

写真計測技術を活用した斜面点検手法 ～背景差分法による岩盤斜面の変化箇所抽出手法～

背景差分法による変化の把握

点検時に撮影した斜面の写真と以前の斜面の写真とを、正確に重ね合わせて色調の差分をとることで、細かな変化を捉えられる。



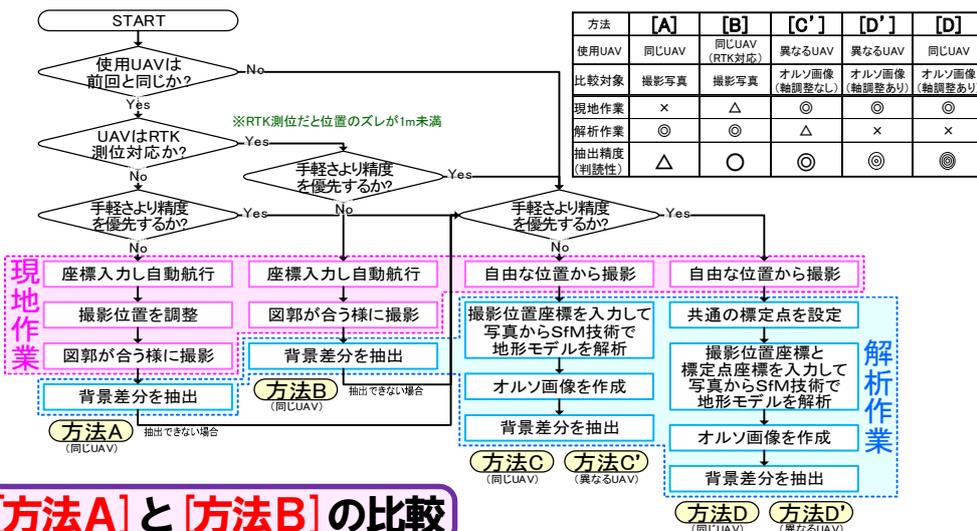
同じUAVで同じ位置・方向から撮影した写真をそのまま比較

【同じUAVを使う場合】

- 撮影写真をそのまま比較
- **A**[一般UAV] or **B**[RTK対応UAV]
- ①: 撮影位置・方向を前回と一致させて撮影
- ②: 前後の撮影写真の色調を補正
- ③: 撮影写真から背景差分を抽出



使用UAVや要求性能・作業性に応じた方法の選択

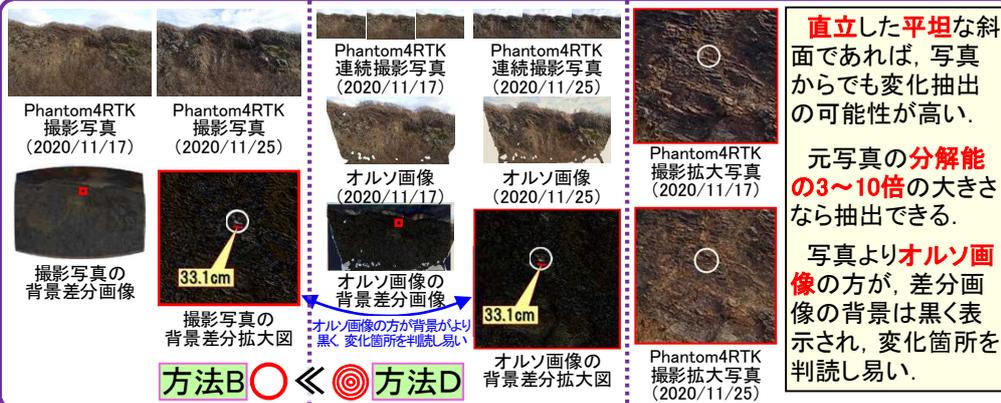


【方法A】と【方法B】の比較



・前回画像のExifから取得した[緯度]・[経度]情報を入力して自動航行させて撮影する
 ・90%以上のラップ率の写真が必要となるため、ズレが大きいと撮影の前に現地微調整が必要
 ・測位精度の高いRTK対応UAVは、ほぼ同じ位置へ自動航行でき、差分抽出精度も極めて高い

