

樽前山における砂防設備を対象としたUAVを活用した点検の実施及び今後の活用策について —UAV点検と目視点検を組合せた点検とさらなる高度化—

室蘭開発建設部 苫小牧砂防海岸事務所 計画課 ○齋藤 学斗
栗原 章成
八千代エンジニアリング株式会社 橫尾 公博

砂防設備の長寿命化を図るために、定期的な点検と健全度評価が不可欠である。樽前山では、令和7年度から点検の省力化・高度化を目的として、UAVによるSfM解析を活用しており、目視調査を併用した定期点検を実施している。本稿では、UAVと目視を併用した定期点検結果、及びUAV-LPによる点群データの差分解析を用いて面的な変状を適確かつ容易に評価することで点検の高度化を検討した結果について報告する。

キーワード：砂防設備点検、UAV、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は平成6年に着手し火山噴火に伴う泥流を抑制し、被害を軽減することを目的として、事業を推進している。これまでに整備した既設の砂防堰堤は、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、土堰堤で整備を行ってきた。このような砂防設備は、火山噴火及び土石流、地震などの外的要因による変状や経年劣化が生じることから、点検によって設備の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していく必要がある。「砂防関係施設点検要領（案）令和7年4月」

（以下点検要領という）では、実施時期や状況により点検の種類が区分されており、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、経年的な砂防設備の機能及び性能の現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設備（以下直轄砂防設備という）では、平成27年度から目視による定期点検を実施しており、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、令和7年度よりUAVと目視を併用した定期点検を実施している。

本稿では、UAV自律飛行を用いた点検概要並びに樽

前山直轄火山砂防事業における砂防堰堤12基を対象としたUAVと目視を併用した定期点検結果、及び苫小牧川遊砂地の土堰堤を対象として実施した、SfM解析とLPデータを用いた変状把握の高度化検討結果について報告する。

2. 対象砂防設備の概要

令和7年度末において樽前山直轄火山砂防事業の砂防堰堤は12基完成している（表-1）。主な構造型式は鋼製砂防堰堤型式であり、12基中11基と大部分を占め、1基は土堰堤型式（苫小牧川遊砂地）である。（写真-1）鋼製砂防堰堤の型式は、鋼製セル型砂防堰堤、鋼製ダブルウォール（DW）型砂防堰堤が整備されている。（写真-2～4）



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)

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、全ての検討対象設備に対して既往点検と同一の「Matrice 300 RTK」を用いて UAV 点検を行った。上記機種を用いて、点検を実施するのは樽前山直轄火山砂防事業の砂防設備 12 基のうち、過年度までの試行点検によって有用性が確認されている 9 基とし、残りの 3 基については目視のみとした (表-1)。UAV 点検手法は、空撮画像から写真測量技術 (SfM 解析 : Structure From Motion) による 3 次元モデル化を行い、机上にて変状レベルを確認した。

(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。空撮画像は砂防設備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)。

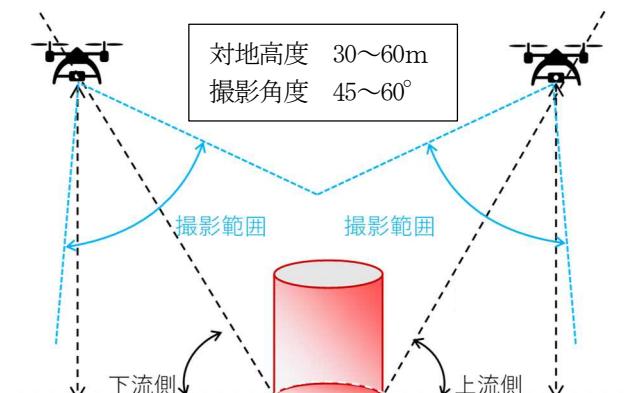


図-1 撮影方法

表-1 砂防施設一覧表

手法	施設名 (構造型式)	堰堤長	堰堤高	竣工 年度
U A V ・ 目 視 (併 用)	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)	1074m	3.0m	H28
	覚生川2号砂防堰堤 (鋼製セル)	234.0m	14.5m	H29
	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
目 視	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

