# 道路法面の近接目視点検における UAV の活用とその効果

国際航業(株) ○小野尚哉,田中貴人,山本奈穂 (一財)京都技術サポートセンター 小松吉則

### 1. はじめに

膨大な数の道路法面等の点検には莫大なコストと時間がかかる。特に急峻箇所や高所では、ロープワークや高所作業車による作業となり、作業効率の低下とコスト増大が著しい。一方で技術者の減少、施設の老朽化、災害の激甚化は進行中である。このため各種新技術を活用して、蓄積されたデータを比較し変状進行箇所を的確に把握することや、危険箇所や災害予兆を効率的に把握することが求められている¹)。本稿ではそのような課題を解決するために、SLAM技術・自律飛行機能・熱赤外線画像等が利用可能なUAVによる点検と道路土工構造物点検要領に基づく近接目視点検を同時試行し、作業性、点検精度等を比較・検証したものである。

#### 2. 従来の点検方法の概要と課題

道路事業では、道路の安全性の向上や第三者被害の防止および効率的・効果的な維持修繕のための基礎資料を得ること等を目的として、下記の点検が実施されており、それぞれに課題がある。

# (1) 道路防災点検

構造物やその周辺の地形、地質、変状等を、点検要領等に基づき専門技術者が評価するものである。

この点検においては、見逃し災害(点検対象以外の災害)、点検技術者不足、データ蓄積不良、既往災害の教訓の活用不足、対策効果の過大評価、地質や力学物性を活用する体系不足などが課題である<sup>2)</sup>。

## (2) 道路土工構造物点検

土工構造物に対して、点検要領等に基づいて近接目視により変状の状況を確認し、その結果をもとに健全性を 診断するものである。

この点検は近接目視で行うため急峻地の高所作業を伴うことが多く、その場合、ロープワークや高所作業車の利用が必要となり、点検効率の低下や高コスト化、点検結果の品質低下やばらつきなどの課題が生じやすい。

#### 3. UAV を活用した点検の方法

道路の防災・減災における沿道リスクへの対応について、新技術を活用した点検手法の積極的導入が求められているが、法面等の点検における UAV 適用についての報告例<sup>3)</sup>は少ない。本稿では法面の点検に UAV を活用する効果を検証するために、次の点に着目して実施した。

- ①汎用性確保のため市販 UAV・カメラを利用 (表-1)
- ②従来の点検方法との比較による具体的な有効性検証
- ③各種撮影方法の適応性検討

表-1 主な使用機器

機材	重量・カメラ仕様	撮影種別		
Phantom4 Pv2.0	重量:1375g	詳細(状況写真、		
	カメラ:2000 万画素	オルソ、3D)		
		概略、全景		
Matrice 100	重量:3400g	熱赤外線画像		
	赤外線カメラ:	(1 時期のみ簡易)		
	ZenmuseXT32 万画素			
Skydio R2 for Japan	重量:775g	近接		
Inspection (J2)	カメラ:1200 万画素	XVisual SLAM		

※注)Visual SLAM:実機では機体上下の6つのカメラの画像からリアルタイムに3D点群を生成し、この3D点群マップ上で自己位置を推定する機能であり、これにより障害物を自律的に回避し近接撮影を行う。

## 4. 検証結果

#### (1) 従来の点検方法との比較・検討方針

UAV を用いた点検は、画像撮影と画像による健全性診断からなる。診断上は可能な限り高分解能画像を用いることが望ましいが、その撮影には施設への近接が必要であり、必然的に撮影枚数 (=撮影時間) が増え作業性は低下する。また、後処理においては画像確認や SfM による多視点ステレオ写真測量 (三次元モデル生成) 等の作業量も増大する。よって、点検精度と作業性の相関も併せて検討するため、撮影解像度別に以下の 4種の撮影を試行し、点検精度や作業性の整理、比較を行った。

①全景撮影:低分解能(1法面について1~数枚)

②概略撮影:中分解能( " 100 枚以内)

③詳細撮影:高分解能( " 2,000 枚以内)

④近接撮影:超高分解能(手持ちカメラレベル任意枚)

# (2)各撮影方法の比較検証結果

各撮影方法の抜粋画像を図-1 に、各撮影手法や解析内容、作業性等を比較検討した結果を表-2 に示すとともに、各 UAV 撮影の結果と各々の適用場面を以下に述べる。

- a)全景撮影:得られる情報は最小限であり近接目視点検の代替は難しいが、遠距離撮影のため道路規制なしで撮影でき、低コストで効率的に対象のり面の概要を把握できる。このため、詳細調査点検を実施する箇所の選定や、以降の調査時の見取り図としての活用が期待できる。
- b) 概略撮影:遠望目視レベルの分解能であるが、道路上を飛行しない範囲で最近距離から撮影するため、規制なしで取得可能な最も高品質な画像であり、顕著な変状の把握が可能である。このため、詳細な情報が必要であるが道路規制が困難でロープアクセス等も難しい場合や、後述の詳細撮影ほどコストが掛けられない場合における利用が想定される。
- c)詳細撮影:10m 程度の近距離から撮影する手法であり、幅 2mm 程度の亀裂も明瞭に確認でき、法面の近接目視が概ね可能である。ただし、コストは最も高く、また、

道路上の飛行を伴うため、道路規制が必要となる。この ため、他の手法が採用出来ない箇所 (ロープアクセス等 でも近接不能なのり面など) に対し、詳細な調査が必要 となった場合に適用効果が高い。

d)近接撮影:数 10cm~1m 程度の極至近距離から撮影するため、ロープアクセスによる近接目視撮影と同レベルの画像取得が可能である。実機のカメラ解像度等に因り前述の詳細撮影には不向きであるが、概略撮影レベルの法面全体画像を取得することも可能である。このため、法面全体を隈なく調査する段階ではなく、定期点検箇所や変状箇所のピンポイント撮影に最も効果を発揮する。

