

UAVを活用した砂防施設点検について —UAV飛行を前提とした点検マニュアルの検討—

帯広開発建設部 帯広河川事務所 工務課 ○生田 海斗
土屋 峰人
日本工営株式会社 技術第二部 梅谷 涼太

砂防施設点検は、施設の健全度や長寿命化を検討する上で重要な調査である。帯広開発建設部管内の砂防施設は、大規模な施設が多く、人力による定期点検では調査に時間を要することや調査時の安全性に課題がある現場もある。本稿では、これらの課題を解決するため、UAV飛行による定期点検、出水・地震時の臨時点検等への適用やマニュアル策定に向けた検討結果などを紹介する。

キーワード：長寿命化、インフラメンテナンス、生産性向上、3次元データ

1. はじめに

国土交通省では、昨今の社会経済状況の激しい変化に対応するため、「インフラ分野のDX」を推進している¹⁾。砂防分野では、UAVによる砂防関連施設点検や施設情報のデータベース化、ICT施工や無人化施工により、生産性・安全性を向上させる施策に取り組んでいる²⁾。その中でも砂防関係施設点検におけるUAVの実践的活用は、全国的な普及を目指し各地で検討が進められている。

十勝川流域の札内川・戸蔦別川下流域では、河道が広く堤長が300mを超えるような大規模な施設（写真-1）が連続して整備されている。それゆえに、人力による点検では渡河を要する他徒歩による移動も多くなり、点検作業には時間を要する。また、流域内はヒグマの生息地であり、長時間の徒歩移動には危険を伴う。一方で上流域では急峻な地形となっており、点検作業が困難な施設が存在している。

以上のような状況を踏まえ、帯広開発建設部では、砂防施設やその周辺地形や環境特性に合わせてUAV自律飛行による実践的な砂防施設点検を導入するため、砂防施設点検のマニュアルを作成するものとした。

2. UAV自律飛行による点検の導入にあたって

UAVによる砂防施設点検は、北陸地方整備局で先行してマニュアルの作成や試行が行われている。「UAVによる砂防関係施設点検要領（案）³⁾」（北陸地方整備局、令和2年3月）（以下、UAV点検要領（案））で示されているUAVの点検方法は、以下のとおりとなっている。

- ・ 1フライト目（自律飛行）：全景撮影を行い、全景写真の拡大、切り取り等によって、施設全体の概括的健全度を判定（遠望撮影）

- ・ 2フライト目（操縦飛行）：UAVを施設に近づけられる場合には部位ごとで撮影を行い、変状レベルを評価（近接撮影）

帯広開発建設部管内の砂防施設の特徴として、部位単位でも100m程度の長さがある大規模な施設が何基も存在することが挙げられる。UAV点検要領（案）で示されている部位単位で撮影を行う近接撮影では、管内の施設規模が大きいため変状の確認ができない可能性があることから、より接近して撮影する必要がある。しかし近接しすぎると、施設全体の撮影のために必要となる写真の枚数が膨大となることから、変状を確認できるような撮影距離や方法を設定する必要がある。

一方で、河道が広い点はUAV点検を実施する上でUAVの飛行の支障となる樹木の影響を受けづらく自律飛行を導入しやすい点で利点となる。

このような河道や施設の特徴を踏まえ、近接撮影は変状が写真で確認できる精度を確保し、分割して撮影するとともに、遠望撮影および近接撮影共に自律飛行により実施するため、撮影位置、飛行ルート、写真に求める要求精度など試験飛行しながら検討を行った。