(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、3次元モデルを作成した代表箇所を図-2～7に示す。なお、本稿では、Agisoft MetashapeにてSfM解析を実施した。



図-2 小糸魚川遊砂地:3次元モデル



図-3 小糸魚川砂防堰堤:3次元モデル



図-4 小泉の沢川遊砂地:3次元モデル



図-4 小泉の沢川1号砂防堰堤:3次元モデル



図-5 覚生川1号砂防堰堤:3次元モデル

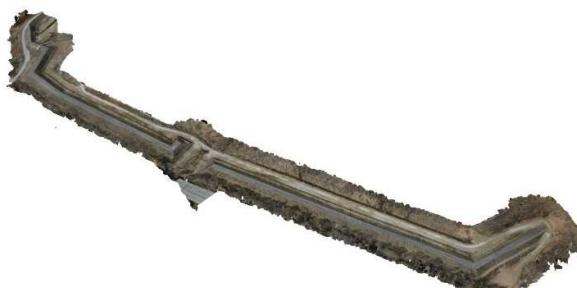


図-6 苛小牧川遊砂地:3次元モデル

4. 定期点検結果

(1) 調査手法毎の点検箇所数

UAV点検は、樹木に覆われている部位もあり、堰堤の全点検項目をUAVによって点検することは困難である。このため、UAV点検を先行して実施し、植生等による評価困難箇所を目視にて補足調査することとした。

点検項目毎のUAVと目視の点検箇所数を表-2に示す。なお、UAV点検は着葉期(8月)と落葉期(11月)の2時期で実施した。

表-2 UAV及び目視の点検箇所数

施設名	R7年度定期点検		
	重点点検 箇所数 (箇所)	重点点検箇所※の 点検手法(箇所(%))	
		UAV点検数	目視点検数
小糸魚川遊砂地	10	6 (60%)	4 (40%)
小糸魚川砂防堰堤	9	3 (33%)	6 (67%)
小泉の沢川遊砂地	16	11 (69%)	5 (31%)
小泉の沢川1号砂防堰堤	5	2 (40%)	3 (60%)
覚生川1号砂防堰堤	16	6 (38%)	10 (63%)
苛小牧川遊砂地	70	67 (96%)	3 (4%)
覚生川2号砂防堰堤	10	7 (70%)	3 (30%)
熊の沢川2号砂防堰堤	14	7 (50%)	7 (50%)
覚生川3号砂防堰堤	12	8 (67%)	4 (33%)
覚生川3号遊砂地	12	0 (0%)	12 (100%)
錦多峰川2号遊砂地	15	0 (0%)	15 (100%)
有珠川砂防堰堤	8	0 (0%)	8 (100%)

※施設の機能・性能の喪失に直結する重要度の高い点検項目

(2) 定期点検結果

a) 変状状況の確認結果

UAVによる3次元モデル及び目視点検結果から、各部位の変状を確認した。代表箇所として、苛小牧川遊砂地、覚生川1号砂防堰堤、覚生川3号遊砂地の3基について述べる。これらのうち、苛小牧川遊砂地の変状レベルは、UAVのみで評価したものであり、UAV点検の有用性が示唆される結果となった。各変状の概要を次に示す。

【苦小牧川遊砂地】

苦小牧川遊砂地は、本体法面と天端において変状が確認された。（図-8）当該施設は、堤頂長が1kmを超える大規模な土堰堤であり、点検箇所のほとんど（約95%）をUAVによって点検可能であった。UAV点検の結果、法面の変状を広範囲にわたり正確に把握することができたことから、大規模な土堰堤におけるUAV点検の有用性が高いことが明らかとなった。



図-7 苦小牧川遊砂地における法面の変状（UAVによる3次元モデルの評価）

【覚生川1号砂防堰堤】

覚生川1号砂防堰堤では、一部の袖部セルの天端コンクリートについて、設計上の必要高さは確保しているものの、沈下が確認された。（写真-5）当該箇所はUAV点検の対象範囲であったが、過年度と比較して植生が繁茂していたため、3次元モデルでの変状把握が困難であった。このため、目視による補足調査を実施して変状レベルを評価した。このことから、UAV点検においては、植生の影響により判断が難しい箇所が生じる可能性があり、目視点検による補足が不可欠であることが再確認された。



