

# 無人航空機（UAV）を活用した 水産基盤施設の点検の手引き

平成 31 年 3 月

水産庁漁港漁場整備部整備課



# 目 次

1	手引きの概要.....	1
1.1	手引きの位置づけと目的.....	1
1.2	手引きの構成.....	3
1.3	手引きの記載の仕方.....	3
1.4	用語の解説定義.....	4
2	水産基盤施設の点検と有効なセンシング技術.....	6
3	UAV の適用条件.....	8
3.1	水産基盤施設の点検における UAV 活用の対象施設.....	8
3.2	対象とする変状.....	10
3.3	使用機器の仕様・構成等.....	11
3.4	飛行高度に係る留意事項.....	12
4	UAV の活用条件と点検手法.....	13
4.1	本手引きにおける UAV の適用性.....	13
4.2	水産基盤施設の点検で要求される精度.....	14
4.3	撮影の実施.....	15
4.4	解析方法.....	20
5	安全管理上の留意点.....	22
5.1	法令の遵守等.....	22
5.2	海上保安庁への許可申請・届出.....	25
5.3	UAV の安全な飛行.....	26
5.4	漁港特性の考慮.....	27
5.5	UAV の事故事例.....	28

# 1 手引きの概要

## 1.1 手引きの位置づけと目的

本書は、施設延長が長く、海上等の立ち入りが困難な場所に位置する特徴を有する水産基盤施設の点検を安全で効率的に実施するため、施設管理者及び点検実施者が UAV を水産基盤施設の点検等へ活用するに当たっての適用条件、活用条件、点検の実施方法及び安全管理上の留意点をまとめたものである。

### 【解説】

近年の UAV (Unmanned aerial vehicle ; 無人航空機) は安価で操縦の容易さから急速に発展し、ホビーから業務用まで様々な機種が普及している。UAV は高度 150m 以下の低空を飛行するため、人工衛星や航空機による三次元測量に比較して、詳細な地形の計測を容易に行うことができる。

水産基盤施設では、長寿命化を目的として、施設の老朽化診断調査を行っている。この調査では高所作業や立ち入りが困難な箇所もあり、安全性の観点から診断が難しい場面がある。このような箇所は UAV による計測が期待されている。UAV は GPS 等による制御によって操縦を容易にさせている。ただし、GPS は今のところ時間や場所によって電波受信状況が左右される。UAV は間違った認識や取り扱い方法によって、重大事故にも発展しかねない。

本書は、水産基盤施設等のストックマネジメントの推進のため、延長が長く、海上等の立ち入りが困難な場所に位置する水産基盤施設の変状の点検に UAV を活用し、安全で効率的に実施するために必要な技術的な事項についてとりまとめたものである。なお、本手引きは、平成 29 年度水産基盤整備調査委託事業「水産基盤施設の長寿命化対策検討調査」から得られた成果である。

本書での施設管理者、点検の実施者の役割を以下のとおり整理できる。

#### (1) 施設管理者の役割

我が国の水産基盤施設は高度経済成長期に建設された施設が多く、建設後の時間経過とともに老朽化が進行し、改良・更新すべき時期を迎えた施設が増加している。漁業活動に必要な不可欠な水産基盤施設等が適切な機能を継続的に発揮していくためには、施設の長寿命化・ライフサイクルコスト縮減を図りつつ、効果的かつ効率的な維持管理・更新を行うことが重要である。このような中、施設の延長が長く、また沿岸に位置する水産基盤施設の機能診断では従来の目視による点検と比較して、UAV を活用することで点検の効率化が期待されているところである。水産基盤施設の点検では、日常点検業務において施設管理者が直接 UAV を使用する場面や、定期点検において UAV を活用する民間企業に適切な指示を行う場面が想定されるため、施設管理者には UAV に関する基礎的な知識が必要とされる。

## (2) 機能診断点検の実施者の役割

水産基盤施設の定期点検は、長い延長の防波堤、高所、水際、水中部あるいは危険で人が容易に近づけない構造物などを人による目視によって点検を行っているのが現状であり、UAV を活用することで点検の効率化が期待されている。ただし、定期点検では適切な施設劣化度判定に必要な点検精度が求められるため、点検の実施者には、UAV 活用にあたり、その有効性や利便性だけでなく、適用条件、活用条件、点検の実施方法及び安全管理について十分な知識が求められている。

## 1.2 手引きの構成

手引きの構成は、以下に示すとおりである。

表 1-1 手引きの構成

章	頁	内 容
第 1 章	1	概要（構成・対象者・用語説明など）
第 2 章	6	水産基盤施設とセンシング技術
第 3 章	8	UAV の適用条件
第 4 章	13	UAV の活用条件と点検の実施方法
第 5 章	22	安全管理上の留意点

## 1.3 手引きの記載の仕方

手引きは「基本的考え方」、「解説」、「参考情報」を以下の記述方法で記載する。

### 【基本的考え方】

各章の冒頭に基本的考え方を整理

### 【解説】

基本的考え方を文章、図表、写真などで解説

### --- 【参考情報】 -----

・事例、参考データ等を掲載する場合はこの枠組み

#### 1.4 用語の解説定義

本書の記載内容に関して、基本的な用語を以下に解説する。

表 1-2 用語の解説

用語	解説
解像度	画素の細かさを表す尺度のことで、ピクセル数で示す。(例;1280×1240pix)
空中線電力	アンテナから発する電波の強さ。
グリーンレーザー	波長が 515nm (緑色域) のレーザー。水中を通過する特性を有し、上空から発射したレーザーが海底で反射することによって海底地形等を把握することができる。
グランドエフェクト	地表近くを飛行する場合、翼等が受ける揚力が大きくなる現象
センシング技術	センサー (カメラ、ソナー等) などを使用してさまざまな情報を計測・数値化する技術の総称。
自動操縦	GPSattiMODE を用い、指定の座標に自動で飛行させることを示す。
ジンバル	カメラを安定させる装置。カメラを UAV に直接設置すると、UAV の傾きや振動がそのままカメラに影響するが、ジンバルを設置すれば、カメラの傾斜を水平に維持し、振動を吸収するので空撮時に安定した動画を撮影が可能。
水産基盤施設	漁港施設及び漁場の施設
標定点	空中三角測量に必要となる水平位置及び標高の基準となる点をいう。標定点には対空標識を設置する。
プロポ	ラジコン操縦に必要な送信機、受信機、サーボのセットの総称。送信機をプロポ、受信機をレーシーバーとするのが一般的。
ペイロード能力	最大積載量
マルチコプター	UAV のうち羽根が回転して上昇するタイプが最も普及している。羽根が 4 枚はクワッド、6 枚はヘキサコプター、8 枚はオクタコプターといい、総称してマルチコプターと呼ぶ。
AttiMODE	アッチモード。姿勢を水平に保つモード。ジャイロと高度計で制御。風で流されることがある。
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。
GPS	測位衛星からの電波を利用した測量機。測位衛星には GPS 衛星、GLONASS 衛星、準天頂衛星などがあるが、公共測量作業規程の準則では GPS 衛星と GLONASS 衛星のみが利用可能と

	されている。
GPSattiMODE	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。
GCP	Ground Control Point 位置情報の検証に用いる基準となる点
IMU	Inertial Measurement Unit 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。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。
MMS	Mobile Mapping System デジタルカメラと三次元レーザ計測機によって、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 計測装置。
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。
UAV	Unmanned Aerial Vehicle 無人飛行機

※上表の用語は、五十音順、アルファベット順で並べて記載

## 2 水産基盤施設の点検と有効なセンシング技術

水産基盤施設の変状の点検に有効なセンシング技術として、デジタルカメラを搭載した UAV、3D スキャン、水中 3D スキャンニングソナー、ナローマルチビームソナー等を挙げることができる。