【方法B】と【方法D】の比較

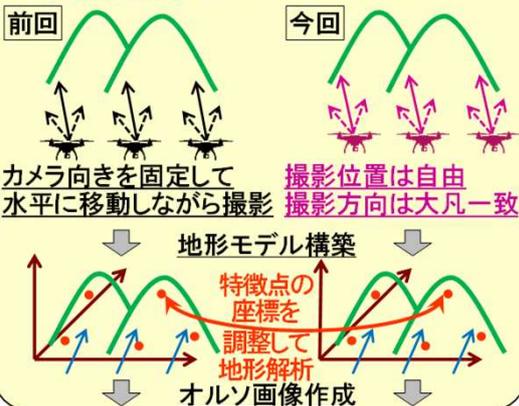


直立した平坦な斜面であれば、写真からでも変化抽出の可能性が高い。
 元写真の分解能の3~10倍の大きさなら抽出できる。
 写真より**オルソ画像**の方が、差分画像の背景は黒く表示され、変化箇所を判読し易い。

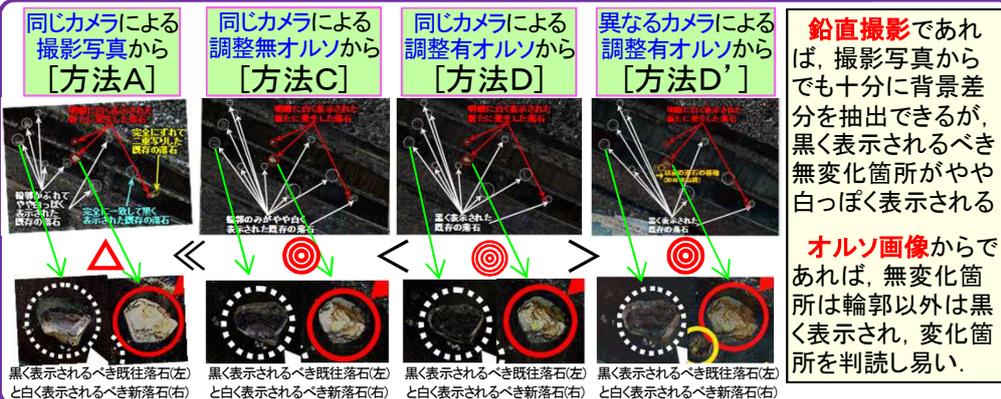
異なるUAVで概ね同じ方向で撮影した写真をオルソ変換して比較

【異なるUAVを使う場合】

- オルソ画像に変換して比較
- **C**[無調整] or **D**[追加調整]で精度向上
- ①: 撮影位置は自由、撮影方向は鉛直固定が大凡の水平方向を前回と一致させて撮影
- ②: 写真から地形モデルを構築し、鉛直・水平方向のオルソ画像を作成
- ③: 前後のオルソ画像の色調を補正
- ④: **オルソ画像**から背景差分を抽出



【方法A】と【方法C】と【方法D】と【方法D'】の比較



鉛直撮影であれば、撮影写真からでも十分に背景差分を抽出できるが、黒く表示されるべき無変化箇所がやや白っぽく表示される
 オルソ画像からであれば、無変化箇所は輪郭以外は黒く表示され、変化箇所を判読し易い。

写真計測技術を活用した斜面点検手法

～道路防災点検におけるUAVを用いた岩盤斜面の変状調査例～

『写真計測技術を活用した斜面点検マニュアル(案) (令和5年9月版)』

ダウンロードURL: <http://chishitsu.ceri.go.jp/soft.html> (2024.4.1)

