

CIMモデルを活用したUAVの自律飛行による 砂防施設の点検調査について

札幌開発建設部 札幌河川事務所 第2工務課 ○ 堤 亮太
近藤 雄一
佐々木 努

近年の建設業では担い手確保・育成に向け、働き方改革と生産性向上のためインフラ分野のDXの取組が推進されており、豊平川の砂防施設においては昨年度よりUAVの自律飛行による点検調査を検討してきた。本稿ではCIMモデルを活用してDID地区や送電線等の支障物、樹木の繁茂や写真の解像度等の制約条件を踏まえ、安全で効率的な飛行ルートを設定し、UAVの自律飛行による点検調査の結果を報告するものである。

キーワード：BIM/CIM、インフラメンテナンス、生産性向上

1. はじめに

豊平川の砂防施設では生産性向上のため昨年度からUAVを用いた自律飛行による点検調査の試行を実施しており、UAV点検の有効性・課題を整理してきた。豊平川流域の課題はDID地区や送電線、樹木の繁茂等の制約条件であり、山間部に位置する砂防堰堤のUAV自律飛行点検よりも安全性を考慮する必要がある。そこで、今回は制約条件が多い箇所でも安全に飛行を行うためにCIMモデルを用いて飛行ルートの作成を試みた。CIMは砂防施設のLPデータを取り込む事ができるため精度の高い飛行ルートの検討が可能である。また、汎用ソフトと併用が可能であるため樹木等の障害物との離隔設定も細かく設定することができることから安全性が向上すると考えた。

本稿では豊平川砂防施設のうち、南の沢川遊砂地、オカバルシ川透過型堰堤、東御料堰堤の3基を対象に検討を行った事例について報告する。

2. CIMモデルの設定概要

図1に検討のフローを示す。

はじめに砂防施設の点群データを整理し、砂防関係施設点検要領（案）¹⁾に基づき、点検に必要な施設の代表点の座標を抽出した。次に、プログラムに座標データや飛行条件（カメラの焦点距離、撮影対象との離隔等）を入力し、基本飛行ルートの飛行諸元（位置座標、撮影位置、カメラ角度等）を作成し、後述する汎用ソフトに飛行諸元をインポートすることで飛行ルートのCIMモデルを作成した。更に、障害物との離隔距離を半径とした

3D球体モデルを撮影ポイントに重ね合わせて作成したCIMモデル上で樹木等の障害物との干渉の確認を行った。最後に、障害物が干渉している事が確認された場合は撮影ポイントを手動で微修正し、安全な飛行ルートを設定した。



図1 机上検討のフロー

3. CIMモデルによる飛行ルート設定

(1) 飛行ルートの考え方

図2に点検における写真撮影の基本的な考え方を示した砂防関係施設点検要領（案）¹⁾を示す。同要領案では、13箇所の撮影ポイントが設定されており、今回はこれを網羅できるUAV飛行ルートとして表1に示す10箇所の撮影ポイントを設定し、従来の点検手法に対応した。

図3に部位撮影における撮影位置の考え方を示す。航空法では第三者や物体に対して30m以上離隔を確保する必要があるため離隔設定を30mとし、対地高度についても30mの離隔を確保する。豊平川流域の砂防施設の堤高は全体平均で10m程度であるため、堤頂からの高度を20m、撮影角度を30度とすると、堰堤までの距離は40m、解像度は7.2mm/pixelとなる。この解像度を基本として、過去の検討にて試行した結果、概括的健全度評価²⁾が可能な解像度であることを確認できたため、解像度7.2mm/pixelを基本としている。なお、一般的に解像度が7.2mm/pixelの場合は7.2mm相当幅のひび割れが確認できると言われているが、光の照射具合などにより変わるため参考値である。