### 【解説】

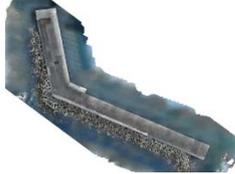
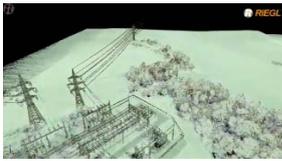
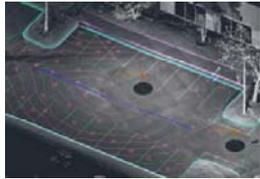
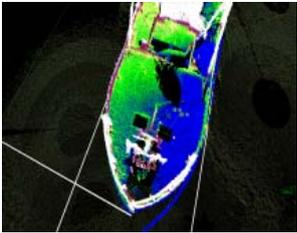
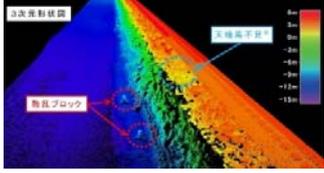
水産基盤施設の機能診断に活用可能なセンシング技術を表 2-1 に示す。水産基盤施設の点検でこれまで一般的に行われている目視調査、潜水調査、深淺測量等については、センシング技術を活用することで、点検診断の効率化、省人化および点検精度向上を図ることが可能である。

本手引きでは、これらセンシング技術のうち、デジタルカメラを搭載した UAV による施設機能診断での活用についてとりまとめたものである。

表 2-1 水産基盤施設点検に有効なセンシング技術

既往点検手法	点検項目	センシング技術の適用
目視調査 (陸上目視/ 海上目視)	上部工・本体工コンクリートの劣化 (ひび割れ、欠損)、鋼材の腐食状 況	デジタルカメラを搭載した UAV 3D スキャン
潜水調査	水中部の劣化・損傷	ナローマルチビーム 水中 3D スキャンニングソナー
測量調査	移動・沈下・傾斜・法線凹凸	3D スキャン
深淺測量	水深(堆積・深掘) 消波・根固ブロックの散乱	ナローマルチビーム

--- 【参考情報】 ---

センシング技術	原理・方法	利用例
<p>UAV</p>  <p>*1</p>  <p>*2</p>	<p>UAV にカメラ等を搭載し、撮影・計測。</p> <p>①写真測量 撮影画像から写真測量による 3 次元地形データ取得、オルソ画像作成が可能。</p> <p>②レーザ測量 UAV に搭載したレーザスキャナーにより、高密度・高精度な三次元地形データを取得可能。水中部を計測可能なグリーンレーザ測量機器が開発されているが、UAV 搭載型では面的データ取得可能な機器は開発されていない。</p>	<p>② 写真測量による漁港施設形状計測</p>  <p>②UAV 搭載レーザスキャナー計測例</p>  <p>*2</p>
<p>3D スキャン</p>  <p>*3</p>	<p>照射したレーザパルスが反射して戻ってくるまでの時間で距離を算出し計測する。レーザの照射は、回転しながら自動的に連続して行われるため、数分で大量の点データを取得することが可能。</p>	<p>地形計測事例</p>  <p>*3</p>
<p>水中 3D スキャンニングソナー</p>  <p>*4</p>	<p>水中 3D スキャナーにより、濁度に拘わらず面的な状態把握が可能。</p> <p>陸上用の 3D レーザスキャナーと水中 3D スキャナーの併用により水陸のシームレスな三次元データを取得可能。</p>	<p>沈船の計測事例</p>  <p>*4</p>
<p>ナローマルチビーム</p>  <p>*5</p>	<p>音響ビームを扇状に発射、受信しながら面的に測深でき、効率的に広範囲かつ、高密度のデータを得ることができえる。</p>	<p>消波・根固ブロック等の計測事例</p> 

画像出典

- \*1: D J I 社 ホームページ
- \*2: リーグルジャパン社 ホームページ
- \*3: ファロージャパン社 ホームページ
- \*4: Teledyne BlueView 社 ホームページ
- \*5: 東陽テクニカ社 ホームページ
- \*6: 国土交通省 ホームページ

### 3 UAVの適用条件

#### 3.1 水産基盤施設の点検における UAV 活用の対象施設

延長の長い又は面積が広い施設や人の立ち入りが困難な場所に位置する施設においては、UAV を活用することで従来手法（目視による点検）に比べ、点検の安全性や効率性を向上させることができる。

#### 【解説】

UAV を用いると、短時間で広域に渡る写真撮影が可能となる。また、カメラの画角や解像度、UAV の飛行高度の設定により、俯瞰撮影（図 3-1）から詳細な視認（図 3-2）までを行うことが出来る。特に、人の立ち入りが困難な消波工や天端幅の狭い護岸、胸壁、陸から隔てられた沖防波堤、海底地形や水中の消波ブロックの配置状況等（図 3-3）における点検を安全かつ効率的に行うことが可能である。

表 3-1 UAV の活用が有効な対象施設と適用性の例

対象施設		UAV の適用性
外郭施設	防波堤、護岸、防潮堤、水門、閘門等	長延長の施設全体の老朽化若しくは被災箇所を俯瞰的及び局部的に調査することが出来る。 陸から隔てられた箇所や高所など人の立ち入りが困難な箇所での点検が可能となる。
増殖場	消波施設等	
養殖場	消波施設等	
係留施設	岸壁、物揚場、船揚場等	施設全体の老朽化若しくは被災箇所を俯瞰的及び局部的に調査することが出来る。
水域施設	航路、泊地、サンドポケット等	地形変化に伴う港内埋没等の状況変化の把握が出来る。