写真-5 覚生川1号砂防堰堤における沈下（UAV・目視で評価）

【覚生川3号遊砂地】

覚生川3号遊砂地は、安全対策施設の破損が確認された。（写真-6）当該砂防設備は、周囲のほとんどが植生で覆われており、UAV点検によって変状レベル評価を行うことが困難であったため、目視のみでの点検を実施した。このように樹木の影響が大きい施設については、目視による点検が主体となる。



写真-6 覚生川3号遊砂地における安全柵の破損（目視による評価）

b)着葉期と落葉期の比較

着葉期と落葉期の3次元モデルを比較したところ、モデル視認性が向上したことでUAV点検箇所数が増加したため、モデル精度が高くなったといえる。一方、落葉期のUAV調査によって全ての点検箇所を網羅することや健全度評価を行うことは困難であることが明らかとなつた。

5. UAVによる設備点検の高度化検討

苦小牧川遊砂地の土堰堤は、点検箇所のほとんどがUAVにより点検可能でありさらなる高度化が期待できることから、変状を面的かつ定量的に適確に把握するための試行調査を行つた。

(1) UAV位置精度の試行

苦小牧川遊砂地（土堰堤）を対象として、UAV点検の高度化と変状把握の定量化を図るために、SfM解析における位置情報取得手法の違いが3次元モデルの精度に与える影響について試行した。

本稿では、以下の4案を用いてSfM解析による3次元モデルから点群データを作成し、令和元年度の航空レーザ計測（R1-LP）や令和7年度のUAVレーザ計測（R7-LP）との重ね合わせによる精度検証を実施した。

a) 試行方法

案1：未補正（GNSS単独測位） UAV搭載のGNSS受信機による単独測位情報のみを用いてモデルを作成する手法。作業効率には優れるが、数メートル単位で位置の誤差が含まれる可能性がある。

案2：GCP（地上標定点）補正 計測範囲内に設置したGCP（Ground Control Point）の座標値を用いてモデルの位置補正を行う手法。高い精度が期待できる一方、施設規模が大きい場合、設置・測量に多くの時間と労力を要する。

案3：BM（既存構造物）補正 GCPを設置する代わりに、計測範囲内の不動点（既存構造物の角など）をBM（Bench Mark）として利用し補正を行う手法。既存構造物を活用することで、現場作業の省力化を図ることが可能である。

案4 : QZSS（準天頂衛星）測位 準天頂衛星システム（みちびき）に対応した基地局を用いて、撮影位置情報そのものを高精度化する。標定点の設置が不要で即時性に優れる。

b) 検討結果

作成した各3次元モデルから苫小牧川遊砂地の縦断図を作成し、R7-LPと比較した結果、以下の傾向が確認された。「案1（未補正）」では、R7-LPと比較して全体的に下方へ大きく乖離（最大約2m）しており、絶対的な位置精度が低く、経年変化の定量的な評価には適さないことが確認された。一方、位置補正を行った「案2（GCP）」、「案3（BM）」、「案4（QZSS）」では、案1と比較して大幅な精度向上が認められた。しかしながら、施設の平面線形が変化する箇所（NO.47付近）においては、実際の変状は発生していないものの、R7-LPに対して30cm～40cm程度の標高差（沈下傾向）が生じており、SfMモデルに歪みが生じたことで、地盤高を適確に評価できていない。（図-9,10）これに対し、UAV-LP（R7-LP）は、植生等の影響を受けにくく、モデルの歪みも生じないため、地盤高を正確に捉えており、R1-LPと比較しても高い整合性を示した。（図-10）