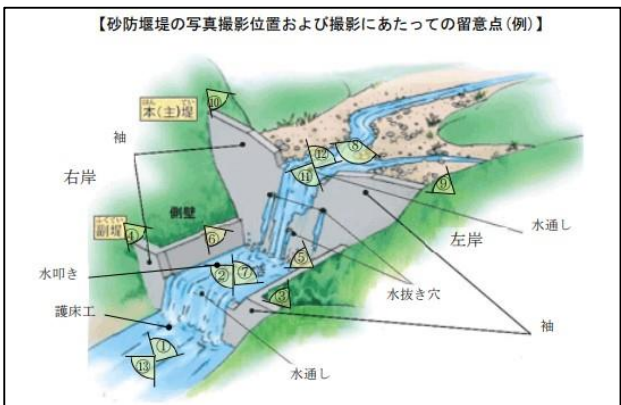


図2 砂防関係施設点検要領（案）¹⁾による撮影ポイント

表1 砂防関係施設点検要領（案）¹⁾における UAV点検撮影ポイントの対比

砂防関係施設点検要領（案）		UAV点検	
番号	撮影位置	番号	撮影アングル
1	副堰堤下流または垂直壁	1	全景下流
2	副堰堤上流	2	全景上流
3	副堰堤左岸袖	3	本堤上流
4	副堰堤右岸袖	4	本堤鉛直
5	左岸側壁	5	左岸側壁
6	右岸側壁	6	右岸側壁
7	主堰堤下流	7	本堤下流側
8	主堰堤上流	8	副堰堤上流側
9	主堰堤左岸袖	9	副堰堤鉛直
10	主堰堤右岸袖	10	副堰堤下流
11	主堰堤水通し		
12	主堰堤水通し		
13	副堰堤下流または垂直壁		

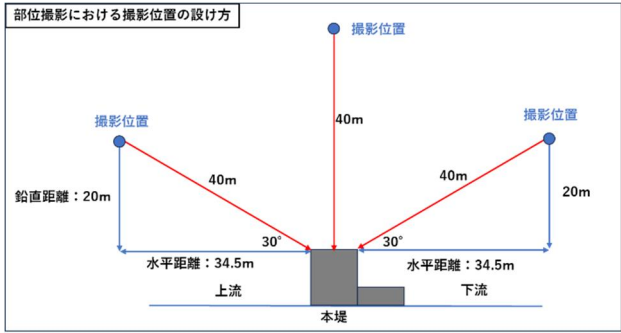


図3 部位撮影における撮影位置の設け方

(2) 飛行ルート検討方法

(1)の考え方を踏まえ、飛行ルートを検討する。一般的に検討方法には、現場で実際に手動飛行を行い飛行した軌跡を記録する方法と、事前に机上検討を行いルートを設定する方法がある。事前検討せずに現場で飛行する方法は操縦者に対し危険が伴う可能性があるため安全性に欠ける。また、豊平川流域では家屋や道路が隣接する砂防施設も多く、操縦者の負担が大きいため不利な点が多い。

一方、CIMモデルを用いて机上検討を行う方法はリスクが少なく安全が確保できる上、砂防施設では座標付きのLPデータを取得している事が一般的であり、LPデータを用いた飛行ルートの検討が可能であるため、CIMモデルによる飛行ルートの検討を実施した。

(3) CIMモデルの設定内容

a)使用ソフト

表2にCIMを用いた飛行ルート検討で使用したソフトを示す。CIMによる検討は一般的な飛行ルート作成ソフトに比べて汎用ソフトを使用して検討できるため対応機種やアプリに制限のある既存のソフトよりも適用性が高いといった利点がある。今回は表2に示すソフトを駆使してCIMモデルの設定を行った。

表2 使用ソフト一覧

ソフト名	用途
TREND POINT ver.11 福井コンピュータ（株）	LPオリジナルデータからの砂防施設および周辺地形の点群データの抽出
ReCap v.25.0 Autodesk社	LP点群データを読み込み、拡張子を.resから.rcpに変換
QGIS ver3.38.0-Grenoble QGIS Development Team	砂防施設の位置確認、及びCSVファイルの位置確認
Visual Studio Code マイクロソフト	コードを入力して、プログラムを生成
Civil 3D ver2024 Autodesk社	飛行ルートの確認及びアドオンツールDynamoによる干渉確認用ビジュアルプログラミングの作成
Nabistics ver2024 Autodesk社	抽出した点群データの統合モデル作成 周辺点群データとの干渉確認

b)使用データ

表3にCIMモデルを作成する際に使用するデータを示す。基図データとして「令和3年度豊平川直轄砂防区域航空レーザ測量業務」のLPオリジナルデータを用い、施設を含む周辺地形の点群を抽出した。また、Geotif画像とLPデータを重ねる事でモデルの着色を行った。LPグラウンドデータはルート作成に必要な施設の代表点抽出の際に使用するため補足データとして使用した。