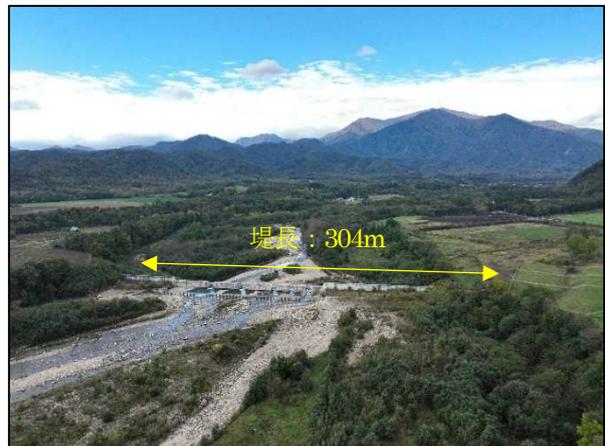


写真-1 戸蔦別川第2号砂防堰堤 全景

3. 撮影性能と撮影距離の検討

近接撮影の自律飛行ルートを設定するためには、撮影位置（ウェイポイント）を設定する必要がある。ただし撮影位置は、UAVに搭載されているカメラの画角（焦点距離）及び有効画素数並びに写真に求める解像度によって変わる。そこで、UAVによる点検作業において現実的な写真の枚数及び要求精度となるよう検討を行った。

(1) 使用機材

UAV点検の使用機材は、安価で入手が容易な汎用機を前提とした。帯広開発建設部管内の砂防施設点検の経験がある業者や災害協定業者が所有している機種を整理すると、15機種中11機種で35mm換算で24mmのレンズを搭載されていた。そこで、焦点距離24mmのレンズを搭載した機体の使用を想定した。

(2) 要求精度

UAV点検における要求精度は、目視点検と同等の情報を得ることができ、適切に施設の健全度を評価可能な精度とする必要がある。そこで、既往の施設点検で確認されている変状種別で最も小さい変状の大きさを整理し、多くの変状種別に対応できる大きさとしてcm単位の解像度を設定した。へアクラックなどmm単位以下のひび割れや変位・変形の確認はできないものの、他の種別の変状は写真で撮影できれば確認が可能である。

表-1には有効画素数と撮影距離の関係を示した。有効画素が高いほど遠くからの撮影でも細部まで撮影可能となり、広範囲を撮影可能で写真枚数を少なくできる。ただし高画素の機種(4,500万画素)は産業機であり高価・入手が困難となる。そこで、現行の汎用機の中でも有効画素が高く機種数も多い2,000万画素の機種を想定し、約1cmの解像度を確保できる40m程度の距離を基本の撮影距離として設定した。なお、100m程度離れた場合でも解像度は3cm程度であり、cm単位の解像度が得られることから、安全な飛行を実施できない場合には40m以上の距離からの撮影も想定する。

表-1 有効画素と撮影距離(焦点距離 24mmの場合)

カメラ	1,200万画素 (Matrice300+H20T等)	2,000万画素 (Phantom4 pro等)	4,500万画素 (Matrice 300+P1等)
センサー	1/2.3" CMOS, 12 MP (6.2mm × 4.7mm)	4/3 CMOS, 20 MP (17.3mm × 13.0mm)	Fullsize, 45 MP (35.9mm × 24mm)
ピクセルサイズ	1.54 μm	3.28 μm	4.4 μm
Photo (最大)	4056 × 3040	5280 × 3956	8192 × 5460
焦点距離	35mm換算: 24 mm (4.5 mm)	35mm換算: 24 mm (約12mm)	24mm
5m先の解像度 (mm)	1.71	1.37	0.91
10m先の解像度 (mm)	3.42	2.73	1.83
15m先の解像度 (mm)	5.12	4.10	2.74
20m先の解像度 (mm)	6.83	5.47	3.66
30m先の解像度 (mm)	10.25	8.20	5.49
40m先の解像度 (mm)	13.67	10.94	7.31
50m先の解像度 (mm)	17.08	13.67	9.14
100m先の解像度 (mm)	34.16	27.34	18.29
200m先の解像度 (mm)	68.33	54.69	36.57
300m先の解像度 (mm)	102.49	82.03	54.86

4. 飛行ルート検討

UAVで点検を行う場合、必ずしも施設近傍でUAVを飛行させる必要はなく、目視外飛行を活用することで遠方からでも点検が可能となる。ただし、安全に飛行可能な離発着地点や飛行ルートの設定が必要となる。

