

2. 岩盤斜面評価精度向上のための調査手法の検討

2.1 岩盤斜面専門部会設置の目的と活動の概要

2.1.1 部会設置の目的

北海道においては、平成8年（1996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、えりもなどで崩壊土量 10,000m³ を超える大規模崩壊が発生している（表2.1）。これらのうち、前述の4箇所での災害では、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2.2）。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 2.1 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	2006.5.2	礼文島	10,000	日本海沿岸	火砕岩	

表 2.2 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や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

2.1.2 活動の概要

(1) 部会委員の構成

本専門部会は以下の委員により構成される（令和4年（2022年）7月現在：敬称略）

部会長 藤井 義明 北海道大学大学院 工学研究院 特任教授
 委員 石丸 聡 （地独）北海道立総合研究機構 産業技術環境研究本部
 エネルギー・環境・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

(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2.3に示す。

表 2.3 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	航空レーザー プロファイラー の利活用
2004	○			
2005	○			
2006	○			
2007	○			
2008	○	○		
2009	○	○		
2010	○	○		
2011	○	○		
2012	○	○	○	
2013	○		○	
2014	○		○	
2015	○			
2016	○			
2017	○	○		
2018	○	○		
2019			○	
2020				○
2021	○			○

2.2 活動の内容

2.2.1 岩盤計測手法の現地実験

部会では、岩盤斜面の調査手法を検討するにあたり、平成 29 年度から UAV（無人航空機。Unmanned aerial vehicle の略。以後、UAV と記載）を用いた岩盤斜面の調査に関して取り組んでおり、令和元年度の活動として「UAV 搭載型赤外線カメラの斜面調査への適用性」に関する予備検討をおこなった。

(1) 検討の目的

過去の大規模岩盤崩落では、地上から撮影する赤外線カメラ画像を用いた評価が試みられてきた。一方、構造物の点検を目的に、UAV に赤外線カメラを搭載する機種が登場し、一部の分野で実用化の段階に入っている。

このことから、UAV＋赤外線カメラの活用は岩盤斜面では一般的ではないが、岩盤斜面調査での適用性について検討をおこなうことを目的に予備的な調査を実施した。

(2) 検討の背景

近年、赤外線の土木分野での適用例事例が増加しており、NETIS（国土交通省新技術提供システム）では、「赤外線」で 60 件の登録がある。なお、これには警備システムも含んでいる。