表3 使用データ一覧

	既往資料	出典	用途
基図データ	LPオリジナルデータ	令和3年度豊平川直轄砂防区域航空レーザ測量業務	今回作成するルートモデルと統合して机上検討を行った。
	Geotif画像	〃	オリジナルデータの点群を着色する。
補助データ	LPグラウンドデータ	〃	ルート検討に必要な砂防施設の代表点を抽出する。

c)LPデータの整理

施設ごとにデータを整理するためLPオリジナルデータ、Geotif画像より地形データを切り取り、グラウンドデータより施設データを切り取った。施設データの点群より、ルート検討に必要な砂防施設の代表点の位置データを図4、図5のように抽出し、CSVファイルで座標の整理を行った。



図4 LPデータ上の代表点

	A	B	C	D
1	基準点	x	y	z
2	水通し中央	-77081.6	-117394	236.69
3	本堤右岸端	-77061.9	-117405	239.59
4	本堤左岸端	-77103.8	-117382	239.59
5	右岸側壁 上流側端	-77073.3	-117396	233.6
6	右岸側壁 下流側端	-77067.5	-117382	233.6
7	左岸側壁 上流側端	-77087.7	-117388	233.6
8	左岸側壁 下流側端	-77081.3	-117376	233.6
9	副堤右岸端	-77067.9	-117384	235.21
10	副堤左岸端	-77083.3	-117380	235.21

図5 CSVファイルのxyz座標

d)プログラムの実行

抽出したCSVファイルをプログラムに入力して暫定の飛行ルートを算出する。プログラムを実行すると、新たにUAV飛行に必要な撮影ポイントの緯度経度情報やカメラ角度、方位角などが自動で計算され、飛行諸元データがCSVファイルにて作成される。プログラムは撮影対象との離隔やカメラの焦点距離を設定できるため、柔軟な飛行ルートの作成が可能である。

また、作成した飛行ルートの飛行諸元を表2の汎用ソフトCivil 3Dにインポートすることで、飛行ルートの3Dモデルを即座に作成することが可能である。

(4) 施設箇所の特徴を踏まえた飛行ルートの微修正

(1)～(3)にて作成した飛行ルートは全施設共通の思考に基づいた飛行ルートであり、周辺構造物などの支障物（樹木、住宅、送電線等）等の施設毎の条件を考慮していない。よって、CIMモデル上で個別に現場条件との整合性を図りルートの修正を行う必要がある。

a)樹木との離隔の考え方

過去の検討により、豊平川流域の砂防施設の多くは樹木が近接している事が分かっている。樹木の離隔の設定値は航空法には規定されていないため、GPSの誤差範囲である5～10mに、風などの現場状況を考慮した余裕分の距離として5mを加えた15mを離隔に設定した。

図6にCIMモデル上の障害物の干渉例を示す。15mの隔離を半径とした球体をCIMモデル上にて作成し、撮影ポイントと重ね合わせることで、樹木等の離隔を視覚的に確認する。樹木や周辺構造物の干渉を確認した際は避けるよう撮影ポイントの微修正を行った。

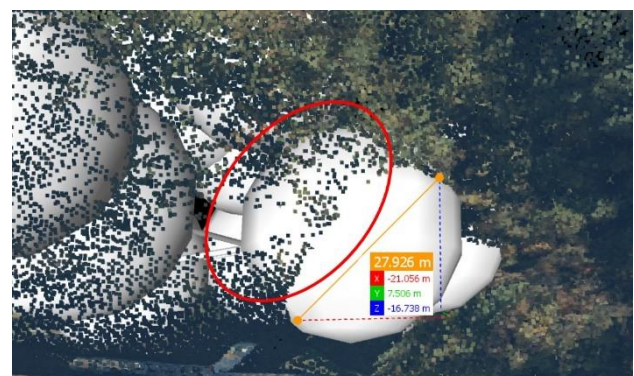


図6 基本ルートにおける樹木の離隔確認

b)その他構造物との離隔の考え方

その他構造物は航空法の規定に基づき、30mの離隔に設定した。なお、離隔の確認方法は樹木と同様に円形モデルで行い、円形モデルの半径を30mに設定した。

(5) 調査対象とする施設の概要

過去の検討において、制約事項がなければUAVが点検に適用可能であることや、施設の全容を大まかに見た状態において、施設が有する機能および性能に対する問題の有無を評価する概括的健全度評価²⁾を行う事は可能であることが分かっている。

