

3. 岩盤斜面評価精度向上のための調査手法の検討

3.1 岩盤斜面専門部会設置の目的と活動の概要

3.1.1 部会設置の目的

北海道においては平成8年2月に発生した豊浜トンネルの崩落以降、第2白糸トンネル、北見市北陽、えりもなど崩壊量10,000m³を超える大規模崩落が発生している（表3.1）。これらのうち、国道の沿線で発生した災害では、事故調査委員会が組織され、事故原因の究明とともに、今後に向けた提言が述べられている（表3.2）。各事故調査委員会で述べられた提言は、いずれも重要なものであり、それと同時に解決が困難な課題も多く含まれている。また豊浜トンネル崩壊の翌年に発足した「北海道日本海沿岸地域における大規模岩盤崩落検討委員会」のように、岩盤斜面の調査や評価精度の向上を目的とした複数の委員会が組織され、新たな点検や調査の手法が提言されている。

岩盤斜面専門部会は、上記のような背景の下、積雪寒冷地という北海道特有の気象条件に適した岩盤斜面の調査手法を検討することを目的として設置されたものである。

表 3.1 豊浜トンネル以降の岩盤斜面災害の概要（崩壊土量 1,000m³ 以上）¹⁾

	発生年月日	場所	規模(m ³)	地域区分	地質	備考
1	1996. 2. 10	豊浜トンネル	11, 000	日本海沿岸	火砕岩	死者 20 名
2	1996. 3. 15	宇遠別第 1 覆道	1, 000	黄金道路	ホルンフェルス	
3	1997. 3. 4	宇遠別第 1 覆道	2, 000	黄金道路	ホルンフェルス	
4	1997. 6. 7	ほしば覆道	5, 450	黄金道路	ホルンフェルス	
5	1997. 8. 25 1997. 8. 29	第 2 白糸トンネル	56, 000	日本海沿岸	火砕岩	
6	2001. 10. 4	北見市北陽	24, 000	常呂帯	付加体堆積物	死者 2 名
7	2003. 9. 26	ほしば覆道	2, 400	黄金道路	ホルンフェルス	十勝沖地震
8	2003. 9. 26	浜フンベ	1, 500	黄金道路	砂岩・頁岩	十勝沖地震
9	2003. 9. 26	美幌	1, 000	黄金道路	砂岩・頁岩	十勝沖地震
10	2003. 10. 1	静内ダム湖斜面	5, 000	日高地方	酸性岩	
11	2004. 1. 13	えりも町 宇遠別第 1 覆道	42, 000	黄金道路	ホルンフェルス	死者 1 名、 負傷者 1 名
12	2006. 5	礼文島	10, 000	日本海沿岸	火砕岩	

表 3.2 国道沿線で発生した災害の事故調査委員会での提言¹⁾

	委員会名	提言内容など
1	豊浜トンネル崩落 (1996. 2. 10)	① 岩盤生成過程や地形発達過程などの地球科学的な知見をより一層活用すること ② 変化する自然の姿を的確に捉えるために斜面の長期的な経時変化を追跡すること ③ 軟岩で構成される急崖斜面に対してきめ細かな点検を実施すること ④ テストフィールドを選定して長期モニタリングを行うこと ⑤ 予知予測に関する研究を一層促進すること ⑥ 地域防災体制や道路防災情報システムを構築すること
2	第2白糸トンネル崩落 (1997. 8. 25) (1997. 8. 29)	① 大規模岩盤崩落の予知予測に関する研究の推進 ② 岩盤監視システムの構築 ③ 道路管理体制の充実化 ④ 地域防災体制の構築
3	北陽土砂崩落 (2001. 10. 4)	① 「常呂帯」のような複雑な地質における岩盤斜面の研究及び技術開発 ② 道路災害防止に向けたソフト対策
4	えりも町斜面災害 (宇遠別第1覆道) (2004. 1. 13)	① 地形判読と地形形成過程の検討 ② 地質学的にみた岩石劣化と岩盤物性に関する調査・研究 ③ 北海道における防災点検の充実

3.1.2 活動の概要

(1) 部会委員の構成

本部会は以下の委員により構成される。（令和元年7月現在：敬称略）

部会長	川村 信人	（特非）北海道総合地質研究センター	研究員
委員	石丸 聡	（地独）北海道立総合研究機構	
		地質研究所	研究主幹
委員	児玉 淳一	北海道大学大学院工学研究院	准教授
委員	藤井 義明	北海道大学大学院工学研究院	教授

(2) 部会活動の概要

当部会の活動は、岩盤斜面の評価手法についてモデル地区においてケーススタディを実施し、総合的な岩盤斜面評価手法を一覧表として取りまとめる作業と、岩盤計測手法の現地実験などに大別される。これらの取り組みの概要を表3.3に示す。

表 3.3 岩盤斜面専門部会活動の概要

	モデル地区現地検討会	地質調査技術 ガイドライン	岩盤計測手法の現地実験
2004	○		
2005	○		
2006	○		
2007	○		
2008	○	○	
2009	○	○	
2010	○	○	
2011	○	○	
2012	○	○	○
2013	○		○
2014	○		○
2015	○		
2016	○		
2017	○	○	
2018	○	○	

3.2 活動の内容

3.2.1 モデル地区現地検討会

部会では、岩盤斜面の調査手法を検討するにあたり、14箇所のモデル地区を選定してケーススタディを実施した（図 3.1）。このうち、平成 28 年度には同年に豪雨災害が発生した日勝峠地区で現地検討会を実施しているが、その結果については緊急調査報告としてまとめられている。以下では平成 29 年度に実施した様似町幌満とえりも町庶野、平成 30 年度に実施した小樽市忍路と余市町滝の瀬の結果について述べる。