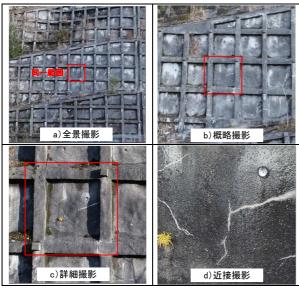


図-1 UAV 撮影画像分解能の対比(各 1000×1000pixel) 表-2 UAV 撮影手法の比較結果

種別	a)全景撮影	b)概略撮影	c)詳細撮影	d)近接撮影			
<b>撮影概要</b> ※幅100m×高 さ40m以下の 法面規模を想 定	・低解像度:全 景撮影 (1法面を1~ 数枚)	・中解像度:中 距離撮影 (1法面100枚 以内)	·高解像度:詳細撮影 (1法面2000枚 以内)	・高解像度:近 接撮影 (変状箇所等 のピンポイント 撮影)			
撮影距離	50∼100m	20~50m	10m前後	1m~数10m			
撮影コスト	安価	比較的安価	高価	比較的安価			
交通規制の 有無	規制不要(見 張りは必要)	規制不要(見 張りは必要)	規制必要	規制必要			
日当り計測 可能数	15法面/日	7法面/日	2法面/日	7法面/日			
SfM等の画像 解析可能数	なし (撮影画像の 納品のみ)	4法面/日	1法面/4日	なし			
今回の変状ト レース可能	1	- (試行では 変状トレース は実施せず)	0.3法面/日(今 回、実施)	_			
特徽	のり面全体の 状況が把握出 来る 以降の調査時 の見取り図と して活用可能	現地踏査等の 良質なスケッチ基図となる。 主要な亀裂等 の変状の把握 が可能	幅2mmレベル の亀裂等の変 状の詳細把握 が可能	近接目視と同 程度以上の視 認性が確保出 来る			

図-1、表-2に示す通り、得られる成果の品質はUAV画像の撮影距離に依存し、詳細に撮影すると近接目視と同等の画像が取得できること、撮影距離を利用目的に応じて任意に設定することで、UAVの活用方法を選択できることが明らかとなった。

# (3)従来の近接目視点検とUAV適用点検の比較検証結果

UAV の活用は、詳細点検箇所のスクリーニングや現状の記録(アーカイブ)に高い効果があること、従来の近

接目視点検は、重要施設や災害発生の危険性が高い斜面の詳細調査への適用が効果的であるが、現場条件によっては UAV の活用が効果的である<sup>3)</sup>。

#### (4)UAV 熱赤外線画像点検の比較検証結果

温度異常部として抽出された箇所について、近接目視による浮き等の分布箇所との対比を行い、抽出精度を検証した。その結果、温度異常箇所の約8割が近接目視点検において何らかの異常を記載した箇所であった。なお、今回は対地標識設置と長時間通行規制を回避するために1時期の温度画像のみで評価したにも関わらず良好な結果が得られたのは、日射、気候が熱画像による点検に最適であったためであると推察され、適用範囲の拡大のためには、2時期の熱画像による温度差分解析が望ましい。

### 5. UAV を用いた法面点検の適用効果

#### (1) UAV の活用効果

次のような効果が期待できる。

- ・俯瞰して見るため、わかりやすい画像を撮影でき、斜面全体や急崖などの危険箇所の把握が容易である。
- ・詳細点検箇所の選定や現状記録に高い効果がある。
- ・構造物や変状の正確な位置と規模を把握でき、二時期 の画像による経年比較が容易である。
- ・人が急峻地で作業する必要がないため、一般の技術者 でも点検でき、安全性が向上する。
- ・撮影方法や画像処理方法を目的に応じて設定できるため、様々な適用方法の採用や組合せが可能である。
- ・点検結果を蓄積、活用することで経年劣化等の変状進行を精緻に把握できるため、より正確な評価・診断が可能となることが期待できる。

#### (2) 留意点

- ・路肩等に十分なスペースがない場合は、離着陸の際などに一時的な通行規制が必要となる。
- ・植生繁茂箇所では限定的な利用となり、陰となる部分 は撮影できないため、落葉時期の撮影を推奨する。
- ・操作ミス等でUAVが墜落する可能性は否定出来ないため、現場毎に安全対策と機材回収計画が必要である。

# 6. 今後の展望

さらなる効果的な点検には、維持管理システムと連携したデータの自動集積と一元管理による効率化・最適化、技術者不足対応のための危険箇所の机上抽出方法の高度化(AI等)、ロボット化、危険度・優先度評価方法の確立等が必要であり、これらの実現を目指していきたい。

## 《引用·参考文献》

- 1)国土交通省基本政策部会(2019):道路の防災・減災について,第68回基本政策部会配付資料,国土交通省HP.
- 2) 佐々木ほか(2018): 防災点検の有効性と災害の低減に向けて,道路防災点検講習会資料.
- 3) 小野ほか(2020):道路法面および自然斜面の目視点検における UAV の活用とその効果,全地連技術フォーラム論文集.

# AI 礫判読システムを活用した砂防施設箇所での巨礫調査事例

(株) 地圏総合コンサルタント 住友金属鉱山(株) 〇中川 清森、佐藤 真、渋谷 伸昭 岸本 恭暢

### 1. はじめに

土石流が発生し、巨礫が多く分布する箇所に砂防施設を整備する場合、巨礫の分布が砂防施設の施工に大きく影響する。そのため事前に巨礫の分布状況(範囲・径・体積等)を把握することが設計・施工では重要となる。本件では、AI 礫判読システムを使って、UAV で撮影した写真から巨礫の分布範囲と径を抽出し、さらに河床材料調査結果を活用することで、地表下に存在する巨礫の体積を推定した事例について報告する。

# 2. AI 礫径判読システムでの巨礫の判読

## (1)AI 礫径判読システム

巨礫の分布状況の把握を行ったのは、過年度に土砂・ 洪水被害が発生し、砂防事業として「遊砂地」の整備が 計画されている河川を対象とした。

巨礫の判読には、AI 礫径判読システム「グラッチェ」 (NETIS 登録番号 KT-220038-A (株)スカイマティクス) を利用した。AI 礫判読システムは、UAV で撮影した連続写真を、クラウド上にアップロードして、自動的にオルソ画像・DSM (高低差) 画像・三次元点群データ等の地形データを生成し、独自開発のアルゴリズムを用いて自動で石礫を抽出し、礫径を判定するシステムである。 UAV による空撮実績を表1に示す。UAV は、汎用型のマルチコプターを利用し、搭載したカメラ (約1600万画素)で撮影した。飛行高度は40m とした。また、オーバーラップ率は85%、サイドラップ率は75%以上にて撮影した。

