

TEC-FORCE活動におけるドローン活用推進のための取り組みと情報収集最適化の検討

北海道開発局 事業振興部 防災課 ○古川 修宇
三浦 之裕
渡辺 裕也

災害対応にドローンを導入する事で隊員の安全確保や迅速な被災状況把握が可能となる為、R4年に北海道開発局TEC-FORCEドローン隊を結成。これまで操縦者育成を重視し、人数が増えた一方、実践技術不足が課題となっていた事から、今年度より実災害を想定した訓練を開始した。また、TEC-FORCE活動効率化の為、ドローン撮影画像から3Dモデルを作成する取り組みも始め、データ取得等の最適化についても検討した。これら取り組みについて報告する。

キーワード：TEC-FORCE、ドローン隊、訓練、3Dモデル化

1. はじめに

近年、豪雨や地震等の災害が全国で頻発しており、また北海道では日本海溝・千島海溝沿い巨大地震の発生も懸念されている。これら災害が発生した際は限られた職員で広範囲の被災状況を把握する必要があり、より効率的な調査が要求される。また、災害現場では2次災害などの恐れもあり、隊員の安全確保も求められる。これらを受け、北海道開発局のTEC-FORCE活動においても令和元年より本格的にドローンの導入を開始した。ドローンは人間が立ち入れない危険な場所での撮影や、俯瞰的な視点による被災状況全体の把握が可能であり、また、撮影画像から3Dモデルを作成し、3Dモデル上で測量を行える為、効率化と安全確保の両立が可能である。一方、運用にあたり、操縦技術や法律の理解、ICTに関する技術の取得といった課題がある。

北海道開発局ではTEC-FORCE活動におけるドローン活用を推進するため、ドローン隊を結成し、操縦者の育成や訓練、また最先端DX技術の活用に取り組んでいる。これら取り組みについて報告する。

2. ドローン隊の結成と隊員育成

北海道開発局では令和元年からドローン操縦者の育成を開始し、令和4年度に正式にドローン隊を結成した。ドローン隊は、操縦資格者の飛行可能技術レベルに応じ、ゴールド、シルバー、ブロンズの3資格に分けた(表-1)。このうち、ゴールド、シルバー資格は航空局から特定飛行のための許可・承認がおりている者とし、10時間以上

のドローン操縦経験を必要とする。なお、ブロンズは3時間以上の操縦経験とした。

ドローンを飛行させる際は操縦者のほか、安全を確保するための補助者が必要である。¹⁾北海道開発局ではより安全に飛行させるため、飛行体制として最低シルバー資格者以上1名、ブロンズ資格者以上1名を配置するよう内規で定めた。

このため、ドローンを飛行させるためには多くの資格保有者の育成が必要である。操縦者を増やすにあたり、シルバー資格者の育成については航空局HP掲載講習団体に外部委託した。ブロンズ資格者については、シルバー資格者が育成できる仕組みを利用し、北海道開発局の本局及び全道防災課が中心となり、各事務所などの協力も得ながら育成を行った。その結果、令和元年に15名の操縦者からスタートし、令和4年4月時点で136名、令和5年4月には476名へ増加し、令和5年12月1日時点には794名までドローン操縦資格者が増加した。

表-1 北海道開発局無人航空機操縦士資格

ウイングマーク 「ブロンズ」 	ウイングマーク 「シルバー」 	ウイングマーク 「ゴールド」 
・ DID 地区外	・ DID 地区外 ・ DID 地区内 ・ 対物 30m 以内 ・ 目視外飛行	・ DID 地区外 ・ DID 地区内 ・ 対物 30m 以内 ・ 目視外飛行 ・ 夜間飛行 ・ 150m 以上の上空

3. 実践的パイロットの育成

このように、ドローン操縦者が着実に増えてきた一方、基本的な操縦は出来るが、実災害での操縦経験が無く、災害時にどのように撮影し、どのような情報を伝えるべきかといった実践技術の不足が課題として浮上した。このことから、実践的パイロットの育成を目指し、令和5年に初めて、実災害を想定した訓練をプロの講師を招いて実施した。