なお現地検討会においては UAV を同行し、その場で空中写真の撮影を実施している。



図 3.1 モデル地区位置図

(1) 様似町幌満とえりも町庶野

それぞれの箇所のご案内図を図 3.2 に、実施状況写真を写真 3.1 に示す。

現地検討会の概要は以下のとおり。

実施日 平成 29 年 10 月 12 日～13 日

参加者 川村部会長

石丸委員

専門技術者 7 名

様似町幌満は、平成 10 年にルート変更が行われたが、その後旧道の 2 箇所で岩盤崩壊が発生した（写真 3.2）。

現地検討会では、岩盤崩壊箇所で湧水（写真 3.3）が確認された。参加委員からは UAV により湧水箇所背後の地形を短時間で調査できることが有効であるとの意見があった。



図 3.2 様似町幌満、えりも町庶野地区案内図



写真 3.1 現地検討会実施状況（幌満）



写真 3.2 幌満地区における UAV 空中写真

2箇所で岩盤崩壊が確認される



写真 3.3 写真 3.2 右側の岩盤崩壊箇所からの湧水

えりも町庶野は平成 16 年にルート変更が行われた。現地検討会では覆道上に新たな土石流による堆積物が認められたため、直ちに UAV による調査を行った（写真 3.4）。UAV 調査の結果、沢の上流部で明瞭な崩壊面が確認されず、多量の降雨による河床礫の再移動が土石流の発生原因であると推定された（写真 3.5）。



