

鋼製砂防堰堤を対象とした UAVを活用した点検計画の立案について —UAV点検と目視点検を組合せた点検方法の最適化—

室蘭開発建設部 苫小牧砂防海岸事務所 ○上原 玲音
岩田 清徳
八千代エンジニアリング株式会社 横尾 公博

砂防施設はその健全度を評価し、長寿命化を図るための点検が必要不可欠である。樽前山では令和4年度より、点検の省力化・高度化を目的に全14基の砂防施設でUAVとSfM解析を活用した点検調査を試行してきた。試行の結果、UAV点検と目視点検の比較では、植生や日照影響等の課題が抽出された。本稿では、それらの課題を踏まえて、砂防施設の点検を合理的かつ効果的に実施するための点検計画を立案した検討事例を報告する。

キーワード：長寿命化、インフラメンテナンス、3次元モデル、生産性向上

1. はじめに

樽前山直轄火山砂防事業では、鋼材と中詰め材を用いた鋼製セル型砂防堰堤や鋼製ダブルウォール（DW）型砂防堰堤の整備を進めている。このような砂防施設は、火山噴火、土石流及び地震などの外的要因による損傷や経年劣化が生じることから、点検や現地確認によって施設状況を適確に把握し、求められる機能や性能を長期にわたって維持・確保といったインフラメンテナンスを実施していく必要がある。「砂防関係施設点検要領（案）令和4年3月」（以下、点検要領と記載）では、実施時期や状況による点検種別が区分されており、砂防施設の点検の種類は定期点検、臨時点検、詳細点検から構成される。このうち、長寿命化計画策定を目的とした、経年的な砂防施設の機能及び性能の低下状況を把握するための調査としては、定期点検が該当する。点検要領によれば、定期点検の実施方法として目視点検もしくはUAV点検によるものが基本とされている。

樽前山直轄火山砂防事業における既存砂防施設（以下、直轄砂防施設）では、平成27年度から目視調査による定期点検が実施しており、点検結果に基づいて変状レベルや健全度を評価してきた。さらに、令和4年度からは定期点検の省力化や高度化といった生産性向上を図るため、目視点検の代替または補助手段としてUAV点検を試行してきた。

本稿では、直轄砂防施設14基を対象としたUAV点検結果を総括するとともに、UAV点検と目視点検を組合せた定期点検計画の検討結果について報告する。

2. 対象砂防施設の概要

令和6年度現在において樽前山直轄火山砂防事業区域内の砂防施設は14基が完成している（表-1）。主な構造型式は鋼製砂防堰堤型式であり、14基中13基と大部分を占めている。型式は、鋼製セル型砂防堰堤、鋼製ダブルウォール（DW）型砂防堰堤、鋼製透過型砂防堰堤が整備されている。また異なる土堰堤型式の苫小牧川遊砂地は堤頂長が1kmを超えており、点検すべき箇所が多くなっている。本報告では、従前の目視点検に要する長時間作業の課題に対し、UAV点検と目視点検を組合せた定期点検計画を検討した。



写真-1 土堰堤（苫小牧川遊砂地）



写真-2 鋼製セル型砂防堰堤（錦多峰川2号遊砂地）



写真-3 鋼製セル+DW 型砂防堰堤（小泉の沢川遊砂地）



写真-4 鋼製DW砂防堰堤（小泉の沢川1号砂防堰堤）



写真-5 鋼製透過型砂防堰堤
（小泉の沢川左支川流木捕捉工）

3. UAV自律飛行を用いた点検概要

(1) UAV点検に用いる機種及び点検手法

UAV点検は、目視点検との比較の際に機種やカメラ性能による点検精度への影響をなくすため、全ての検討対象施設に対して同一の機種「Matrice 300 RTK」（表-2）を用いてUAV点検を行った。

上記機種を用いて、樽前山直轄火山砂防事業区域内の砂防施設14基を対象としたUAV自律飛行による点検調査を実施した。UAVによる点検は、写真測量技術（SfM解析：重複した画像を用いた3次元モデル化技術）による3次元モデル化（図-2）を行い、目視による定期点検結果との比較を行ったうえで課題を抽出し、UAVによる定期点検の適用性を評価するものとした。