(1) 離発着地点

離発着地点は見通しが効く開けた土地を空中写真で選定した。なお、作業効率化の観点から車両によるアクセスが容易な地点とした。

また、離発着地点からの飛行可能距離は操縦機とUAV機体の通信方式によって変わるが、汎用機ではLTE通信や衛星通信といった特殊な通信方式による飛行はできない。汎用機で使用されているプロポ通信は、2.4GHzの無線通信であり、直進性を持った通信電波であり障害物があると通信環境が悪くなる。また、通信距離が長くなるほど通信領域が広がり、障害物の影響を受けやすくなる。そこで、机上検討において事前に飛行可能距離を把握するため、GISにより見通し解析を行い、各施設まで飛行可能で最短の飛行距離となる離発着地点を選定した。

(2) ウェイポイントと飛行ルート

飛行ルートは、「砂防関係施設点検要領(案)」(国土交通省砂防部保全課、令和4年3月)で示されている撮影対象及び撮影位置をもとに、砂防施設全体が撮影できるようにウェイポイントを設定した。

ウェイポイントとは自律飛行で経由する地点を指し、ホバリングやカメラのシャッター等アクションの設定を行うことで写真や動画撮影を行うことを指す。今回のように撮影対象が決まっている場合には、カメラの角度や方位を設定する必要があり、また部位を分割して撮影するためには撮影距離や撮影範囲を踏まえて連続的にウェイポイントを設定する必要がある。そこで3Dモデルを用いた画角の確認を行い、アクションの設定に必要なパラメータとして、カメラ角度や機首の向き等検討した。また、点検対象の全砂防施設(29施設)を対象に飛行ルートを作成する必要があったことから、堤長に応じて自動でウェイポイントやアクションを設定するプログラムを作成し、効率的に飛行ルートの机上検討を行った。

また、机上検討においても3Dモデルを用いることで、樹木等の干渉確認や構造物との離隔の確認を行うことができる。今回はLPデータをもとに作成した地物のデータ及び机上で設定した飛行ルートを3Dモデル上で表示させ、樹木との干渉確認や構造物との離隔確認を行った。

5. 試験飛行による実地検証

実地検証として、机上で設定した自律飛行ルートでの飛行の安全性を確保できるよう、通信状況や障害物の離隔、離発着地点や補助者からの機体確認の観点で飛行ルートやウェイポイントの設定確認及び現地修正を目的として全29施設を対象に試験飛行を行った。試験飛行は、機種による性能の違いや点検業者が所有する機体での動作確認を目的として実施した。

(1) 通信の確認

プロポ通信では操作端末と機体間を結んだ直線間の楕円形の空間の確保が重要となる。障害物による影響のほか、飛行高度が低い場合には、この空間の損失が大きくなり、通信が不安定になりやすい。

近接撮影は撮影箇所によっては対地20m程度まで高度を下げて撮影を行うが(図-1)、離発着地点から遠い施設の場合には通信が不安定化し高度を下げられない地点があった。試験飛行で不安定な通信状況が確認されたウェイポイントは、高度を上げる等の対応を行った。

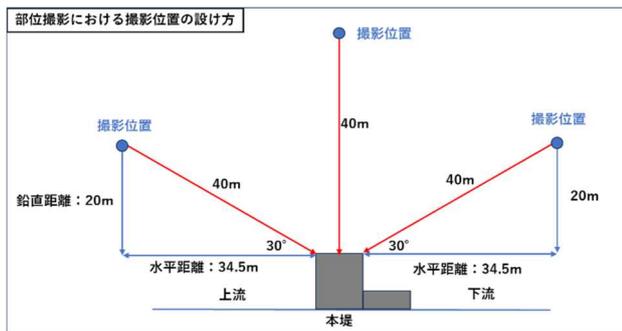


図-1 撮影位置の設定イメージ図

(2) 障害物との離隔の確認

机上検討では、UAVの障害物検知センサーの閾値を参考に障害物との離隔の距離として設定しており、飛行中にはセンサーが反応しない想定でウェイポイントを設定している。試験飛行において障害物検知センサーが反応する場合には、3Dモデルでは把握できていない障害物が存在している可能性が高いことから、障害物検知センサーに反応があった場合にはウェイポイントの修正の可否を現地で確認し、適宜修正等の対応を行った。