写真 3.4 覆道上の土石流堆積物と UAV 調査状況



写真 3.5 土石流確認箇所の UAV による空中写真

(2) 小樽市忍路と余市町滝の澗

それぞれの箇所の案内図を図 3.3 に、実施状況を写真 3.6 に示す。

現地検討会の概要は以下のとおり。

実施日 平成 30 年 11 月 7 日

参加者 川村部会長

藤井委員

児玉委員

専門技術者 8 名

忍路地区は、平成 19 年 6 月に岩盤崩壊が発生し（写真 3.7）、平成 30 年 3 月 17 日にルート変更が完了している。

現地検討会においては、平成 13 年に切土が行われた斜面が、乾湿繰り返しにより急速に形状が変化している様子が確認された（図 3.4）。



図 3.3 小樽市忍路、余市町滝の澗地区案内図

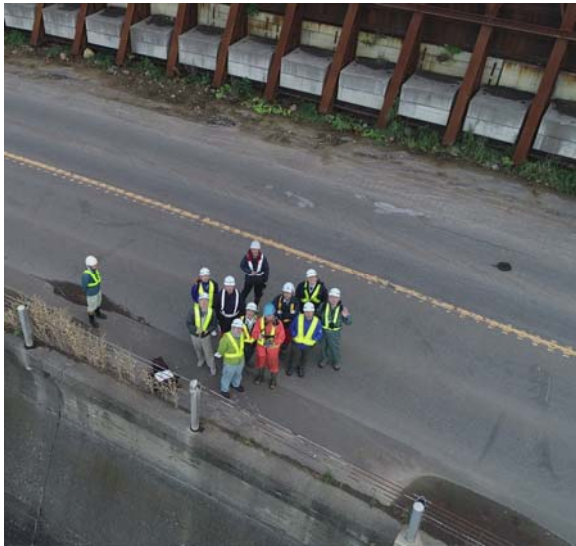


写真 3.6 現地部会実施状況（忍路：UAV から）



写真 3.7 平成 19 年の崩壊状況

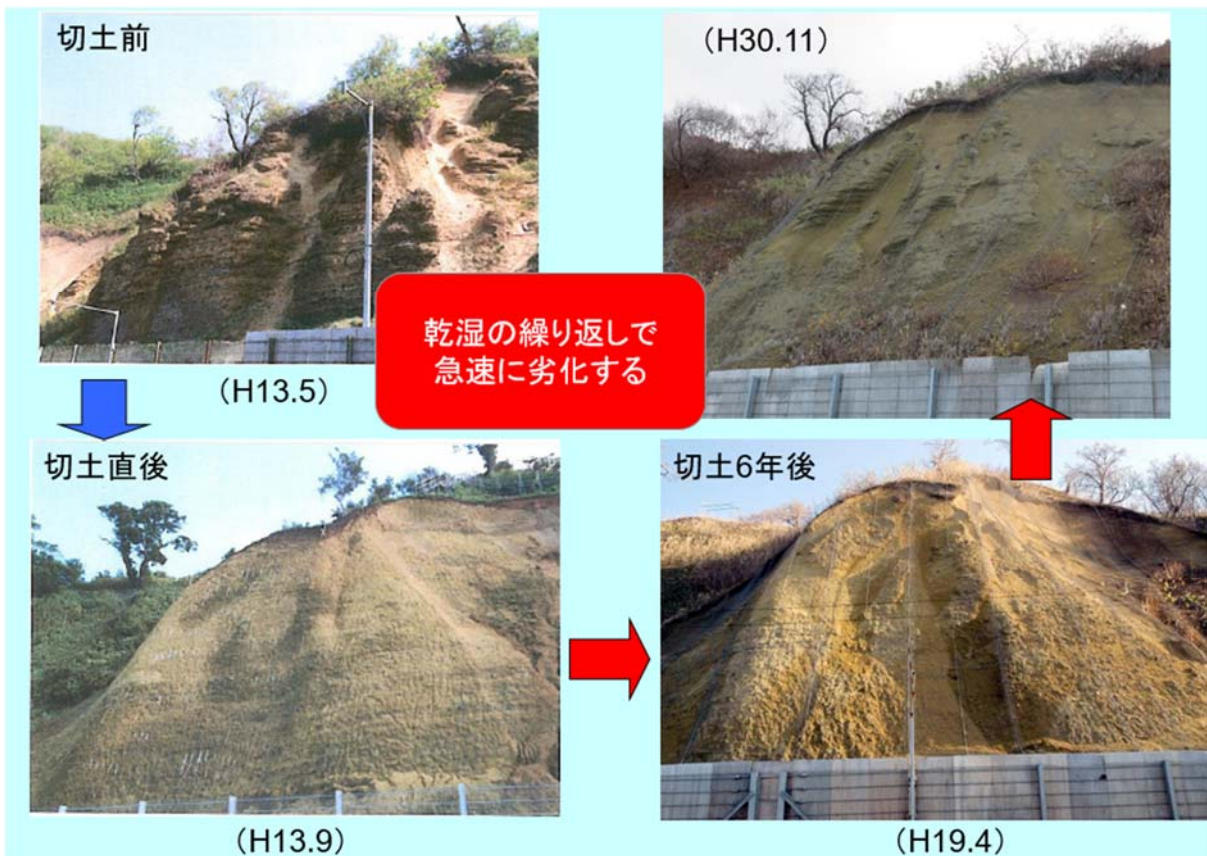


図 3.4 忍路地区における乾湿繰り返しによる切土斜面の形状変化

滝の澗地区では、UAV による写真撮影とそれを用いた 3D モデリングにより、旧道に隣接する急崖斜面の上部に古い岩盤すべりの跡が確認された（図 3.5）。

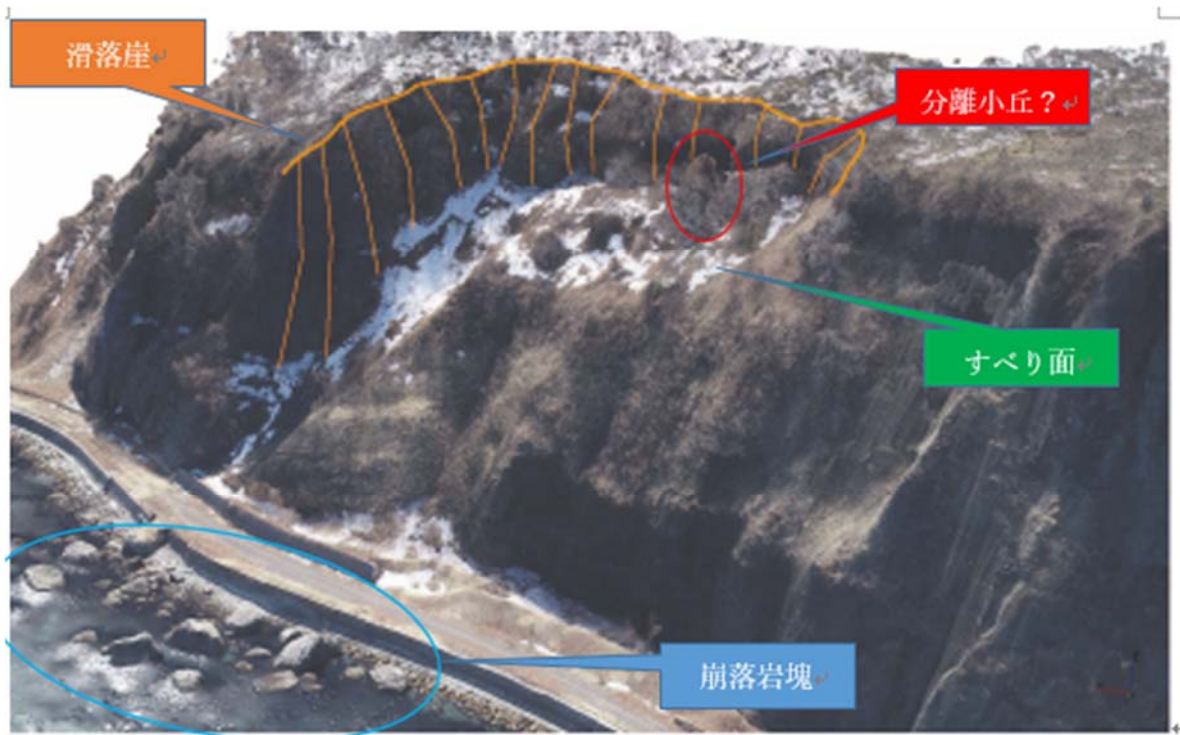


図 3.5 滝の澗地区岩盤すべり箇所の 3D モデル

3.2.2 地質調査技術ガイドライン-UAV を用いた急崖斜面の調査編

当部会では、現地検討会等を実施する過程で、急崖斜面の調査や評価に際して有用な技術について、道路管理者の参考資料としてガイドラインの取りまとめを行ってきた。

近年、小型の無人航空機 UAV が様々な場面で活用されるようになった。道路に関する分野では、i-construction の推進に伴い、平成 30 年 3 月に「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）」が発表される等、施工現場の効率化手法の一つとして注目を浴びている。

斜面の調査に関しては、平成 11 年に「急崖斜面の空中写真撮影と写真管理に関する検討」を行い、平成 22 年 12 月には「最近の地質調査技術ガイドライン：急崖斜面の斜め空中写真編」を取りまとめている。平成 22 年のガイドラインは、ラジコンヘリを中心にまとめたものであるが、その後機体の小型化、デジタル写真データ利用の高度化が進展していることから、改めて「UAV を用いた急崖斜面の調査編」として取りまとめを行った。

作成したガイドラインを参考資料として添付した。以下ではその概要について述べる。

(1) ガイドラインの目次構成

目次は以下のとおりとした。

【地質調査技術ガイドライン-UAV を用いた急崖斜面の調査編目次】

- 1 はじめに
 - 1.1 本書の範囲
 - 1.2 UAV の定義と種類
 - 1.2.1 UAV の定義
 - 1.2.2 UAV の種類
 - 1.2.3 UAV の利用シーン
- 2 調査計画
 - 2.1 調査の目的
 - 2.2 調査計画
 - 2.2.1 写真に対する要求性能
 - 2.2.2 現場の条件
 - 2.2.3 法律上の規制
- 3 現地調査
 - 3.1 調査機材
 - 3.2 調査員の構成
 - 3.3 調査時の気象
 - 3.4 一般的な撮影アングルと目的
 - 3.5 自動航行と手動航行
 - 3.6 安全管理
- 4 写真の解析
 - 4.1 一般的な写真の判読事項
 - 4.2 3D モデルへの表現例
- 5 参考
 - 5.1 斜面以外での UAV 活用例
 - 5.2 法律・政令・マニュアル等
 - 5.3 資格・訓練
 - 5.4 保険

