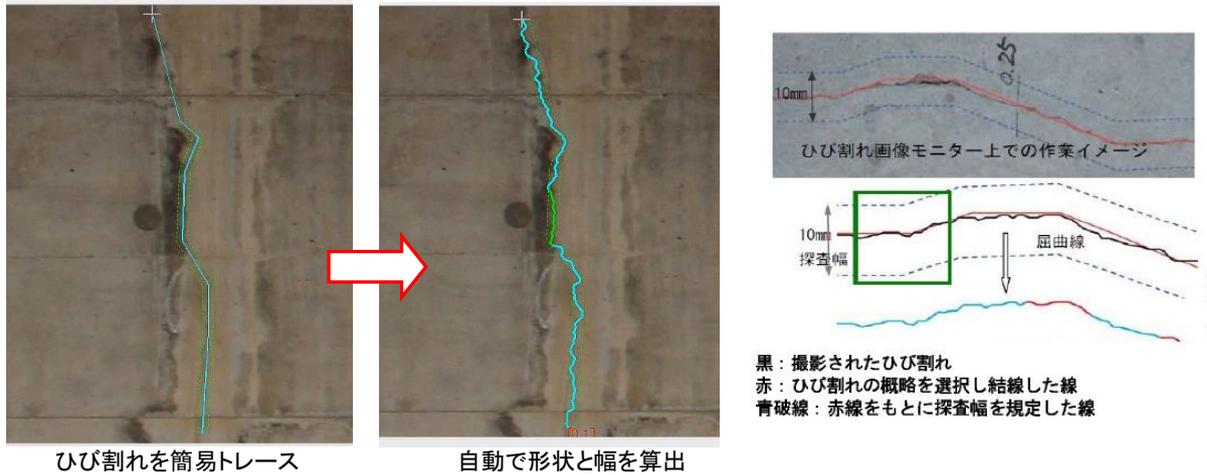


図 5.2.25 ひび割れ描画支援システム

### (11) 損傷図の作成

対象壁面の損傷図の作成を行う。図 5.2.27 は損傷図とオルソ画像を重ねたものである。



図 5.2.26 ひび割れ損傷図

## 6. 安全管理 ～安全第一（航空法の改正を受けて）～

### 6. 1 UAV安全飛行に向けて

UAV を安全に飛行させるためには、関連法規を十分に理解した上で、信頼できる機体、技能・知識を有する操縦者、組織としての運航管理が必要である。

#### 【解説】

UAV を第三者に迷惑をかけずに安全に飛行させるためには、改正航空法を十分に理解した上で図に示す3つの観点での取り組みが必要である。

#### (1) 機体

事故を起こさないためには、信頼できる機体を使用することが重要である。そのために、機体の状態を把握しておく必要がある。

#### (2) 操縦者

操縦者が操縦技術の確保・維持に加え、周辺状況を踏まえて、運行の是非を判断するための知識が必要である。

#### (3) 運航管理

事業者は、操縦者まかせではなく、組織として、安全第一のための運航管理に取り組む必要がある。

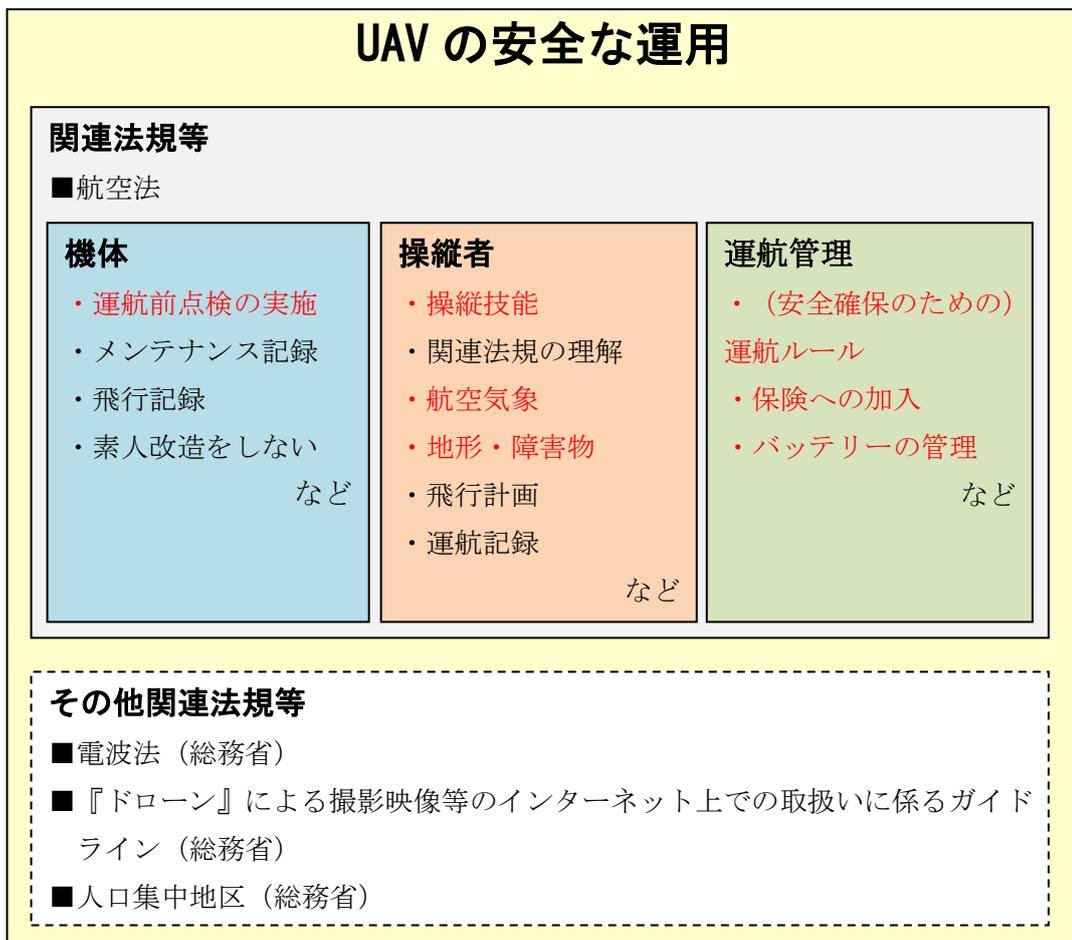


図 6.1.1 安全第一に UAV を飛行させるための関連事項

## 6. 2 機体

### 6. 2. 1 運航前点検の目的

UAV 運航前点検は、機体の不具合による事故を未然に防ぐために実施する。

#### 【解説】

東北技術事務所では、管内での UAV の安全な活用を目指して、運航前点検の具体的実施手順や方法等を示した「**UAV 安全飛行技術資料【運航前点検編】（暫定版）**」（H28.3）を別途に作成したので、参考にされたい。