表-1 UAV の空撮実績

飛行時間(分)	撮影枚数	撮影面積(m <sup>3</sup> )		
40	743	95,000		

# (2)礫径判読結果

AI 礫判読システムによる礫判読では、土嚢やコンクリートブロック、屋根など礫以外のものを礫と誤読することがあったため、それらは目視判読によって削除あるいは解析対象範囲から除外した。加えて、AI により抽出した礫の形が不自然なものは修正、AI が判読できなかった礫も目視判読によって追加した。

また、AI 礫判読システムでは、礫の短径と長径を自動 判読するシステムであるため、抽出された短径と長径、 それらの平均値を中径として、礫の体積を算出した。

AI 礫判読システムによる礫判読結果を、図·1に示す。 対象範囲で8,777個の礫を抽出した。最頻値は礫径0.3 $\sim 0.4 \mathrm{m}$  の礫である。礫径 $1 \mathrm{m}$  以上の個数は全体の5.7%であり、礫径 $1 \sim 2 \mathrm{m}$  の礫の体積が $512 \mathrm{m}^3$ で最も多くの体積を占めており、全体の42.0%である。

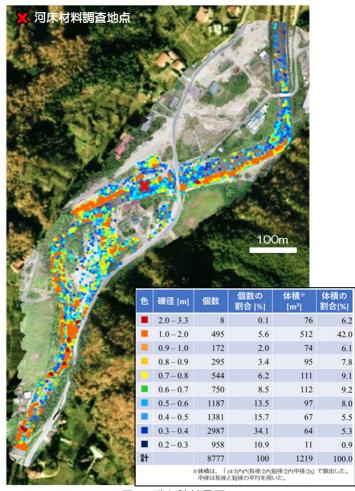


図-1 礫判読結果図

# 3. 地表下に分布する巨礫の体積推定

# (1)課題

砂防施設工事の支障となる巨礫については、重機によって小割りするか、あるいはクラックへ膨張剤を注入し 静的破砕を施した上で運搬する必要がある。したがって、 事前に施工範囲内の掘削深度も考慮した巨礫の体積を推 定することは、施工費や工期を決定する上で重要である と考えられる。

前章にて示した通り、UAVを用いて撮影した写真から AI 礫判読システムにより礫の判読では、当該箇所の表面に分布する巨礫の体積は求まるが、空撮で映らない箇所や地表下の巨礫を考慮できていない。そこで UAV と AI による礫判読結果と近傍で実施した河床材料調査結果をもとに、地表下に存在する巨礫の体積を推定する方法について検討した。なお、ここで対象とした巨礫は礫径1m以上とした。

#### (2)相似比の算出

河床材料調査は図-1に示す地点(×地点)で以下の方法により実施した。

- ① 4.0×4.0 m の範囲内で、表層に確認できる大礫の3軸 を計測した。
- ② 表層土砂を除去せず、1.0×1.0 m の範囲で表層から 50 cm 程度の深度まで土砂を採取し計測した。

UAVとAIを用いて判読した対象河川の表層に存在する礫の粒度分布を図-2に、河床材料調査を実施した地点の表層の礫の粒度分布を図-3に示す。ここで対象河川表層の粒度分布と河床材料調査地点の表層の粒度分布には相似比が成り立つと仮定した。

相似比は、図-2および図-3から d80を求めて、対象河 川表層の d95を河床材料調査地点表層の d80で除するこ とで求めた(表-2参照)。

表-2 相似比の算出結果

	d <sub>80</sub> (m)	相似比		
河床材料調査地点表層	0.115	1.00		
対象河川表層	0.680	5.91		

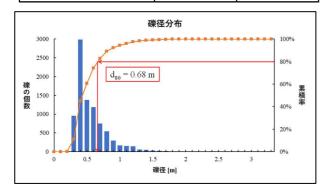


図-2 UAVとAIを用いて判読して対象河川表層の礫径分布

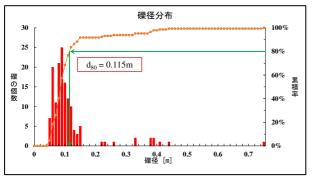


図-3 河床材料調査地点の表層の礫径分布

#### (3)地表面下の割増係数の算出

河床材料調査にて①の測定で得られた表層の礫を、UAVとAIを用いて判読した礫と近似的であると仮定した。そうした場合、②の測定で得られた下層の礫を、今回推定したい対象河川の地表下に存在する礫とみなすことができる。

したがって、河床材料調査地点において①の測定で得られた表層の礫の体積を A、②の測定で得られた表層+下層の礫の体積を B、対象河川において UAV と AI を用いて判読した礫径1 m 以上の巨礫の体積を Vi、割増係数を k とした時、対象河川の表層と地表下に存在する礫径1 m 以上の巨礫の体積を kVi と表現することができ、以

下の式が成り立つ(図-4参照)。

#### A/16 :B=V\_i :kV\_i

上式によって割増係数kを求めることで、対象河川の表層と地表下に存在する巨礫の体積を推定することができる。

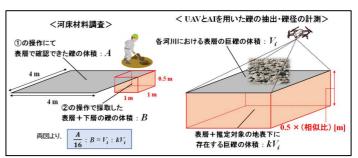


図-4 地表面下の割増係数推定イメージ図

対象河川と河床材料調査地点の相似比は5.91:1であるため、河床材料調査地点における礫径0.169 m (礫径1m/5.91) 以上の礫が、対象河川における礫径1 m 以上の巨礫と等価であると考えられる。したがって、河床材料調査結果を用いた計算 (A および B の算出) では、0.169 m 以上の礫を計算の対象とする。この時、A=0.468m $^3$ 、B=0.103m $^3$ となり、k=3.53と求まる。

### (4)地表面下の巨礫の体積算出

対象河川においては、礫径1 m 以上の巨礫が表層および地表下 $0.5 \times 5.91$ (相似比) = 2.955 m の深さに、3.53(割増係数) $\times 588$ (表層巨礫の体積)  $= 2,076 \text{ m}^3$ 存在すると推定することができる(表 $\cdot 3$ 参照)。

表-3 地表面下の巨礫の体積算出結果

	*		* * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
対象範囲	表層巨礫の体積	割増係数	表層+地表面以下の 巨礫の体積
$(m^2)$	Vi (m³)	k	Vi×k (m³)
約83,000	588	3.53	2076