以下に、いくつかの事例を紹介する。

1) 赤外線を用いた路面下の空洞調査

本事例は、車両に赤外線カメラを搭載し、走行しながら路面下の空洞を調査する方法である（図 2.1）。

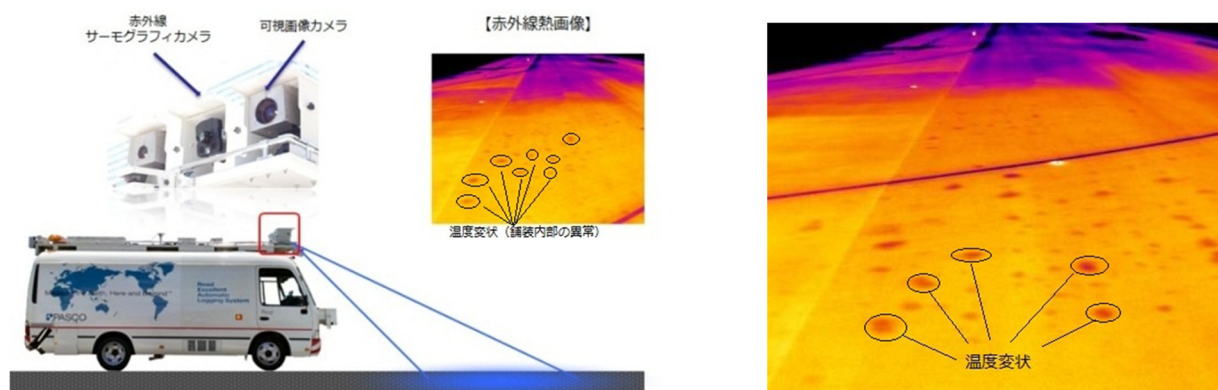


図 2.1 路面下の空洞調査の事例

2) 赤外線画像を用いたコンクリートの劣化診断システム

本事例は、高感度赤外線カメラ＋環境測定＋ソフトウェアで、高精度な検出精度を確保した事例である（図 2.2）。

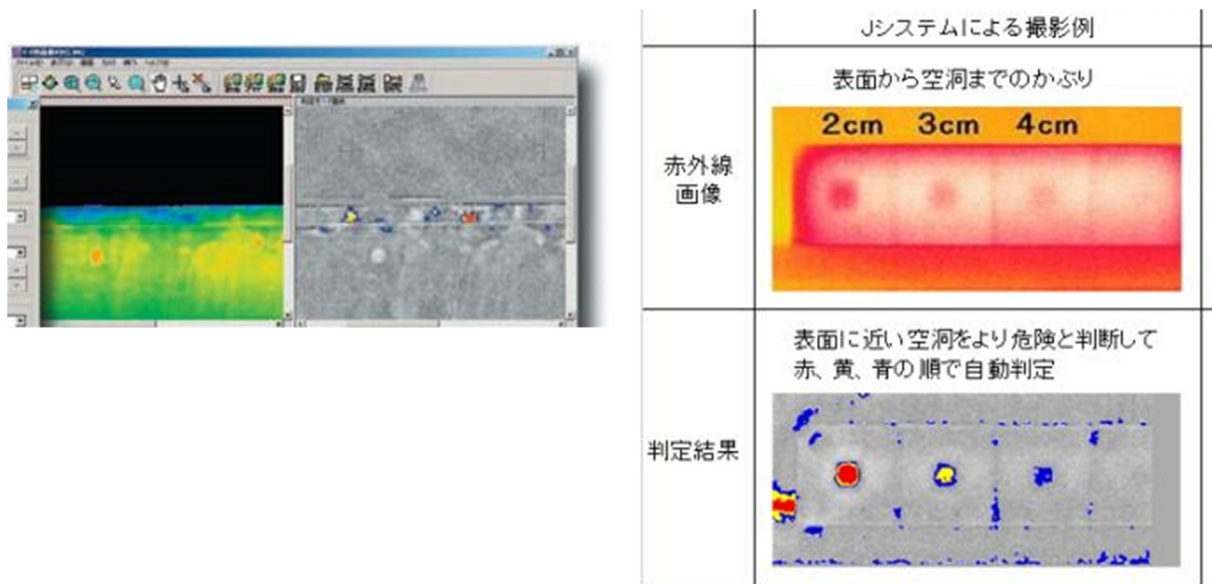


図 2.2 コンクリートの劣化診断システムの事例

3) モルタル吹き付け法面の劣化診断

本事例は、異なる時間帯に撮影された赤外線カメラ画像から、温度の差分を取って劣化箇所を判定する方法である（図 2.3）。

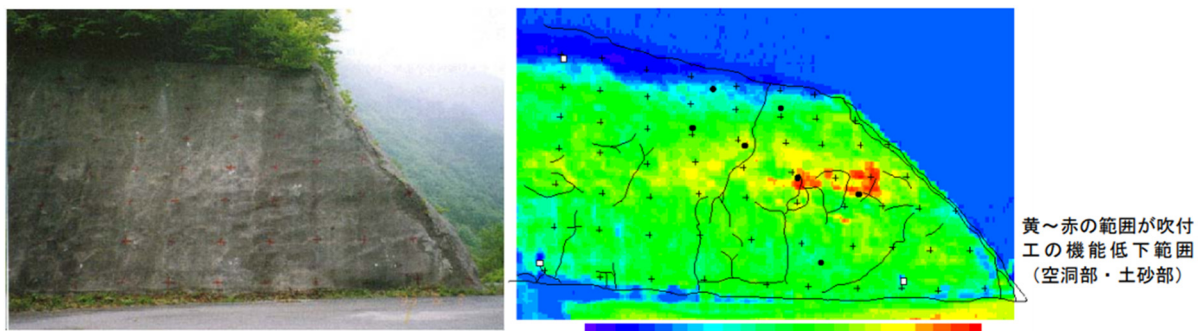


図 2.3 モルタル吹き付け法面の劣化診断事例

4) 岩盤斜面での適用事例

岩盤斜面での適用事例として、赤外線カメラ画像を用いて、岩級区分の判別に応用した事例の報告もある（図2.4）。

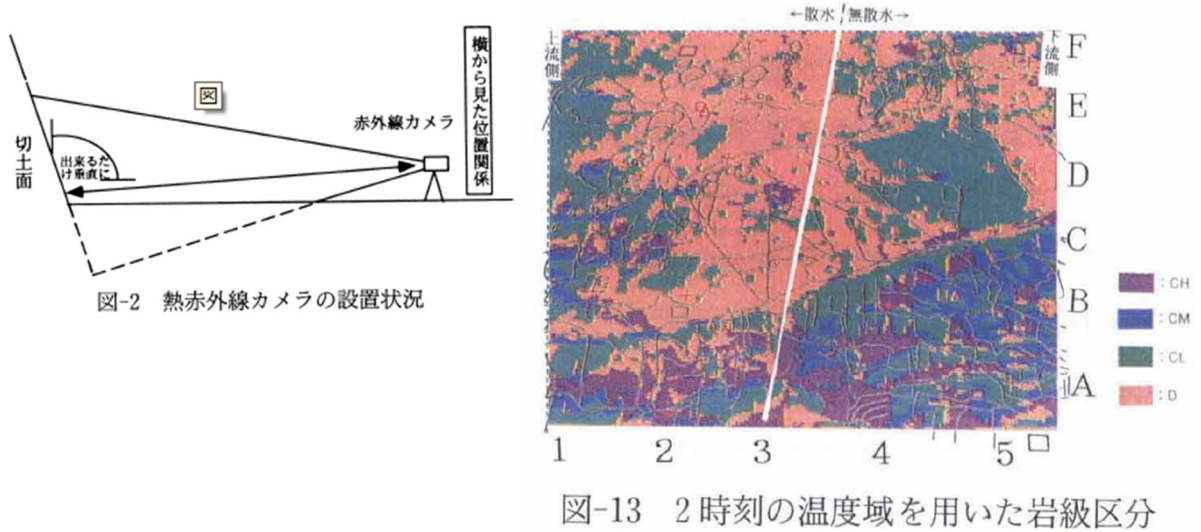


図 2.4 岩盤斜面での適用事例²⁾

5) その他の事例

その他の適用事例として、土木以外の分野で、ソーラーパネルの点検や野生動物の調査、農業分野において水稻の育成状況確認等にご利用された事例報告がある。

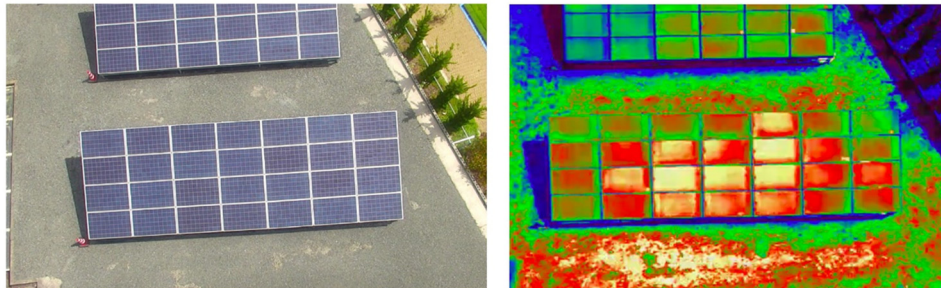


図 2.5 ソーラーパネルの点検事例



図 2.6 野生動物調査の事例

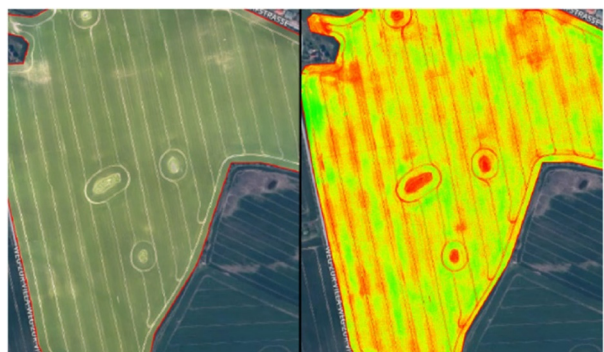


図 2.7 農業分野での水稻の育成確認事例

（3） UAV 搭載型赤外線カメラの斜面調査への適用性に関する予備検討

検討の背景に示したように、土木分野のみならず様々な分野において赤外線カメラを用いた事例が報告されていることから、UAV＋赤外線カメラを岩盤斜面の調査手法へ適用可能かの予備検討をおこなった。

予備検討を行うにあたり、図 2.9 に示す余市町滝の潤地区において予備調査を行った。概要を以下に示す。

実施日	令和元年（2019 年）11 月 17 日
外気温	氷点下 1℃
使用機材	Mavic2 Dual（写真 2.1）
カメラの解像度	高度 30m で 2.5cm（一般的な UAV カメラの半分程度の解像度）



写真 2.1 使用機材（Mavic2 Dual）

予備調査を行った余市町滝の潤地区の概要を以下に示し、写真 2.2 に斜面状況を示す。

- ・ 地質は新第三紀の層状火砕岩が分布する
- ・ 斜面には複数の湧水点を確認される
- ・ 東側斜面で日照の影響を受けにくい
- ・ 斜面对策工として落石防護金網、吹付モルタルが部分的に施工されている