マルチコプターは、モータの回転数を変化させて飛行させるため、**離陸するまで正常に飛行できるかどうかを確認する術がない**。急いで飛行準備し、UAV 立ち上げランプの確認を忘れ、まだ正常に起動していない状態でモータを回したことで、UAV が暴走した事例もある。ここで、「正常に起動していない」とは、各種センサー（GPS、磁方位センサー、ジャイロ、高度計、電圧、モータ、プロポとの通信状況など）のいずれかに内部エラーの発生状況を言う。離陸前には、基本的に忠実に機体の点検やその状況の確認を行う。

運航前点検は、運航前から着陸後まで 6 つの段階に区分される。各段階における点検の目的を示す。

#### （1）事前準備の目的

現地作業時に、通信トラブルや機器トラブルを多角的に予測して回避できる策を講じる。

#### （2）現地確認の目的

現地の気象状況や電波状況などを確認し、UAV の安全運航ができる環境であることを確認する。

#### （3）機体準備の目的（電源 OFF）

機体を組み立てた段階で、機体および周辺機器が、UAV の安全運航に支障がない状態であることを、電源を入れる前に確認する。

#### （4）離陸前確認の目的（電源 ON）

電源を入れた段階で、UAV が安全に離陸および飛行ができる状態であることを確認する。

#### （5）離陸後確認の目的

離陸させた段階で、UAV の操縦に異常がなく、安全に飛行できる状態であることを確認する。

#### （6）着陸後確認の目的

着陸した機体を確認し、パーツの劣化など、再飛行における危険事項を発見し、次回の安全運航に繋げる。

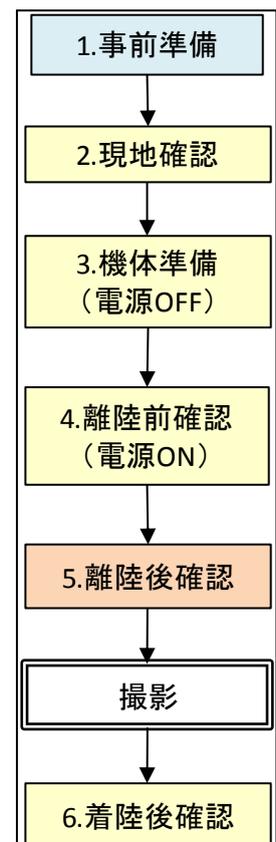


図 6. 2. 1  
運航前点検の流れ

## 6. 2. 2 チェックリストによる運航前点検の実施

UAV を運航する前には必ず点検を実施し、記録に残す。

### 【解説】

UAV を運航する前には、「**UAV 安全飛行技術資料【運航前点検編】（暫定版）**」（H28.3）に準拠し、以下のチェックシートに基づいて、約 80 項目の点検を実施する。問題がある場合には是正し、是正が困難な場合には、代替機を使用するか作業を中止する。

表 6. 2. 1 UAV 運航点検チェックシート（再掲）

【 UAV 運航点検 チェックリスト 】

日 時:	平成	年	月	日	:	操縦者:
場 所:	人口密集地に該当 <input type="checkbox"/> する <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 最新版のソフトウェア(OS,オペレーションソフトなど)				
	GPS	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> フェイルセーフ動作の事前設定と動作確認				
	プロポ	<input type="checkbox"/> 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			
	バッテリー	必要電源容量	<input type="checkbox"/> 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
		風向	度	風速 平均	m/s	最大瞬間
						m/s
						※2分間観測値 瞬間最大風速10m/s以上は飛行禁止
	障害物の確認	<input type="checkbox"/> 障害物の確認 無線局アンテナ,電波塔,铁塔,鉄道架線,テレビ・ラジオ放送局など			電波状況 の確認	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 操縦者	<input type="checkbox"/> 運行管理者(時間・風速など)	<input type="checkbox"/> 撮影者	<input type="checkbox"/> 誘導員	安全揭示 <input type="checkbox"/> 第三者へ明示資料の揭示(看板など)
③ 電源 OFF 機体準備	機 体	<input type="checkbox"/> ネジ類の緩み	<input type="checkbox"/> プロペラの固定	<input type="checkbox"/> プロペラのキズや摩耗	<input type="checkbox"/> フレームのガタツキ	
		<input type="checkbox"/> 手動回転によるモーターの異音、ザラつき	<input type="checkbox"/> コネクタ部の腐食	<input type="checkbox"/> 配線ケーブルの損傷		
	ジンバル カメラ	<input type="checkbox"/> ジンバルの固定		<input type="checkbox"/> ジンバルとカメラの固定		
		<input type="checkbox"/> ケーブル類の接続	<input type="checkbox"/> ケーブル類の適度なたるみや緊張			
		<input type="checkbox"/> 撮影予定枚数(保存容量)	枚	GB		
	バッテリー	<input type="checkbox"/> バッテリーID				
		<input type="checkbox"/> バッテリーセル数		<input type="checkbox"/> 容量	mAh	
		<input type="checkbox"/> 実測電圧 最大値	V	<input type="checkbox"/> 最小値	V (最大-最小の差が0.03V以内が安全利用の目安)	
		<input type="checkbox"/> バッテリーの固定	<input type="checkbox"/> バッテリーの接続	<input type="checkbox"/> 飛行時間の目安		
		バランス	<input type="checkbox"/> 総重量	<input type="checkbox"/> 重心		
	プロポ	<input type="checkbox"/> スロットル"ゼロ"	<input type="checkbox"/> スロットルの物理的破損	<input type="checkbox"/> レバーの方向		
	その他	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> コンパスキャリブレーション				
	バッテリー	<input type="checkbox"/> バッテリー残量				
	機 体	<input type="checkbox"/> プロペラの正常な回転	<input type="checkbox"/> プロペラ回転時の異常な振動や音			
		<input type="checkbox"/> 駆動系の異常	<input type="checkbox"/> LEDライト(警告灯などの状態)			
		<input type="checkbox"/> 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)	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> ジンバル・カメラの異常				
		<input type="checkbox"/> シャッターの制御	<input type="checkbox"/> ジンバルの制御	<input type="checkbox"/> 画像転送		
	プロポ	<input type="checkbox"/> 電波状態	<input type="checkbox"/> バッテリー残量			
	オペレーション ソフト	<input type="checkbox"/> 飛行計画の確認		<input type="checkbox"/> フェールセーフの設定		
	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 離陸方向の確認(風上順守)		<input type="checkbox"/> 操縦者以外の人と機体との距離(30m以上順守)			
	<input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> ホバリングの安定性 地上(3~5m目安)				
		<input type="checkbox"/> プロペラやモーターの音				
		<input type="checkbox"/> プロポ操作との連動性				
機体情報	★動作確認	<input type="checkbox"/> 前後移動	<input type="checkbox"/> 左右移動	<input type="checkbox"/> 左旋回・右旋回		
	<input type="checkbox"/> HDOP感度(GPS)の状態	<input type="checkbox"/> 高度情報	<input type="checkbox"/> 距離情報	<input type="checkbox"/> バッテリー残量		
⑥ 着陸後 確認	目視確認	<input type="checkbox"/> プロペラの亀裂や破損				
		<input type="checkbox"/> 機材やバッテリーの異常な発熱				
	<input type="checkbox"/> 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。