図 3-1 漁港上空での撮影例（鷺別漁港、飛行高度 100m）

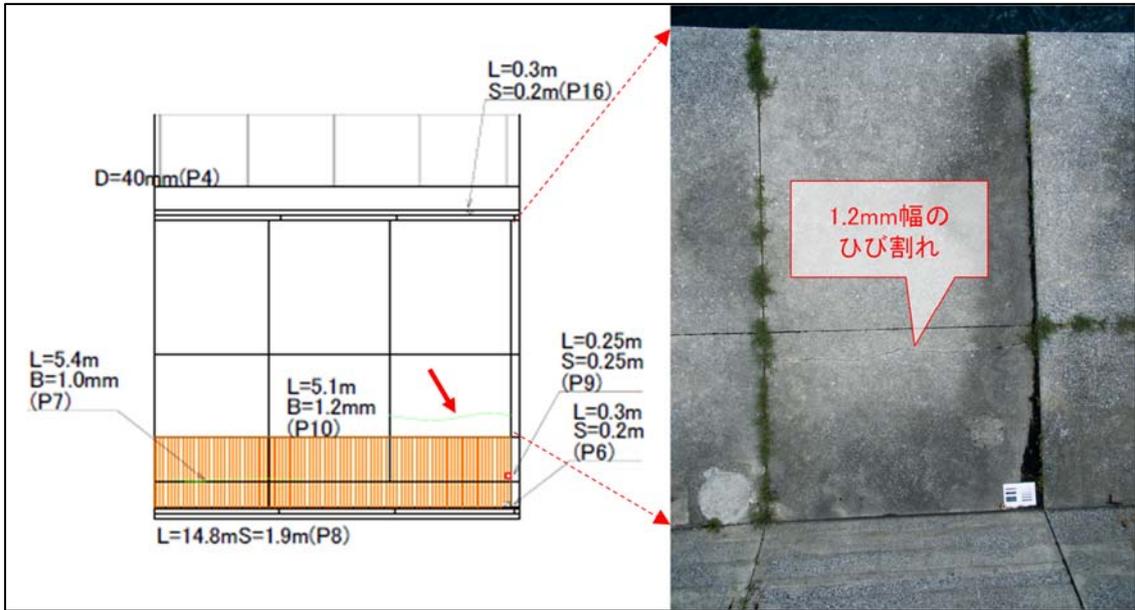


図 3-2 変状視認の例（三崎漁港北防波堤、飛行高度 5m）

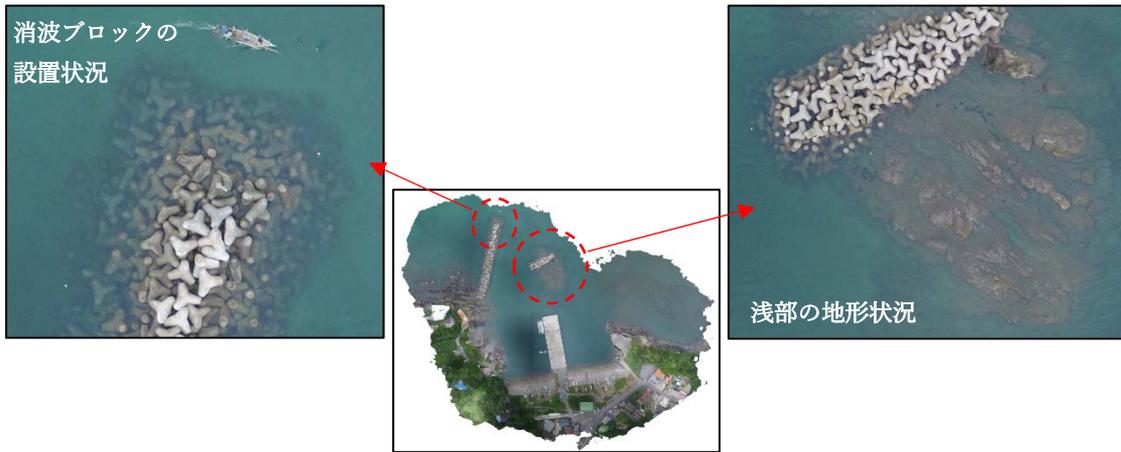


図 3-3 立ち入り困難な消波工や海底部の状況把握の事例  
（三崎漁港諸磯湾地区、飛行高度 70m）

### 3.2 対象とする変状

本書で対象とする変状は、簡易調査の目視調査項目である施設全体の移動、上部工・本体工におけるひび割れ・欠損、消波工の沈下等とする。

#### 【解説】

水産基盤施設のうち海面上の部分（防波堤であれば本体工、上部工など）は、UAV を活用することで、点検において安全性や効率性の向上が期待できる。

本書では、「水産基盤施設機能保全計画策定の手引き」の判断基準のうち段差計測には標定点を設置する三次元計測が必要となることから、段差（凹凸）の点検は言及せず、ひび割れ・欠損や消波工の沈下等の変状を対象とする。

なお、透明度の良い海域では水中の消波根固めブロックや捨石マウンドの飛散等の変状を把握することができる。

将来的には、UAV 本体・搭載カメラ・解析ソフトの性能向上により段差及び沈下量の定量的な評価についても適用が期待される。

### 3.3 使用機器の仕様・構成等

使用する UAV は、海上での飛行の安定性を考慮し、撮影・測量調査において実績のある機器を使用する。

#### 【解説】

##### (1) UAV

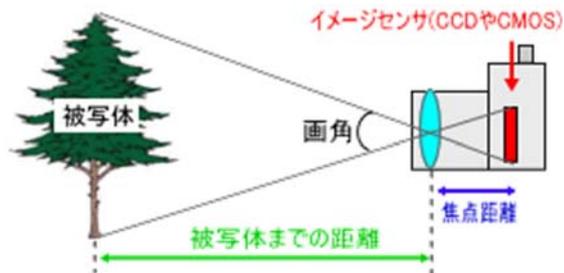
現在一般に普及し、測量や水産基盤施設等の点検調査での使用実績の多い民生用機器を表 3-2 に示す。将来的には更に解像度の高いカメラや航空レーザスキャナーを搭載した UAV の普及により、点検診断での適用範囲の拡大や精度の向上が望める。

表 3-2 一般的な UAV の仕様

名 称	機種 A	機種 B
機 体		
機体重量	3400g	1380g
対角寸法	559mm	350mm
最大速度	18m/s	20m/s
最大風圧抵抗	10m/s	10m/s
最大飛行時間	約 15 分	約 28 分
搭載カメラ	Zenmuse X5	-
センサー	4/3 型 CMOS	1/2.3 型 CMOS
レンズ	MFT 15mm f/1.7	20mm (35mm 換算) f/2.8 ∞フォーカス
撮影画角 FOV	72°	94°
最大解像度	4608×3456	4000×3000

※機種 B はカメラを交換できない

※撮影画角 FOV = センササイズ × 被写体までの距離 / 焦点距離



### 3.4 飛行高度に係る留意事項

飛行高度の設定に際しては、関係法令を遵守する。

#### 【解説】

現行航空法では人又は物件(第三者の建物、自動車など)との間に 30m 以上の距離を保って飛行させなければならない。これによらず飛行させる場合には地方航空局の許可・承認が必要となる。表 3-2 の機器を用いる場合、机上計算上 30m 離れた場合の分解能はおよそ 10mm であることから、それ以上の分解能が要求される場合(3mm のひび割れの視認など)には上記法令を遵守した上での対応が必要となる。

## 4 UAV の活用条件と点検手法

### 4.1 本手引きにおける UAV の適用性

水産基盤施設の点検への UAV の活用は、日常点検・臨時点検・定期点検それぞれの点検目的及び UAV の適用性を考慮して決定する。

#### 【解説】

UAV による撮影画像より判定可能な変状は、カメラの性能と飛行高度によりその精度が決まる。飛行高度を低くすることは、点検の精度が高くなる反面、漁港内の利用状況や障害物への配慮を多く求められるとともに、点検の効率性が低下する。さらに、カメラのキャリブレーションには使用する機器類のみならず、現地の気象（天候、風況）や日照等の影響も受けるものである。

以上のことから、現場条件によっては一つの設定に拘らず、複数の飛行高度や人力作業の組合せを適宜行うことも必要となる。例えば、10m 以上の飛行高度で施設全体の変状有無の確認し、変状が有ると判断される箇所において 5m 程度の低空飛行による撮影、もしくは人員の踏査による写真撮影を行うなどが現実的な対応方法として考えられる。

表 4-1 日常・臨時・定期点検における UAV の活用の考え方

点検種類	目的・内容	頻度等	UAV の適用性
日常点検	老朽化の拡大又は新たな老朽化箇所の発見のために実施する。	概ね 1 年に 1 回以上。臨時点検と併せ四半期に 1 回以上実施する。	短時間で広範囲の老朽化若しくは被災の発生箇所の点検が出来る。 立ち入り困難な箇所においても
臨時点検	台風等又は地震による新たな老朽化の発生の有無、応急措置の要否の確認のために実施する。	台風通過直後と波浪警報解除後、深度 4 以上の地震発生後等に実施する。	危険性を伴うこと無く点検が出来る。
定期点検	対策実施時期等機能保全計画の見直しのために実施する。	概ね 5 年に 1 回実施する。	高精度の撮影画像を取得・分析することにより、老朽化度や対策の要否について客観性の高い根拠に基づく判定・判断が行える。

## 4.2 水産基盤施設の点検で要求される精度

定期点検診断で UAV を活用するに当たっては、点検の項目に応じた要求精度を確保する。

### 【解説】

#### (1) 水産基盤施設種類毎の点検項目と要求精度

「水産基盤施設機能保全計画策定の手引き」で示された老朽化の判断基準として変状あり（老朽化 c）と判定される目安のうち、要求精度が最も高いものは、重力式（無筋コンクリート）では幅 10mm のひび割れ、重力式（鉄筋コンクリート）や矢板式（上部工）では幅 3mm のひび割れである。

本手引きは、水産基盤施設の定期点検等で求められる点検項目毎の要求精度（表 4-2）を確保する上で必要な UAV の活用条件及び点検手法等についてとりまとめたものである。なお、数 10cm の大きな段差や消波工沈下等については把握可能であるが、数 cm の精度が求められる段差計測には標定点を設置する三次元計測が必要である。