(2) UAV撮影方法

3次元モデルの精度はUAVによる空撮画像の解像度によって定まり、解像度は対地高度とカメラセンサーサイズの影響を受ける。空撮画像は砂防施設に近接すればするほど高解像となるため、詳細な変状箇所も把握可能となる一方で、①撮影範囲が狭くなり往復回数が増加する

ことでバッテリー交換が頻繁となること、②堰堤本体や樹木等の支障物に接触する危険性が増大することも懸念される。本調査は、樹木や植生等の繁茂状況を踏まえ、UAVが安全に飛行できることを前提としつつ、3次元モデルを高精度で作成するため、できる限り施設に近い対地高度・撮影角度にて空撮を行った（図-1）。

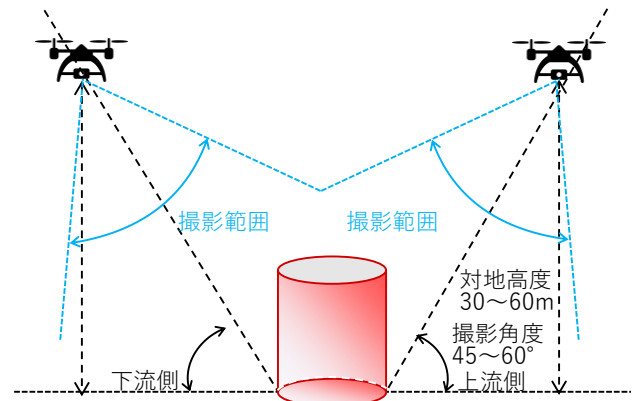


図-1 撮影方法

表-1 砂防施設一覧表

施設名 (構造型式)	堰堤長	堰堤高	竣工年度
覚生川3号遊砂地 (鋼製セル+DW)	480.1m	14.5m	H14
錦多峰川2号遊砂地 (鋼製セル+DW)	570.5m	14.5m	H17
有珠川砂防堰堤 (鋼製セル+DW)	187.5m	6.5m	H19
小糸魚川遊砂地 (鋼製セル+DW)	176.6m	6.0m	H21
小糸魚川砂防堰堤 (鋼製DW)	45.9m	4.5m	H21
小泉の沢川遊砂地 (鋼製セル+DW)	95.1m	5.0m	H22
小泉の沢川1号砂防堰堤 (鋼製DW)	76.5m	4.5m	H22
覚生川1号砂防堰堤 (鋼製セル)	342.6m	14.5m	H27
苦小牧川遊砂地 (土堰堤)	1074.0m	3.0m	H28
覚生川2号砂防堰堤 (鋼製セル)	234.0m	14.5m	H29
小泉の沢川左支川流木捕捉工 (鋼製流木捕捉工)	42.5m	3.5m	R1
小糸魚川流木捕捉工 (鋼製流木捕捉工)	110.0m	8.5m	R3
熊の沢川2号砂防堰堤 (鋼製セル)	244.2m	14.5m	R4
覚生川3号砂防堰堤 (鋼製セル)	235.4m	14.5m	R4

表-2 使用機器詳細

機種名		Matrice 300 RTK
写真		
	種別	
機体仕様	マルチコプター	
	重量	6300g
	最大積載量	2.7kg
	プロペラ枚数	4枚
	展開時寸法 (長さ×幅×高さ)	810×670×430mm
	対角線長・翼幅	895mm
	最大飛行速度	17.0m/s
	運用限界高度(海拔)	7000m
自律飛行可否		可
LTE通信使用可否		可
GNSS	使用衛星	GPS+Galileo+BeiDou+GLONASS
	機種名	ZENMUSE P1
	センサーサイズ	フルサイズ
	有効画素数	4500万画素
ジンバル		-
本体バッテリー	容量	5935mAh
	飛行時間	55分
航続可能距離		39.27km



図-2 UAVによる撮影方法のイメージと3次元モデル

(3) SfM解析による3次元モデルの作成

UAV自律飛行による空撮データを用いて、図-3～16に示すような3次元モデルを作成した。なお、本稿では、Agisoft MetashapeにてSfM解析を実施した。



図-3 覚生川3号遊砂地:3次元モデル



図-4 錦多峰川2号遊砂地:3次元モデル



図-5 有珠川砂防堰堤:3次元モデル



図-6 小糸魚川遊砂地3次元モデル(落葉期)