マニュアル

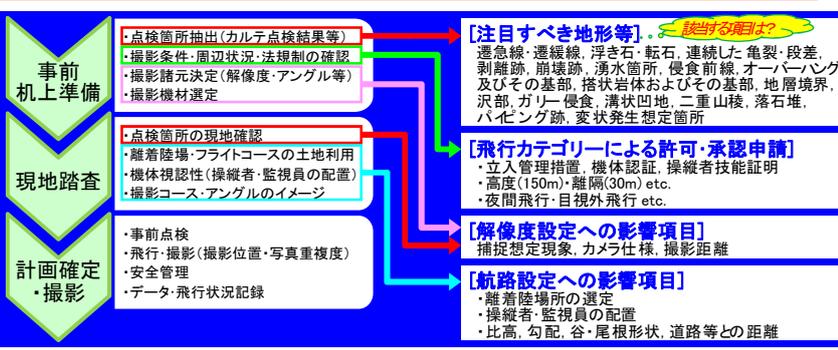
写真計測技術を活用した
斜面点検マニュアル(案)

令和5年9月

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所
寒地基礎技術研究グループ 防災地質チーム

目次

1. 総則	1
1.1. 本マニュアルの構成	1
1.2. 背景差分法の概要	2
2. 点検計画	4
2.1. 点検箇所抽出	5
2.2. 点検ポイントの選定	7
3. 地上写真編	8
3.1. 地上写真編の概要	8
3.2. 地上写真の撮影手順	9
3.2.1. 地上写真を用いた背景差分法の手順	9
3.2.2. 写真に必要なとれる精度の設定	10
3.2.3. 撮影の距離	11
3.2.4. 撮影方法	12
3.2.5. 撮影地点の設定(斜面編)	16
3.2.6. 撮影地点の設定(崖壁編)	20
3.3. 地上写真を用いた背景差分法の実施方法	23
3.3.1. 地上写真を用いた背景差分法の手順	23
3.3.2. 地上写真を用いた背景差分法の方法	24
4. UAVによる空中写真編	25
4.1. UAVによる空中写真編の概要	25
4.2. 空中写真の撮影準備の流れ	26
4.3. 事前机上準備	27
4.3.1. 点検箇所の抽出	27
4.3.2. 法規制・周辺状況の確認	28
4.3.3. 撮影諸元の決定	29
4.3.4. 機材の選定	38
4.4. 現地踏査	40
4.5. 空中写真の撮影	45
4.5.1. 飛行計画の登録	45
4.5.2. カメラの設定	46
4.5.3. テスト飛行	49
4.5.4. フェイルセーフ	49
4.5.5. 飛行高度・撮影アングルの手動補正	50
4.5.6. 撮影コースの記録	50
4.6. 空中写真を用いた背景差分法の実施方法	53
4.6.1. 空中写真を用いた背景差分法の手順	53
4.6.2. 空中写真の図解補正方法	54
4.6.3. 空中写真の色調補正方法	63
4.7. UAVを用いた空中写真撮影計画	68
4.7.1. A地区	68
4.7.2. B地区	80
4.7.3. C地区	91
4.7.4. D地区	97
5. 背景差分画像の解釈と記録	108
5.1. 背景差分画像の解釈	108
5.2. 差分抽出結果の記録	120



UAV撮影記録表

撮影日時	撮影機材	撮影地点	撮影諸元	撮影者
2024.04.10	Phantom 4 RTK	札幌市豊平区	高度150m, 離隔70m	〇〇〇
2024.04.10	Phantom 4 RTK	札幌市豊平区	高度150m, 離隔70m	〇〇〇

入力担当者	入力内容
〇〇〇	点検箇所抽出
〇〇〇	撮影諸元決定
〇〇〇	撮影機材選定

UAV点検撮影の計画手順と着目点

防災点検での試行例



背景差分票

撮影日時	撮影機材	撮影地点	撮影諸元	撮影者
2024.04.10	Phantom 4 RTK	札幌市豊平区	高度150m, 離隔70m	〇〇〇
2024.04.10	Phantom 4 RTK	札幌市豊平区	高度150m, 離隔70m	〇〇〇

入力担当者	入力内容
〇〇〇	背景差分解析
〇〇〇	背景差分解析
〇〇〇	背景差分解析

背景差分法による露岩部における変状発生把握

背景差分解票(撮影写真)

背景差分解票(オルソ画像)