(3) 機体の確認

補助者つき目視外飛行では、補助者による機体の直接監視が要件となる。補助者による機体の監視は、双眼鏡を使用した監視も認められているものの、機体の背景に樹木等がある場合には機体を見失いやすくなる。河道脇など飛行の障害となりうる樹木が機体と重なる場合には、樹木が機体と重ならない高さまで撮影高度を上げて機体を認識できるようにした。

(4) 災害協業者との連携

今回の試験飛行では災害協業者に協力を仰ぎ、保有する機体の特徴や操作性の違いを確認した。

発売年の古い機種では設定した撮影アクションが正常に作動しないウェイポイントがあり、施設部位を分割して連続的に撮影した際に設定したカメラの向きが少しずたずたしていく等の不具合が認められた。一方で新しい機種では、機種が異なる場合でもウェイポイントとアクションを合わせた飛行ミッションプログラムの互換性が確認された。不具合の少なさや互換性の広さの観点を踏まえると、新しい機種ほど自律飛行による点検に適していることが判明した。

また、災害協業者とは地震後・出水後の臨時点検を想定した手動飛行により飛行訓練を毎年実施している。定期点検における遠望撮影のウェイポイントは、施設全体を撮影可能な地点を設定しており、臨時点検で目的とする施設の損傷や被害の有無、周辺状況の把握・確認に適した地点である。また、遠望撮影のウェイポイント間の撮影を行うことで施設間の河道・斜面状況も確認が可能である。今後は設定したウェイポイントを活用し、自律飛行による臨時点検の飛行訓練を行うことで、対応能力の向上を図っていく。

6. 撮影写真による変状判別の検証

UAV写真による各種変状の確認の可否を検証した。検証結果を以下に示す。

(1) 判別の精度

既往の施設点検で評価されている変状レベルごとの変状数とUAV写真により確認可能であった変状数及び割合を表-2に整理した。令和5年度の施設点検で新規に確認された変状を含めた209変状のうち、UAVで確認可能な変状は115変状で55%はUAV点検で確認可能であった。

変状レベルは施設の各部位で発生している変状の程度を示した指標であり、変状レベルaは軽微な損傷が発生しているものの当該部位の性能の劣化が認められない状態、変状レベルbは損傷等が発生しているものの現状では対策を講じる必要がなく点検により経過を観察する必要がある状態、変状レベルcは当該部位に損傷等が発生しており、当該部位の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態を指す。

変状レベル別では、変状レベルaが81変状中36変状、変状レベルbが98変状中54変状、変状レベルcが15変状中13変状と、変状レベルが高くなるにつれてUAV点検で確認できる割合が高い結果が得られた。

また、R5点検では15の新規変状が確認されているが、12変状はUAVで確認可能な程度の変状であり、UAV点検で80%確認可能であった。

表-2 UAV点検で確認できた割合(変状レベル別)

変状レベル※2	人力点検の変状等の数※1	UAV点検で確認可能な変状等の数※1	UAV点検割合
a	81	36	44%
b	98	54	55%
c	15	13	87%
小計	194	103	53%
R5点検で新規確認された変状等の数	15	12	80%
合計	209	115	55%