本調査では、過去の検討の際に選定した施設と構造の異なる施設でもUAVが適用可能かどうかを確かめるため、オカバルシ川透過型堰堤（流木止め付きの堰堤）（写真1）、南の沢川遊砂地（3施設が連続している施設）（写真2）を選定するとともに、臨時点検を想定して比較的大きな溪流に位置し施設規模も大きい施設として東御料堰堤（写真3）を選定した。



写真1 オカバルシ川透過型堰堤



写真2 南の沢川遊砂地

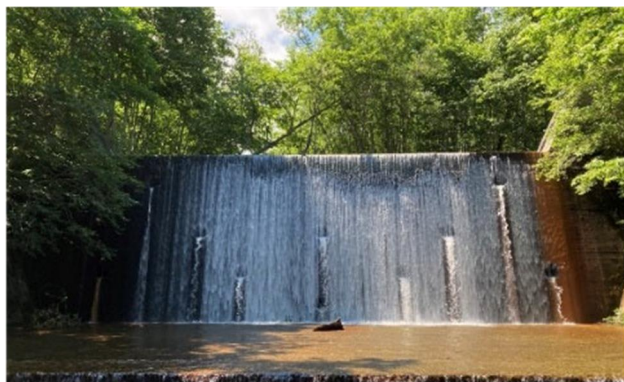


写真3 東御料堰堤

(6) 検討結果

a)オカバルシ川透過型堰堤

図7に飛行ルート上の懸念事項箇所、図8に右岸側樹木の干渉確認箇所を示す。検討結果により右岸に繁茂する樹木の干渉と左岸における私有地上空の飛行が懸念事項であることが分かった。オカバルシ川透過型堰堤では、高度の修正は無く、樹木との干渉や私有地上空の飛行を避けるよう、平面方向での修正をして対応を行った。



図7 オカバルシ川透過型堰堤における懸念事項

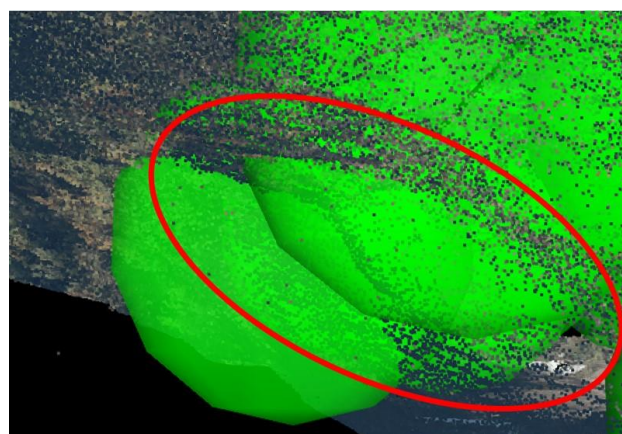


図8 基本ルートにおける右岸側樹木の干渉確認

b)南の沢川遊砂地

CIMモデルの検討により右岸側に繁茂する樹木の干渉と2つの撮影ポイント（第4号床固工_上流全景・流木止工_右岸側壁）における私有地上空及び付近での飛行が懸念事項である事が分かった。図9に特に顕著であった私有地上空及び付近での飛行の上空からの状況を示す。私有地上空の撮影ポイントは平面方向を修正して対応し、円形モデルを用いて樹木との干渉確認を行い、干渉が確認された箇所は高度の修正をして対応を行った。