□・・チェック箇所    ■・・記入箇所

## (1) 事前準備

### 1) 制御ソフトの最新バージョンの確認

飛行中に **UAV オペレーションソフトや OS のアップデートなどによる通信が行われると、機体との通信を阻害**し、墜落の危険性がある。また、ソフト上の設定項目の配置や項目名が変更になる場合がある。そのため、ソフトウェアの更新は事前に済ませ、変更点等を事前に確認する。飛行中にソフトウェアや OS の更新は絶対にしない。

### 2) GPS の確認

**GPS の受信感度が低下すると、安全な飛行が困難となり、墜落の危険性**がある。飛行予定日時の衛星情報を確認し、衛星の補足数が少なくなる時間帯を避けた飛行計画を立案する。必要に応じて現地でも確認を行う。

### 3) フェイルセーフの設定

フェイルセーフとは、『何らかの装置・システムにおいて、誤操作・誤動作が発生した場合に、常に安全側に制御すること』である。

**不測の事態（通信障害等）が生じた場合の対応を機体に設定**する。最悪の事態でも、被害を最小限とする設定を図る。

#### ●発生する事象（例）

1. バッテリー電圧の低下 ⇒
2. 電波受信状況の悪化 ⇒
3. 撮影範囲からの逸脱 ⇒
4. プロポからの帰還命令 ⇒

#### ●制御設定（例）

1. 出発点へ帰還
2. 一定時間の高度維持(待機)
3. 設定した範囲内へ戻る
4. 出発点へ帰還

### ④プロポの設定

**プロポのレバー操作と制御ソフトが正常に連動しないと、機体が予測できない動き**をして、墜落の危険性がある。プロポと制御ソフトのキャリブレーションを行い、正常な連動性を確認する。

### ⑤飛行計画の立案、バッテリー容量の確認

**無理な飛行計画は、危険行動に直結**する。総飛行予定時間や撮影条件を事前予測し、必要なバッテリー容量を把握することで、安全な電源管理を行う。

例) バッテリー不足 → 車内充電 → 火災など



図 6.2.2 ソフトウェアによるフェイルセーフの設定画面の例

## (2) 現地確認

操縦者は、安全に運航するため、現地状況を確認し、必要に応じて運航の中止を判断する。操縦者が確認すべき項目には、以下の項目ならびに次章に詳述したものがある。

### 1) 気象条件の実測

UAV 飛行の際は、気象条件に大きく影響される。そのため確実な現地踏査を行い、その結果を基にした運航計画立案が必要不可欠である。具体策としては、可能な限り、現地状況を詳細に把握する（風速の実測や飛行予定時刻の気象の把握、日照状況等）。

### 2) 障害物の確認

強力な電波・電磁波を発射している鉄塔や高圧線などは、コントロールアウトになる恐れから、細心の注意が必要である。また、近隣の工事で使用される無線等の影響によるノイズ発生や、構造物周辺での予測困難な風の影響等も懸念される。具体策としては、飛行ルートを必ず目視確認して、障害物の有無や影響する風を現地踏査時により確認（地形の起伏・接地境界層）する。

### 3) 電波状況の確認

UAVは無線通信により制御されている。**通信を阻害する電波がある場合には制御不能となり、墜落の危険性**がある。現状、悪意のある行為に対して防御する術は乏しいが、リスク回避のため、できる限りの対策を事前に図るべきである。具体策としては、スペクトルアナライザーにより電波状態を確認する。また、電波が途絶えた場合のフェイルセーフを設定する。

### 4) 役割分担の設定

**操縦者、運航管理者などの役割分担が不明確な場合、操縦者が機体操作に専念できずに、誤操作による墜落の危険性**がある。具体策としては、主操縦者が操縦に専念できる体制（他の現場従事者が飛行計画や確認を怠らないこと）で飛行に臨む。

### 5) 第三者への対応

活用が始まった UAV に対し、一方ではプライバシーの保護等から、飛行に際し、十分な理解を得られていない場合も考慮される。具体策としては、**第三者に対し、看板や事業説明などを適宜実施**し、事業に対して理解・協力を得られるよう現場毎に創意工夫を図る。



図 6.2.3 現地状況の確認の例

(左；風速計→風速確認、中；スペクトルアナライザ→電波確認、右；高圧線や鉄塔)

### (3) 機体準備 (電源 OFF)

#### 1) 機体の確認

目視だけでは確認が図れない**ネジ類の緩みや、プロペラ・モーター・フレームなどの異常は、不安定な飛行や墜落事故に直結**する。具体策としては、固定 (ロック) 状態を確認し、手動回転によりネジ類の緩みやモーター等の異常を直接確認する。プロペラや配線ケーブル類は、消耗品と判断し、安全確保のため、惜しむことなく定期的な交換に努める。

#### 2) ジンバル・カメラの確認

**機体、ジンバル、カメラの固定が不十分な場合、ジンバルやカメラが脱落**してしまう。また、**その影響により、機体のバランスが崩れ、墜落事故に繋がる**恐れがあるほか、ケーブルの配線に異常があると、プロペラとの接触や絡まりなどの危険性がある。具体策としては、固定 (ロック) 状態の確認とケーブル類の設置位置の確認を行う。