写真 2.2 余市町滝の潤地区の斜面状況

予備調査で撮影した可視画像を写真 2.3 に、赤外線画像を写真 2.4 に示す。

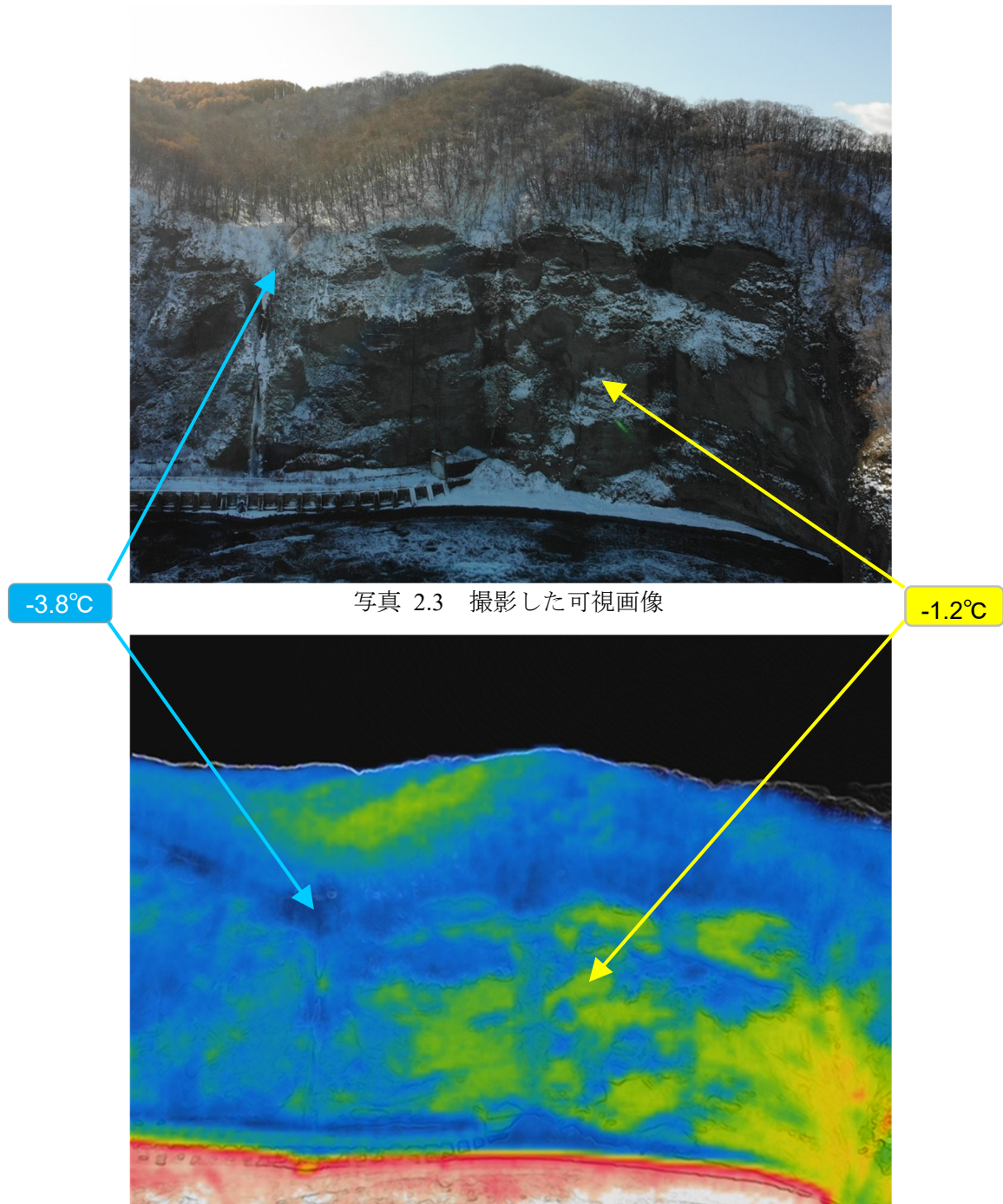


写真 2.3 撮影した可視画像

写真 2.4 撮影した赤外線画像（赤外線写真の解像度＝19cm/pic）

-3.8°Cと示す箇所は沢地形部、-1.2°Cと示す箇所は露岩斜面であり、場所により温度差があることが確認された。

次に、解像度による差異の確認を行った。その結果を図 2.8 に示す。

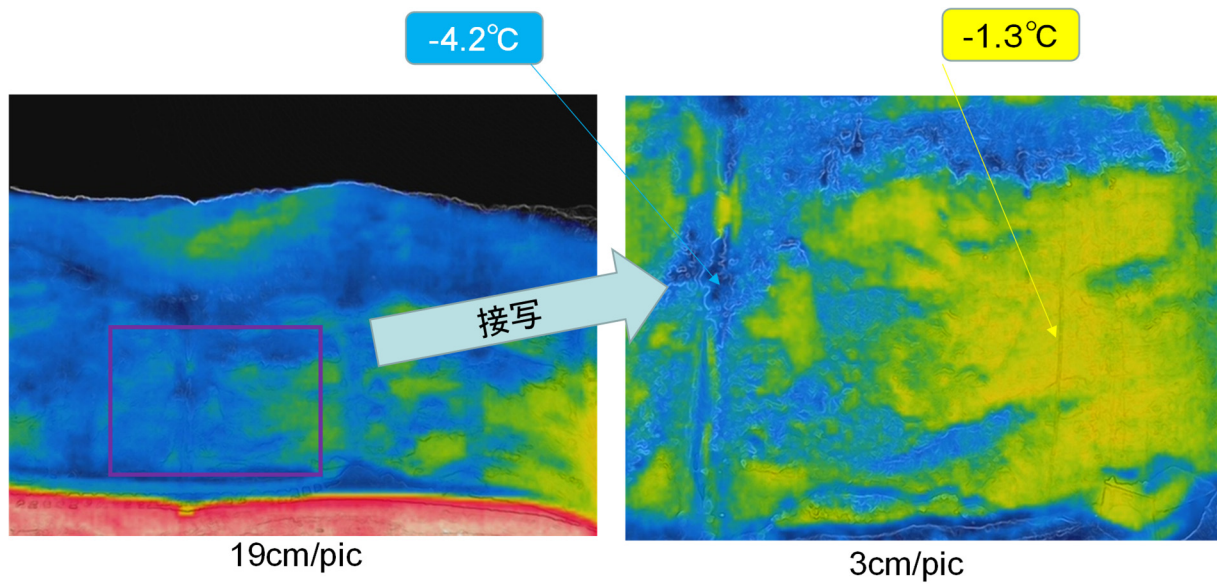


図 2.8 解像度による違い

この結果、接写すると細部が明瞭となることが確認され温度も変化した。

（4） UAV 搭載型赤外線カメラの斜面調査への適用性のポイント

予備調査の結果、場所により温度差があること、解像度により接写すると細部が明瞭となることを確認した。この結果を受けて、今後、UAV 搭載型赤外線カメラの斜面調査への適用性を検討するにあたり、以下に示すポイントに関して検討する必要があると考えられる。

- ✧ 複雑な形状を持つ岩盤斜面での適用可否
- ✧ 撮影時期による結果の影響検討
- ✧ 抽出事象（湧水・地質・亀裂など）
- ✧ 検出精度の検討
- ✧ 斜面对策工（落石防護金網など）による影響

2.2.2 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 2.9)。以下では令和3年度に現地検討会を実施した日勝峠について述べる。なお、令和元年度・令和2年度は、COVID-19 感染拡大に伴い現地検討会は行っていない。



図 2.9 モデル地区位置図

調査検討会の位置図を図 2.10 に、実施状況を写真 2.5 に、概要を以下に示す。

実施日 令和3年（2021年）10月26日

参加者 藤井部会長

日外オブザーバー

専門技術者 11 名

現地検討会は、後述の「災害時における航空レーザープロファイラーの利活用に関する検討」の一環として、UAVによる現地写真撮影の手順を確認することを目的として実施した。

日勝峠では、平成 28 年（2016 年）8 月 30 日～31 日の豪雨により、斜面崩壊・盛土崩壊などの被害が発生している。部会では、平成 28 年（2016 年）9 月に被災箇所の現地調査を実施し、UAV により写真を撮影している（道路管理技術委員会活動報告書（その 7））。この UAV 空中写真を平成 3 年度の現地検討会において利用した。