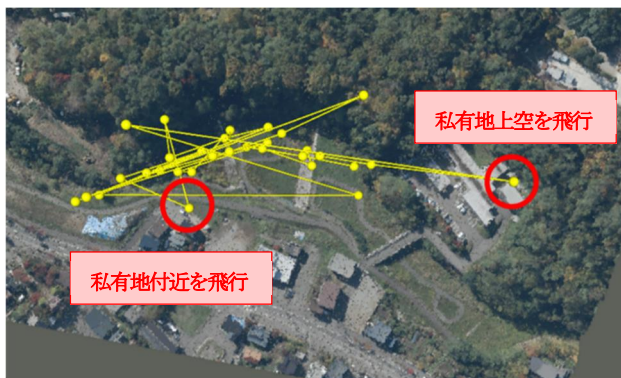


図9 南の沢川遊砂地における懸念事項

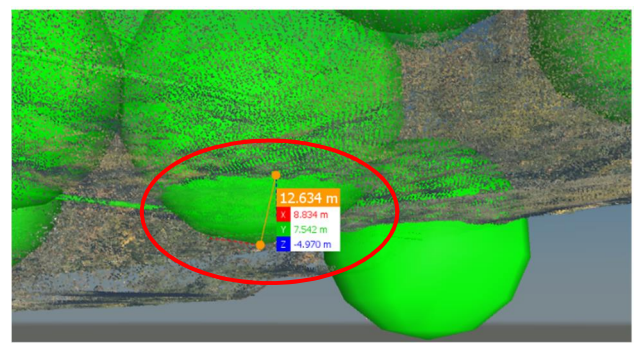


図12 河床面の干渉確認

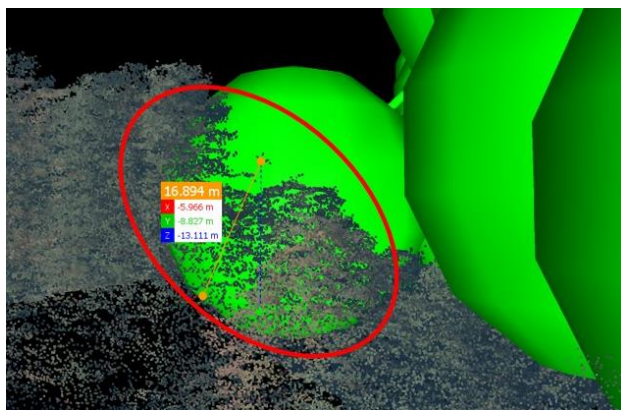


図10 樹木との干渉確認

c)東御料堰堤

CIMモデルの検討により東御料堰堤では堤体周辺に背の高い樹木が繁茂している事が分かった。また、本堤の河道と干渉する撮影ポイントがあることが分かった。図12にCIMモデル上の干渉確認を示す。対地高度を30m設けているため、直径30mの円形モデルで干渉確認を行った。河床面が干渉している撮影ポイントは高度に加え平面方向の修正をして対応を行った。樹木に関しては直径15mの円形モデルにて干渉が確認された撮影ポイントは高さ方向に修正をして対応を行った。



図11 東御料堰堤における懸念事項

4. テストフライト

(1) 使用する機体

今回は小型で高画質カメラを搭載した汎用機体としてMavic 3Eを使用する。重量が1kgと軽量で持ち運びやすく、狭小な場所からの離発着にも対応できる。また、4種類のGNSSに対応しており通信の安定が見込まれる。

(2) テストフライトを行う目的

現在使用しているLPデータは令和3年度のデータであるため、現場条件が変わり、樹木の繁茂やCCTV等の構造物が新たに設置されている可能性がある。そのためCIMモデルで作成する飛行ルートは不確実な要素を残した暫定的なものである。そのためテストフライトにより現地確認を行い、現場条件に合わせた最終飛行ルートを決定する。

(3) テストフライト結果

オカバルシ川透過型堰堤について、CIMモデル上で確認した懸念事項である樹木の干渉と私有地上空の飛行はテストフライト結果から問題は確認されなかった。一部修正事項として、副堤下流側の撮影ポイントにて下流側の護岸が見切れていたため、現場でモニターの写りを確認しながら高度の微修正を行った。



図13 テストフライトによる修正箇所（高度修正）

南の沢川遊砂地についても同様に懸念事項である私有地上空の飛行はテストフライト結果から問題は確認されなかったが、撮影対象が見切れてしまう撮影ポ

イントがあったため高度の微修正を行った。

東御料堰堤では樹木の干渉は避けられたものの、堤体に近接して繁茂する樹木が多いため、撮影対象のほとんどが樹木により隠れている状況であった。写真4に東御料堰堤における樹木の繁茂状況を示す。河道の周辺のみ上空が開けており、視認性が確保できている状況である。これらの樹木については飛行時期を落葉時期に設定することで対応を行った。