表 4-2 水産基盤施設種類毎の点検項目と要求精度（判定 c 以上）の例

施設種類／ 構造形式	点検項目			
	施設全体・法線	上部工	本体工	
防波堤	重力式	40～50cm 未満のずれ、数 cm 程度の段差	幅 10mm 未満のひび割れ	RC:幅 3mm 未満のひび割れ、 無筋:幅 10mm 未満のひび割れ
	矢板式又は杭式	10cm 未満の凹凸	幅 3mm 程度のひび割れ	—
護岸	重力式	10cm 未満のずれ、数 cm 程度の段差	RC:幅 3mm 未満のひび割れ 無筋:幅 10mm 以上の非貫通ひび割れ	RC:幅 3mm 未満のひび割れ、 無筋:幅 10mm 未満のひび割れ
	矢板式	10cm 未満の凹凸	幅 3mm 未満のひび割れ	—
係船岸	重力式	10cm 未満の凹凸	幅 3mm 未満のひび割れ	RC:幅 3mm 未満のひび割れ、 無筋:幅 10mm 未満のひび割れ
	矢板式			—
	栈橋式			—

### 4.3 撮影の実施

飛行計画に基づき、点検に求められる精度を確保しつつ、安全に配慮し撮影を実施する。

#### 【解説】

##### (1) 撮影高度と計測精度

撮影高度によって、視認可能なコンクリート表面上のクラックの幅が異なる。コンクリートのクラック調査では、撮影高度 5~50m 程度での撮影が有効である。カメラの性能により計測精度が異なるので、予め、撮影高度と視認可能なクラックの幅の関係を把握する必要がある。図 4-1 に代表的な機種あるいはカメラを対象に高度毎の分解能（画素 1 ピクセル当たりの幅）を示す。

撮影高度が高いと 1 枚当たりで広範囲な撮影が可能だが、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。また、撮影高度が低いと、障害物に衝突するなど危険性も伴う。そのため、撮影高度を使い分ける必要がある。

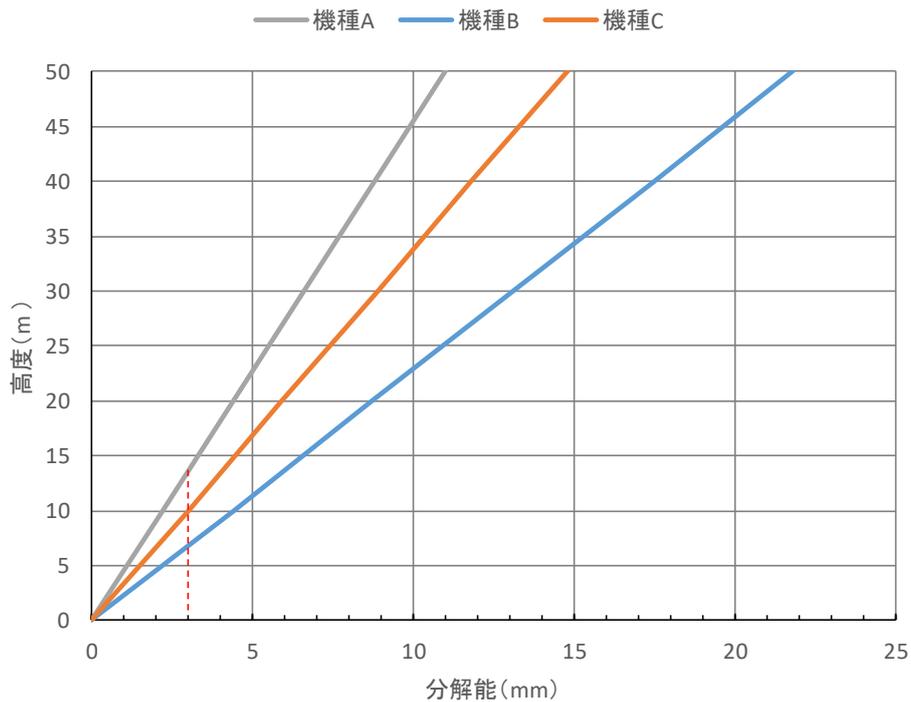


図 4-1 UAV の高度と確認可能な分解能の関係

## (2) キャリブレーションの方法

UAV による機能診断において、クラック抽出能力の精度を予め把握しておく必要がある。カメラの分解能は計測時の太陽光の反射、施設の湿潤状況等によっても影響を受ける。そこで、キャリブレーションにより計測精度を予め確認しておくことが望ましい。

キャリブレーションの実施手順を以下に示す。

- ① 現地におけるクラックを事前に計測・マーキングし、UAV により同箇所を空撮する。
- ② 実際のひび割れと併せて、クラックスケール (図 4-2) を設置し、キャリブレーション値の参考データとする。
- ③ 撮影高度は 50m を最高とし、そこから 5m ごとに高度を下げて撮影を行う。
- ④ 高度別にクラックスケールのピクセル数をカウントして 1 ピクセル当たりの幅 (分解能) を判定する。
- ⑤ その判定を基に、UAV 飛行の安全面を考慮した上で、例えば、各施設においてクラック 3mm あるいは 10mm が計測可能な撮影高度を決定する。

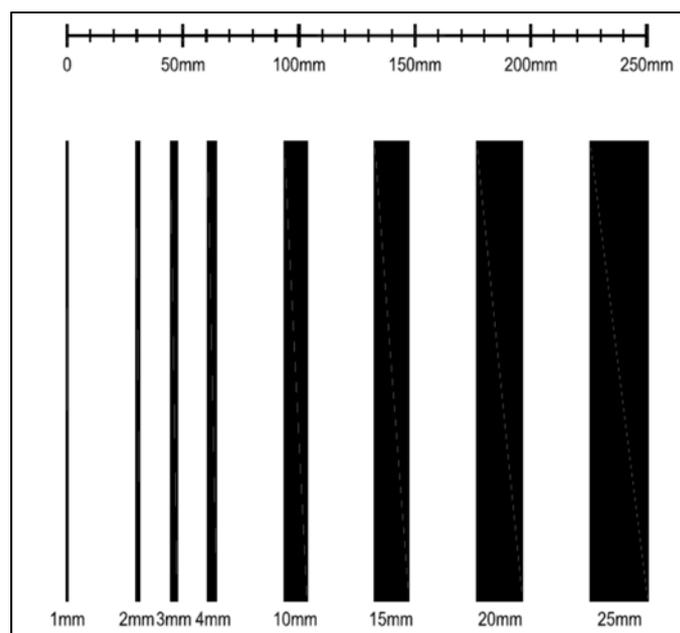
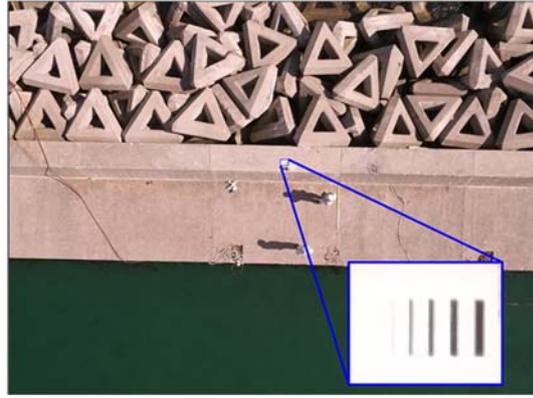