図 2.10 現地検討会位置図



写真 2.5 現地検討会の状況

現地検討会では、道路上の3点に対空標識を設置し、GPS受信器による標定作業を行い（写真2.6）、UAVによる写真撮影を行った（写真2.7）。

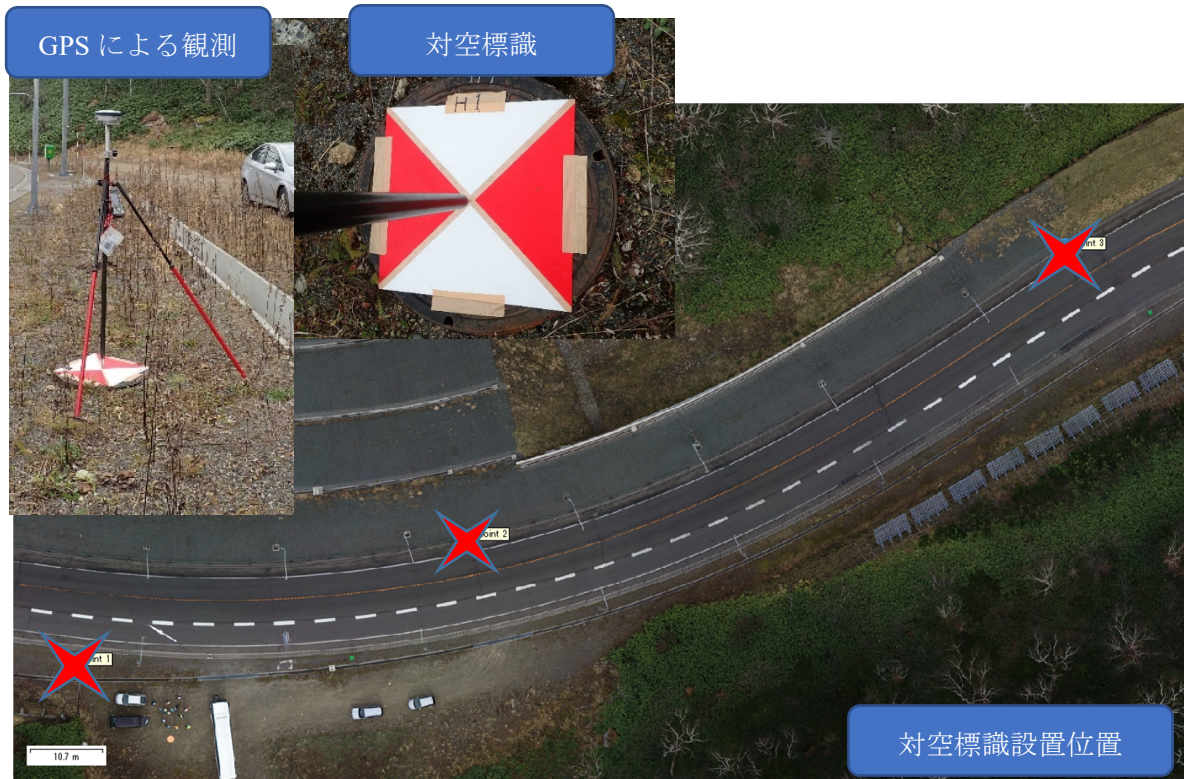


写真 2.6 標定点観測（上左）・対空標識（上中）と設置位置（下）

UAV写真撮影は、以下の諸元で行った。一般に空中写真撮影は、精度向上のため30m程度の低高度で実施される場合が多い。今回は災害時を想定し、写真点数を少なくし撮影時間・解析時間を短くするため、撮影高度を100mに設定した。

撮影高度：100m
撮影範囲：250m×250m
写真点数：52枚
撮影時間：5分



写真 2.7 UAVによる写真撮影状況

空中写真撮影に引き続き、災害時を想定したデータ解析を、日勝峠近傍の会議室において実施した。

① SfM ソフトによる地形モデルの構築

空中写真図化（SfM [ドローン等を使って、異なる視点からの写真を使い3次元形状を復元する解析ソフトウェア。Structure from Motion の略。以後、SfM と記載]）ソフトを用いて、地形モデルを構築した（図 2.11）。現地検討会で撮影した写真（52 枚）の SfM に要した時間は、約 10 分間であった。

② SfM ソフトを用いた計測

SfM ソフトによる距離の計測（図 2.12）、断面図の作成が可能であることを確認した（図 2.13）。

③ 高さ方向のヒートマップの作成

崩壊直後の平成 28 年（2016 年）撮影の UAV による点群と復旧後の既存 LP とを、点群処理ソフトを用いて重ね合わせたところ、高さ方向の差分を示すヒートマップが作成できた（図 2.14）。