幅10m比高差18mの岩盤は離崩壊

A: 幅10m比高差18mの岩盤前後 B: 多数の落石25箇所

φ13cm~2mの落石跡が多数

A: 幅10m比高差18mの岩盤前後 B: φ数10cm~2mの落石25箇所

背景差分法による擁壁背面における変状発生把握

背景差分解票(撮影写真)

背景差分解票(オルソ画像)

新しい落石堆

転石

新しい落石堆

多数の転石

A-B: 新規の落石堆が認められる。C: 擁壁背後のポケットにφ数十cmの転石が認められる。

UAV撮影写真を背景差解析することで、高比高部でも変状箇所を把握できるだけでなく、更にオルソ画像に変換して解析することで、目視では把握し難い細かな変化を漏れなく抽出することが可能になる。

背景差分法を用いた落石発生箇所の抽出

道路の安全を守るために



- ・点検等で、新しい落石や崩積土等の変状が確認されると、崩壊箇所の確認や大規模崩壊等の前兆の可能性などの検討が行われる。
- ・このとき重要となるのが、崩壊前の斜面状況が記録されたスケッチや写真である。
- ・しかし、予期せぬ箇所での崩壊が発生し、以前の情報が少ない場合、崩壊前の岩体の正確な形状の把握は難しい。

防災カルテ作成・運用要領より

斜面写真から落石や岩盤崩壊の発生による岩盤斜面の変化箇所を漏れなく抽出する手法を開発することにより、より安全かつ効率的な斜面管理につながる。

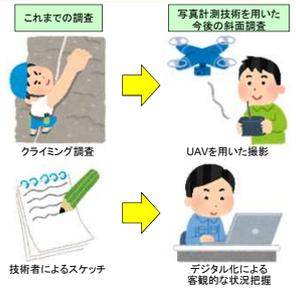
石はどこから落ちてきた??



廃道となった道路上に落石を確認

継続的に落石が発生していることは明らかだが、斜面のどの場所から落ちてきた石なのか判断することは難しい。

アナログからデジタル管理の時代へ



- 期待される効果**
- 安全性の向上
 - ・危険な斜面に接近せずに点検が可能
 - 作業性の向上
 - ・斜面点検の効率化
 - ・人的要因による誤差の軽減
 - ・的確かつ客観的な形状の把握

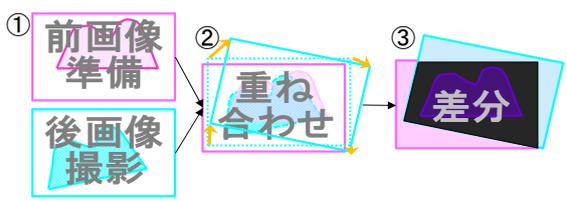
防災地質チームでは、岩盤斜面点検等において、異なる時期に撮影した写真を比較することで、細かな変化箇所を漏れなく抽出する手法を研究し、その手順をマニュアル (<https://chishitsu.ceri.go.jp/soft.html>) として公開してきた。

落石発生箇所を明らかにすることでわかること

- ・落石の発生しやすい地質・地層がある?
 - ・季節的な変化がある?
 - ・どの位置から落石が発生してどこまで到達する?
- etc.
- 落石の発生プロセスを理解し、今後の斜面防災に生かすためには、落石発生箇所を明らかにする必要がある!

背景差分法を用いた落石発生箇所の抽出

背景差分法とは異なる時期に撮影されたほぼ同じ構図の2枚の写真を重ね合わせ、その色調差分を取ることで、写真撮影期間における変化箇所をより客観的に把握する手法。



- 背景差分法の手順**
- ① 異なる時期に、同じカメラで同じ位置から、同じ設定で撮影する。
 - ② 2画像の色調を補正した後に、変形・移動させて、図郭を重ね合わせる。
 - ③ 2画像の差分をとり、無変化箇所を白っぽく表示させる。

背景差分法の斜面への適用例



- ・従来、背景差分法は防犯カメラ等で異常を感知するために開発された技術であり、固定カメラの利用を前提としていた。
- ・防災地質チームでは岩盤斜面の変状抽出に利用できるよう、小型無人航空機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)による撮影写真へ適用手法を検討・開発。

落石の発生箇所を見つけよう!