(2) 「はじめに」

「はじめに」では、「本書の範囲」、「UAV の定義」、「UAV の種類」、「UAV の利用シーン」を紹介した。

「本書の範囲」では、「公共測量を除く斜面の調査を対象とする」とし、公共測量の規定については別途紹介した。

「UAV の定義」は、航空法における UAV の定義について述べ、「UAV の種類」では空中写真の品質と密接に関連するカメラに着目し、機種による違いを紹介した。

「UAV の利用シーン」では、斜面の調査、点検、災害の調査（図 3.6）、動画の撮影についてそれぞれ目的・UAV の利点・UAV の留意点を紹介した。

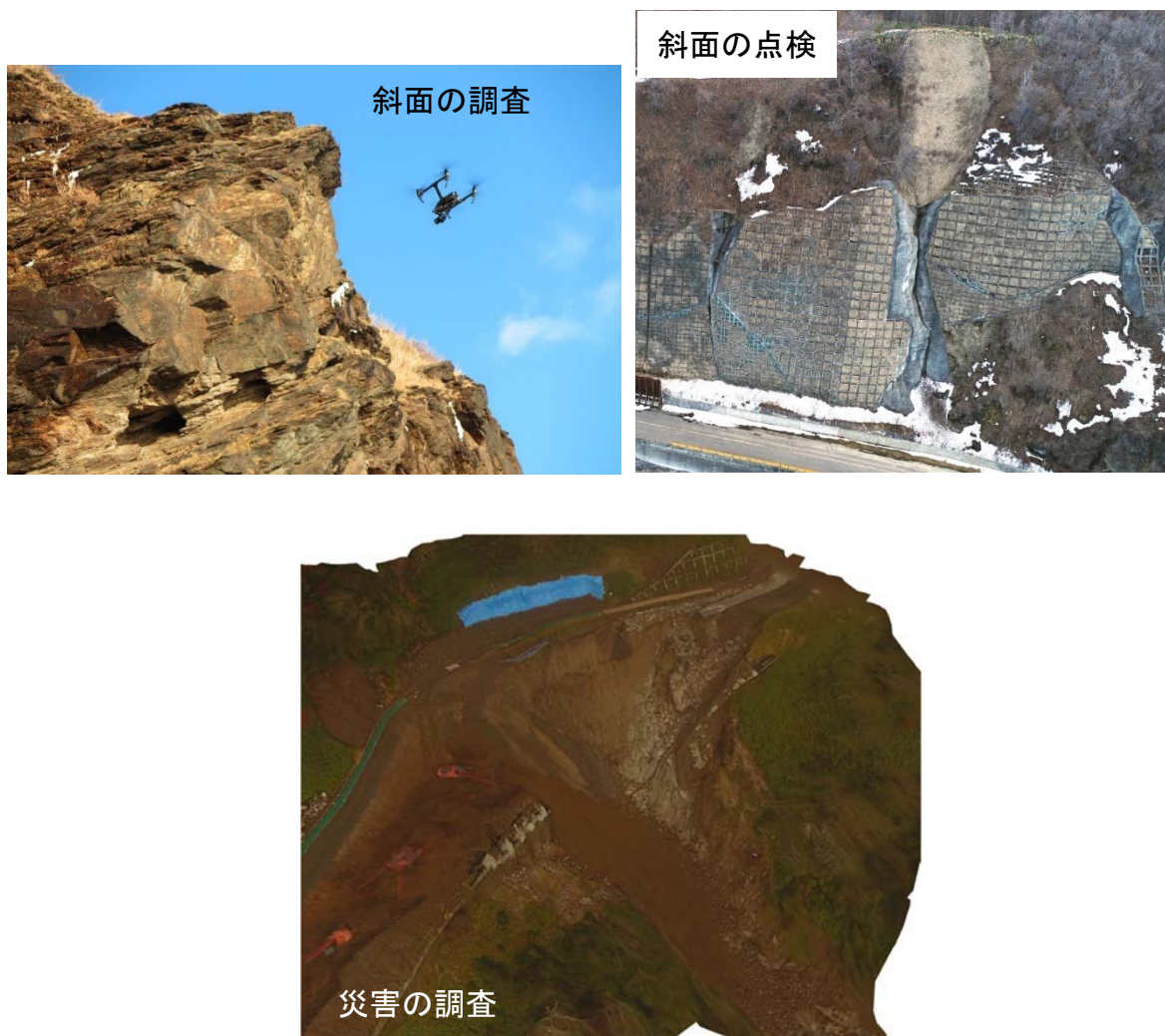


図 3.6 UAV の利用シーン

(3) 「調査計画」

本書では、急崖斜面における調査のフローチャートを、図 3.7 のように想定している。

調査の最上流部にあたる「調査計画」については、「調査の目的」と「調査計画」に分けて記載を行った。

「調査の目的」では、目的と UAV 調査計画時の留意点を表 3.4 に示すように整理した。

「調査計画」では、「写真に対する要求性能」「現場の条件」「法律上の規制」について述べた。「写真に対する要求性能」では判別が必要な事物の大きさを明確にすることを求め、それに合わせてカメラの種類や機体の高度を決定すること（図 3.8）などを示した。「現場の条件」では、斜面の状況、撮影の時期、太陽の向き（写真 3.8）等を記載した。「法律上の規制」では、航空法による高度や飛行空域の規制を例示し（図 3.9）、これらに抵触する場合には予め航空当局の許可を得ることとした。

