

UAV-LP を用いた斜面危険個所の把握と 道路防災事業への効果的な活用方法

渡邊 正¹・石村 佳之²・笹森 秀樹³

¹正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ関東支社 道路部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1)

E-mail: watanabe-td@oriconsul.com

²E-mail: ishimura@oriconsul.com

³正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ本社 (〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1)

³sasamori-hk@oriconsul.com

本稿は、近年急速に普及しているUAVレーザー計測技術を活かし、従来の点検では把握できていなかった危険個所や斜面の変状等を高度に視覚化する方法と道路防災事業（点検、設計、維持管理等）への展開を述べるものである。

また、頻発する豪雨災害等に対して、道路通行上の安全確認や道路復旧計画の迅速な策定などに寄与するため、いち早く道路被害状況を把握する手段の一つとして実際に実施した緊急点検の内容も踏まえ今後の課題と対応策を提言する。

Key Words: UAV, レーザー計測, 点群データ, 道路防災点検, 落石調査, 災害時緊急調査

1. はじめに

(1) UAV-LP 活用の背景

平成 28 年 4 月に国土交通省から ICT 土工を全面的に実施するため、新たな積算新基準が 15 項目設定された。15 項目の中には、①UAV を用いた公共測量マニュアル（案）、⑧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）、⑨レーザーキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案）、⑭レーザーキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案）等の UAV 活用に関わる内容が新規に複数導入された。これにより、建設事業者に急速な UAV 普及と活用事例が増加してきている。

また、災害時の活用事例として、平成 28 年の熊本地震では熊本城の石垣や阿蘇大橋崩壊の被害状況把握のために UAV が活用され、迅速な復旧活動に貢献している。当社においても令和元年の台風 19 号における道路被害の緊急調査で UAV を使用しており、建設事業・災害対応での UAV 活用は欠かせない技術となってきた。

(2) UAV-LP 活用の目的

UAV が建設事業に普及した理由として、先に述べた基準類の整備が後押しした事は当然と考えるが、そもそも UAV は手軽に空撮可能（レーザー含む）な事が最大

の特徴であり、従来の航空機による広範囲な空撮に比べて費用、手続き、パイロット確保等の面で活用の自由度が非常に高い。本稿は、このような特徴を有する UAV の道路防災事業でのさらなる活用を提言するものである。道路防災事業における点検・設計・維持管理の各プロセスで UAV が活用されることで、より安全かつ効率的な道路防災事業の実現が可能になると考える。

2. UAV-LP の概要

(1) Society5.0 における i-Construction の「深化」

内閣府は平成 28 年度～令和 2 年度（平成 32 年度）における第 5 期科学技術基本計画において、狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続く新たな社会として Society5.0 を我が国が目指すべき未来社会の姿として始めて提唱された。Society5.0 とは、IoT によりサイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を連携し、すべての物や情報、人を一つにつなぐとともに、AI 等の活用により量と質の全体最適をはかる「超スマート社会」のことである。

国土交通省は、i-construction 推進委員会第 3 回企画委員会、Society5.0 において i-Construction を「深化」させ、建設現場の生産性を 2025 年度までに 2 割向上を目指すとした。「深化」の取組みには 3 次元データの収集・利

活用が盛り込まれ、建設プロセス（測量・設計・施工・維持管理）全体を 3次元データで繋ぐことを提言している。3次元データの取得手段には、UAVレーザ計測が想定されている。

(2) レーザープロファイラとは

レーザープロファイラ（LP）とは、レーザースキャナなどの計測器を航空機等に搭載し、上空から地表面や構造物の天端面を計測した点群座標データの事である。航空機等に搭載したレーザースキャナから対象物に向けてパルスを送射し、反射して戻ってきたレーザーパルスの時間等を解析することで点群座標データを取得する。点群座標データを様々な手段により視覚化、図化して活用することが可能となる。図-1-図-4 は点群座標データを図化した例¹⁾である。

(3) UAVレーザ機器の概要

表-1 および図-5 に使用機器の例を示す。例示のUAV（DJI Matrice600）はレーザーと同時にカメラも搭載可能で、飛行時間は1フライト16分である。スキャナ装置は小型軽量タイプのレーザースキャナであり、1秒間に30万ショットのレーザーパルスを照射し、1平米あたり85点の密度である。