※UAVとAIで計測

また、下式を利用することにより、任意の地表面下 h(m)における割増係数 kh を求めることができる。

$$k_h V_i = V_i + (kV_i - V_i) \times \frac{\hbar}{0.5 \times (相似比)}$$

これに UAV と AI 礫径判読システム結果から構造物施工範囲における表層に分布する礫径1m 以上の巨礫の体積を求め、地表面下 h(m)における割増係数 kh を乗じることで必要な範囲・深度における礫径1m 以上の巨礫の体積を推定することが可能となる。

# 4. まとめ

UAV と AI 礫判読システム結果と河床材料調査結果を 併用して地表面下に分布する巨礫の体積を推定する試み を行った。ただし、今回の結果は、地層区分などを考慮 していないなどの課題がある。

今後は、実際の工事で発生した巨礫の体積の確認を行い今回の結果の妥当性の検証と精度向上を図り、砂防施設箇所での効率かつ適切な施工に寄与していきたい。

# ハイパースペクトルカメラと深層学習を用いた岩石・土砂等の判別

(耕地圏総合コンサルタント ○佐藤 真,中川 清森 住友金属鉱山㈱ 岸本 赤暢 関東土質試験協同組合 後藤 健太

## 1. はじめに

地質調査において、岩種や土質等の判別には一定の知識と経験を有する専門技術者の判断が必要不可欠である。一方で、作業効率や生産性、ならびに客観性を向上させるためには、新たな技術を導入することも必要である。その中で近年注目されているのが AI を用いた手法である。

本件では、定量的な判定や目視による識別・判別が困難な事例を対象に、ハイパースペクトル(以下、HS)カメラと AI による画像取得・認識技術を試行的に活用した結果を報告する。対象試料と目的は以下の通りである。①対象:トンネルの掘削ズリ(岩石試料)、目的:蛇紋岩の判別を半定量的に行うこと。

- ②対象: 土質試料(砂・粘土・中間土)、目的: 目視判断が困難な含水比の違いを判別すること。
- ③対象:建材中のアスベスト、目的:目視判断が困難なアスベストの含有を判別すること。

## 2. 試験方法

## (1) 撮影機器・撮影環境

HS カメラは、RGB よりもはるかに多くの波長情報を取得することが可能である。機材は、Specim IQ(Spectral Imaging 社製)を用いた。Specim IQ は、400~1000nm(可視光~近赤外線の一部)の波長帯域で204のスペクトルバンドに分光して HS データを得ることができる。

撮影は、暗室において左右に光源を設置し、試料全体が映るような距離で行った。撮影の光源には、HS カメラの分光波長帯域を一様に照らすことができるハロゲンラ

イトを使用した。 また、光のむらや ハレーションを防 ぐため、ライトと 試料の間にソフト ボックス (白布) を設置した (図-1)。



図-1 HSカメラの撮影状況

# (2) HSデータの処理

得られた HS データの処理・解析は、秋田大学の大和田氏が開発したアプリ「IRO-MIE」を用いた。このアプリは、撮影画像の HS データを取得したい範囲を指定することで、その範囲の 1 ピクセル単位の輝度を全ての波長帯(204 バンド)で平均化して示すことができる(図-2)。

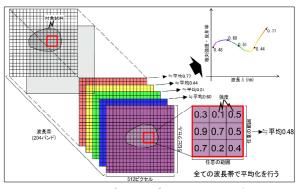


図-2 HSデータのグラフ化のイメージ

### 3. トンネル掘削ズリ(岩石試料)の判別

#### (1) 対象試料

蛇紋岩・緑色岩・玄武岩が混在して出現するトンネル地山の掘削ズリ(径10~20cm)全30試料を対象とした。試料を詳細観察により蛇紋岩(18試料)、緑色岩(10試料)、玄武岩(2試料)に分類した上で、その試料を①岩塊、②中礫~粗礫(一部の試料)、③細礫(一部の試料)のように破砕、粒度を変えて撮影を行った。

# (2) 各岩種のHSデータ

各岩種の代表試料の HS データを図-3に示す。蛇紋岩は、450~630nm に小ピークがあり、900nm で強度が最小であった。緑色岩は、450~630nm に小ピークがあり、700nm で強度が最小であった。玄武岩は顕著なピークが認められず、全体的に強度が低いなど、岩種毎に有意なスペクトルの差異が認められた。

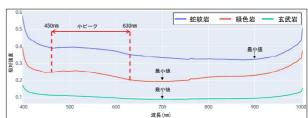


図-3 各岩種のスペクトル

# (3) 岩石試料の判別結果

上記の代表試料を教師データとする AI モデルを作成 し、岩種判別を試みた。判別結果を表-1に示す。

最も試料数の多い蛇紋岩に関しては、粒度に関らず総じて高い確率で正しい岩種判別をすることができた。緑色岩や玄武岩に関しては、試料数が少ないものの、おおむね50%以上の正答率となった。教師データの量を増やすことで、より高い精度で岩種判別ができると考えており、今後は試料数を増やすなどして、試行を継続していきたい。

表-1 モデルでの判別結果

岩塊				粗礫~中礫			細礫				
岩種	試料数	正解数	正答率	岩種	試料数	正解数	正答率	岩種	試料数	正解数	正答率
蛇紋岩	18	16	89%	蛇紋岩	3	3	100%	蛇紋岩	3	2	67%
緑色岩	10	6	60%	緑色岩	3	2	67%	緑色岩	3	2	67%
玄武岩	2	1	50%	玄武岩	2	1	50%	玄武岩	2	2	1

## 4. 土質試料の判別

#### (1) 対象試料

含水比の異なる土質(硅砂5号、青粘土、硅砂5号と青粘土を重量比1:1で混合した中間土)を対象とした。各土質で含水比を数%~25%程度の範囲で変化させた3種類の試料を作成し、さらにこれらを締め固めたもの、締め固めた試料をほぐしたものを撮影試料とした。