図 4-2 クラックスケール

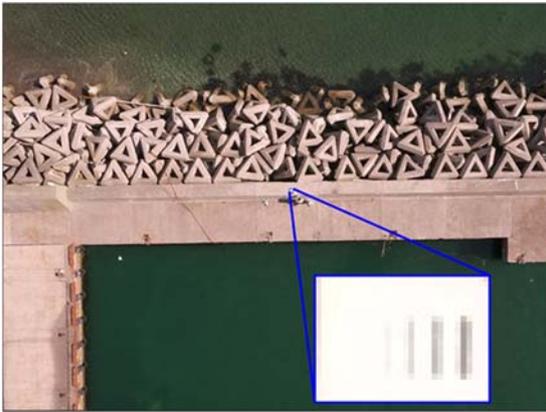
キャリブレーションの事例を図 4-3 に示す。この場合、高度 20m でクラック幅 10mm を確認し、高度 10m でクラック幅 2mm を確認した。クラックスケールを 2 機種で撮影し、クラック幅ごとのピクセル数を表 4-3 に示した。この結果では高度 20m では、クラック 10mm を 2 ピクセルで確認できる。このように、クラックスケールを用いてキャリブレーションを実施し、精度良く計測できる高度を確認することが望ましい。



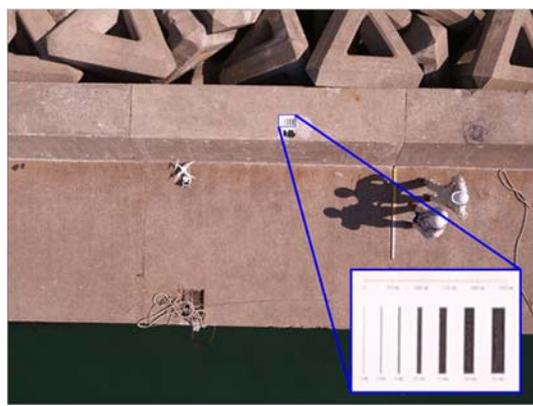
高度 50m, クラックスケールの視認が困難



高度 20m, クラック幅 10mm を視認



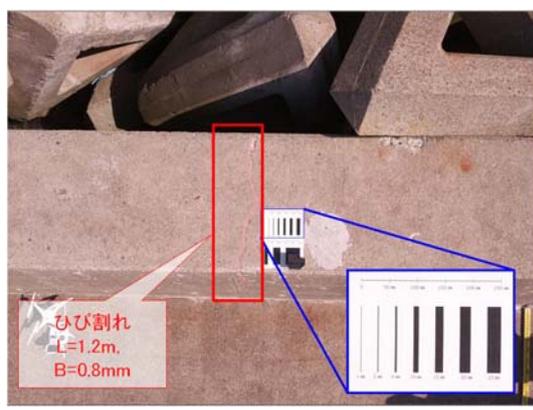
高度 40m, クラックスケールの視認が困難



高度 10m, クラック幅 2mm を視認



高度 30m, クラック幅 15mm を概ね視認



高度 5m, クラック幅 1mm 及び 0.8mm 幅のひび割れを視認

図 4-3 UAV のキャリブレーション

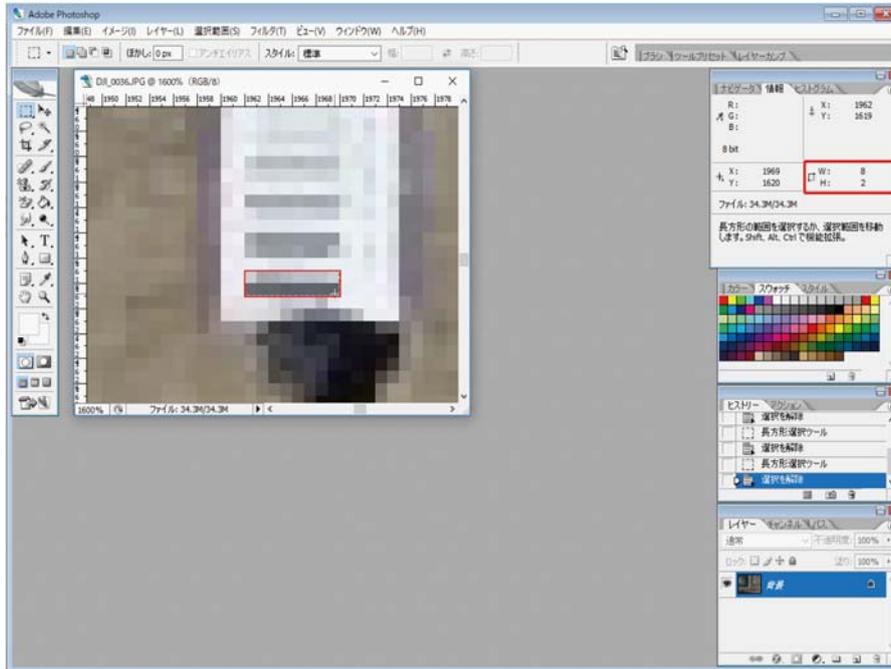


図 4-4 クラックスケールのピクセル数カウント例

表 4-3 高度とクラックスケールのピクセル数(左：機種 A、右：機種 B)

		クラックスケール						
		25	20	15	10	4	2	1
高度	50	2	2	1	1	-	-	-
	45	2	2	2	1	-	-	-
	40	3	2	2	2	-	-	-
	35	3	2	2	2	-	-	-
	30	4	3	2	2	1	-	-
	25	4	3	3	2	1	-	-
	20	5	4	3	2	1	-	-
	15	6	5	4	3	2	1	-
	10	10	7	5	4	3	2	1
	5	21	17	12	8	3	2	1

		クラックスケール						
		25	20	15	10	4	2	1
高度	50	-	-	-	-	-	-	-
	45	2	1	1	1	-	-	-
	40	2	1	1	1	-	-	-
	35	2	2	2	1	-	-	-
	30	2	2	2	2	-	-	-
	25	3	2	2	1	-	-	-
	20	3	3	2	2	1	-	-
	15	4	3	3	2	1	1	-
	10	6	4	4	3	2	2	1
	5	12	9	7	4	2	2	2

飛行高度を低くすることは、調査の精度が高くなる反面、漁港内の利用状況や障害物への配慮を細かく求められるとともに、調査の効率性が低下する。基本的には要求精度を満たす最高速度に設定することが望ましい。なお、カメラのキャリブレーションには使用する機器類のみならず、現地の気象（天候、風況）や日照等の影響も受ける。

以上のことから、現場条件によっては一つの設定に拘らず、複数の飛行高度や人力作業の組合せを適宜行うことも必要となる。例えば、10m 以上の飛行高度で施設全体の変状有無の確認し、変状があると判断される箇所において 5m 程度の低空飛行による撮影、もしくは人員の踏査による写真撮影を行うなどが現実的な対応方法として考えられる。

### (3) 移動基線長の設定

撮影高度が低く、対象施設が広い場合、複数の画像を結合することになる。この場合、オーバーラップさせて撮影する必要がある。撮影した複数の画像を合成し、オルソ化する場合もオーバーラップさせている。

一般的にオーバーラップ率（オーバーラップ長/FOV）は進行方向（同一コース内）の隣接画像とのオーバーラップ率は80%以上、測線間隔（隣接コース）では60%以上確保することが望ましい。ここで、撮影する間隔を移動基線長と呼び、次式となる。

$$\text{移動基線長} = (\text{FOV}) - (\text{オーバーラップ長})$$

各画像は専用ソフトで合成するが、撮影した画像が砂浜や砂利海岸あるいは海面のみでは合成できないが、人工構造物が画像に撮影されていると各画像がマッチングし易い。したがって、撮影範囲に必ず人工構造物が入るように撮影計画を立てることが重要である。