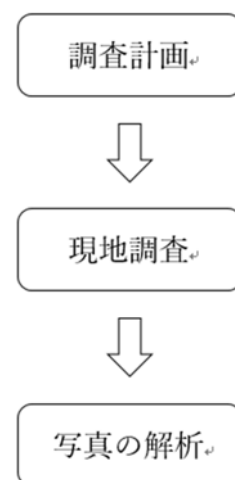


図 3.7 UAV を用いた斜面調査の流れ

表 3.4 調査の目的と UAV 調査計画時の留意点

調査項目		対策工の計画・設計目的	評価方法	UAV 調査計画時の留意点
規模	位置・分布	対策工の基本方針の選定、対策工法の選定	分布図表示	斜面の向きに正対する方向を含む死角を作らない撮影コースの計画
	形状		スケッチ及び写真	
	不安定岩塊の高さ、幅、奥行き		不安定岩塊の堆積	判読精度を確保できる高度・機材の組み合わせ
	岸壁の高さ		道路あるいは崖のり尻から崖面の遷急線までの高さ	地形モデルを作成する場合には精度の検証 必要に応じて標定点の配置計画
	のり面、斜面の傾斜		道路あるいは崖のり尻から崖面の遷急線までの平均傾斜	
発生状態	割れ目の方向性	対策工法の選定	スケッチ等	死角を作らない撮影コース 落葉期など撮影時期の配慮
	崩壊形態		亀裂や弱層、岩相の卓越する方向	判読精度を確保できる高度・機材の組み合わせ
	岩質・物性・強度等		岩相、弱層の物性や郷土等	
不安定度	変位量	対策の優先順位	監視記録、防災カルテ等の変位記録や被災履歴	既存の空中写真と類似した撮影コースの計画
	割れ目の開口性			
	小崩壊や落石			
	凍結融解・湧水			