図-7 小糸魚川砂防堰堤:3次元モデル

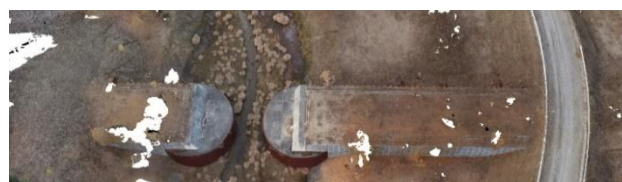


図-8 小泉の沢川遊砂地:3次元モデル



図-9 小泉の沢川1号砂防堰堤:3次元モデル



図-10 覚生川1号砂防堰堤:3次元モデル



図-11 苦小牧川遊砂地:3次元モデル(上 右岸、下 左岸)



図-12 覚生川2号砂防堰堤:3次元モデル



図-13 小泉の沢川左支流流木捕捉工 :3次元モデル



図-14 小糸魚川流木捕捉工:3次元モデル



図-15 熊の沢川 2 号砂防堰堤:3次元モデル



図-16 覚生川 3 号砂防堰堤:3次元モデル

4. 目視点検との比較検討

(1) 重要点検箇所の抽出

鋼製砂防構造物は壁面材や中詰め材、天端コンクリート等、多数の部位から構成されるため、点検項目が多岐にわたる。また、苦小牧川遊砂地においても同様に点検すべき箇所は多岐に渡る。このため、点検項目の重要度に着目し、部位の変状の進行過程と健全度評価の関係より、砂防施設の機能及び性能の低下に直結すると考えられる点検項目を重要点検箇所として抽出することとした。

重要点検箇所として、壁面材の「摩耗・腐食」「破損」「継手の開き」「吸出し防止材の変状」、前庭部（護床ブロック）の「流出」「沈下」、水通し部の鋼管の「変形・破損」、土堰堤の袖天端の「陥没・侵食」、本体法面の「陥没・侵食」を抽出した。また、点検項目の重要度によらず、従前の目視点検により要対策段階である変状レベルcと評価された変状についても重要点検箇所と位置付けることとした。

(2) 重要点検箇所に着目した比較結果

今回のUAV点検結果から作成した3次元モデルより、従前の目視点検による点検調査票と同アングルの画像データを抽出し、各点検項目について比較・検証した。表-3は目視点検による確認箇所数を基準とし、UAVによる確認可能箇所数を整理したものである。すなわち、表-3の値が目視点検数に近いほどUAVが目視点検と同等の精度を得られたといえる。また、精度が低下した項目については、原因を色別に整理した。なお、令和4年度に実施した覚生川1号及び2号砂防堰堤、熊の沢川2号砂防堰堤は落葉期の調査のみ、かつ、日照の影響によりUAV点検の精度が低い結果であったため、今後、曇天条件でのUAV点検を実施して精度の確認を行う予定である。

a) 比較結果①（鋼製砂防堰堤：壁面材）

着葉期と落葉期の3次元モデルを比較すると、可視範囲に差が認められ、落葉期では視認性はやや改善されるものの、目視点検の全項目を網羅するには至らなかった。壁面材の近傍に植生が繁茂しているため、UAVを用いた施設点検には、壁面材周辺の植生を伐採する必要がある。錦多峰川2号遊砂地、覚生川3号遊砂地、有珠川砂防堰堤、小糸魚川砂防堰堤では、天端や壁面材近傍に植生が極めて密に繁茂しているため、UAV点検での視認性は特に低い結果であった。

b)比較結果②（鋼製砂防堰堤：前庭部）

着葉期、落葉期ともに前庭部の点検項目について UAV点検で確認可能であった。なお、錦多峰川2号遊砂地、覚生川3号遊砂地の前庭部は、覆土されており目視においても確認できない。

c)比較結果③（土堰堤：鋼管）

着葉期、落葉期ともに表面が平滑でなく、空間の表現が捉えられないため、鋼管の3次元モデル化が困難であり、UAV点検では変状が確認できなかった。

d)比較結果④（土堰堤：天端・法面）

着葉期、落葉期ともに天端や法面の陥没・侵食について、UAV点検で確認可能であった。

e)比較結果⑤（その他点検項目）

周辺の法面については、比較的新しい小糸魚川流木捕捉工や小泉の沢川左支流流木捕捉工を除き、植生の影響による精度低下が認められた。また、苦小牧川遊砂地、小糸魚川遊砂地、小糸魚川砂防堰堤、小糸魚川流木捕捉工では水面やスリット等の狭窄部の3次元モデル化が困難であることによる精度低下も明らかとなった。3次元モデルは砂防施設を対象として作成していることから、取付河道部はモデル化の範囲外としたことで、モデル化範囲による確認不可箇所も認められた。