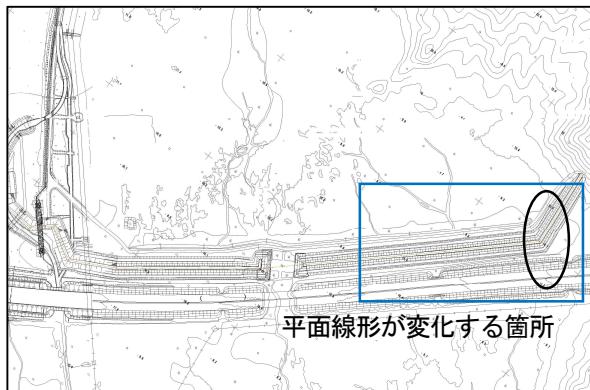


図-9 平面図（青枠：SP640～SP1000）

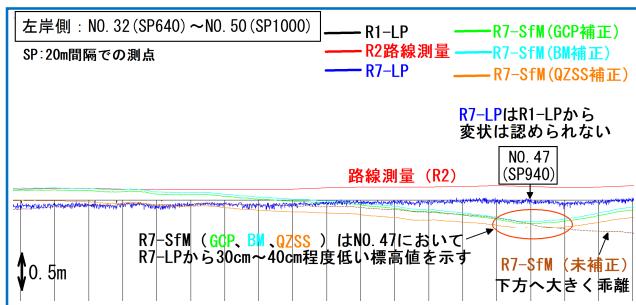


図-10 縦断図（SP40～SP400）

以上の結果より、SfM解析による点検は、補正を行うことで一定の精度を確保できるものの、詳細な変状把握にはモデルの歪みに留意する必要があることが明らかとなった。案1～案4のうち、「案2（GCP）」は、補正点

近傍において UAV-LP と同等程度の高い精度が確保されていた。この知見を踏まえ、次節では、UAV空撮画像を用いた差分解析（GCP補正）による面的な変状把握の試行結果について述べる。

(2) UAV空撮画像に基づく差分解析

令和7年9月20-21日にかけて苫小牧観測所（気象庁）において10年確率規模の降雨が発生した。この降雨による変状進行を確認するため、SfM解析により作成した「着葉期（8月）」と「落葉期（11月）」の3次元モデルを用いて差分解析を実施した。なお、位置精度を向上させるため、GCP(Ground control point)を苫小牧川遊砂地周辺に5地点設置した。解析の結果、SP50～SP100付近の堤体上流面において、降雨の影響による変状の拡大・進行が再現可能であることが確認され、（図-11）これは目視による現地状況とも一致していた。一方、位置補正を行わなかった場合での3次元モデルとの差分解析を行ったが、変状を適確に把握することはできなかった。

以上より、UAV空撮画像を用いたSfM解析による差分解析の場合、GCP等の適切な位置補正を行えば、時系列での面的な変状把握に活用できる可能性が示唆された。ただし、異なるデータ取得手法（例：LPデータとSfMデータ）間で差分解析を行った場合には、SfMモデル特有の歪みに起因して、現地状況と整合しない変状が表示されるケースが確認された。（図-12）

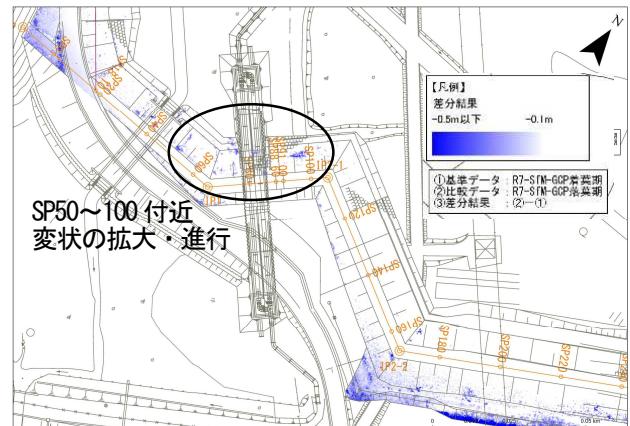


図-11 R7SfM-GCP の2時期差分（SP20～SP220）
(調査時期：着葉期：R7.8月、落葉期：R7.11月)

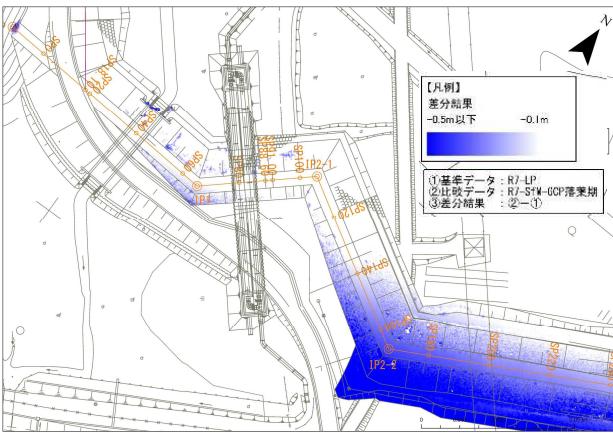


図-12 R7-LP と R7-SfM-GCP の差分 (SP20～SP220)