(1) 北海道開発局TEC-FORCEドローン訓練会 概要

場 所：豊平川河川敷(札幌市)

参加者：15名(全道各地より)

内 容：講師による講話・デモンストレーション、実災害を想定した実技訓練、訓練時の撮影映像について班毎にプレゼンテーション

(2) 訓練会詳細

訓練会は実践を想定し、河川敷で行った。3人1組の班に分け、各班に実災害を想定した命題を付与し(図-1)、それぞれの班で撮影方法や情報の伝え方を考えて飛行した。最後に空撮のポイントについて班毎にプレゼンテーションを行った。また、実災害では撮影したドローンの映像をリアルタイムに災害対策本部へ配信する必要があるため、映像配信訓練も合わせて実施し、本部からの指示に従った飛行訓練も行った。

プロの講師からは、データ容量やバッテリーの関係から、撮影は2分30秒〜3分程度にまとめること、ホバリングを長くせず、一連の動きの中で何が起きているかを伝えること、対象物を中心に円を描きながら撮影し、その後、俯瞰で全体像を伝えるコツなどを教わった。

訓練会後のアンケートでも実践的訓練の必要性の意見が上がり、有意義な訓練会となったことから、来年度以降も引き続き行っていく予定である。



図-1 訓練時に想定した災害の例(上が想定、下が実例)

4. 効率的かつ効果的にドローン撮影画像を3Dモデル化するための飛行・撮影方法の検討

(1) 背景

ここまで述べてきたように、TEC-FORCEドローン隊を着実に増やし強化してきたが、さらに今年度は、TEC-FORCE活動の一層の効率化と安全確保を目指し、ドローン撮影画像をSfM解析により3Dモデル化する検討も行った。3Dモデル作成により、パソコン等での測量が可能となることから、これまでメジャーやポールで行っていた測量が不要となり、隊員の安全や作業効率の飛躍的な改善が期待される。SfM解析による3Dモデルの作成は、民間企業などでは導入が進んでいるが、北海道開発局の職員による作成事例は少なく、特に今回は、TEC-FORCE活動での使用に特化し、効率的かつ効果的な被災状況調査を行うための飛行・撮影方法を検討した。

(2) 対地高度の違いによる精度と費用の比較について

SfM解析は空中写真測量の原理を用いて3Dモデルを作成する技術であるが、被災状況調査においてドローンを飛行させ撮影画像から3Dモデルを作成する際、どれ位の高度で飛行させるべきか検討が必要である。対地高度と地上解像度は反比例の関係にあるため、対地高度が低いほど地上解像度は上がり、3Dモデルの精度は向上する(図-2,3)。

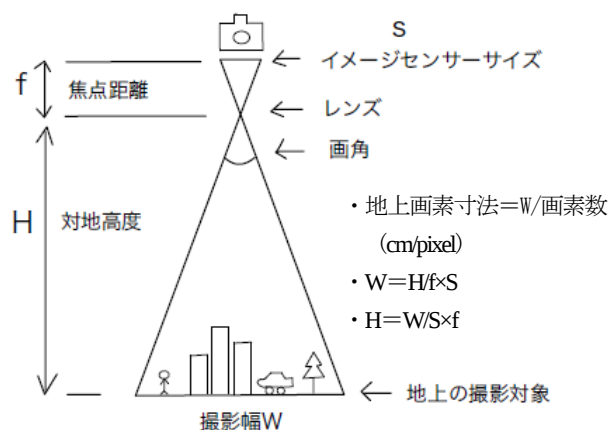


図-2 対地高度と地上画素寸法などの関係式²⁾



図-3 地上画素寸法の差による見え方の違い

一方、対地高度が低いほど写真1枚あたりの投影面積は小さくなるため³⁾ (図-4)、被災状況調査時のドローン飛行時間や、SfM解析に必要な写真枚数が増える。写真枚数が増えるほどデータ処理時間等のコストも増大する。