（道路土工²⁾に加筆）

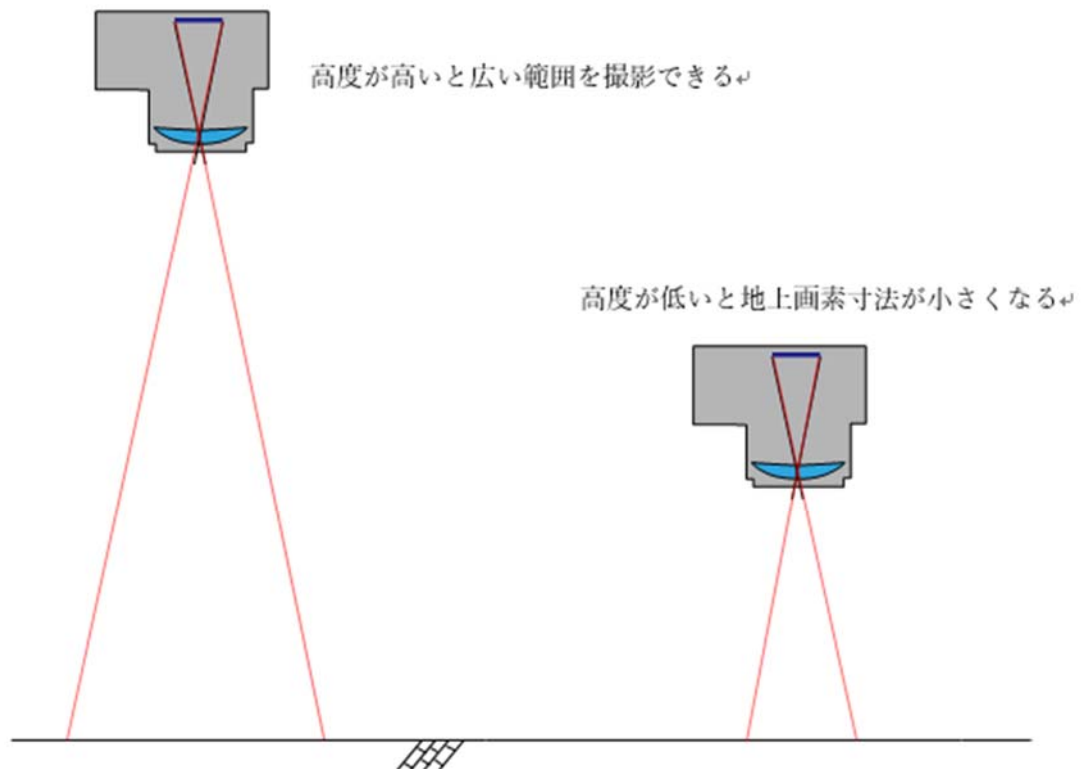


図 3.8 高度と解像度の関係



写真 3.8 逆光による判読不能写真の例

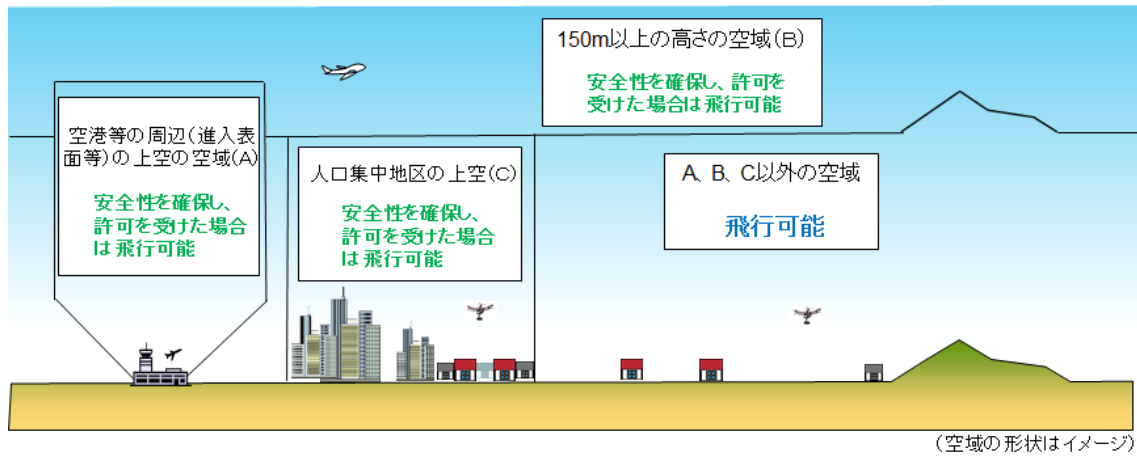


図 3.9 UAV の飛行可能な空域

「無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン」

国土交通省航空局平成 31 年 4 月より

（4） 「現地調査」

「現地調査」では、「調査機材」、「調査員の構成」、「調査時の気象」、「一般的な撮影アングルと目的」、「自動航行と手動航行」、「安全管理」について記述した。

「調査機材」では、調査に必要な機材と扱い上の留意点を述べた。「調査員の構成」では、既存の基準に基づいて調査員の構成と役割を紹介し、「全ての現場にこれらの要員を配置する必要はないが、少なくとも現場班長と操縦者の2名以上で実施することが望ましい。」とした。「調査時の気象」では、降雨、降雪、強風、霧などの気象と、UAVの飛行に与える影響を示した。「一般的な撮影アングルと目的」では、全景・正面・横断・俯瞰などのアングルと撮影方法、目的、撮影事例について述べた（表3.5・図3.10）。「自動航行と手動航行」では、測量分野ではUAVの運行ルートを予めプログラムする自動航行が推奨されているが、斜面調査では地形が複雑であることなどから、自動航行が不適当な場合があるとした。「安全管理」については、航行前点検・作業体制の確認・周囲の安全確認・作業中止の条件・事故発生時の対応について述べ、確認を要する周囲の状況を例示した（図3.11）。

表 3.5 撮影アングルと目的の例

種類	撮影方法	目的
全景	- カメラが斜面に正対した状況で撮影する - 第2遷急線から現道または海岸汀線までが入るように撮影する	- 斜面全体の形状・地質構造の把握 - 災害要因と現道や沢地形等の位置関係の把握
正面	- カメラが斜面に正対した状況で撮影する - 急崖頂部から現道または海岸汀線までが入るように撮影する	急崖部の災害要因・地質構造の把握
横断	- 現道の起点及び終点からの2方向撮影する - 急崖頂部から現道または海岸汀線までが入るように撮影する	正面写真では把握できない側面部の亀裂等の災害要因の確認
俯瞰	- 撮影対象の上部から下方に向かって撮影 - 第2遷急線から現道または海岸汀線までが入るように撮影する	- 岩体背面の亀裂状況や遷急線上の転石等の災害要因の確認 - 災害要因と現道や沢地形等の位置関係の把握

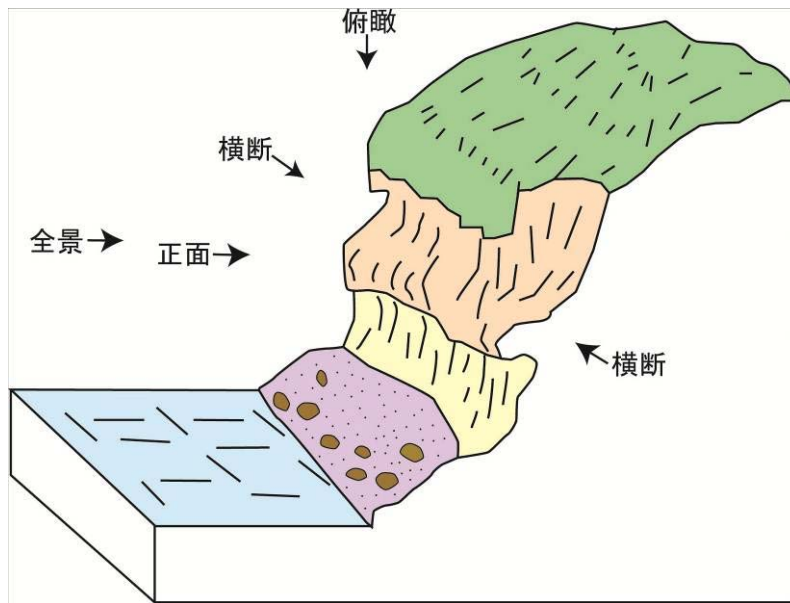


図 3.10 撮影アングルの解説図

車両等の通行	関係者以外の立ち入り	高圧線 索道・鉄塔
強い電波を発する施設	他のUAVの飛行	イベント等の実施

図 3.11 調査実施時に確認を要する周囲の状況の例

(5) 4 写真の解析

写真の解析では、「一般的な写真の判読事項」「3D モデルへの表現例」を示した。

「一般的な写真の判読事例」では、表 3.6 に示すように判読項目などを提示した。「3D モデルへの表現例」は、地質判読結果や亀裂を 3D モデルに表現した事例を示した（図 3.12、3.13）。

表 3.6 一般的な空中写真の判読項目

項 目	観 察 事 項	備 考
地質	地質 地質境界 分離面 変質・風化・破碎帯 崩壊堆積物 亀裂等	位置・方向・連続性・開口度・間隔
地形	遷急線 遷緩点及び遷緩線 尖塔 突出尾根（尾根線） 沢地形（谷線） 窪地形 二重山稜 オーバーハング 地すべり地形 集水地形 崩壊跡地・ガリー浸食 土石流跡 波食棚等 段丘面 崖錐地形 鞍部	
湧水	湧水量 湧水位置 氷柱の規模 氷柱の位置等	地表水との分離 結氷期 結氷期
植生状況	露岩部 草本類 灌木類 広葉樹 針葉樹 樹冠密度 湿地性植物 植生剥落、倒木等の状況等	露岩部の草本は湧水の兆候の可能性
その他	リニアメント 対策工の種類 対策工の位置・範囲 浮石・転石 ガレ場 構造物の変状 けものみち等	金網のアンカー位置等