※1 移管予定の札内川第10, 11, 12号砂防堰堤は総数に含んでいない

※2 令和5年度に実施した健全度診断の変状レベル評価に基づく

(2) 変状別の判定の可否

新規変状を除き、過年度の施設点検で確認されている194変状に対し、変状種別でUAV写真による確認の可否を整理した結果を表-3に示す。UAV写真で確認ができない変状は「不可」、確認が可能な変状のうち、既往の人力点検結果と比較して変状の変化の有無を確認した結果を「変化有・変化無」で記載・集計している。不可と評価している変状には、写真に写っているはずであるが確認できない変状や写真撮影自体が困難な変状が含まれている。

変状種ごとにUAV点検の可否に着目すると、UAV点検が困難な変状として、16%しか確認ができていない「基礎地盤の洗堀」が挙げられる。地盤洗堀状況の変化の把握には深さといった計測値が必須で写真のみでは判断できないこと、また発生位置が樹木下及び水面下等に位置していることで写真撮影自体が困難な変状が大半であった。

次点では「ひび割れ」が30%とUAV点検における確認の割合が低い変状である。ヘアクラック等で写真の要求精度に満たない変状が多い結果が反映されているが、一部のひび割れはUAV写真で視認できる変状が存在した。

さらに次点では「変形・変位」や「剥離・欠損」が挙げられ、UAVで確認できる変状の割合は約50%であった。規模の小さな変状が他の変状種別よりも多いことがUAV点検における確認の可否に影響していると考えられる。

前述した以外の変状は、変状の発生位置次第で確認できない変状があるものの、規模の小さな変状を含めても53%はUAV点検で確認が可能である。変状種ごとのUAV点検結果の事例を表-4、表-5に示す。

(3) 点検時間

UAV点検では、各施設における作業時間が大きく短縮され、施設間の移動を除いた点検作業時間は29施設で11.2時間であった。外業のみの所要時間では、80%程度作業時間の効率化が期待される。

内業としては写真の整理作業が挙げられるが、UAV点検では撮影する写真の枚数が少なくなる一方で変状写真の切り出し作業が発生することから、従来の作業時間と同等程度と見込まれる。

表-3 UAV点検で確認できた割合(変状種別)

変状種別	UAV点検の可否			総計	割合
	不可	可			
		変化無	変化有		
ひび割れ	28	12	0	40	30%
変形・変位	5	6	0	11	55%
剥離・欠損	21	24	0	45	53%
護床工の沈下・欠損・流出	3	15	0	18	83%
基礎地盤の洗堀	16	3	0	19	16%
摩耗	1	4	0	5	80%
漏水	12	30	1	43	72%
安全設備の腐食・破損	1	0	0	1	0%
護岸工の沈下	4	6	0	10	60%
施設の損傷	0	2	0	2	100%
総計	91	102	1	194	53%

太字：評価基準の変状項目に該当しない変状

表-4 人力点検とUAV点検による変状確認結果 1

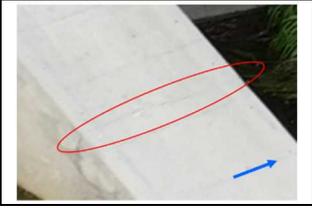
UAV点検が困難な事例 (樹木下)	
	
ひび割れ (UAV点検で判定できた例)	
	
ひび割れ (UAV点検で判定できなかった例)	
	
剥離・欠損 (UAV点検で判定できた例)	
	

表-5 人力点検と UAV 点検による変状確認結果 2

剥離・欠損 (UAV点検で判定できなかった例)	
	
沈下 (UAV点検で判定できた例)	
	
摩耗 (UAV点検で判定できた例)	
	
漏水 (遊離石灰) (UAV点検で判定できた例)	
	

7. マニュアルの概要

UAV点検の試験飛行や検証を踏まえUAV点検を主体とした定期点検のマニュアル策定に向けた検討を行った。UAV点検のマニュアルの概要を以下に示す。また、UAV点検を活用した施設点検及び健全度評価のフローを図-2及び図-3に示す。