前画像

撮影日: 2020/11/17



後画像

撮影日: 2021/11/17



背景差分画像

火山角礫岩 崩落型岩盤崩壊



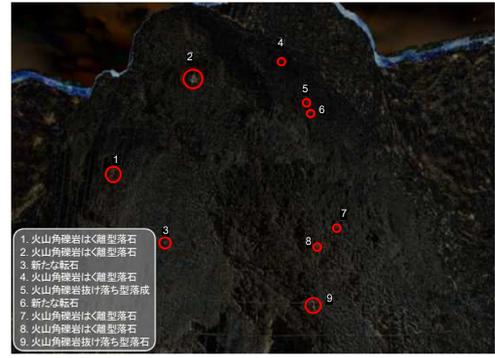
前画像

撮影日: 2020/11/17



後画像

撮影日: 2021/11/17



1. 火山角礫岩は<離型落石
2. 火山角礫岩は<離型落石
3. 新たな転石
4. 火山角礫岩は<離型落石
5. 火山角礫岩は<離型落石
6. 新たな転石
7. 火山角礫岩は<離型落石
8. 火山角礫岩は<離型落石
9. 火山角礫岩は<離型落石

参考文献 ・「空中写真から作成した地形モデルを活用した斜面調査マニュアル(案)」(国研)土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム、令和4年3月。
 ・「写真計測技術を活用した斜面点検マニュアル(案)」(国研)土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム、令和4年3月。
 ダウンロードURL <https://chishitsu.ceri.go.jp/soft.html>



写真計測技術を活用した斜面点検手法

～地形モデル構築に向けた岩盤斜面に適したUAV撮影条件～

地形モデル構築におけるUAV撮影条件検証

SfM技術を用いて、オーバーハングがあり金網の施工された急崖岩盤斜面の三次元地形モデル構築に適した『UAV撮影条件』を現地検証した。

以下の7項目について、構築地形モデルの比較から適した撮影条件を検証

- ① UAV機種と撮影距離
- ② 撮影方向 (水平/鉛直)
- ③ 撮影枚数とラップ率
- ④ 焦点距離
- ⑤ シャッター速度
- ⑥ 飛行速度
- ⑦ 画像圧縮率



① UAV機種・撮影距離による比較

機体名称	DJI Phantom4Pro	DJI Inspire2	DJI S1000
プロペラ数	4枚(アウトコプター)	4枚(アウトコプター)	8枚(アウトコプター)
対角寸法	350mm	605mm	1045mm
合計重量	1389g	3440g	8940g
最大飛行時間	約30分	約19分	約23分
GPS/GLONASS	姿勢制御+位置補正	姿勢制御+位置補正	姿勢制御+位置補正
カメラ	FC6310(備え付け)	Zenmuse X5S	Canon EOSD5 Mark III
有効画素数	約2000万画素	約2080万画素	約2230万画素
最大解像度	5472×3840	5280×3840	5760×3840
レンズ	(備え付け)	DJI MFT 15mm/1.7ASPH	EF24mm F2.8 IS USM
焦点距離	2.8-11mm (9mm)	15mm	24mm
センサーサイズ	1/2.3 (13.2×9.8mm)	4/3 (17.3×13mm)	フルサイズ(36×24mm)
動画撮影サイズ	4096×2160 (4K)	4096×2160 (4K)	1920×1080 (Full HD)

撮影距離	DJI Phantom4Pro	DJI Inspire2	DJI S1000
:100m	分解能27mm	分解能22mm	分解能20mm
:75m	分解能20mm	分解能16mm	分解能15mm
:50m	分解能13mm	分解能11mm	分解能13mm
:30m	分解能8mm	分解能7mm	分解能10mm
:20m	分解能5mm	分解能4mm	分解能6mm

分解能・画素数と金網モデル化との関係

低分解能...金網を個別認識しないが、全体的に捉えてしまう
 中分解能...捕捉画素数や撮影角度などの見え方によっては、①金網を同一地点として認識して、特徴点が配置②撮影角度により、異なる金網として認識されて、特徴点は置かれない(広角撮影だと角度が付き易い)
 高分解能...ワイヤロープ・金網の形状も再現