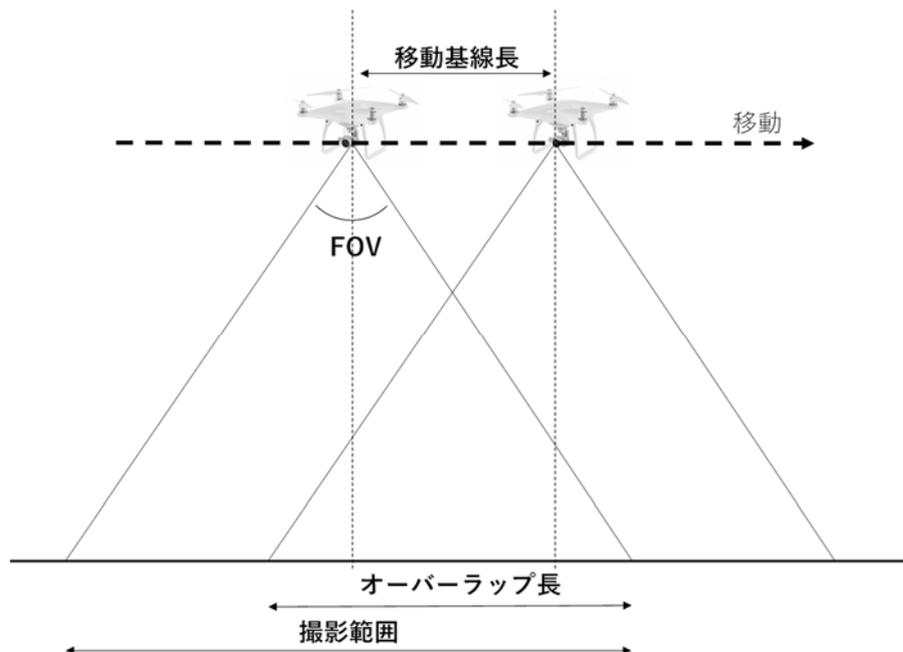


図 4-5 移動基線長の設定

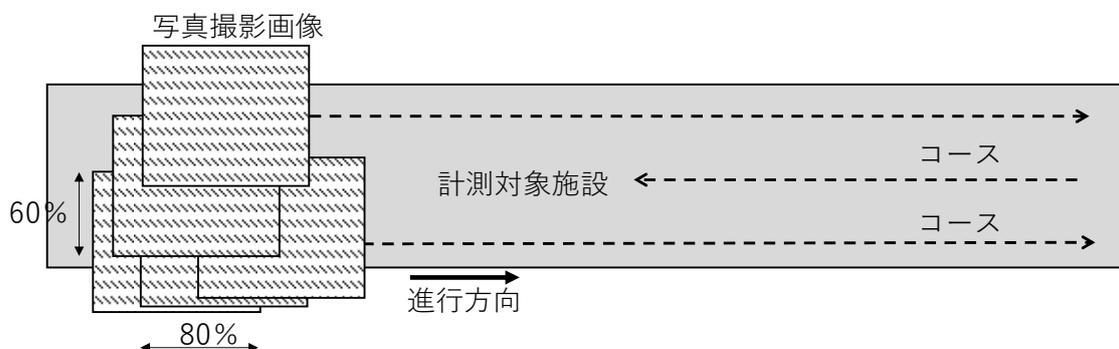


図 4-6 計測コースと撮影する写真のオーバーラップ

#### (4) カメラの設定

移動しながら UAV の振動や風による動揺の影響を受けながら撮影を行うので、シャッタースピードは 1/500s 以上を確保すると良い。また、ISO 感度は 800 以下で F 値は 5 程度を確保することが望ましい。

クラック検出のため、過度に感度を上げると、ノイズ等により精度が低下する。なお、計測精度が高い環境としては、晴天日中で 100,000lx、曇天日中で 30,000lx の照度が目安となる。

#### 4.4 解析方法

点検に求められる精度を考慮し撮影画像から変状抽出などの解析を行う。

##### 【解説】

スパン毎に撮影した写真を既往施設平面図と重ね合わせ、各施設におけるクラック・欠損の抽出を行う。空撮画像より判別したクラック・欠損部の抽出例を図 4-7 に示す。

クラックの幅はキャリブレーションで計測した解像度（クラック幅とピクセルの関係）を参考に決定する。解析結果の事例を図 4-8 に示す。これらの結果を用いて、スパン毎に老朽化の評価を実施する。

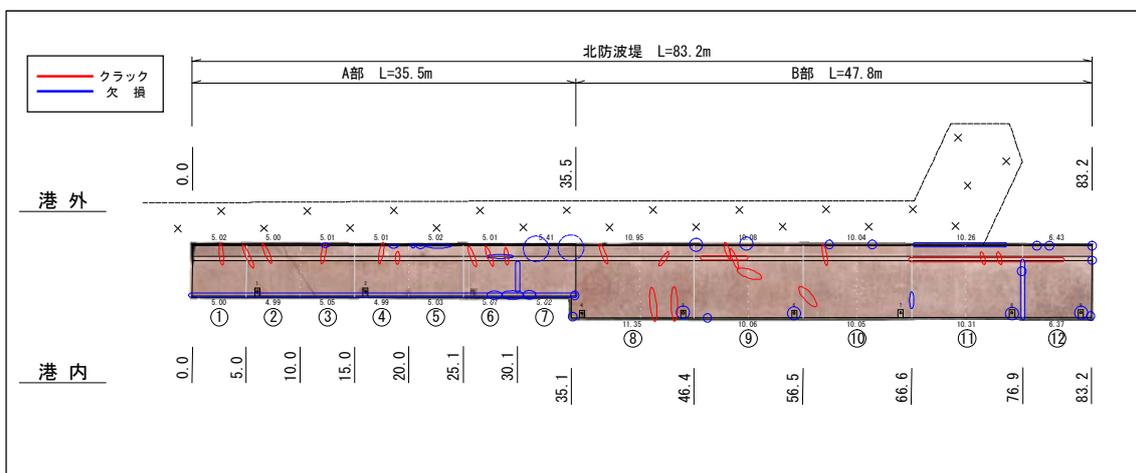


図 4-7 防波堤の天端上のクラック・欠損部の抽出例

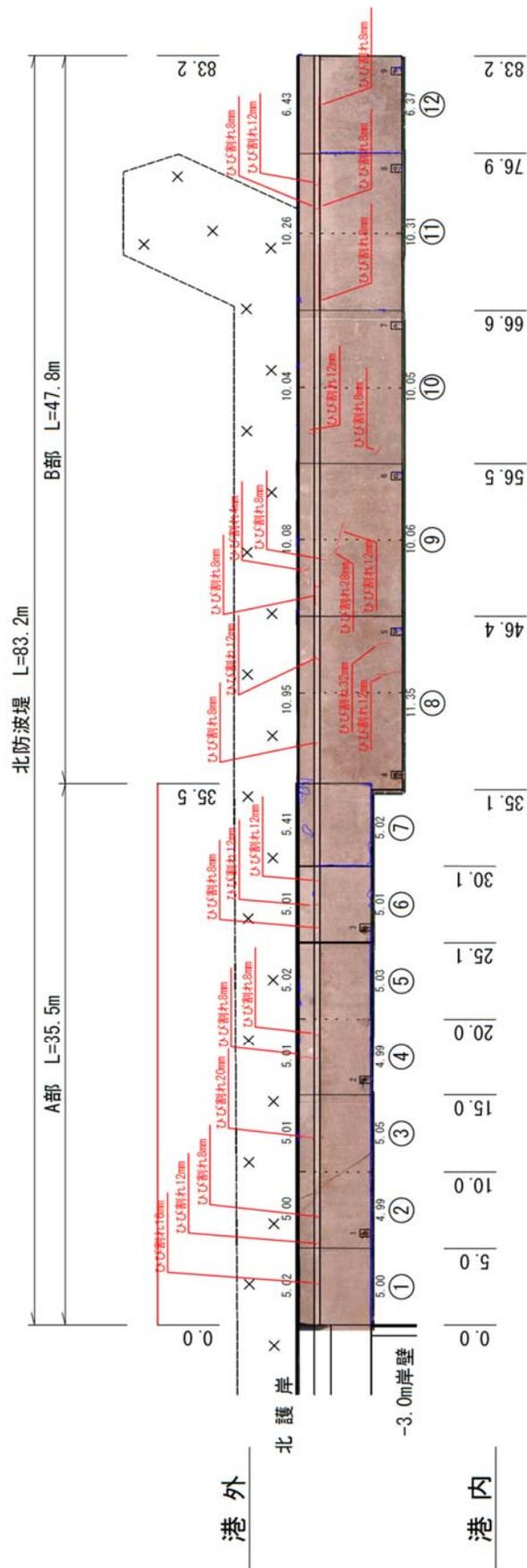


図 4-8 UAV を使用した防波堤の点検事例

## 5 安全管理上の留意点

### 5.1 法令の遵守等

UAV の利用者は、UAV の飛行禁止空域や飛行の方法に関する航空法のルール、関係法令及び地方公共団体が定める条例を遵守する。また、UAV を飛行させる場合には、当該ルールの遵守に加えて、「無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン（平成 30 年 3 月 国土交通省航空局）」等を踏まえ、第三者に迷惑をかけることなく安全に飛行させる。