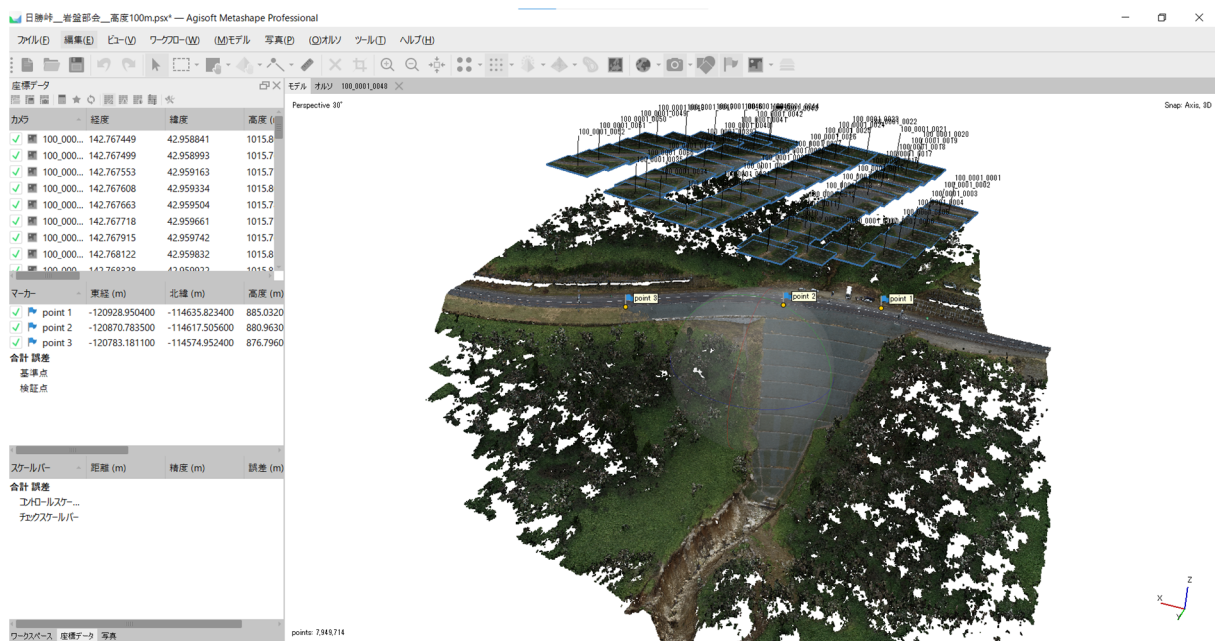


図 2.11 SfM ソフトによる地形モデル構築



図 2.12 SfM ソフトによる距離の測定例

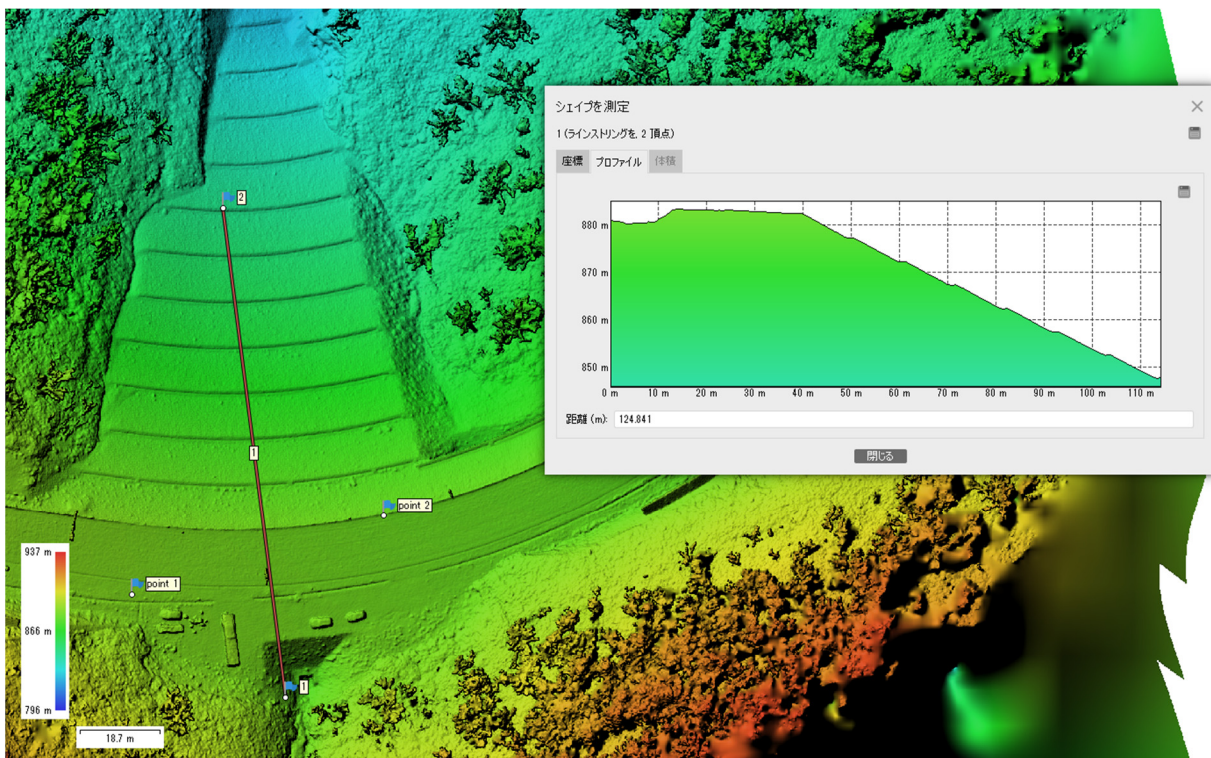
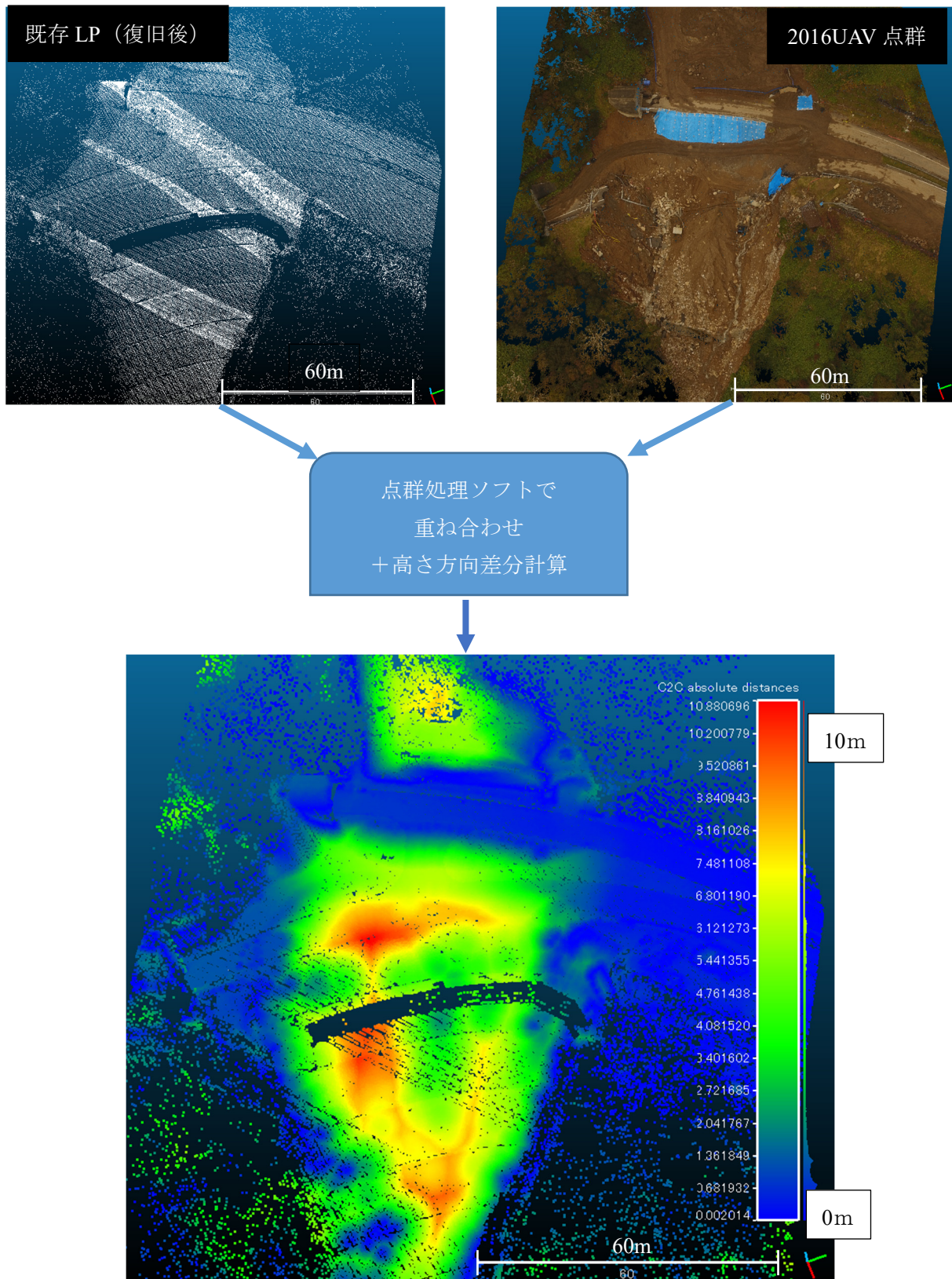


図 2.13 SfM ソフトによる断面図の作成例



高さ方向差分のヒートマップ

図 2.14 既存 LP と UAV による地形モデルから高さ方向のヒートマップを作成

2.2.3 「災害時における航空レーザープロファイラーの利活用」に関する検討

(1) リーフレットの作成

北海道開発局では、国道の急崖斜面を対象に航空機搭載型レーザープロファイラーによる地形データ（以下「航空 LP」）を取得している。航空 LP は道路敷地外を含む広い範囲の地形データにより構成されており、道路管理の様々な場面で利活用が期待できる。

部会では、航空 LP の利用方法として災害時における活用方法について検討を行い、その結果をリーフレットとしてまとめた。リーフレットは参考資料として示した。以下ではその主な内容について述べる。

リーフレットは道路管理者の参考資料とするため、A4 で 2 ページ、全 3 章、参考文献 2 編の構成とした。

第 1 章 航空 LP とは？

本章では、航空 LP の用語説明、北海道開発局における航空 LP の実施時期、成果品に含まれるファイルの形式を紹介した。また航空 LP の精度について表として示した（図 2.15）。

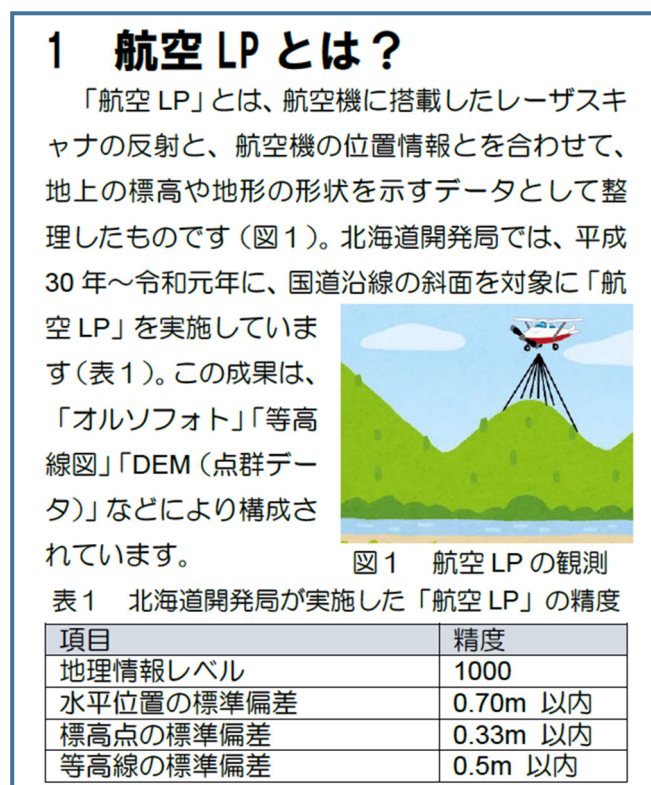


図 2.15 リーフレット第 1 章

第2章 航空LPの利用方法

航空LPの成果に含まれるオルソフォト、等高線図、DEMについて、それぞれの特徴や利用事例について述べた（図2.16）。

（1）オルソフォトの利用方法

オルソフォトとは、地図と同様に正しい縮尺の画像が得られるように、レンズの曲面などによるひずみを補正し、貼り合わせた写真です（図2）。案内図として利用できるほか、CADソフトで地図の代わりに背景画像として利用することができます。