撮影位置が斜面に近づくにつれ、金網のモデル化される割合は小さくなる。地形モデル上で金網が現れなくなる閾値は、撮影距離・機材に係らず、分解能で10mm程度である。

②-1 水平撮影方向による比較

撮影距離	30°	45°	60°	75°	90°
左(上)	381枚	430枚	390枚	375枚	376枚
右(上)	381枚	430枚	390枚	375枚	376枚
左(下)	381枚	430枚	390枚	375枚	376枚
右(下)	381枚	430枚	390枚	375枚	376枚

②-2 鉛直撮影方向による比較

死角となりやすいオーバーハング部を撮影する際は、画角上半部でオーバーハング下側を捉えられる位置から水平方向に撮影する必要がある。その際、SfM解析には通常で70%以上の写真ラップ率が求められるため、全体ラップ率で85%以上の密な撮影が必要となる。

③ 撮影枚数とラップ率による比較

ラップ率	開引比率	解析枚数 / 100m	撮影間隔	点群密度
90%~	1	430枚	37枚	2,090点/m ²
80~90%	2/3	286枚	25枚	2,038点/m ²
70~80%	1/2	216枚	19枚	2,021点/m ²
60~70%	1/4	108枚	10枚	2,018点/m ²
50~60%	1/7	62枚	6枚	1,886点/m ²
40~50%	1/10	43枚	4枚	25.0m 計測不能

④ 焦点距離による比較

カメラ	焦点距離	撮影方向 (仰角)	シャッター速度	ISO	写真枚数	点群密度 (点/m ²)
X5S	15mm	水平	1/400	100	403	5,369
X5S	45mm	水平	1/400	100	371	5,829

⑤ シャッター速度による比較

カメラ	焦点距離	撮影方法	シャッター速度	ISO	F値	写真枚数	点群密度 (点/m ²)
X5S	15mm	水平方向に4km/hで飛行しつつ撮影	1/200	100	自動	57	5,637
			1/500	100	自動	66	7,975
			1/1000	100	自動	64	7,572
			1/2000	100	自動	64	5,702

⑦ 画像圧縮率による比較

撮影データ	RAW (34,938KB)	JPEG低圧縮 (7,669KB)	JPEG中圧縮 (1,730KB)	JPEG高圧縮 (511KB)
解析データ	TIFF非圧縮 (61,815KB)	JPEG低圧縮 (7,669KB)	JPEG中圧縮 (1,730KB)	JPEG高圧縮 (511KB)

⑥ 飛行速度による比較

カメラ	焦点距離	撮影方法	飛行速度	シャッター速度	ISO	写真枚数	点群密度 (点/m ²)
X5S	15mm	水平方向に飛行しつつ撮影	5km/h	1/320	100	38	450
			10km/h	1/320	100	18	468
			20km/h	1/320	100	9	425

⑦ 画像圧縮率による比較

全体形状に顕著な違いは認められない。金網が浮きやすいオーバーハング下位で、画質の悪い高圧縮の場合に、金網が殆ど捕捉されていない。このことは、画像圧縮過程で画像がぼやけ、細かい金網上に特徴点を設定し難いためと推察される。金網下の形状把握に限定すれば、取って画質を落とすことも有効と思われる。

急崖岩盤斜面に適したUAV撮影条件

- ・地形モデルの構築精度に最も影響する撮影指標は、機材仕様によらず、撮影設定や撮影距離から定まる分解能である。
- ・金網の下の岩盤形状を正確に把握するためには、分解能が10mmになるまで接近し、焦点距離の短い広角側での撮影が望ましい。
- ・撮影設定から定まる撮影範囲を事前に把握し、1点を複数回捉えたラップ率の高い撮影を行い、特徴点を高密度(2,000点/m²)で偏りなく生成できる写真枚数で解析することが望まれる。
- ・その撮影の際、ラップ率が低くなり易い最下段は撮影密度を上げるなどの工夫が必要である。
- ・オーバーハング下部などでは、死角が生じないように垂直ラップ率が85%以上となる小さな高度差で密な撮影が必要である。