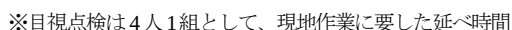
表-3 点検項目の比較結果一覧

凡例：主な評価箇所の減少理由 ：課題なし ：植生 ：影（日照） ：水面下 ：モデル化精度・撮影角度 ：撮影範囲外・モデル化範囲外 ：スリット等狭所部 ：点検対象外 評価例 目標点検数 ⑩ ←目標による評価項目数 RS. 7月 目標履行 ④ ←UAV点検による評価項目数 RS. 11月 目標履行 ④ ※4項目が確認可能 ※橋生の影響で6項目が確認不可			重要点検箇所								その他点検項目																
			鋼製砂防堰堤				土堰堤																				
			壁面材		前庭部		鋼管	天端	法面																		
			摩耗・腐食	破損	継手の開き	吸出し防止材の変状	流出	沈下	変形・欠損	陥没・侵食	陥没・侵食	変状	周辺の法面	変状	護岸	洗掘	河道	土砂堆積	腐食・損傷	安全対策施設	維持管理用変状	道路法面変状	維持管理用変状	護持管理用変状	摩耗	土砂堆積	魚道
施設名 （施設の種類）	調査 時期	点検 方法																									
苦小牧川遊砂地 （土堰堤）	目視								3	32	22	2	4	5	5		2										
	着葉期	UAV							0	32	21	2	3	3	3		1										
	落葉期	UAV							0	32	21	2	3	3	3		1										
有珠川砂防堰堤（鋼製セル+DW型砂防堰堤）	目視		8	8	6							4	3	4	4	2	4										
	着葉期	UAV	0	0	0							0	0	2	2	0	0										
	落葉期	UAV	0	0	0							0	1	3	3	0	0										
錦多峰川2号遊砂地（鋼製セル+DW型砂防堰堤）	目視		21	21	21		0	0				2		4	4	2	2					1	1				
	着葉期	UAV	2	2	2		0	0				0		0	0	0	0					0	0				
	落葉期	UAV	2	2	2		0	0				0		1	1	0	0					0	0				
覚生川3号遊砂地（鋼製セル+DW型砂防堰堤）	目視		12	12	12		0	0				11	0	7	7	2	2										
	着葉期	UAV	1	1	1		0	0				2	0	0	0	0	0										
	落葉期	UAV	3	3	3		0	0				2	0	5	5	1	0	0									
覚生川3号砂防堰堤（鋼製セル型砂防堰堤）	目視		18	18	18		2	2				8		11	11	0	4	2									
	着葉期	UAV	10	10	10		0	0				7		8	8	0	2	2									
	落葉期	UAV	10	10	10		2	2				8		8	8	0	4	2									
小糸魚川遊砂地（鋼製セル+DW型砂防堰堤）	目視		10	10	4	6						6	4	6	6	1	3										
	着葉期	UAV	4	4	1	3						1	2	1	1	0	3										
	落葉期	UAV	4	4	1	3						1	3	2	2	0	3										
小糸魚川砂防堰堤（鋼製DW型砂防堰堤）	目視		8	8	4	4	1	1				7		5	5		0										
	着葉期	UAV	0	0	0	0	1	1				1		3	3		0										
	落葉期	UAV	2	2	2	0	1	1				1		4	4		0										
小糸魚川流木捕捉工（鋼製流木捕捉工）	目視											12		6	6		0										
	着葉期	UAV										11		3	3		0										
	落葉期	UAV										11		4	4		0										
小泉の沢川遊砂地（鋼製セル+DW型砂防堰堤）	目視		15	15	6	9						7	2	4	4		3										
	着葉期	UAV	7	7	2	5						4	1	4	4		3										
	落葉期	UAV	11	11	4	7						6	2	4	4		3										
小泉の沢川1号砂防堰堤（鋼製DW型砂防堰堤）	目視		6	6	4	2						6		4	4	2	0										
	着葉期	UAV	3	3	2	1						0		2	2	0	0										
	落葉期	UAV	6	6	4	2						4		4	4	0	0										
小泉の沢川左支流流木捕捉工（鋼製流木捕捉工）	目視											6		8	8		4										
	着葉期	UAV										6		8	8		4										
	落葉期	UAV										6		8	8		4										
覚生川1号砂防堰堤（鋼製セル型砂防堰堤）	目視		5	5	5		2	2				8		6	6	0	1	0									
	着葉期	UAV	0	0	0		1	1				7		2	2	0	1	0									
	落葉期	UAV	8	8	8		1	1				6		12	12	3	0	0									
覚生川2号砂防堰堤（鋼製セル型砂防堰堤）	目視		6	6	6							4		4	4	2	0	0									
	着葉期	UAV	7	7	7		2	2				11		9	9	2	2	0									
	落葉期	UAV	0	0	0		2	2				9		2	2	2	2	0									