図2 オルソフォトの例
（事業箇所の表示例）

（2）等高線図の利用方法

等高線図とは、「航空LP」から等高線を自動発生させた平面図です（図3）。DXFファイル形式なので、そのままCADで利用できます。道路の中心線や建物など現況の測量などを追加することで、設計平面図としても利用できます。災害発生時や、業務・工事に際して、幅広く活用可能です。ただし、オーバーハングや垂直な斜面は表現できないので注意が必要です。



図3 等高線図の例

（3）DEM（点群データ）の利用方法

DEMとは、「航空LP」により得られたXYZ座標からなる点群データです。DEMには、表2に示すような種類があります。このうち1mメッシュファイル（図4）は、CIM/BIMに対応した3D-CADを用いて、断面図の作成（図5）、土量の計算などに活用できます。

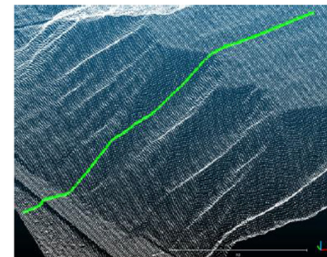


図4 DEM（1mメッシュファイル）の例（緑：図5断面位置）

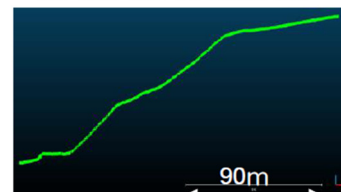


図5 1mメッシュファイルから作成した断面図の例

表2 DEMの主な成果

ファイルの種類	内容
オリジナルファイル	地形の生データ
グラウンドファイル	樹木を除外した地表面のデータ
1mメッシュファイル	グラウンドファイルから地上点を計算したデータ

図2.16 リーフレット第2章

第3章 災害時の活用

第3章の冒頭で、オルソフォトと等高線図は災害時にもそのまま利用できることを示した（図2.18）。また、現地検討会において作成した被災前後の高さ方向のヒートマップとその作業の流れを例示した。また各節では以下の内容について述べた。

①UAV 写真撮影の方法（図2.17）

- DEMを作成するために必要な撮影範囲・ラップ率について述べた。
- 精度については、航空LPと同精度の地理情報レベル500を例示した。
- 一般的なUAVとしてPhantom4（現地部会で使用）の撮影時間を例示した。
- 地上標定点については、作業時間短縮のために省略可能であることを示した。
- 国土地理院のUAVに関する測量規定を参考文献として示した。
- 毎年のように法令が改正されていることから、安全管理については、法令順守を求めるにとどめ、国土地理院のUAVに関する安全マニュアルを例として参考文献に示した。

3 災害時の活用

土砂崩れなどの災害が発生した場合には、オルソフォトや等高線図など「航空LP」の成果がそのまま利用できます。また災害後にUAVなどを用いて地形情報を取得し、「航空LP」によるDEMと重ね合わせることで、さらに高度な活用が可能です。例えば災害前後の高さの差分を示したヒートマップ（図6）の作成・崩壊土量の算定などを最短1日以内で行えます。以下では図7に従って、災害時における「航空LP」とUAV写真測量を組み合わせた活用方法についてご紹介します。

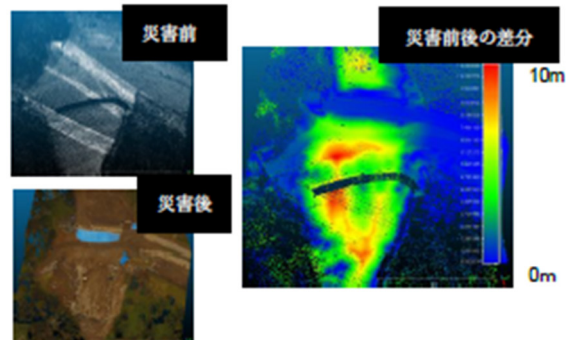


図6 災害前（航空LP）と災害後（UAV）のDEMから高さの差分を図化した例（赤が大きく崩れている）



図7 災害発生時の「航空LP」活用手順

(1) UAV 写真撮影の方法

UAVを用いて変状範囲を十分カバーするように写真を撮影します。一般的なUAVを想定した撮影諸元を表3に例示しました。撮影高度を下げると、精度が高くなりますが、撮影やSfM解析により多くの時間を要します。またUAV写真測量では、地上標定点（対空標識）の設置・観測が求められます¹⁾が、時間のかかる作業なので、急ぐ場合には後回しにすることも可能です。

なおUAV写真撮影に際しては、機体や周辺の安全確認や関係機関への通知・登録など、法令に基づいた手順²⁾を守る必要があります。

表3 UAV写真撮影諸元例

項目	方法
空中写真の重複率	60%以上
撮影高度	100m程度
地上解像度	0.03m以下
撮影時間	5～10分

（DJI-Phantom4を想定：地理情報レベル500程度）

②SfM 解析の方法（図 2.18）

- 代表的な SfM ソフトを紹介した。
- 作業を急ぐ状況を想定して、解析時間の“めやす”を示した。

③重ね合わせ・データ解析の方法（図 2.18）

- 新旧の DEM がずれた場合の対応について述べた。
- ヒートマップや土量計算の方法については、ソフトウェアによって操作が異なるので詳述を避けた。

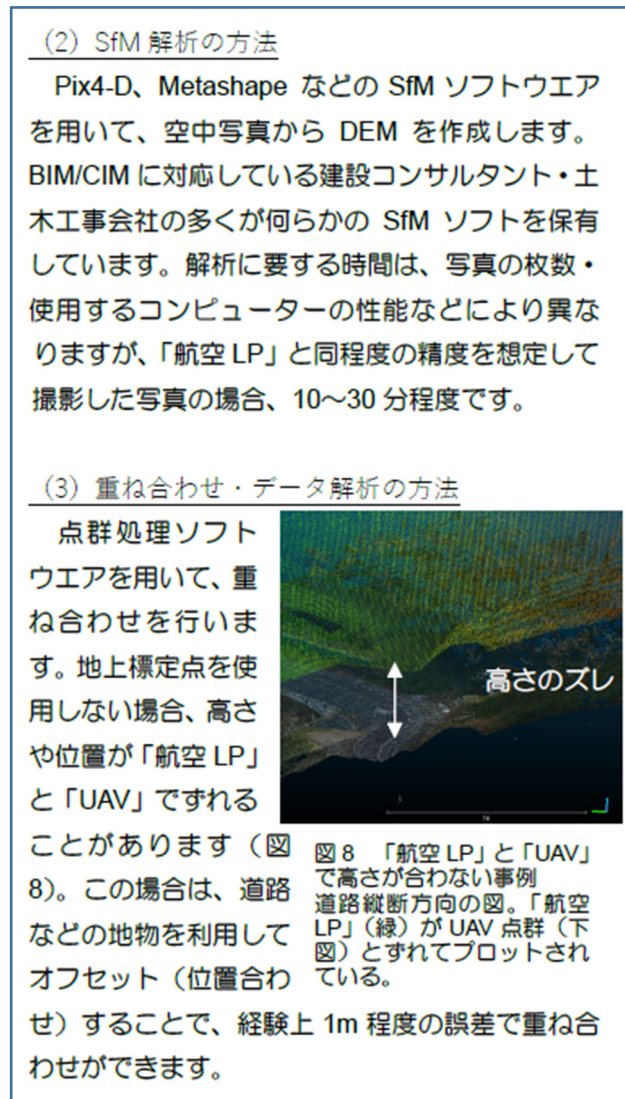


図 2.18 リーフレット第 3 章（2）

（2）植生がDEMに及ぼす影響の紹介

航空LPの一部で実際の地形とDEMや等高線図が合致しない場合がある。公共測量として実施している航空LPは、公共測量作業規定の準則に基づき品質管理が行われている（表2.4）。それでも、高木が密集するような斜面では、思わぬ誤差が生じる場合があり、その原因と対策について以下に述べる。