#### (2) 各試料のHSデータ

図-4に土質試料の HS データを示す。含水比に関しては、いずれの土質でも含水比の低い試料ほどスペクトルの強度が大きく、相対的に含水比の高い試料はスペクトルの強度が小さくなる傾向が認められた。ただし、含水比が一定量以上多くなると、有意な違いは不明瞭となった。また、締固め試料とほぐした試料のスペクトルの差異に関しては、硅砂はほぐした試料の方が、粘土と中間土は締固め試料の方が強度は高い傾向が認められた。

今後、含水比のパターンをさらに増やし、両者とスペクトルの関係性をより明確にしていきたい。

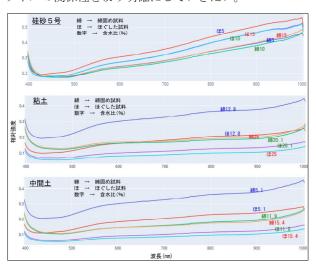


図-4 土質試料のスペクトル

# 5. 建材中のアスベストの判別

#### (1) 対象試料

古い建物などに使用された建材中のアスベストの判別を目的として、アスベスト(クリソタイル、アモサイト)の標準試料(純粋鉱物)と、クリソタイルおよびアモサイトを含有する建材6試料を対象とした撮影を行った。

#### (2) 各建材のHSデータ

図-5に建材試料の HS データを示す。まず、クリソタイルとアモサイトの標準試料では、ピークの位置は類似しているがスペクトルの強度やパターンは有意に異なっていた。また、これらのアスベストを含む建材であっても、

建材ごとにスペクトルの形状が異なる結果となった。これは、アスベストに加えて建材そのもののスペクトルが反映されていることや、建材と標準試料とではアスベストの濃度が大きく異なることが理由として考えられる。

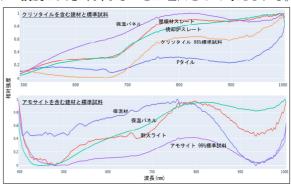


図-5 建材試料のスペクトル

#### (3) 建材の判別結果

それぞれの建材試料のアスベスト含有部を教師データとして、アスベスト含有部を可視化する判別モデルを作成し、これを試行した。判別結果を図-6に示す。判別結果の可視画像では、ピクセル毎にアスベストを含有する箇所(保温材のみアスベストを含有していない箇所)を赤色に表現した。Pタイルでは、クリソタイル含有部を正確に可視化することができた。一方、スレート板、保温パネル、耐火ライトでは、アスベスト非含有部をアスベスト含有部であると誤検出する結果が得られた。また、保温材では、アモサイト含有部がアモサイト非含有部と判別された。

P タイル以外の予測モデルが不正確なものとなった理由として、学習させるアスベスト含有部のデータが少ないことなどが挙げられる。

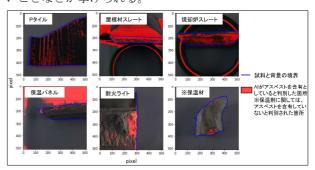


図-6 モデルでの判別結果

## 6. おわりに

岩石試料や土質試料、建材中のアスベストなど、様々な試料で HS データに固有の特徴があることを確認できた。これにより、HS データと AI を用いた手法による、定量的な試料の判別や目視で判定が困難な試料の判別の可能性が示唆された。一方で、教師データの集積不足や判別モデルの作成には課題が残った。

今後、上記の課題の解決を図りつつ、屋外の太陽光などその他の光源条件でも HS データを取得し、現場での実用化を目指し、検討を進めていきたい。

# 多量の柱状図データを用いた断層位置の抽出

中央開発株式会社 ○寺田龍矢, 細矢卓志, 松本なゆた

# 1. はじめに

今回,熊本市において2,500本を超える多量の柱状図を 収集した. 収集した柱状図の形式は紙に印刷されたもの や手書きのもの,電子データとして存在するものや解読 が困難なものなど状態が様々であった. 本論では収集し た多量の柱状図データの,QGISを用いた処理過程につい て,熊本市に存在する水前寺断層を例にして紹介する.

## 2. 水前寺断層

#### (1) 水前寺断層の背景

熊本市の周辺では、2016年以前は布田川・日奈久断層帯や立田山断層が活断層として認知されていた。2016年に発生した熊本地震の際、これら断層とは別に熊本市内の一部で地表地震断層が確認され、また地表地震断層沿いに明瞭な撓曲崖が認められたことから、台地の西縁に沿って水前寺断層が新たに活断層として認定された1)(図-1).

これまで熊本市内の地下地質については多くの調査・研究が行われてきたが、水前寺断層については近年新たに認定されたため、水前寺断層と地下地質の関係についてはほとんど考慮されていない。そこで本論では既存の資料を用いた検討を行った。



図-1 熊本市周辺の活断層1)

# (2) 水前寺断層周辺の地質

水前寺断層周辺の地下は主に沖積層や段丘砂礫層,阿蘇火砕流堆積物 (Aso-3・Aso-4),砥川溶岩から構成される。これらは柱状図でも確認されるが,阿蘇火砕流堆積物の区分の基準や砂礫層との区別などが,コア鑑定者やボーリング調査の目的が異なることから記載の精度にばらつきがあり,柱状図のみから判断することが困難になっている。そのため一つ一つの柱状図を同一の基準で解釈し直す必要があり,多量の柱状図を扱うには適していない。一方で砥川溶岩は多孔質な溶岩と記載されている

ことが多く、柱状図の記載から容易に判断することができる.

# 3. 柱状図の整理

#### (1) 多量の柱状図データの処理

紙・電子データ・手書きなど様式が様々な柱状図を, まずは全て確認していき,緯度経度の記載が無いものは 除外し,緯度経度を確認できたものをExcel上にまとめ た.緯度経度の記載が無いものでも公共施設等の建物名 から位置が特定可能なものも追加した.またまとめる際 には,緯度経度の他に標高,掘削深度,砥川溶岩の上面 高度も記入した.

#### (2) QGIS を用いたまとめ

Excel にまとめた柱状図の位置座標を QGIS で読み込み,地図上に掘削深度毎に色分けし,プロットしたものを図-2に示す.また位置や記載の精度が低いものも情報の補完に使用できる可能性があるため灰色でプロットした

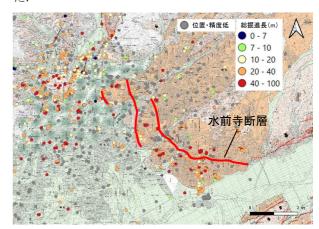


図-2 水前寺断層周辺の収集柱状図位置1)

砥川溶岩の分布深度は浅くても GL-30m 程度と深く, 上位に支持層となり得る段丘砂礫層が存在することから, 砥川溶岩まで掘削されているものはかなり少なくなっている.