(1) UAV点検を併用した点検計画の効率化検証

目視点検のみと、UAV 点検を併用した場合の現地作業時間を比較した結果を図-17 に示す。このように多くの施設で現地作業時間の短縮が図ることが可能となる。

施設名	重要点検 箇所数 (箇所)	重要点検箇所の点検手法 (箇所 (％))	
		UAV点検数	目視点検数
覚生川3号遊砂地	12	3 (25%)	9 (75%)
錦多峰川2号遊砂地	15	1 (7%)	14 (93%)
有珠川砂防堰堤	8	0 (0%)	8 (100%)
小糸魚川遊砂地	10	4 (40%)	6 (60%)
小糸魚川砂防堰堤	8	3 (38%)	5 (63%)
小泉の沢川遊砂地	16	12 (75%)	4 (25%)
小泉の沢川1号砂防堰堤	5	5 (100%)	0 (0%)
小泉の沢川左支川流木捕捉工	1	0 (0%)	1 (100%)
覚生川1号砂防堰堤	14	5 (36%)	9 (64%)
苫小牧川遊砂地	59	56 (95%)	3 (5%)
覚生川2号砂防堰堤	10	7 (70%)	3 (30%)
熊の沢川2号砂防堰堤	13	2 (15%)	11 (85%)
覚生川3号砂防堰堤	12	8 (67%)	4 (33%)
小糸魚川流木捕捉工	1	0 (0%)	1 (100%)



(2) 今後の定期点検計画の立案

以上を踏まえ、本事業区域における点検方法は表-5のとおりとした。なお、今後の変状レベル、植生の繁茂状況や UAV の機体や解析ソフトの精度向上も見込まれるため、点検方法については適宜見直しを図る。

施設名称	構造型式	備考
苫小牧川遊砂地	土堰堤	UAV 点検と目視点検を併用して、変状レベルを評価する砂防施設
小糸魚川遊砂地	セル＋DW	
小糸魚川砂防堰堤	DW	
小糸魚川の沢川遊砂地	セル＋DW	
小糸魚川の沢川 1 号砂防堰堤	DW	
覚生川 1 号砂防堰堤	セル	
覚生川 2 号砂防堰堤	セル	
覚生川 3 号砂防堰堤	セル	
熊の沢川 2 号砂防堰堤	セル	樹木影響が大きく、目視点検のみ
覚生川 3 号遊砂地	セル＋DW	
錦多峰川 2 号遊砂地	セル＋DW	
有珠川砂防堰堤	セル＋DW	鋼製部材は UAV 点検困難であり、目視点検のみ
小糸魚川の沢川左支川 流木捕捉工	流木捕捉工	
小糸魚川流木捕捉工	流木捕捉工	

過年度から今年度にかけて実施したUAVを用いた施設点検の試行結果を総括して、UAV点検と目視点検を組合せた定期点検計画を立案した。UAV点検を併用することで、大幅に現地作業時間を短縮可能な砂防施設も認められる一方、全ての砂防施設で効率化が図れる結果とはならなかった。今後は、本報告の定期点検計画を具体的に運用し、PDCAサイクルによって、より合理的かつ高度な点検計画を立案し、砂防施設の防災機能の維持に資する検討を実施したいと考える。