(調査時期 : R7-LP と R7-SfM-GCP ともに R7. 8月)

(3) UAV-LPによる差分解析

苦小牧川遊砂地の土堰堤において、経年的な変状を面的に把握するため、R1-LP と R7-LP の点群データを用いて差分解析を実施した。解析に際しては、点群密度を踏まえてメッシュサイズを 0.25m とした。解析の結果、目視点検で確認されていた SP60 付近の上流面における縦侵食（深さ 0.5m 程度の拡大）が、LP 差分結果においても明瞭に確認された。また、SP180 付近では、天端から上流面にかけて一様に 10cm 程度の変状（沈下）が発生している状況が定量的に把握できた。（図-13）一方で、SP870 付近で目視確認された小規模な陥没（0.4m×0.2m 程度）については、差分解析結果からは明確に判読できなかった。（図-14）

以上のことから、UAV-LP による差分解析は、広範囲にわたる面的な変状や比較的規模の大きな侵食・沈下の把握には極めて有効であるものの、小規模な変状の検出には点群密度の確保等の課題が残る結果となった。



図-14 R7-LP と R1-LP の差分 (SP780～SP980)

(調査時期 : R7-LP : R7. 8月と R1-LP : R1. 9月)

(4) UAV 点検方針

本検討の結果から、今後の UAV 点検方針を次のように整理した。

- ①UAV による変状把握においては、対象堰堤の規模や変状特性に応じた手法の使い分けが重要である。3 次元モデルと設計高さ等との具体的な数値を比較する場合や、長大で複雑な形状を有する施設、植生が繁茂している施設については、植生透過性がありモデル歪みの生じない「UAV-LP」の活用が適切である。
- ②変状範囲の概略把握や頻度を重視する定期的なモニタリングにおいては、経済性に優れる「SfM 解析（GCP 補正）」が有効である。また、災害時等の点検には GCP 設置不要の「QZSS（準天頂衛星）測位」等の活用も有益と考えられる。

6. おわりに

本稿では、令和 7 年度に実施した UAV と目視を併用した定期点検の結果と、苦小牧川遊砂地における点検高度化の試行結果について報告した。定期点検においては、落葉期に UAV 調査を実施することで視認性が向上し、一部の変状レベル評価が可能となったものの、健全度判定には依然として目視による補完が不可欠であることが確認された。また、高度化検討では、UAV-LP 及び SfM 解析を用いた差分解析により、面的な変状を定量的に把握できることが実証され、各手法の特性と適用性が明らかになった。今後は、本検討で得られた知見を基に、蓄積されたデータの経年比較を行うとともに、PDCA サイクルを通じて点検計画の合理化及び施設の長寿命化に資する検討を継続し、更なる省力化、高度化を図っていく。

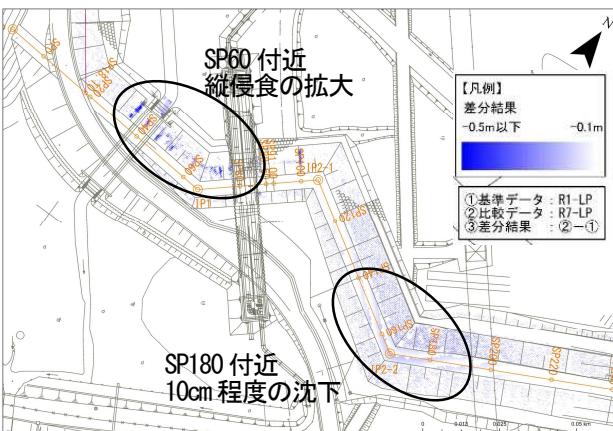


図-13 R7-LP と R1-LP の差分 (SP20～SP220)

(調査時期 : R7-LP : R7. 8月と R1-LP : R1. 9月)