効率的な撮影のための高度を決定するには、目標とする精度の基準が必要である。本研究では現在TEC-FORCE活動に使用されているレーザー距離計の精度を基準に比較を行った。飛行は6パターンで行い、3Dモデルの精度、飛行調査時間、写真データ量及びその解析時間を比較した。



図-4 対地高度(H)と写真1枚あたりの撮影幅(W)

(3) 計測対象と方法

a) ドローンによる計測範囲

豊平川河川敷の約 27,000m² (約 210m×130m)

b) 計測対象

計測対象は図-5に示す通り、①ブロック延長(横幅)、②樋門上屋高さ、③橋の幅員、④橋長、⑤ブロック延長(法方向の長さ)とした。

c) 計測方法

計測は、50m 巻きメジャー、レーザー距離計、ドローン撮影画像から作成した 3D モデル上でそれぞれ行った。

誤差を算出するにあたり、50m 巻きメジャーでの計測値を比較基準値とした。また、②樋門上屋高さの値は図面の値を比較基準値とした。

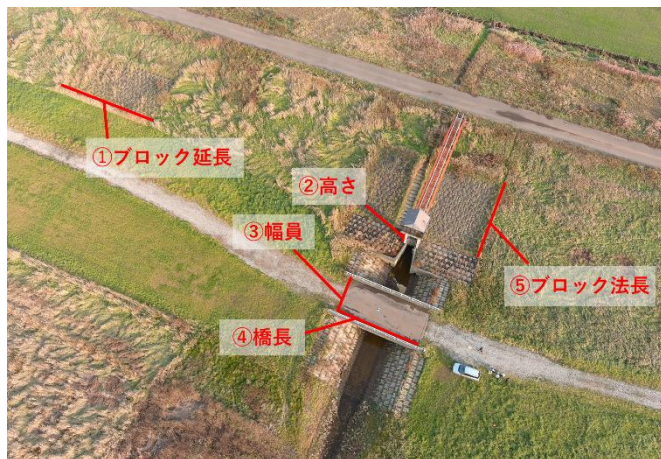


図-5 計測対象

(4) 飛行条件

a) 気象：晴れ 風速 1～2m

b) 使用機体

メーカー：Autel Robotics

モデル：EVO II Pro

c) カメラ仕様

センサ：1"CMOS

センササイズ：12.8mm×8.5mm

レンズ：FOV 約82°

焦点距離：9.5825mm

静止画解像度：5472×3648(3:2)

※焦点距離、センササイズは精度管理表より求めた。

d) 地上画素寸法、対地高度、ジンバル角度の設定条件

表-2 飛行条件表

条件	地上 解像度	対地 高度	ジンバル 角度	飛行方法
i	1cm/px	44m	90°	自動
ii	2cm/px	88m	90°	自動
iii	2cm/px	88m	90°+60°	自動+手動
iv	2cm/px	88m	自動設定	自動 (3Dモード)
v	3cm/px	132m	90°	自動
vi	3cm/px	132m	90°+60°	自動+手動

地上画素寸法を1cm/px、2cm/px、3cm/pxの3パターンで比較できるように、対地高度をそれぞれ44m、88m、132mで設定した。

撮影画像はジンバル角度90°(真下向き)のみの場合、90°の撮影画像に60°(水平方向から60°、真下方向から30°)の画像を加えた場合、ジンバル角度自動設定の3パターンとした。

ジンバル角度90°の撮影は全て自動飛行で行った。60°の撮影は全て手動で行った(計測対象を中心に円を描きながら撮影)。ジンバル角度自動設定は飛行も自動で行った。

e) その他の設定条件

オーバーラップ率：80% サイドラップ率：60%

(5) 計測結果と考察

それぞれの計測結果及びドローン飛行条件毎の撮影時間、写真データ容量、解析時間を表-3に示す。また、3Dモデル上での計測例を図-6に示す。

a) 対地高度(地上画素寸法)のみ異なる場合の比較

条件i、ii、viは対地高度(地上画素寸法)以外の条件は同じであり、ジンバル角度90°で自動飛行による撮影を行った。

結果を見ると、対地高度が高くなるほど誤差が大きくなっており、4.(2)で述べた理論通りの結果が得られた。一方、対地高度が高くなるほど、撮影時間は短く済み、写真データ容量も少ないため、解析時間や処理コストを抑えられている。