#### 4. 柱状図断面の作成

断面図を作成するにあたり,以下の基準に重きを置いて,作成する断面の候補を抽出した.

- ①砥川溶岩が確認できる
- ②総掘進長が長い
- ③より多くのボーリング地点を通る

以上の基準に基づき、水前寺断層を横断する方向に断面図測線の候補を5つ抽出した(図-3).

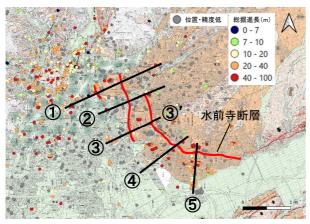


図-3 断面図の候補位置図

また、少し手間にはなるが、整理する際に QGIS のアクション機能を使うことで、PDF や画像ファイルをリンクさせ、地図上のプロットから柱状図を開くことができる.

### 5. 作成した断面図

抽出した候補の中から断層付近において,より多く砥川溶岩を確認でき、また断層の中央により近い,③の測線において柱状図断面を作成した(図-4).断面には、測線からやや離れた場所に存在するボーリング地点も投影して追加した。そのため地表断面と孔口標高が一致していない地点がある。なお、標高のデータが欠測しているものについては、国土地理院数値標高モデルの5mDEM データを、メートル単位で大きくずれていないことを確認した上で参考として断面に使用した。

図-4の断面図では砥川溶岩の上面高度が,3条ある断層 線の内一番東側の断層線周辺で T.P.=-5m 程度,断層の 西側で T.P. =-30m 程度となっている. このことから砥川 溶岩の上面高度に水前寺断層を挟んで約25m 程度の高低 差があることが確認できた.

# 6. まとめ

今回、QGISを用いてデータを整理したことで大量のボーリングデータを扱うことができた。今回は行っていないが、大量のデータが手元にあれば、それぞれの層準の深度で色分けすることでグラデーションのように表示され、深度分布の面的な傾向をコンター図のように全体像を把握することもでき、一種のデータベースとなることで今後のさらなる検討に繋げることができる。

また砥川溶岩の上面高度に水前寺断層を挟んで約25mの高低差が確認できた.このことにより、水前寺断層は2016年のみ動いた断層ではなく、累積性がある活断層であることを確認できた.しかし、水前寺断層はより幅広い断層帯を形成している可能性があることから今回の検討結果は、断層帯の一部のみを見ている可能性がある.今後は、より長い測線での再検討、砥川溶岩のオリジナルの傾斜を考慮した断層帯全体の評価検討を進める必要がある.

#### 《引用·参考文献》

1) 熊原康博·岡田真介·楮原京子·金田平太郎·後藤秀昭· 堤 浩之, 2017, 1:25,000 活断層図「熊本 改訂版」解 説, 国土地理院, D1-No.868.

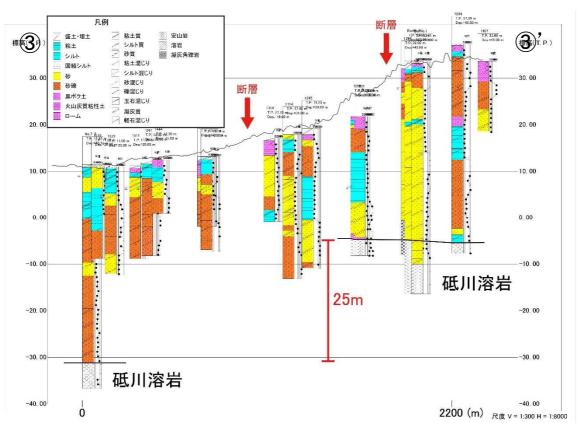


図-4 今回収集したデータより作成した柱状図断面③-③ '

# 甚之助谷地すべりでの CIM モデル構築事例

応用地質㈱ 〇小林 夏子、田中 康博、門脇 謙司 国土交通省 北陸地方整備局 金沢河川国道事務所 本田 正和、野村 治宏

# 1. はじめに

甚之助谷地すべりは、白山の南西斜面の標高1,500~2,000メートルの区域で発生しており、全国的にまれな高山地域に位置する(図−1)。

地すべりの兆候は、昭和初期の砂防堰堤完成直後から 認められていた。そのため、昭和2年度より移動量測定 が開始され、継続的な変動が確認されてきた。地すべり の機構解明を目的とした調査は昭和32年度より国直轄と なり、地すべり対策事業は昭和37年度から実施された。 その後、地すべり変動が小さくなり、昭和47年に対策事 業は概成となっていた。

ところが昭和50年頃より観測計器等で顕著な変動が確認されたため、昭和54年度から調査を開始し、昭和56年度より地すべり対策事業が再開され、排水トンネル工や集水井工等の対策工が施工されてきた<sup>※1)</sup>。しかし、現在も、年間10cm 程度の移動が続いている。

当該地すべりでは、平成21年度に3次元モデルが作成され、地すべり挙動の把握や対策工の検討に活用されてきた。甚之助谷地すべりのCIMモデル構築では、長年の地すべり事業で蓄積された膨大な参照資料(3次元モデルを補足する資料)と3次元モデルの紐づけを行い、データベースとしての利活用と施工や維持管理でも使用できるモデルを目指した。

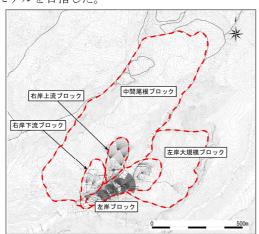


図-1 甚之助谷地すべり全体図

## 2. CIM モデル構築

CIM モデル構築では、既存の3次元モデルを用い、フリーソフトかつインストール不要で国土交通省の業務で導入実績のある地盤リスク情報ビュア(応用地質製:OCTAS)を使用した。CIM モデルとは、「3次元モデル」と「属性情報」「参照資料」を組合せたものである。