#### 【解説】

「航空法」は、UAV の飛行に関して遵守すべき基本的なルールを定めたものである。

UAV の利用者は、UAV の飛行禁止空域や飛行の方法に関する同法のルールを遵守するとともに、第三者に迷惑をかけることなく安全に飛行させること。

#### ●無人航空機の飛行の許可が必要となる空域

以下の（A）～（C）の空域のように、航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域や、落下した場合に地上の人などに危害を及ぼすおそれが高い空域において、無人航空機を飛行させる場合には、あらかじめ、地方航空局長の許可を受ける必要がある。

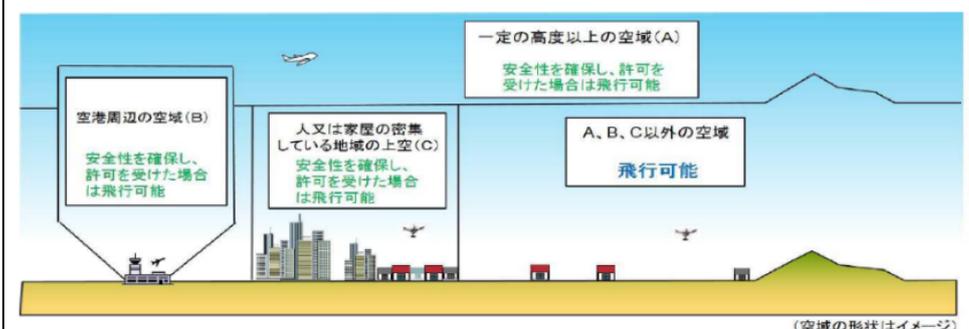
(A)	地表面又は水面から 150m 以上の高さの空域
(B)	空港周辺の空域（空港やヘリポート等の周辺に設置されている進入表面、転移表面若しくは水平表面又は延長進入表面、円錐表面若しくは外側水平表面の上空の空域）
(C)	人口集中地区の上空

#### (2) 無人航空機の飛行の方法

無人航空機を飛行させる際は、国土交通大臣の承認を受けた場合\*を除いて、以下の方法により飛行させなければならないこととする。

\*安全確保の体制をとる等の場合、より柔軟な飛行を承認

- 日中において飛行させること
- 周囲の状況を目視により常時監視すること
- 人又は物件との間に距離を保って飛行させること 等



「航空法（昭和 27 年 7 月 15 日法律第 231 号，平成 29 年 6 月 2 日改正）」

表 5-1 主な関係法令（航空法以外のもの）

関係法令	概要
小型無人機等飛行禁止法	①国の重要な施設（国会議事堂、内閣総理大臣官邸等）、②対象外国公館等、③対象原子力事業所 などの対象施設の敷地又は区域の周囲 300m を基準とし、小型無人機等の飛行の禁止。
道路交通法	小型無人航空機の離陸着陸する場所を、道路上にて行う場合と小型無人航空機が道路上空を横切る又は、飛行する場合に留意する必要がある。道路上を跨ぐ飛行をする場合、航空局に小型無人航空機の飛行申請を行った際、交通規制をするように指導を受けた事例がある。この場合は、道路交通法の道路占有許可申請を行うこととなる。
個人情報保護法	<p>小型無人航空機の場合、デジタルカメラを搭載し映像や写真を撮影する機能を有するものが多く、撮影した映像や写真上に個人を特定するものがあることが想定される。具体的には、撮影の際に被撮影者の同意を取ることを前提とし、同意をとることが困難な場合は、以下のような措置を講じること。</p> <p>①人の顔や車のナンバープレート等はプライバシー侵害の可能性があるのでボカスなどの配慮が必要。表札、住居の外観、洗濯物その他生活状況を推測できるような私物もプライバシーとして法的な保護対象となる。</p> <p>②特に、小型無人航空機による撮影等インターネット上に公開するサービスを提供する電気通信事業者は、削除依頼に対する体制を整備すること。</p>
電波法	「無線局の開設」をしようとする者は、総務大臣の免許を受けなければならない（第 4 条）。小型無人航空機に搭載するカメラのファインダー映像を地上で受信して確認するときなどにあたる。ただし、第 4 条の一と三に定める微弱無線局に関しては、その限りでない。また、特定省電力無線局の場合も発信機器に適合表示無線設備として技適マークが貼られたものを使用すること。
民法	<p>民法においては、非常に重要な土地の所有権に関する法令を理解した上で小型無人航空機を飛行させなければならない。</p> <p>①第 207 条：土地の所有権は、法令の制限内において土地の上下におよぶ。</p> <p>②有人航空機は、航空法において公共性のためこの条項は適用されないとされている。しかし、小型無人航空機に関しては、公共性を謳うことは無理があり、上空を飛行させるのは現状、全ての地権者の承諾が必要となる。</p>
産廃法	産廃物の抑制、処理責任に関する法律に小型無人航空機は関連する。小型無人航空機自体を廃棄する場合、バッテリー等の扱いも含め産廃の対象になるので、むやみに不法投棄をすれば罰則の対象となる。

### ●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、以下のルールを守る必要がある。  
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には、あらかじめ、地方航空局長の承認を受ける必要がある。

- [ 1 ] 日中（日出から日没まで）に飛行させること
- [ 2 ] 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
- [ 3 ] 人（第三者）又は物件（第三者の建物、自動車など）との間に30m以上の距離を保って飛行させること
- [ 4 ] 祭礼、縁日など多数の人が集まる催しの上空で飛行させないこと
- [ 5 ] 爆発物など危険物を輸送しないこと
- [ 6 ] 無人航空機から物を投下しないこと

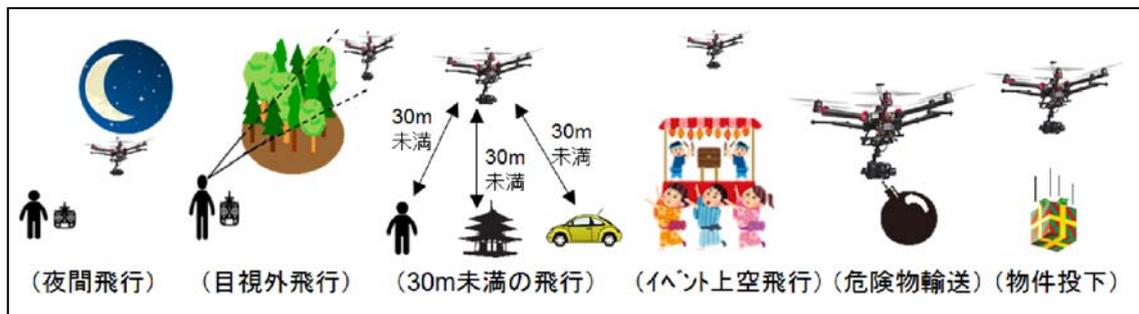


図 5-2 承認が必要となる飛行の方法

「航空法（昭和 27 年 7 月 15 日法律第 231 号，平成 29 年 6 月 2 日改正）」

## 5.2 海上保安庁への許可申請・届出

UAV を飛行させる場合は、管轄する海域の海上保安部への確認を行う。

### 【解説】

調査海域により海上保安庁への許可申請・届出が必要となる場合があり、管轄する海域の海上保安部への確認が必要である。

届出書の記載事例

1. 目的及び種類
2. 期間及び時間
3. 区域又は場所
4. 調査方法
5. 調査位置図、調査計画書（工程表、安全管理を含む）

その他記載事項

- ・落水対策：UAV の色、所有者、機種名、メーカー名、連絡先を機体に明記する。
- ・落下した場合の回収方法：漁業協同組合の協力を得て自主回収する。
- ・作業周知：漁港管理者、市町村水産課等、漁業協同組合への作業周知