(1) 点検頻度

UAV点検の導入にあたり、人力点検の実施頻度を見直した上で、UAV点検と人力点検を組み合わせた定期点検とした。

「砂防関係施設点検要領 (案)」（国土交通省砂防部保全課、令和4年3月）では、定期点検の実施時期を”適切に設定すること”としている。また、定期点検の実施間隔を最長10年以下としており、健全度評価により「経過観察」（健全度B）及び「要対策」（健全度C）と評価された施設について点検間隔は5年以下を原則としている。

帯広開発建設部では、管内の砂防施設を対象に進行性

のある変状（凍害・洗堀・摩耗）の劣化予測を行っている。最も進行速度が速い施設でも、凍害は5年ではほとんど進展が見られず5年で約1.0m²の進行、河床洗堀は5年で約1mの進行、天端摩耗は5年で約0.5mmと5年ではほとんど進行が認められない結果が得られている。

劣化予測の結果からも、変状レベルが変化するほどの進展が5年以内では認められないことから、人力点検の実施頻度を5年に1回とし、その間は原則UAV点検を実施する方針とした。なお、必要に応じてUAV点検を補完する人力点検を行う。

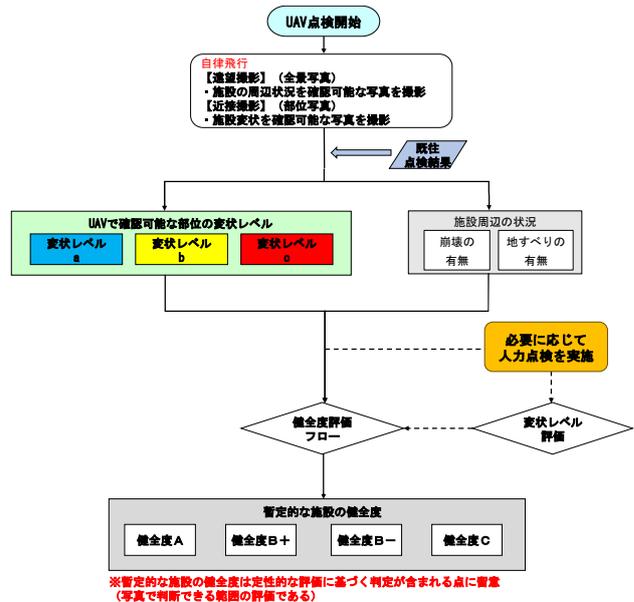


図-2 UAV点検フロー

(2) 点検方法

帯広開発建設部管内の点検方法の概要は以下のとおりである。

- ①遠望撮影と近接撮影を共に自律飛行で撮影する。
- ②使用機体は、2,000万画素・焦点距離24mmのレンズを搭載した機体を用いる
- ③従来の目視点検で確認されていた変状を概ね撮影可能な40m程度の距離から撮影する。
- ④さらに近接して撮影を行うことで判定が可能となる変状等に対しては、必要に応じて操縦飛行で変状個別の写真撮影を行う。
- ⑤確認できない部位や変状は次年度以降の人力点検で実施するが、遠望撮影や現地踏査により点検の必要性が認められる場合は、当該年度に人力点検を行う。
- ⑥UAV点検において変状に進行性が認められる場合、または新規変状が認められる場合には、必要に応じて人力点検を行う。

(3) 健全度の評価方法

UAV点検を活用した変状レベルの評価方法及び施設の健全度評価手法の概要は以下のとおりである。

- ① UAVで撮影した写真の拡大・切り取りにより施

- 設周辺の状況と部位単位の変状レベルを判定する。
- ②前年度のUAV点検結果と比較して部位の変状に進行が認められなかった場合、直近の人力点検における変状レベルを適用する。
 - ③個別施設の健全度は、人力点検と同様に変状の発生位置や変状レベルの個数により、健全度評価フローに基づき評価する。
 - ④個別施設の健全度は、変状の変化の有無、及び施設周辺の状況の変化の有無から、「暫定的な施設の健全度」として評価する。