#### 3) バッテリーの確認

機体重量のうち、**バッテリー重量が占める割合が高く、固定が不十分な場合には、機体のバランスが崩れたり、バッテリーのトラブルにより墜落の危険性**も懸念される。具体策としては、バッテリー電圧を確認するとともに、特に複数セルで構成されるバッテリーは、セル間の電圧差が健全であることを確認する。脱落防止として、機体と確実に固定 (ロック) されている状態であるかの確認を必ず行う。

#### 4) バランスの確認

**規定重量超過の搭載物、バランスを考慮しない搭載等により、制御不能による墜落**の危険性がある。具体策としては、総重量【機体+バッテリー+搭載物】を把握し、機体の離陸と飛行に十分な余裕があることを確認する。不要な改造により、重心を損なうような搭載物を設置しない。

#### 5) プロポの確認

**電源を入れた際に、意図しない命令が機体に発信される可能性**がある。具体策としては、スロットルが“ゼロ”であること、レバーの方向が正常であること等を確認する。飛行モードを確認する。

#### 6) その他

**携帯電話の電波等で UAV との通信に誤作動が生じて墜落**する危険性がある。具体策としては、不要なモバイル機器の電源は OFF にする。



図 6.2.4 機体の点検状況  
(ネジ類の緩み確認状況の例)



図 6.2.5 バッテリーの電圧およびセル圧確認状況

#### (4) 離陸前確認

##### 1) 時間の確認

バッテリーの起動時間は、離陸前点検＋離陸後点検＋飛行時間の合計である。**起動時間を把握していないと、飛行時間の予測が出来ず、無理な飛行による墜落**の危険性がある。具体策としては、電源を入れた時刻および、離陸（飛行開始）時刻を記録する。

##### 2) コンパスの確認

**コンパス異常は、誤作動の元**であり、墜落の危険性がある。具体策としては、コンパスキャリブレーション（内臓コンパスを正常に動作させる）は、各現場毎に必ず実施する。

##### 3) バッテリー残量の確認

**不十分な充電量のバッテリー残量で飛行を開始した場合には、早期の帰還が必要**となり、離着陸の増加に繋がり、**墜落のリスクが増加**する。具体策としては、十分なバッテリー量であることを警告灯などで確認する。

##### 4) 機体の確認

**プロペラの異常、センサー類の異常は、墜落に直結**する。具体策としては、プロペラの回転、振動、音などが正常であることを確認する。計器類が正常に動作していることを表示灯（LED 警告灯など）で確認する。

##### 5) ジンバル・カメラ・画像転送などの確認

**搭載物の異常な振動は、飛行後のバランス低下に繋がり、墜落**の危険性がある。飛行自体に問題がなくても、搭載物に問題があれば再飛行を必要とし、飛行回数が増えれば、その分、作業が遅れ、墜落するリスクも増加する。具体策としては、ジンバル・カメラの正常な動作や、画像転送などの機能が正常であることを確認する。

##### 6) プロポの確認

**機体との通信状態に異常があると、飛行中の誤作動**により墜落の危険性がある。具体策としては、正常な電波状態であることを確認する。また、プロポのバッテリー残量も確認する。

##### 7) オペレーションソフトの確認

**飛行計画の確認、フェイルセーフの設定、機体情報の正常な受信などのチェックを怠ると、危険飛行の要因**となる。具体策としては、現地条件に適合した飛行計画、フェイルセーフ設定であることを確認する。機体情報が正常に受信できていることを確認する。

##### 8) その他

**離陸方向が風下に向くと、揚力に余裕が無く、モーター出力を上げる必要があり**、バッテリーの消耗に繋がる。具体策としては、風上に向かって離陸させて、揚力に余裕がある状態とする。



図 6.2.6 ストップウォッチによる時間計測



図 6.2.7 LED による状態確認の例

## (5) 離陸後確認

### 1) 安定性、操作性の確認

飛行の安定性と操作性を事前にデモ確認することで、IMU等の正常作動の有無について確認を行う必要がある。具体策としては、30秒連続としたホバリングを実施することで安定性を確認する。また、前後左右に移動させ、プロポ動作との連携を確認する。飛行高度は、地上から3～5m程度を目安とする。

### 2) 機体情報の確認

機体情報が正確に転送されていないと、異常時に墜落の危険性がある。具体策としては、GPS情報、高度情報、バッテリー残量等を地上で正常に把握できることを確認した後に、調査飛行を開始する。

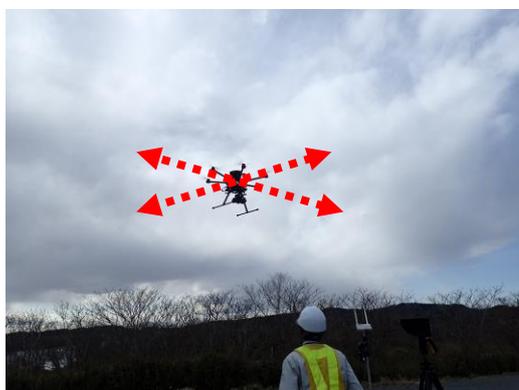


図 6.2.8 プロポ動作との連携確認  
(前後左右に移動)



図 6.2.9 モニタによる機体情報  
(飛行時の例)

## (6) 着陸後確認

### 1) 目視確認

プロペラの亀裂や破損を見逃して飛行した場合、墜落の危険性が高まる。機材やバッテリーの異常な発熱は、バッテリー異常や、機体のいずれかの部位等に過度な負担をかけている可能性が考慮されるため、機器類に異常が見つからない場合や使用回数によっては、オーバーホールなどの対応が必要となる。具体策としては、バッテリーの膨らみや異常な発熱を確認する。



図 6.2.10 着陸後のバッテリーの確認

## 6. 3 操縦者

### 6. 3. 1 教育訓練

操縦者は、操縦技術力の維持向上に努める必要がある。

#### 【解説】

東北管内においても、教育訓練を実施している民間企業があるので、これらに積極的に参加し、**安全に対する意識とともに技術力の維持向上に努める**必要がある。また、関連するシンポジウム等に参加し、情報収集に努める。