また、現在 TEC-FORCE で使用されているレーザー距離計との比較では、条件iのみレーザー距離計の精度を上回った。

なお、条件i、ii、vのいずれも、②樋門上屋高さ寸法の誤差が他の計測項目と比べ大きかった。これは、ジンバル角度90°のみの写真では、真上から見て陰になる部分が写らず、3Dモデルをきれいに作成できなかったためであると考えられる。



図-6 3Dモデルによる計測結果例(条件iii)

b) ジンバル角度90°のみと90°+60°の比較

真上から見て陰になる部分を撮影し、高さの寸法精度を向上させるため、ジンバルを水平方向から60°に設定の上、手動操縦により測定対象を中心に円を描きながら撮影した。60°に設定した理由は、これより角度が浅くなると測定対象以外の背景(空など)が映り込み、解析精度が落ちると考えられるため、60°とした。手動で操縦した理由は、カメラ角度自動設定での飛行モードは、撮影コースが大幅に増え、撮影時間、撮影枚数も大幅に増えるため、手動で撮影を行い、時間、枚数を抑えた。カメラ角度自動設定での飛行撮影は条件ivで別途検討した。

なお、考察a)の結果より、条件iはレーザー距離計の精度を上回っていたため、条件ii、vに対し、60°の写真を加えて解析、検討した(条件iii、vi)。

結果は表-3の通り、条件iii、viのどちらも90°の写真のみの場合に比べ、計測項目①～⑤の全てにおいて精度が向上した。平均誤差率は条件iiiが3.47%、条件viが3.97%向上し、いずれもレーザー距離計の平均誤差率を上回った。さらに、対地高度88mの条件iiiの精度は、対地高度44mの条件iとほぼ同じであった。

当初、真上からでは陰になる部分を撮影し、高さ寸法の精度を向上させる目的で(今回の例では、測定箇所②樋門上屋高さ部分)60°写真を加えたが、斜めからの写真を加えることで、高さ寸法だけではなく、平面部を含む全ての寸法精度が向上することが分かった。

補足であるが、条件viの3Dモデルは地上画素寸法3cm/pxと解像度が一番荒いため、3Dモデル上で計測する際に、点群の適切な点を選択するのに時間を要した。

c) カメラ角度自動設定の飛行結果

最後に、対地高度88m、カメラ角度自動設定、飛行自動設定(条件iv)で撮影を行った。結果は表-3の通り、i～viの条件の中で最も精度が良い結果が得られた。

一方、撮影時間は13分、解析時間は133分と6条件の中で最も長く、写真データ容量は2番目に大きかった。また、当条件のみ、撮影範囲を測定対象部分に絞って3Dモデルを作成した。理由は、他の条件と同じ面積を計測しようとする、大幅に計測時間が増え、バッテリー残量が懸念されたためである。