# (1) 3次元モデル

3次元モデルには、すべり面、地下水位、地すべり対

策施設(排水トンネル,水路工,集水井,集水ボーリング),砂防堰堤,ボーリング,モノレールルート,断面図(パネルダイヤグラム),地形サーフェスを組み込み,地すべりのすべり面や地下水位,対策工等の位置関係の把握ができるモデルとした(図-2)。

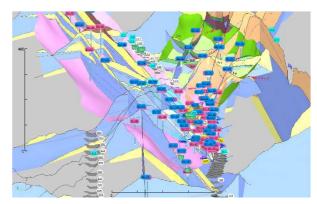


図-2 3次元モデル

#### (2) 参照資料の紐づけ①-地すべり機構解析モデル

コア写真や柱状図,動態観測データ等のファイルの紐づけには,地盤リスク情報ビュア上のマーカーからファイルを参照できる機能を用いた(図-3)。

マーカーに紐づけたファイルはデータ容量を軽くする ために PDF (文章ファイル) とした。また,1地点でコ ア写真や柱状図,動態観測結果のように複数種類の資料 がある場合は、PDF のしおり機能を使用し、参照ファイ ルの階層が深くならないようにした。

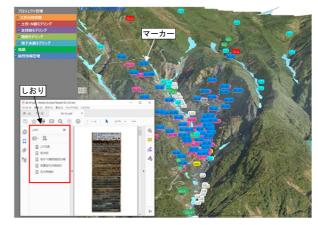


図-3 文章ファイルの紐づけ例

## (3) 参照資料の紐づけ②-空間情報モデル

空間情報モデルとして, 点群データは容量が大きく, 扱いづらい欠点はあるが, 現地の詳細な情報 (河床の状 況等) を共有することが可能であるため, 紐づけした。

当該地の点群データも、データ範囲が広く濃密である

ためデータ容量が非常に大きかった。そこで、トリミングを行い、5つの範囲に点群を区切り、データ容量を地盤リスク情報ビュアで表示の遅延が生じない程度のサイズにした。

しかし、他の3次元モデルと同じ階層に表示させることはデータ容量的に困難であったため、文章ファイルと同様に、マーカーにソフトで処理した点群ファイルを紐づけした(図-4)。3次元モデルでは点群データの代わりに航空写真の画像を地形サーフェスに貼り付けて表示させ、現地状況を把握できるよう工夫した(図-4)。

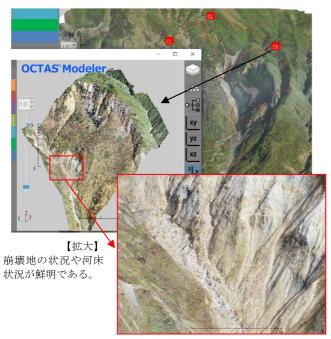


図-4 点群データの紐づけ例

# (4) 参照資料の紐づけ③-対策工変状・位置

地すべり対策施設は、変状箇所や補強工位置をモデル化することで、詳細度を向上させ、地すべりブロックとの関係性を可視化することができた(図-5)。また、先に示した文章ファイルと併せて使用することで詳細な情報を確認でき、維持管理でも活用しやすくなった。



図-5 地すべり対策施設の変状・補強工位置紐づけ例

## 3. CIM モデル構築で見えてきた課題と改善策

地盤リスク情報ビュアを用いて構築した CIM モデルは、すべり面と対策工の位置関係や参照資料の閲覧が容易となった一方、データ容量が大きいため表示に時間を要した。また、クライアント PC のスペックによってデータ容量の大きいモデルの操作性能が落ちること、ソフトウェアのライセンスの関係で複数の PC 間でのデータ共有が困難であること等が課題となっていた。

そこで、次年度に以下の特徴を有し先に述べた課題を 改善する Web サイトでの閲覧を可能にするシステムを甚 之助谷地すべりの CIM モデルへ適用した (図-6)。

- ・特定のソフトウェアを必要としない
- ・点群データの高速表示可能
- ・地盤リスク情報ビュアと同様に関連ファイルの紐づ け可能

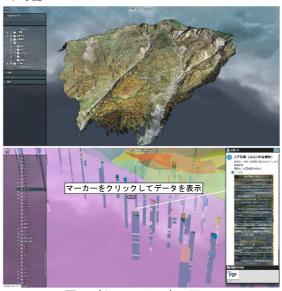


図-6 新システムの表示画面

# 4. まとめ・更なる課題

データベースとして活用可能なCIMモデルを構築したことで、現地状況や資料の参照が容易となった。また、モデルの詳細度の向上や参照できる情報を増やしたことで、維持管理段階での活用も期待される。

当該地のCIMモデルを更に活用が容易なものとするために、以下の課題の解決を図りたい。

- ①動態観測データをモデルに取り込み,変位量や変位方向を明らかにする。
- ②点群データを用いて,対策工の変位状況の表示精 度向上を図る。

## 《引用·参考文献》

1) 国土交通省北陸地方整備局 白山砂防 HP (https://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/hakusansab o/04outline/hard03.html)

# 災害地の崩壊メカニズム解析および三次元モデル化事例

株式会社日さく ○鮑 沁, 石川 恵司, 長谷川 智史, 仁多見 加奈子

# 1. はじめに

本報告は、河川小堤施工時に基礎地盤の破壊が生じ、 堤体の一部が崩壊した災害事例である。

河川小堤(盛土高3m)を施工した直後に、崩壊が発生した。崩壊の前後に降水はなく、タイミングから見て、盛土の荷重を誘因とする事象と考えられた。崩壊範囲は、冠頭部で幅60m、末端部で幅140m、最大落差6m程度である。移動土塊は河川側に約20m押しだされ、河道域に堆積した。なお、本事象の特徴として、冠頭部の幅に対し、末端部の幅が広いことがあげられる(図-1)。

本事例では、崩壊発生を受けて、崩壊メカニズムの検 討と対策工検討を目的として、地質調査を実施した<sup>1)</sup>。



図-1 崩壊地の状況

## 2. 調査方法

### (1) 現地踏査および測量

崩壊直後に現地踏査を行い、主滑落崖、側方崖などの位置を確認した。また、崩壊地における微地形を把握するため、UAVによる空中写真撮影を行い、SfM 処理データを解析した。