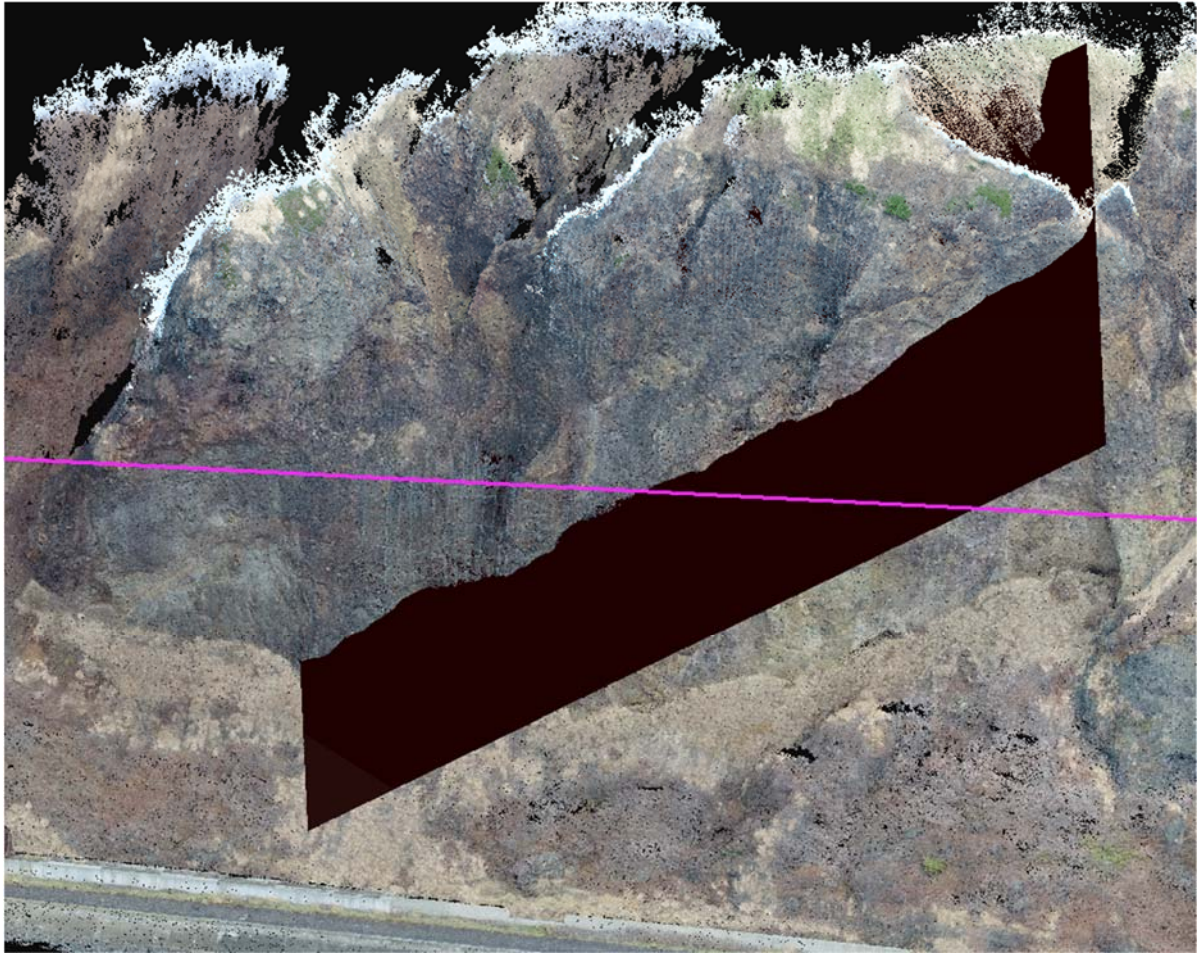


図 3.12 3D モデルへの面構造表現例

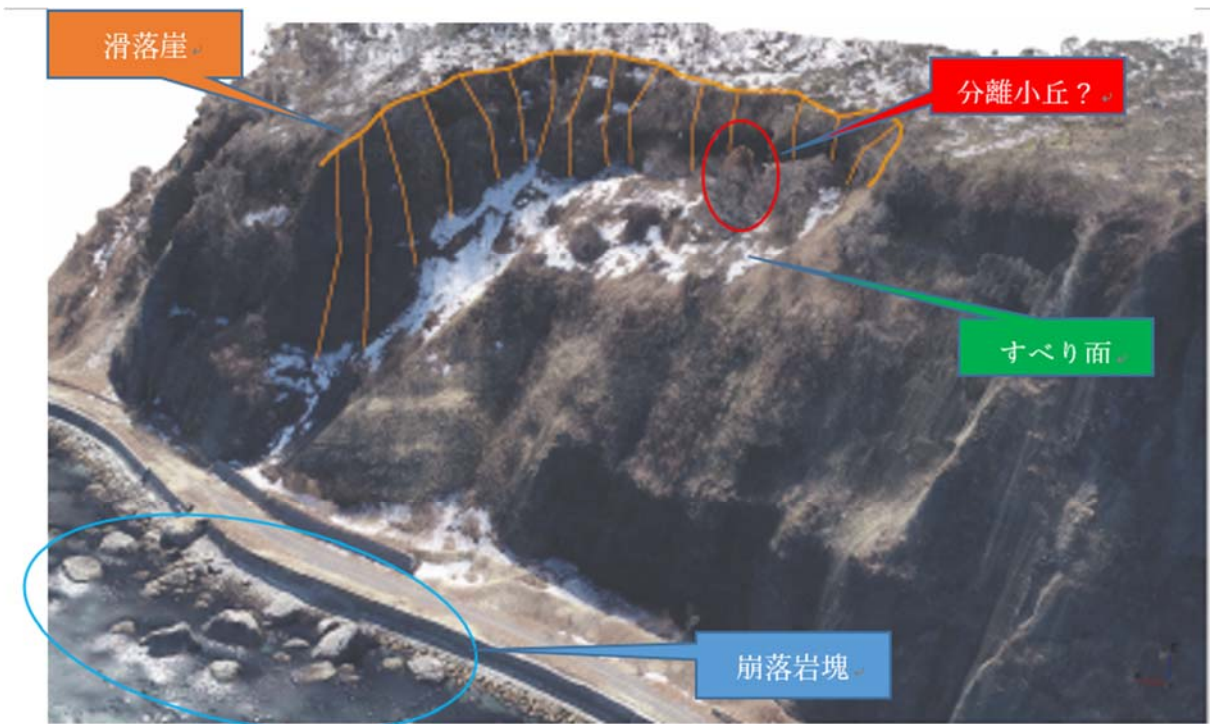


図 3.13 岩盤すべりが想定される箇所の地形モデル例

（6） 「参考」

「参考」では、「斜面以外での UAV 活用例」「法律・政令・マニュアル等」「資格・訓練」「保険」について述べた。

このうち「斜面以外での UAV 活用例」では、積雪調査での利用例を示し（図 3.14）、「法令・政令・マニュアル等」では、既存の規定類をリストとして提示した。