東北技術事務所では、UAV人材育成の一環として、平成27年12月10日施行の改正航空法を受け、同月14日に東北地方整備局職員等を対象に、UAV活用に向けた講習会を実施している(図6.3.1、6.3.2)。

また、東北技術事務所構内の一部をUAVの練習場として提供している(図6.3.3)。

### UAV活用に向けた講習会【無人航空機の安全な飛行に向けて】

**【講習会開催目的】**

平成27年12月10日から【UAV等の無人航空機の飛行ルール】が新たに導入されたことを踏まえ、直轄で安全かつ有効に活用するため、東北地方整備局職員等を対象とした【UAV講習会】を開催した。(12/14)

**【講習会内容】**

日時:平成27年12月14日(月) 10:00~12:00  
場所:宮城県石巻市桃生町地内(旧北上川分流施設)

＜ 内 容 ＞

- UAV実演公開エリア
  1. UAV機器構成
  2. 撮影計画準備、安全管理
  3. 改正航空法(12月10日施行)について
  4. 現地調査(実演)
  5. 解析
  6. 活用事例等紹介
- 実機体験エリア  
東北技術事務所所有UAVによる実機体験

**【講習会結果】**

アンケート調査結果では、参加者全員から本講習会の開催について、有効性・必要性があったという評価を確認した。また、本講習会を受講された職員(31名)のおよそ9割が、自らの管理区間でUAVを活用する際に、調整の難しさやUAV飛行に際して、不安があることを認識し、東北技術事務所の技術支援を要望する意見を頂いた。

◆UAV実演公開エリア  
新たに導入された【無人航空機の飛行ルール】の他、UAVIに関する基礎情報、現地飛行、活用事例等を紹介し、UAVの活用普及に努めた。  
(取材5社:建設産業新聞、石巻日々新聞、NHK、仙台放送、東日本放送)

◆実機体験エリア  
職員自ら操縦(東技職員サポート有)を行い体験した。



事務所所有UAVによる実機体験

**【現地調査(実演公開)配置図】**



実機体験エリアでは、東北技術事務所所有のUAVを実際に操作できます。



パネル、実機およびモニターによる説明状況



実演状況(取得画像をモニターで確認)

図 6. 3. 1 UAV講習会実施概要(平成27年12月14日実施)

「UAV活用に向けた講習会」 アンケート結果 【回答率70%】

1. 今回の「UAV活用に向けた講習会」は役に立ちましたか。

- ・役に立った . . . 22
- ・あまり役に立たなかった . . . 0  
(期待したほどではなかった。)
- ・その他 . . . 0

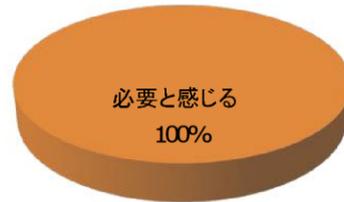


回答理由

・もう少し操作時間があれば、尚良かったと思う。

2. UAVについては、これまで明確な規制がなく、安全に関する認知度が低い状態でした。新たに導入された【UAV等無人航空機の飛行ルール】のように、大きなルール改正時には、今回のような説明会実施は必要と考えますか。

- ・必要と感じる . . . 22
- ・必要と感じない . . . 0
- ・その他 . . . 0

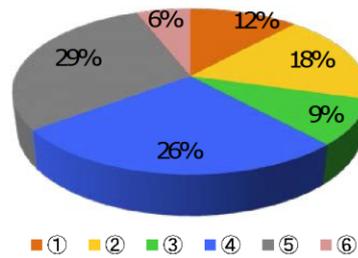


回答理由

・簡単に動かせる為、東技の可能性も高くなる感じがする。  
・安全性の確保。

3. 新たに導入された【UAV等無人航空機の飛行ルール】を自らの管理区間で実施する際の感想を教えてください。(複数回答可)

- ① 全く問題ない . . . 4
- ② 飛行の許可が必要となる空域等の確認行為が困難である . . . 6
- ③ 無人航空機の飛行方法を確認するのが困難である . . . 3
- ④ 実機の点検・整備状況や操縦者のスキル・モラル等に不安がある . . . 9
- ⑤ 発注者として責任を持って安全な運航指導ができるか不安がある . . . 10
- ⑥ その他 . . . 2



回答理由

・砂防事業である為、制限は少ないが、事前の確認が必要となる箇所が多項目になると思う。  
・仮に維持業者がUAVを使用する場合、普段から使っていないと、いざという時に役立たない。

4. 上記以外でご意見ご要望(検証要望したい現場状況)等

・UAV使用にあたっては、東技に相談させていただきます。

図 6.3.2 UAV講習会参加者アンケート結果(平成27年12月14日実施)