航空LPの成果としては、1mメッシュの点群からなるグリッドデータや、それから発生させた等高線データが多く利用される。これらは、航空機で取得したLPのデータを何段階かの加工を経て作成される（図2.19）。

表 2.4 北海道開発局既存航空LPの品質条件

地図情報レベル	500
水平位置の標準偏差	0.25m 以内
標高点の標準偏差	0.25m 以内
等高線の標準偏差	0.5m 以内
地上画素寸法	0.03m 以内

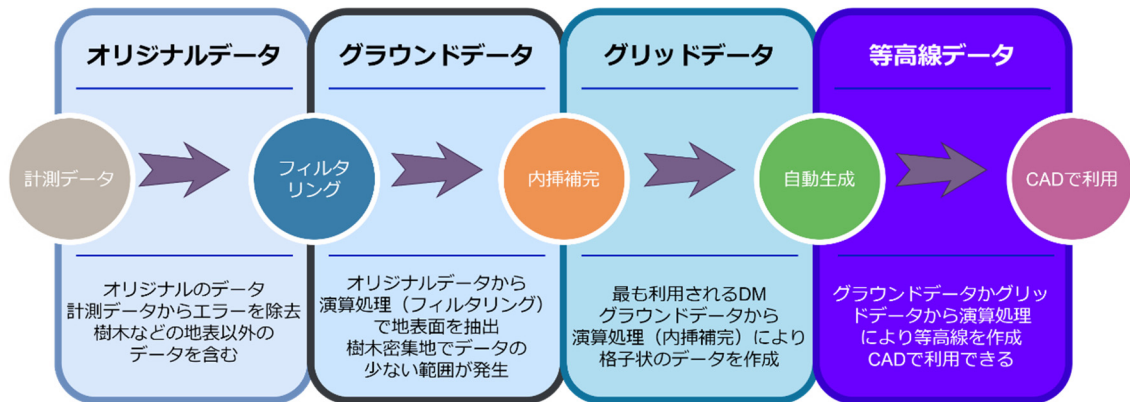


図 2.19 オリジナルデータから等高線データまでの処理過程

①オリジナルデータ

航空LPで取得したデータから、乱反射などによるエラーを除去したもの。樹木・建物など、土木分野ではノイズとなる地表面以外のレーザー反射点を含んでいる（図2.20B）。このため演算処理（フィルタリング）により、地表面以外のデータを除去してグラウンドデータを作成する。

②グラウンドデータ

オリジナルデータから地表面をフィルタリングで抽出したデータ。フィルタリングは自動で行われるので、樹木の密度が高い場所では、地表を示す点が極端に少なくなる場合がある（図2.20C）。データを均質にするために演算処理（内挿補間法）により、1mメッシュのグリッドデータを作成する。

③グリッドデータ

一般に利用する DEM のファイル形式。地表点が一定の間隔で並ぶので、扱いやすい。オリジナルデータで樹木密度が高い場所では、グラウンドデータの点が極端に少なくなり、本来の地形を反映していない可能性がある（図 2.20D）。

このように、植生の密度や高さによっては本来の地形と異なる DEM が得られる可能性があるため、利用に際してはオリジナルデータとグラウンドデータや現地の地形状況を確認するなどの手順を踏むことが望ましい。

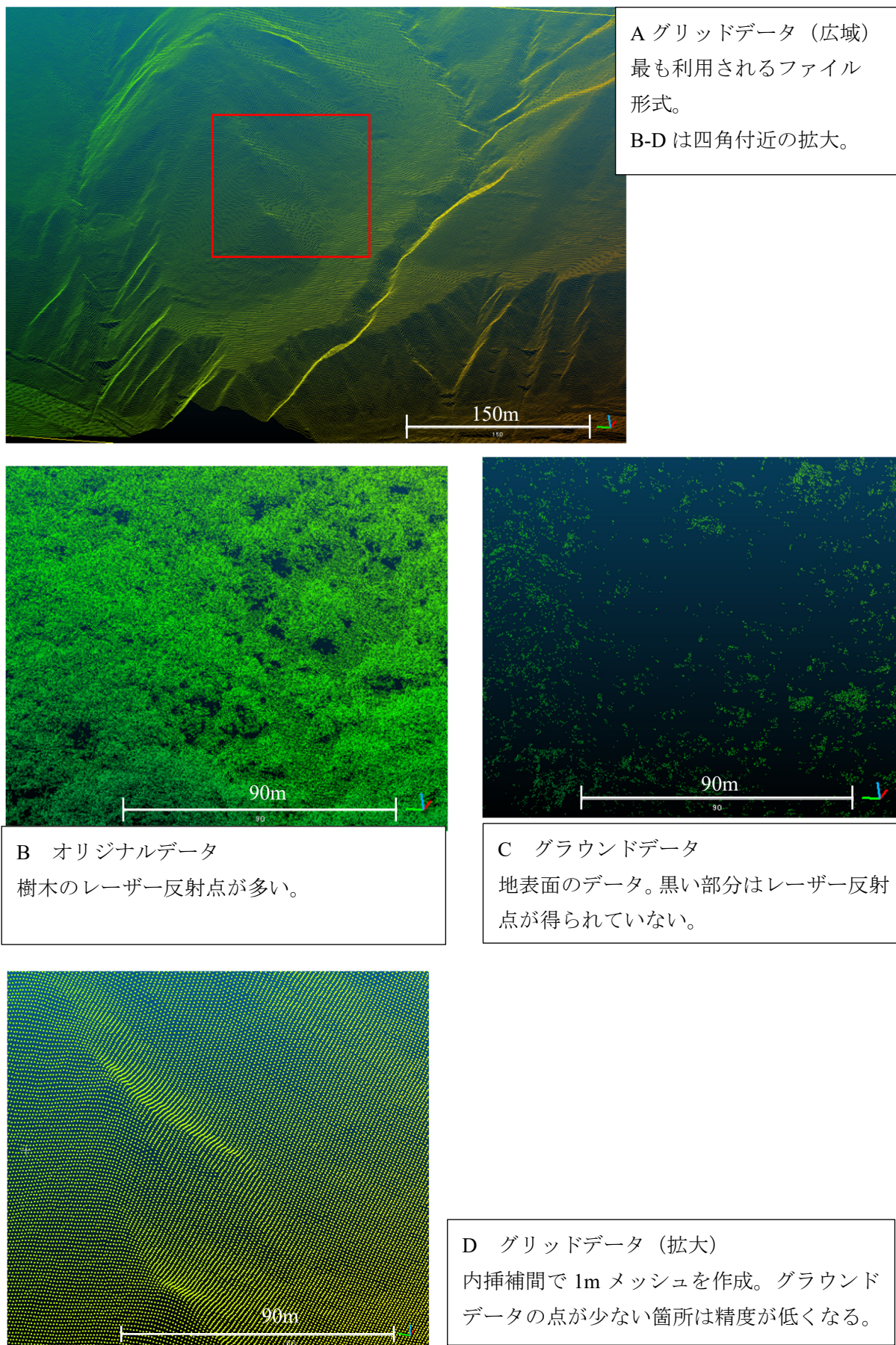


図 2.20 植生が DEM に及ぼす影響の説明図

〔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) 平野勇，双木英人，小池淳子：熱赤外線リモートセンシングによる岩盤掘削面調査，ダム工学，Vol. 7, No. 4,1997

航空レーザープロファイラーの

災害時を中心とした利活用方法

北海道開発局では、国道の急崖斜面を対象に航空機搭載型レーザープロファイラーによる地形データ（以下「航空 LP」）を取得しています。「航空 LP」は道路敷地外を含む広い範囲の地形データにより構成されており、道路管理の様々な場面で利活用が期待できます。以下では道路管理技術委員会における検討に基づき、災害発生時の活用事例を中心に、「航空 LP」の利活用方法についてご紹介します。