## (2) ボーリング調査

崩壊域において計13本のボーリングを実施し、標準貫入試験、サンプリングを行った。サンプリング試料につ

いては、物理試験および力学試験を実施し、物性値・強 度定数を把握した。

## (3) パイプ歪計

ボーリング地点のうち、移動土塊中央部に位置する2箇所について、パイプ歪計を設置し、自動観測による動態監視を行った。また、歪計データよりすべり面の深度推定を行った。

## (4) メカニズム解析および三次元モデル作成

調査結果より、崩壊メカニズムの検討を行うとともに、 強度定数を算定し、安定計算に供した。また、崩壊前の 安定性を検討するため、崩壊前の層序を復元した。これ らの結果から得られた地質モデルについては、後述する ように三次元モデル化し、関係者間で共有を図った。な お、モデル作成には、Makejiban(五大開発)を使用した。

# 3. 結果および考察

## (1) 崩壊地の地層構成およびすべり面

# ① 移動土塊中の地層構成

移動土塊の内部構造は、沖積層(粘性土主体)と盛土層・ 堤体盛土から構成される。頭部側(削剥域)では複数の副 次滑落崖(副すべり面)により、移動土塊は細かく細分さ れている。一方、末端部側(押出域)では、沖積層の層状 構造がほとんど変形せずに保持され、内部層序は保存さ れている(図-2)。

# ② すべり面の位置および深度

パイプ歪計のデータより、累積変位が認められる深度は概ねG.L.-8m以浅であるため、主たるすべり面はG.L.-8m 程度と想定される。この深度は沖積粘性土層中にあり、一部で腐植土の分布深度に相当し、すべり面は軟弱な沖積層を切っていると考えられる。一方、頭部側では

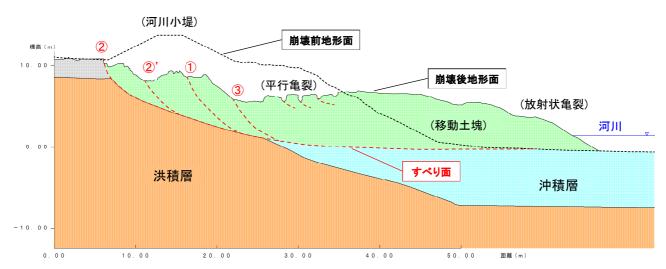


図-2 崩壊域主測線の想定模式地質断面図

洪積層が非常に浅い深度に分布しており、頭部側では、 沖積層と洪積層の境界部ですべっていると想定される (図-2)。

#### (2) 崩壊の素因

本事象の誘因としては盛土による荷重が想定されるが、地形・地質に由来する素因 $^{2}$ としては、調査結果から以下の3点が想定される。

#### ① 埋没地形の特徴

崩壊地近傍には台地が迫っており、沖積層の下位には、 洪積層からなる旧地形が埋没している。崩壊の起点となった箇所では、浅所に洪積層が分布する一方で、河川側 に向かって旧地形は急傾斜面をなしている(図-2)。した がって、頭部におけるすべり発生時には、傾斜した洪積 層-沖積層境界がすべり面として機能した可能性が高い。

#### ② 軟弱な沖積層の存在

河川側(末端部側)では、洪積層は14m以深のかなり深い深度に分布し、地表付近には厚い沖積層が分布する。沖積層は腐植物を含む軟弱な粘性土主体でN値は0~2程度である。

### ③ 地下水の関与

主滑落崖基底部には湧水を確認した。周辺地形より、崩壊地近傍は集水地形であり、不圧地下水が浅いと想定されるため、相対的に高い地下水位が素因の一つとなった可能性がある。また、洪積砂質土層は被圧帯水層であるた

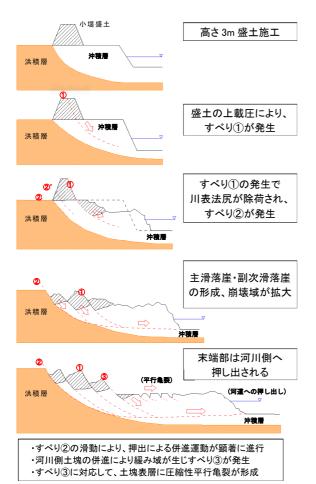


図-3 想定される崩壊メカニズム

め、すべり面に間隙水圧が働いた可能性も考えられる。

#### (3) すべりの形態について

本事象については、当初は河川小堤から河道部の移動土塊までを覆う大円弧すべりとする見解もあったものの、調査結果からはこのような大円弧は想定されない。頭部においては、洪積層上面を利用した円弧状のすべりであるものの、末端部側では、すべり面はほぼ水平に沖積層中を切っている。末端部においては軟弱な沖積層が広く分布したことから、円弧の末端は跳ね上がらず、沖積層の内部層序を保持したまま、水平に押し出された(併進運動)と想定される(累進合成すべり²)(図-3)。その際、旧地形面や地下水の影響を受け、末端部が扇状に広がったことから、相対的に規模の大きな崩壊になったと考えられる。

# 4. 三次元地質モデルの作成

本調査の結果、移動土塊の内部構造はかなり複雑であると想定され、また、崩壊前の層序についても、埋没地形が複雑であることが明らかとなった。発注者・設計者と地質構造についての理解・情報を共有することを目的として、通常の地質断面図に加えて、三次元地質モデルを作成した(図-4)。モデルは「崩壊後モデル」及び「崩壊前の復元モデル」の2パターンを作成した。作成した三次元地質モデルにおいては、すべり面と洪積層一沖積層境界との位置関係を再現することができた。

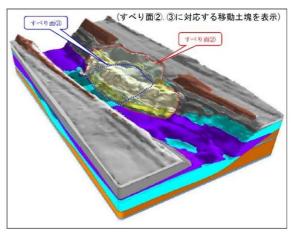


図-4 作成した三次元地質モデル

#### 5. おわりに

本調査の結果、埋没地形や地質特性に起因する崩壊メカニズムを明らかにできた。また、調査結果から導かれた三次元地質モデルについて、発注者・設計者間におけるリスクコミュニケーションの一環として有効な手段であることを確認できた。今後も三次元地質モデルの活用を図っていきたい。

#### 《引用·参考文献》

- 1) 藤原明敏:地すべり調査と解析,222p.理工図書,1981.
- 2) 古谷尊彦:ランドスライド 地すべり災害の諸相,213p. 古今書院,1996.