## ドローン操作者育成支援（建設業団体対象）

近年、空撮、測量などの分野におけるUAV活用が普及しつつあり、特にドローンを使った様々な新技術が土木分野で開発され、広まりを見せています。

建設業団体においては、円滑かつ安心な測量等を行うための操作者確保が課題となっていますが、技術習得のための飛行場所が十分確保できない状況となっています。

以上のことから、事務所構内を操作技術習得の場として提供することで建設業団体におけるドローン操作者の育成支援を実施するものです。

- ・提供可能なエリアは以下のとおりです。
- ・利用は建設業団体が取り決めたカリキュラムにより実施することになります。

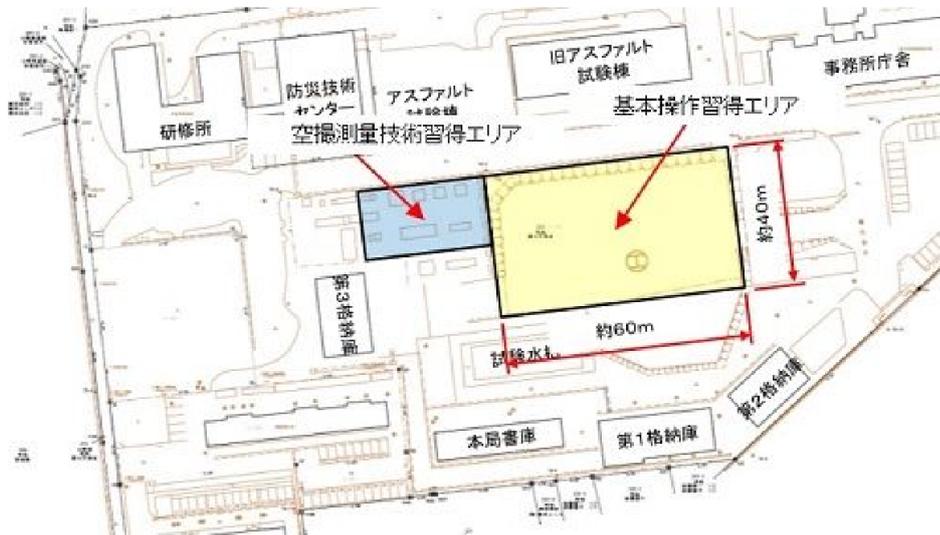
### ◆基本操作習得エリア

事務所構内高台ヘリポート付近を利用し、ドローンの基本操作習得を図る。



### ◆空撮測量技術習得エリア

体験型土木実習施設を利用し、空撮及び測量の技術習得を図る。



- ・東北技術事務所は、航空法の飛行禁止空域に該当するため、利用にあたって航空局への許可申請が必要になります。
- ・実施にあたっては、各種制限等を設け安全確保に努めるものとします。
- ・制限事項等の詳細は実施要領を参照して下さい。

<http://www.thr.mlit.go.jp/tougi/gijutsuryoku/jinzai/uavikusei.html>

図 6.3.3 ドローン操作者育成支援（練習場の提供）

## 6. 3. 2 航空気象

操縦者は、気象に関する知識を有しておく必要がある。

### 【解説】

UAV の運用において、特に重要となるのが風等の気象条件である。

撮影作業を行う空域である海拔 0m から 100m までは接地境界層と呼ばれ、地面との摩擦の影響が大きいため、大気の運動、不規則な乱流の発生が活発である。この不規則な気流の流れは、地表面の状態(海面、水面、水田、畑、牧草地、森林、草原など)によって変化に富んでおり、余程の経験を持ってしても伺い知る事は難しい。したがって、その様な不規則な気流の流れ(乱流)に遭遇しない為に、最低でも事前に地形の起伏や構造物・河川などの細かな観察が必要であり、安全運航には欠かせない。

### (1) 事前の確認

撮影時における気象情報を確認する必要がある。天気図から読み取ることが可能であるが、現地の地形により変わるため、目安程度とし、飛行の可否や離着陸の判断は現地で確認して決定する。また、**当日および次の日であれば、スマートフォンのアプリを利用することで現地（あるいは近傍）の風向風速を確認できる。**

### (2) 現地での確認

風速計を用いて風速を計測する場合は、**2 分間計測して最大瞬間風速を参考に、飛行の可否を判断する。**

構造物を対象として調査をする場合、あるいは構造物周辺で飛行する場合は、風向が変わったり、強い上昇気流により墜落する可能性がある。谷風は、低い所から高い所に向かって吹く風であり、砂防堰堤等の構造物にぶつかった風が強い上昇気流を生じさせる可能性がある。飛行計画を策定する際には、現地でよく地形条件を確認する必要がある。

また、1 日を通して作業する場合は、積乱雲発生等、風向きが変わる可能性があるため、気象変化に注意する必要がある。

### (3) 余裕のある作業工程

**天候変化等、不測の事態による作業中止に備えて、事前に余裕の持った作業工程を確保**しておく必要がある。

### (4) その他気象条件の影響について

#### 1) 気圧変化とペイロード能力に与える影響

同じ機体でも、ペイロード能力は常に同じ状態を維持できない。また、常に大気状態は一定ではない事に留意する。標準気圧(1013hPa/海拔 0m)を基準とし、標高の上昇に反比例してペイロード能力は低下する。気圧は、100m上昇で 1hPa(標準気圧状態)減少する。

## 2) グランドエフェクトについて

地表面付近と上空とでは、「地面効果」の有無によりペイロードが急激に変化するため、余裕のあるペイロードで運用する必要がある。

## 3) 風の影響について

向かい風と追い風時の、ペイロード能力は変化するため、バッテリーの電流消費量についても考慮した飛行が重要となる。

## 4) 風速の影響について

調査地の地形やその周囲の構造物等の条件に因って異なるが、安全に作業を行う為には、風速5m/sの風を確認した場合は2分間計測し、最大瞬間風速を確認した上で運航の是非を判断する。

## 5) 天候の影響について

雨・雪・雹などが降っていたり、降り出しそうな気象条件時には、基本的に作業は実施しない。仮に飛行したとしても、カメラのレンズに水滴が付着するので、良い成果を得る事はできない。また、雷は遠くで鳴り出した場合でも速やかに作業を中止する。



図 6.3.4 風速計の例

## (5) 風上に向かって離・着陸の徹底

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、揚力に余裕が無く、モータの出力を高くしないと巧く飛行できない。

## (6) 操縦者以外は 30m以上機体から離れる事の徹底

UAV は風等の外的要因の他に、オペレータの集中不足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。**操縦者以外は離着陸地点から 30m以上機体から離れる事**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、**プロペラは 8000RPM で高速回転する刃物のようなもの**であり、大きな事故につながる恐れがあるため、**操縦者、撮影者も十分に注意する必要がある**。

---

グランドエフェクト（地面効果）：翼形状を持つ物体が地面付近を移動する際、翼と地面の間の空気流の変化に影響を受ける現象。

### 6. 3. 3 地形・障害物

操縦者は、現地の地形および障害物について把握しておく必要がある。

#### 【解説】

最適な飛行計画を立案するためには、障害物や周囲の状況を把握する為に、基本的に事前の現地踏査が必要である。

#### (1) 地形・植生

地形は、風向や風の強さに影響する。

また、現地調査で、樹木の繁茂状態等、障害物の有無を確認することは重要である。飛行計画を策定する際、飛行高度に反映させる必要がある。

#### (2) 電波障害

マルチコプターは、構造上、フライトコントローラーや操縦系の受信機の周りをモータやESCが、囲むように配置されている。モータは回転すると電磁波を発生し、ESCは高周波を発生するので、それらが制御系や受信機に影響を与える場合がある。その他、画像伝送を使用する事になるので、操縦用電波の受信環境はかなり劣悪な状態にあり、上記のような留意事項を無視した電子機器の組み合わせ（配置）では操縦不能に陥る可能性がある。

強力な電波や電磁波を発生していると思われる電波塔を確認した場合、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）などで周辺の電波状況を確認する必要がある。