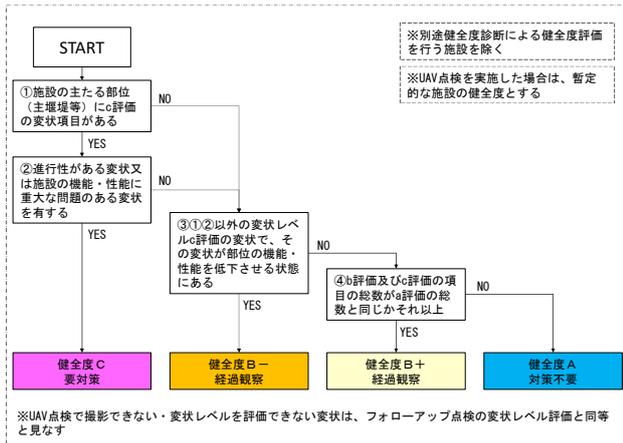


図-3 UAV点検を活用した健全度評価フロー

8. おわりに

今回のUAVを活用した砂防施設点検の検証を通じて得られた課題に対して先端技術を活用した更なる生産性・安全性向上を推進するにあたっての、帯広開発建設部の今後の展望を以下に示す。

(1) 遠隔操縦や長距離飛行の実現

現在のUAVの通信方式は無線通信が主流であり、操縦機と機体が直接通信可能な距離までしか飛行させることができない。LTE通信による飛行が可能な機体では、携帯電話の通信回線が整備されている範囲内において、より遠方まで飛行させることができるものの、LTE通信に対応した機体は現在一般に広く普及しているような状況ではない。

しかしながら近年LTE通信をUAVに活用する動きは活発であり、上空でのLTE通信の規制緩和が行われる等環境整備が進んできている。LTE通信による飛行・操縦が可能な機体をUAV点検で導入することで、無線通信で問題となる地形や距離による通信電波の減衰の問題が発

生せず、LTE通信範囲であれば場所を問わず遠隔地から飛行させることが可能となり、点検に係る移動時間や飛行回数が減り、点検作業をより効率化できる。

一方で、帯広開発建設部管内は上流域に不感地帯が広がっており、LTE通信を利用できない環境も存在しているが、そのような地帯では衛星通信の活用が期待される。衛星通信を活用した取組みとして低軌道衛星とドローンポートを用いて遠隔からドローンを操縦・飛行させる実験が各地で行われている。また、UAVの中には衛星通信を介して操縦が可能な機体も存在する。

通信環境や機体の整備が進むことで、不感地帯での点検作業も更なる効率化が期待される。

(2) 内業の効率化

UAV点検では、内業において撮影写真から変状を探す作業が発生する。現状では写真を拡大して人の目により変状を搜索するため、大きな労力を要する。

また、人の目による変状の判定は作業者の技術力により精度が異なる点が課題となる。

変状の判読作業は、AIを活用することで自動抽出が可能となるほか、自動抽出を行うことで抽出に要する時間が短縮される他、変状の判定精度を均質化することができる。AIによる自動判読は教師データの少なさが課題に挙げられることが多いが、自律飛行により撮影された写真は、点検の度に等しい画角の写真が蓄積されることとなる。蓄積された写真を自動判読の教師データに活用することで、AIによる自動判読の精度向上が期待される。今後はAIを活用した変状抽出の検討を進め、点検における内業の効率化を図っていく。

参考文献

- 1) 水管理・国土保全局DX.“水局DXとは”.国土交通省HP.<https://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/dx/>, (2024.12.13閲覧)
- 2) 国土交通省.“インフラ分野のDXアクションプラン2”.国土交通省HP.
https://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/dx/pdf/DX-actionplan-v2_202308.pdf, (2024.12.13閲覧)
- 3) 北陸地方整備局河川部.“UAVによる砂防施設点検要領(案)”.北陸地方整備局HP.
https://www.hrr.mlit.go.jp/river/sabo_challenge/documents/uav_tekenyouryou.pdf, (2024.12.13閲覧)