1 航空 LP とは？

「航空 LP」とは、航空機に搭載したレーザスキャナの反射と、航空機の位置情報とを合わせて、地上の標高や地形の形状を示すデータとして整理したものです（図 1）。北海道開発局では、平成 30 年～令和元年に、国道沿線の斜面を対象に「航空 LP」を実施しています（表 1）。この成果は、「オルソフォト」「等高線図」「DEM（点群データ）」などにより構成されています。

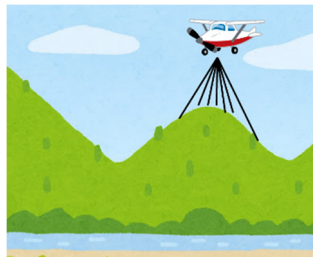


図 1 航空 LP の観測

表 1 北海道開発局が実

施した「航空 LP」の精度

項目	精度
地理情報レベル	1000
水平位置の標準偏差	0.70m 以内
標高点の標準偏差	0.33m 以内
等高線の標準偏差	0.5m 以内

2 航空 LP の利活用方法

(1) オルソフォトの利用方法

オルソフォトとは、地図と同様に正しい縮尺の画像が得られるように、レンズの曲面などによるひずみを補正し、貼り合わせた写真です（図 2）。案内図として利用できるほか、CAD ソフトで地図の代わりに背景画像として利用



図 2 オルソフォトの例（事業箇所の表示例）

することができます。

(2) 等高線図の利用方法

等高線図とは、「航空 LP」から等高線を自動発生させた平面図です（図 3）。DXF ファイル形式なので、そのまま CAD で利用できます。道路の中心線や建物など現況の測量などを追加することで、設計平面図としても利用できます。災害発生時や、業務・工事に際して、幅広く活用可能です。ただし、オーバーハングや垂直な斜面は表現できないので注意が必要です。

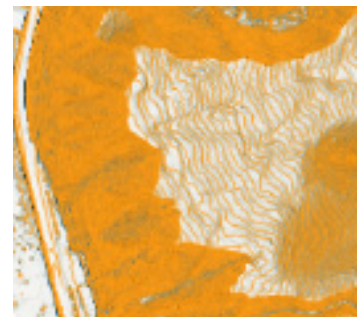


図 3 等高線図の例

(3) DEM（点群データ）の利用方法

DEM とは、「航空 LP」により得られた XYZ 座標からなる点群データです。DEM には、表 2 に示すような種類があります。このうち 1m メッシュファイル（図 4）は、CIM/BIM に対応した 3D-CAD を用いて、断面図の作成

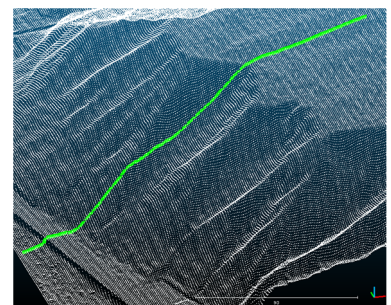


図 4 DEM（1m メッシュファイル）の例（緑：図 5 断面位置）

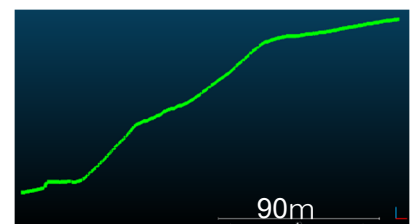


図 5 1m メッシュファイルから作成した断面図の量の計

表2 DEMの主な成果

ファイルの種類	内容
オリジナルファイル	地形の生データ
グラウンドファイル	樹木を除外した地表面のデータ
1m メッシュファイル	グラウンドファイルから地上点を計算したデータ

3 災害時の活用

土砂崩れなどの災害が発生した場合には、オルソフォトや等高線図など「航空LP」の成果がそのまま利用できます。また災害後に UAV などを用いて地形情報を取得し、「航空LP」によるDEMと重ね合わせることで、さらに高度な活用が可能です。例えば災害前後の高さの差分を示したヒートマップ（図6）の作成・崩壊土量の算定などを最短1日以内で行えます。以下では図7に従って、災害時における、「航空LP」とUAV写真測量を組み合わせた活用方法についてご紹介します。

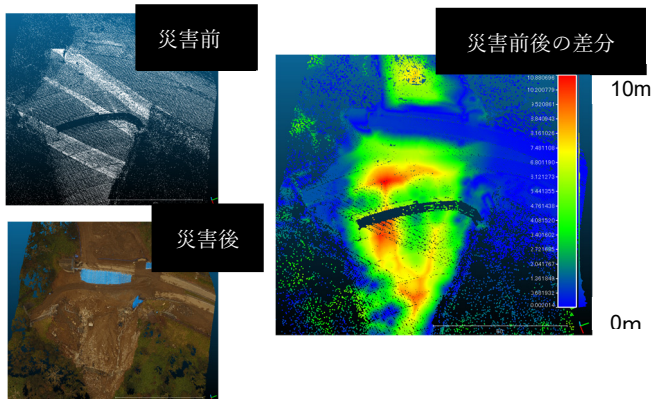


図6 災害前（航空LP）と災害後（UAV）のDEMから高さの差分を図化した例（赤が大きく崩れている）

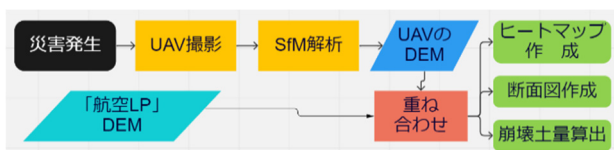


図7 災害発生時の「航空LP」活用手順

(1) UAV写真撮影の方法

UAVを用いて変状範囲を十分カバーするように写真を撮影します。一般的なUAVを想定した撮影諸元を表3に例示しました。撮影高度を下げると、精度が高くなりますが、撮影やSfM解析により多くの時間を要します。またUAV写真測量では、地上標定点（対空標識）の設置・観測が求められます¹⁾が、時間のかかる作業なので、急ぐ

場合には後回しにすることも可能です。

なおUAV写真撮影に際しては、機体や周辺の安全確認や関係機関への通知・登録など、法令に基づいた手順²⁾を守る必要があります。

表3 UAV写真撮影諸元例

項目	方法
空中写真の重複率	60%以上
撮影高度	100m程度
地上解像度	0.03m以下
撮影時間	5～10分

（DJI-Phantom4を想定：地理情報レベル500程度）

(2) SfM解析の方法

Pix4-D、MetashapeなどのSfMソフトウェアを用いて、空中写真からDEMを作成します。BIM/CIMに対応している建設コンサルタント・土木工事会社の多くが何らかのSfMソフトを保有しています。解析に要する時間は、写真の枚数・使用するコンピュータの性能などにより異なりますが、「航空LP」と同程度の精度を想定して撮影した写真の場合、10～30分程度です。

(3) 重ね合わせ・データ解析の方法

点群処理ソフトウェアを用いて、重ね合わせを行います。地上標定点を使用しない場合、高さや位置が「航空LP」と「UAV」でずれる

ことがあります（図8）。この場合は、道路などの地物を利用してオフセット（位置合わせ）することで、経験上1m程度の誤差で重ね合わせができます。

〔参考文献〕

- 1) 公共測量作業規定の準則 第5章 UAV写真測量、令和2年3月、国土交通省
- 2) 例えば 公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）、平成28年3月、国土交通省

〔以上〕

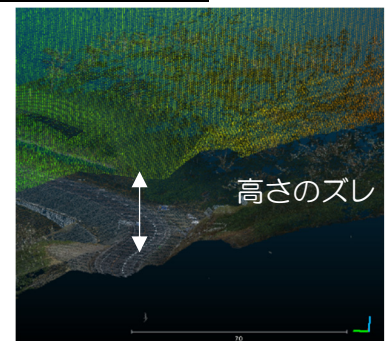


図8 「航空LP」と「UAV」で高さが合わない事例
道路縦断方向の図。「航空LP」（緑）がUAV点群（下図）とずれてプロットされている。