写真4 東御料堰堤における樹木繁茂の状況

5. 基本飛行ルートと最終飛行ルートの比較

今回設定した飛行ルートにおいて安全性を確認するためCIMモデルを用いて検討した基本飛行ルートと最終飛行ルートを比較し最大誤差を算出した。表4に、施設ごとの最大誤差の一覧表を示す。最大誤差は東御料堰堤にて約80cmとなっており、今回は樹木との離隔設定を15mとしたため十分に安全が確保されている結果となった。誤差が生じた原因としては通信環境による要因が大部分であり、他の原因としては風などの環境要因と考えられる。

表4 CIMモデルによる飛行ルートと最終飛行ルートの最大誤差一覧

ウェイポイント (撮影対象箇所)		CIMモデルによる飛行諸元 (計画)			本番飛行諸元 (実績)			誤差 (計画-実績の絶対値)		
		平面直角座標 (JGD2011)		標高 (EL.)	平面直角座標 (JGD2011)		標高 (EL.)	X (m)	Y (m)	Z (m)
		X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)			
南の沢川遊砂地	⑤部位撮影-左岸側壁_1	-76562	-112583	170	-76562	-112583	170	0.06	0.19	0.39
	⑬部位撮影-本堤上流側_2	-76550	-112596	171	-76550	-112596	170	0.18	0.07	0.47
	⑯部位撮影-副堤上流側_2	-76537	-112590	170	-76537	-112590	170	0.22	0.02	0.35
最大値								0.22	0.19	0.47
オカバシ川透過型堰堤	①全体撮影-下流	-77050	-117336	278	-77050	-117336	277	0.24	0.50	0.48
	⑤部位撮影-左岸側壁	-77070	-117389	254	-77070	-117389	253	0.06	0.14	0.56
最大値								0.24	0.50	0.56
東御料堰堤	①全体撮影-下流	-80979	-117720	368	-80979	-117721	367	0.16	0.82	0.58
	④部位撮影-本堤上流側02	-81024	-117901	315	-81024	-117901	314	0.06	0.18	0.61
最大値								0.16	0.82	0.61

6. まとめ

表5にCIMを用いた飛行ルート検討の適用性、留意事項、課題を示す。適用性についてはCIMを用いることで

現場条件に合わせた修正が可能かつ簡単である事等が挙げられる。また、今回の検討結果より、表6の最大誤差から樹木の離隔設定15mで安全が確保された事が分かった。

留意事項としては、使用するLPデータの時間経過による点群精度の低下、点群誤差等が挙げられる。UAVレーザ測量の実施時期より時間が経つにつれて樹木の繁茂の状況やCCTV等の構造物の設置など現場条件が変化している可能性がある。UAVレーザ測量の点群誤差もある事から今後机上で飛行ルートを検討する際にも安全のためテストフライトは必須であると考えられる。また、今後UAV点検をより安全性の高いものとするためにUAVの飛行精度に関するデータや山間部の携帯、GPS衛星補足数に関するデータの備蓄が必要と考えられる。

課題としては、今後はより制約条件の多い施設でUAV点検を行うにあたり、制約条件がある事を前提としてCIMを用いたルート検討を行う手法を検討する必要がある事等である。制約事項の一つである樹木繁茂については、樹木の伐採や落葉時期を待つという2つの解消方法があるが、場所やコストの関係より伐採する事が難しい箇所が多い。落葉時期を待つにも砂防施設点検は出水期前に行う事が望ましいため、樹木がある前提で飛行ルートの検討を行う必要があると考えられる。

表5 CIMの適用性、留意事項、課題

適用性
・砂防施設のLPデータを取込可能 ・机上で作成できる ・視覚的に障害物を確認可能 ・基本飛行ルートをすぐに作成 ・現場条件に合わせた修正が簡単 ・樹木の離隔設定15mで十分に安全が確保される
留意事項
・LPデータの時間経過による点群精度の低下 ・LPデータの点群誤差 ・現地による障害物確認 ・定期的なUAVレーザ測量の実施 ・UAVの飛行精度に関するデータ蓄積 ・山間部の携帯、GPS衛星補足数に関するデータ蓄積
課題
・より樹木繁茂等の制約条件が多い施設でUAV点検を行うにあたり制約条件があることを前提としたルート検討が必要 ・今後はレベル3飛行を実施することから、より安全を考慮する必要がある

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部保全課：砂防関係施設点検要領(案)，2022.3
- 2) 北陸地方整備局：UAVによる砂防関係施設点検要領(案)，2020.3