#### 1) 高出力問題

一般的に電波障害や誤動作の原因として多いのは、アマチュア無線やCB無線、MCA無線である。電波法を厳守している無線局は他の無線局などに影響を与えることは少ないが、車載局による高出力無線機では、電波障害が生じる場合がある。これは、通信距離を伸ばしたいために、電波の出力を移動局の限界である50W以上にするためである。

#### 2) 周波数独占問題

アマチュア無線には多くの周波数が割り当てられているが、すべての周波数をすべての無線局で共有しなければならない。しかし、仲間内で特定の周波数を独占して、他の無線局が利用するのを妨害することがある。

#### 3) 周辺の電波の状況確認

強力な電波や電磁波を発生していると思われる電波塔には注意が必要である。近傍に電波塔や、発電所及び変電所等の施設が存在する場合には、事前に使用周波数や出力及び通信状況を確認する必要がある。

また、電磁波やノイズ等を発生させる他の調査・点検作業の有無について確認する。同じ作業現場で電磁波やノイズ等を発生させる調査機器を使用している可能性があるため、それらについては予め確認する。その他ガードマンが使用している業務用無線の周波数及び出力を必ず確認する。

#### 4) 対策

例えば電波障害検査会社に測定器(スペクトルアナライザー)などで電波調査を依頼し周辺の電波状況を確認するなどが必要である。または、担当職員でも簡易に取り扱うことが可能な「簡易なスペクトル・アナライザー機器」を導入し、飛行に際して事前に電波状況を確認することは安全運航・リスク管理につながるものと考えられる。



図 6.3.5 携帯型スペクトルアナライザーの例

#### 5) 妨害電波

付近で妨害電波発信装置（ジャマー）を使用された場合は、機体との通信は遮断される。



図 6.3.6 ジャマーの例  
(携帯電話の送受信を遮断する)

---

CB 無線：個人的な用務、または個人事業者や小規模事業者などがそのビジネスのために行う連絡に使用無線通信システム。

MCA 無線：800MHz 帯の電波を利用したデジタル業務用移動通信。

## 6. 4 運航管理

### 6. 4. 1 運航ルール

事業者は、UAV を安全に運用するため、組織として運航ルールを設定しておく必要がある。

#### 【解説】

UAV を運用する上で、通常運用および万が一の事態に対する組織的な対応をルールとして定めておく必要がある。

運航ルールを定めておくことで、飛行申請時に求められるマニュアルとしても活用できる。記載項目の例を以下に示す。なお、これらの記載項目は、あくまで例として示すものであり、今後の法改正や利用目的、組織内部での安全運航に関する仕組みづくりの中で、適宜設定すべきものである。

- ・機体の点検・整備の方法
- ・機体の整備記録の作成方法
- ・操縦者の知識・能力を習得するための訓練方法
- ・能力を維持させるための方法
- ・飛行記録の作成方法
- ・操縦者等が遵守する事項
- ・飛行前の安全確認の方法
- ・安全管理体制
- ・事故時の連絡体制

この他に、緊急回避時の対応（強制落下させる等）についても決めておくことも必要である。操縦者が躊躇なく安全行動を起こせる体制づくりは、一瞬の判断の迷いが大事故につながる危険を回避することにつながる。

## 6. 4. 2 保険

墜落や事故に対するリスクを低減するため、保険に加入しておくことが必要である。

### 【解説】

安全管理を徹底していても、電波を用いた無人操作による機体である限りは、事故の可能性はゼロではない。また、UAVの運用に際しては、以下の様なリスクがあることを十分に踏まえることが重要である。

- ・ 10kg 前後の機体が、高度 50m から落下する際の衝撃は、約 3000N (約 300kgf) におよぶ。
- ・ 高速回転 (8000RPM) するプロペラは、接触する場所によっては致命的な怪我を負わせる危険性を有する。
- ・ 落下の衝撃でリポバッテリーが発火、炎上する危険性もある。
- ・ 高所からの撮影は、人権 (個人情報) 侵害のリスクをはらんでいる。

上記リスクを含んでいるため、UAV を運用する事業者は、万が一の事故に備え保険に加入しておく必要がある。

個人情報に関わるガイドラインとしては下記のものがある。

総務省；『ドローン』による撮影映像等のインターネット上での取扱いに係るガイドライン  
([http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000376723.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000376723.pdf))

### 6. 4. 3 リポバッテリーの管理

リポバッテリーの使用に際しては、安全管理を徹底する。

#### 【解説】

UAV では、操縦系統とプロペラ駆動用のバッテリーが同一である。飛行中に、バッテリー切れが発生した場合には、どんな熟練者が操縦しようとしても、現状ではどうすることもできない。バッテリー管理やコンディションの正確な把握は必須で、余裕を持った運用をしなければならない。

- ①リポバッテリーは、使用（フライト）時間と残容量を必ず使用ごとに確認する。
- ②耐用回数は、管理・使用状況および固体差（不良品もある）に左右される。バッテリー毎に、充電前後の電圧、使用時間、回数等を記録し（表 6.4.1）、電圧低下が著しいものは廃棄する。
- ③落としたり、変形したバッテリーは絶対に使用しない。
- ④各セルのバランス不良（最大値と最小値が大きくなる）が発生した時は、バッテリーが膨らんでいなくても廃棄する。



図 6.4.1 リポバッテリーの種類と電圧確認状況

表 6.4.1 バッテリー使用状況の記録の例

ナンバー/購入年月	No.2 /2014.1		No.3 /2014.1		No.4 /2014.1		No.5 /2014.1	
充電日	2014.10.14		2014.10.14		2014.10.14		2014.10.14	
使用回数	15		15		14		14	
充電時間(分)	49		70		37		56	
充電完了時の電圧(V)	1s	4.17	1s	4.25	1s	4.14	1s	4.17
	2s	4.18	2s	4.20	2s	4.19	2s	4.18
	3s	4.17	3s	4.20	3s	4.20	3s	4.19
備考			長時間充電		アンバランス			

リポバッテリーを扱う上で特に注意が必要なのが火災である。リポバッテリーは、時には自然発火する危険性を有しており、UAVの運用以前に大事故を引起す危険性がある。そのため、保管や充電方法について細心の注意をもって対応する必要がある。

(1) 充電

発火する危険性があるため、必ず**人がいる状況で行う**。**車両での充電は絶対に行わない（火災＋交通事故を引起す可能性がある）**。また、充電時に発火する事例も起きているため、耐火ボックスおよび耐火袋を使用するのが安全である。