表-3 計測結果

単位: m

条 件	①ブロック延長		②樋門高さ		③橋幅員		④橋延長		⑤ブロック法長		平均誤差率	撮 影		解析に用いた写真		解析時間(分)
	計測値	誤差率(bとの差)	計測値	誤差率(aとの差)	計測値	誤差率(bとの差)	計測値	誤差率(bとの差)	計測値	誤差率(bとの差)		面積(m ²)	時間	枚数	データ容量	
a 図 面			5.65		7		14.6									
b 50m巻きメジャー	23.7				7		14.6		15.4							
c レーザー距離計	23.4	1.27%	5.5	2.65%	7	0.00%	14.3	2.05%	15.3	0.65%	1.32%					
i 3Dモデル 1cm/px(h=44m)、90°自動	23.767	0.28%	5.518	2.34%	6.978	0.31%	14.559	0.28%	15.307	0.60%	0.76%	27,059	6分43秒	186	3.00GB (3,223,144,208)	114
ii 3Dモデル 2cm/px(h=88m)、90°自動	23.144	2.35%	5.091	9.89%	6.807	2.76%	14.166	2.97%	14.902	3.23%	4.24%	27,059	3分55秒	48	776MB (813,805,500B)	32
iii 3Dモデル 2cm/px(h=88m)、90°自動+60°手動	23.764	0.27%	5.769	2.11%	6.963	0.53%	14.588	0.08%	15.269	0.85%	0.77%	27,059	5分55秒	66	1032MB (1,093,203,332)	33
iv 3Dモデル 2cm/px(h=88m) カメラ自動	23.623	0.32%	5.634	0.28%	6.963	0.53%	14.491	0.75%	15.387	0.08%	0.39%	19,700	13分	168	2.50GB (2,695,804,796)	133
v 3Dモデル 3cm/px(h=132m)、90°自動	22.838	3.64%	5.181	8.30%	6.757	3.47%	13.853	5.12%	14.54	5.58%	5.22%	27,378	2分52秒	26	402MB (422,393,756B)	18
vi 3Dモデル 3cm/px(h=132m)、90°自動+60°手動	23.584	0.49%	5.554	1.70%	6.884	1.66%	14.442	1.08%	15.2	1.30%	1.25%	27,378	4分52秒	40	602MB (632,301,254B)	25

(6)結論

考察 a)～c)より、現在 TEC-FORCE 活動で使用されているレーザー距離計の精度を上回ったのは、条件i, iii, iv, viであった。

条件iとiiiは精度がほぼ同じである一方、条件iiiの解析時間や写真データ容量は条件iの約 1/3 であり、効率的であった。

条件ivは精度が最も高かったが、対象を撮影するために必要なコースが多く、撮影に時間がかかるほか、ドローン飛行時の立入管理措置を講じるべき範囲が広がることや現地条件によっては障害物も予想され、現場で使用する際の制約が多くなると考えられる。また、写真データ容量も大きかった。

条件viは、レーザー距離計の精度を上回った条件の中で、撮影・解析時間が最も短く、写真データ容量も一番小さく、最も効率的であった。

以上より、今後実践で運用していく際は、条件iiiまたはviにより飛行することが効率的かつ効果的であると考えられるが、条件viはレーザー距離計との誤差が僅かであったこと、また 3D モデルの解像度が一番荒く、点群の適切な点を選択するのに苦勞する事を踏まえると、地上画素寸法 2cm/px(H=88m)の設定で、ジンバル角度 90°+60°の撮影画像から 3D モデルを作成する条件iiiが最も優れていると考える。

なお、地上画素寸法 2cm/px に設定するための対地高度はカメラの種類によって変わるため(図-2)、機体が異なる際は留意されたい。

5. おわりに

これまでの取り組みにより、TEC-FORCE ドローン隊を大幅に増やす事が出来た。来年度以降は、今年度から始めた実災害を想定した訓練を引き続き行い、実践的パイロットを増やしていくとともに、今年度新たに検討したドローン撮影画像から 3D モデルを作成するノウハウをマニュアルにし、これに則した訓練会も実施する予定である。3D モデル作成の取り組みが確立されれば、TEC-FORCE の現場ではドローンを飛行させるのみで、移動中に SfM 解析を行い、事務所に帰る頃までに 3D モデルを完成させておくことも可能である。これにより隊員の大幅な作業効率化が図られる。

その先の課題として、TEC-FORCE は自治体支援のために行っているが、3D モデルを使用出来る環境が整っている自治体は少ない。作成した 3D モデルを自治体でも有効に活用出来る方法の検討も今後は進めていく所存である。

6. 参考文献の引用とリスト

- 1) 無人航空機マニュアル(DID・夜間・目視外・30m・危険物・物件投下)場所を特定しない申請について適用、国土交通省 航空局
- 2) 新版 必携ドローン活用ガイドー災害対応実践編ー著者 内山庄一郎
- 3) UAV 等を活用した河川巡視の手引き(案)、令和 4 年 3 月、水管理・国土保全局、河川環境課河川保全企画室