### 5.3 UAVの安全な飛行

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を行う。

#### 【解説】

UAVを安全に飛行させるためには、以下の事項に留意する。

##### (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。

#### --- 【参考情報】 -----

安全な飛行のための以下にあげる基準図書等を参考とすることができる。

- ・無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン，国土交通省 航空局
- ・公共測量における UAV の使用に関する安全基準（案），平成 28 年 3 月 30 日制定，国土交通省 国土地理院
- ・測量調査に供する小型無人航空機を安全に運航するための手引き，2015 年 5 月 25 日，一般社団法人 日本写真測量学会

#### 5.4 漁港等の施設特性の考慮

UAV 活用にあたり、漁港等の施設特有の現場条件に留意する。

##### 【解説】

航空法第 132 条の 2 には無人航空機の飛行の方法についての定めがあり、これに従って無人飛行機を飛行させなければならないとされている。この中には、「三 当該無人飛行機と地上又は水上の人又は物件との間に国土交通省令で定める距離を保つて飛行させること。」(国土交通省令で距離は 30 メートルと規定されている。)があり、これによらない場合は、事前に国土交通大臣の承認を得なければならないこととなっている。

例えば、漁港では漁業者をはじめとする利用者の他、漁港を訪問する一般人や観光客、釣り人が居る。また、障害物として、岸壁等に係留されている漁船、上屋等の建築物、水面に設置されている筏・照明施設、防波堤では灯台等がある。図 5-3 は UAV の飛行高度による調査環境の違いを示すものである。漁港により物件の設置状況は異なるものであるが、10m よりも低い高度になると照明灯などの施設・設備に注意した操作が必要である。

このように、様々な施設が立地し、また人が活動する場である漁港、漁場においては、UAV を活用する場合、人への安全確保を最優先とし、調査内容や安全管理対策を踏まえた調査計画書を作成し、国土交通省への承諾や漁業協同組合をはじめとする利用者や工事関係者(事業主体及び建設業者)との調整を行う必要がある。なお、調査実施時には、UAV の飛行範囲の近傍に居る人々や障害物への衝突防止等、安全確保に万全を期すこと。



図 5-3 飛行高度による調査環境の違い

(左：地上 10m、右：地上 5m)

## 5.5 UAVの事故事例

UAVの事故事例は、主に墜落及び紛失に分類される。墜落の原因は、①機器等の不具合による墜落と、②運転操作の未熟による墜落が主な事故内容である。紛失の原因は、①機器等の不具合、②天候の悪化、③飛行経路の確認不足が、主な事故内容である。

### 【解説】

国土交通省に報告のあった平成29年度の事故件数は51件である。その事故内容は、主に墜落及び紛失に分類できる。墜落の原因は、①機器等の不具合による墜落と、②運転操作の未熟による墜落が主な事故内容である。紛失の原因は、①機器等の不具合、②天候の悪化、③飛行経路の確認不足が、主な事故内容である。事故内容、主な原因と是正処置を表5-2、表5-3に示す。

表 5-2 墜落の事故内容

事故内容	原因	是正処置
①機器等の不具合による墜落	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高速道路高架下など電波環境が不安定な場所での飛行</li> <li>・電波障害</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電波環境が不安定な場所では、GPS機能を利用して飛行する機種は使用しない。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無人航空機の本体の不具合</li> <li>・自動帰還機能の不具合</li> <li>・コネクタケーブルの接触不良</li> <li>・機体の姿勢安定装置の不具合</li> <li>・機体内への浸水による機能不良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・システムの冗長化を図る。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低温環境下での飛行によるバッテリー性能の低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バッテリー残量に余裕を持たせた飛行計画の立案</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鳥類との衝突による機器不具合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周囲の安全確認を行う。</li> </ul>
②運転操作の未熟による墜落	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事前練習の不足及び気の緩み／運転操作の未熟</li> <li>・飛行経路の確認不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・練習会及び安全講習の実施、飛行予定場所の事前確認、飛行させる者の横に熟練者を配置する。</li> </ul>

表 5-3 紛失の事故内容

事故内容	原因	是正処置
①機器等の不具合による紛失	・飛行場所付近の鉄橋により電波干渉を受け、通信途絶（制御不能）	・鉄橋には近づかない。 ・強い磁界を発生する装置付近では飛行させない。 ・バッテリー残量に余裕を持たせた飛行計画の立案
②天候の悪化による紛失	・天候急変による強風のため、操縦不能 ・天候急変により想定外の飛行時間となり、バッテリーの残量不足	・天候の確認を行う。 ・飛行前には風が遮られない適切な場所で風向・風速を判断する。 ・悪天候下の UAV 飛行は行わない。
③飛行経路の確認不足による紛失	・目視外飛行になることが予想されたにもかかわらず、事前に地形などの飛行経路の未確認 ・操縦者と監視員の連携不足のため、監視員による飛行制止の遅れ	・飛行前に地形等の飛行経路について十分な確認を行うとともに、飛行経路に応じた人数の監視員を配置して飛行させることを徹底する。

--- 【参考情報】 -----

国土交通省では、無人航空機による事故等の情報を以下のURLより公開しており、参考にすることができる。

**5. 無人航空機による事故等の情報提供**

万が一、無人航空機の飛行による人の死傷、第三者の物件の損傷、飛行時における機体の紛失又は航空機との衝突若しくは接近事象が発生した場合には、国土交通省、地方航空局及び空港事務所へ情報提供をお願いします。なお、安全に関する情報は、今後の無人航空機に関する制度の検討を行う上で参考となるものであることから、航空法等法令違反の有無にかかわらず、報告をお願いします。

情報提供を行うにあたっての**様式**、**情報提供先**については、以下をご参照下さい。

- [無人航空機に係る事故等の報告書\(様式\)](#)
- [無人航空機による事故等の情報提供先一覧](#)

**【事故情報等の一覧】**

- [平成27年度 無人航空機に係る事故等の一覧\(国土交通省に報告があったもの\)](#)
- [平成28年度 無人航空機に係る事故等の一覧\(国土交通省に報告があったもの\)](#)
- [平成29年度 無人航空機に係る事故等の一覧\(国土交通省に報告があったもの\)](#)

[http://www.mlit.go.jp/koku/koku\\_tk10\\_000003.html](http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html)

【参考文献】

- 航空法（昭和 27 年 7 月 15 日法律第 231 号，平成 29 年 6 月 2 日改正）」
- 無人航空機飛行マニュアル（平成 30 年 2 月 1 日版，国土交通省航空局）
- UAV を用いた公共測量マニュアル（案）（平成 29 年 3 月 31 日改正，国土交通省国土地理院）
- マルチコプターを利用した港湾施設・海岸保全施設の点検に関する検討（港湾空港技術研究所資料 No.1325 June 2016）
- UAV による河川調査・管理への活用の手引き（案）【改訂版】（平成 28 年 3 月，国土交通省東北地方整備局東北技術事務所）