なお、規定は頻繁に改正されているので、本ガイドラインにはリストのみを示すことにした。

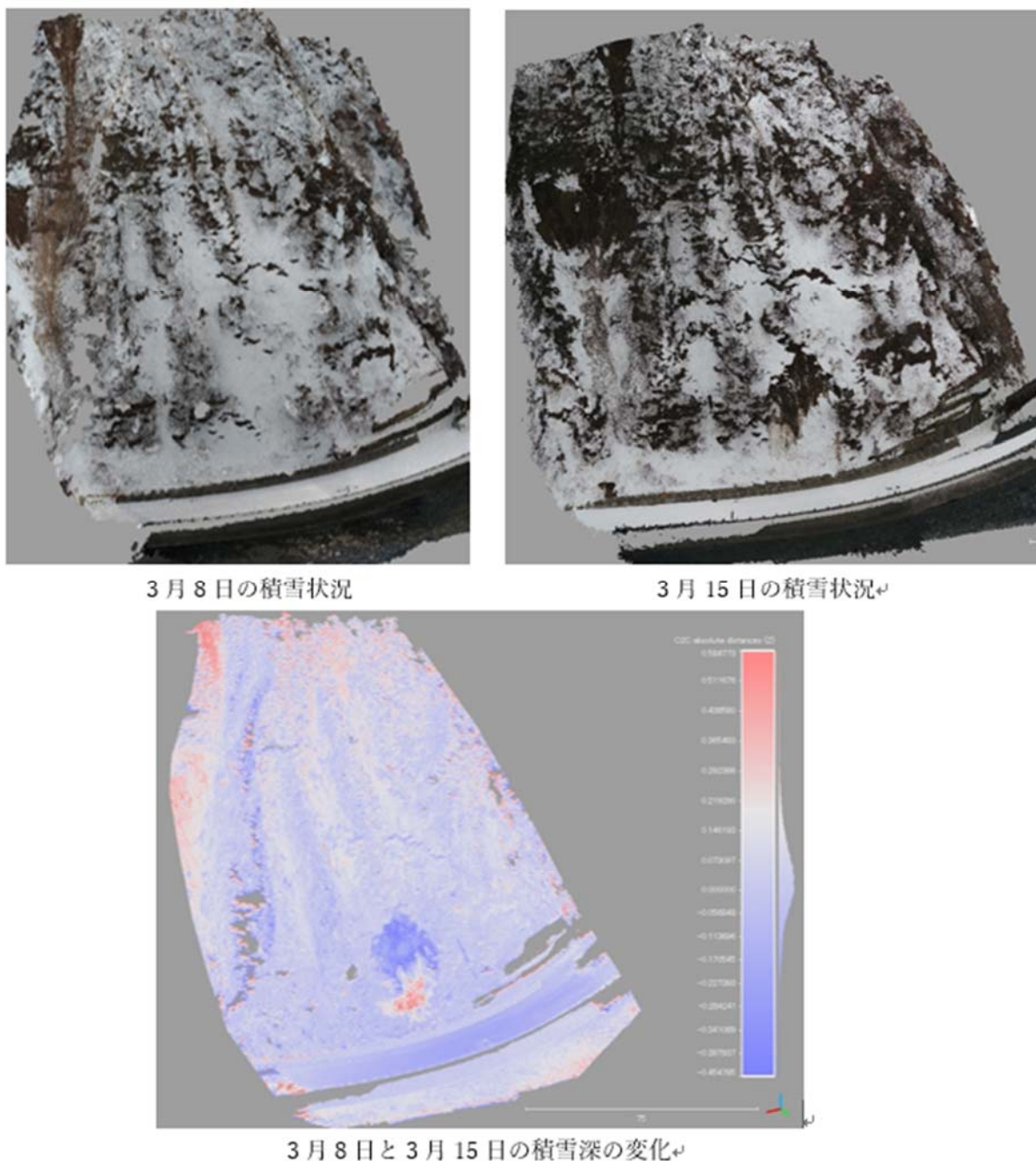


図 3.14 UAV による積雪深の変化計測例

〔引用文献〕

- 1) 伊東佳彦：北海道における岩盤斜面の調査・対策の現状，自動車技術，Vol.61,No.5,2007
- 2) 日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針，2009