(2) 保管

**耐火キャビネットや耐火ボックスで保管**する。移動時は耐火ボックスあるいは耐火袋を用いる。

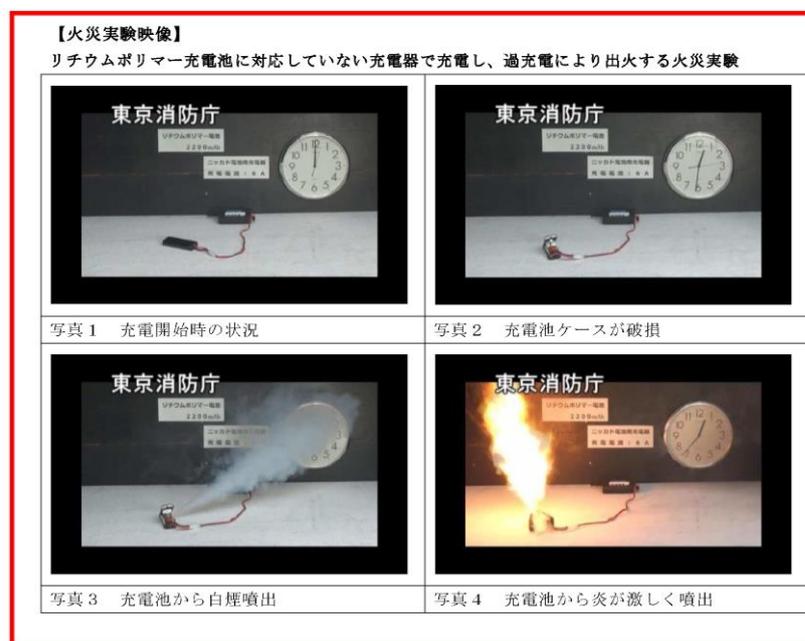


図 6. 4. 2 過充電によるリポバッテリーの火災  
(東京消防庁より)



図 6. 4. 3 耐火キャビネット (左) と耐火ボックス (右)  
(防災科学技術研究所資料より)

### (3) 逆接・ショートさせない

逆接・ショートさせた場合、バッテリー内部でもショートが起こり、最悪出火・爆発の可能性もあり大変危険である。バッテリーの損傷のみならず、他の電子機器に影響を与える可能性もある為、**リポバッテリーの接続時には、極性を確認した上で確実に行う。**

### (4) フル充電及び使用済みの状態で保管しない

リポバッテリーの過充電や過放電には注意が必要であるが、これは充電時のみならず保管時にも当てはまる。バッテリー電圧は外気温により多少変動する為、**満充電の状態や使用後の容量が少ない状態で保管した場合には、何もしていないのに過充電・過放電**となってしまう、結果としてバッテリーを傷める恐れもある。**保管時の理想的な容量は約 50-65%**とされている。また電圧で言えば1セル辺り 3.7V 程度が安心できる数値である。

### (5) 温度差の激しい環境で充電や保管をしない

**充電や保管は、出来るだけ温度変化が少ない環境で行う事**が望ましい。例えば、空調の効いた室内で充電してから屋外に持ち出す際には、外気との温度差に注意する。特に真夏の炎天下や、真冬の冷え込んだ時期に車に積み込む時は注意が必要である。

以下に、リポバッテリーが劣化した際に起こる現象について示す。

#### ■リポバッテリーが膨らむ

リポバッテリーのセルに劣化や損傷が生じると、膨らんでくる。これはセルが劣化する際に発生するガスが原因である。このガスは可燃性で外気に触れると発火する可能性が非常に高く危険であり、膨らんだリポバッテリーは即座に処分する。

#### ■リンゴのような、甘い匂いがする

これは、リポバッテリーが劣化した際に発生するガスの匂いである。このような異変に気づいた場合には一刻も早く処分する。

#### ■対処方法

リポバッテリーが膨らむ、あるいはリンゴ臭がして危険だと感じたら、家の中や燃えやすい物の近くに絶対に置かないようにする。処分する際には、5%程度の塩水にリポバッテリーを数日浸けて、徐々に完全放電させた上で不燃ゴミとして処分する。リポバッテリーは、残量のみならず、電圧も非常に重要となる。リポバッテリーの場合、2セル(7.4V)：3セル(11.1V)：4セル(14.8V)：5セル(18.5V)：6セル(22.2V)が定格である。範囲外の電圧を示すリポバッテリーは破損している可能性が高い為、使用を中止する。充電前には必ず電圧・残量のチェックを行ってコンディションを確認し、保管中も時々チェックを行うとバッテリーの危険性をいち早く察知することができる。

---

セル：電池の構成単位の一つで、一定の出力・電圧・容量を得られるように複数のセルを接続し、それをパッケージングしたものが一般にバッテリーと呼ばれるものである。

## 6. 5 その他の安全対策

万が一問題が生じた場合には、UAV を安全に落下させることが必要である。

### 【解説】

万が一、UAV がプロポからの通信が不能となり、帰還モードが機能しなかった場合や暴走した場合等の対応として、最終的には、**いかに安全に落下させるかが重要**となる。

ハーネス（紐）を設置することで、万が一制御不能になった場合は、紐を引き、安全な場所に墜落させることができる。ただし、UAV の用途（測量等）によっては、これらの紐が撮影や計測の支障になる場合もあることに留意されたい。

パラシュートを装備することで、安全な速度で落下させることができる。落下速度が遅いため、その間に避難することができる。



図 6. 4. 4 紐（ハーネス）を設置した UAV の例



図 6. 4. 5 パラシュートを装備した UAV

『UAVによる河川調査・管理への活用の手引き（案）』の経緯

- 平成 27 年 6 月  
『UAVによる河川調査・管理への活用の手引き（案）【暫定版】』策定
- 平成 27 年 12 月 10 日  
「航空法の一部を改正する法律（平成 27 年法大 67 号）」施行
- 平成 28 年 3 月  
『UAVによる河川調査・管理への活用の手引き（案）』策定

※本手引きは、UAV を取り巻く新たな環境整備が整う度毎に**適宜改訂を行い、UAV の安全な運用に向けて、最新の内容に更新**する。

---

UAVによる河川調査・管理への活用の手引き(案)

発行日 平成 28 年 3 月

編集者

国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所  
株式会社 地圏総合コンサルタント