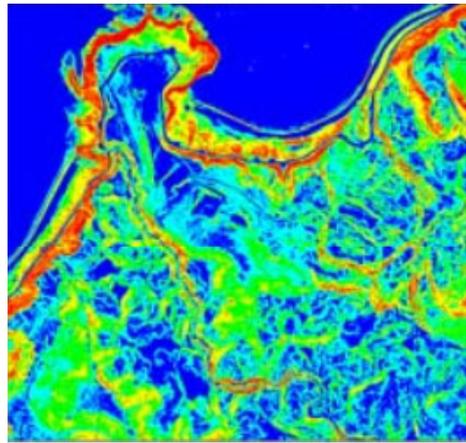


図-3 傾斜区分図

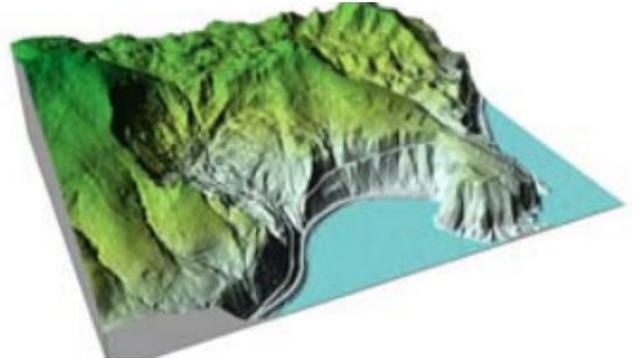


図-4 鳥観図

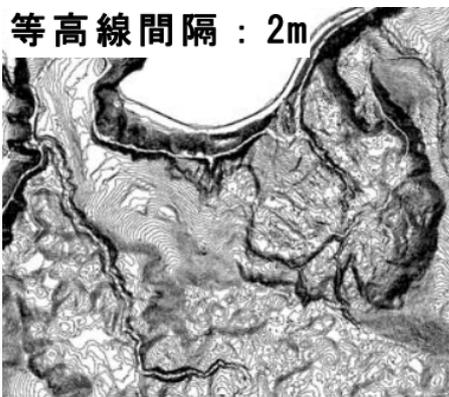


図-1 等高線図



図-2 陰影起伏図

表-1 使用機器の例

機器	名称・型式
UAV	6ルーターマルチコプター Model DJI Matrice600
カメラ	SONY α 6000 (16mm単焦点レンズ)
スキャナ装置	YellowScan Surveyor



図-5 使用機器の例

3. UAV-LPによる斜面調査

(1) 斜面調査概要

本調査は、道路防災対応を目的とし、一般国道 29 号沿いの法面及び斜面の転石状況を把握するため、UAV レーザーを用いて地形計測を行ったものである。

- ・調査地：兵庫県宍粟市波賀町日ノ原地内
- ・対象路線：一般国道 29 号

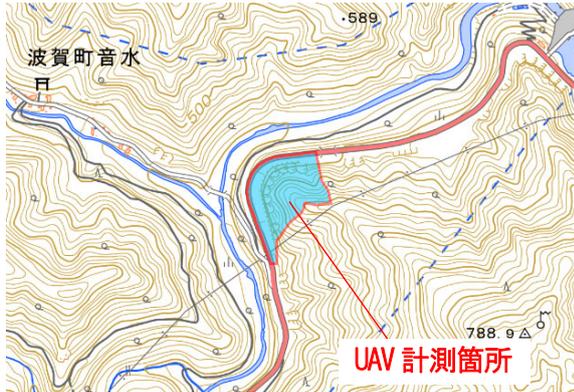


図-6 調査位置図

(2) 生成データ

a) グラウンドデータ作成

オリジナルデータに対してフィルタリング作業を行い、構造物や植生などを要求仕様に定めた対象物を除去し、グラウンドデータを作成した。通常であれば地表面以外は除去するが、本作業では防災対策として転石等の発見を目的とするため、山部の岩や石は除去しないよう作業を行った。フィルタリングの終了後、図形編集装置またはフィルタリング点検図等を用い、適正に編集が行われているかを検証した。

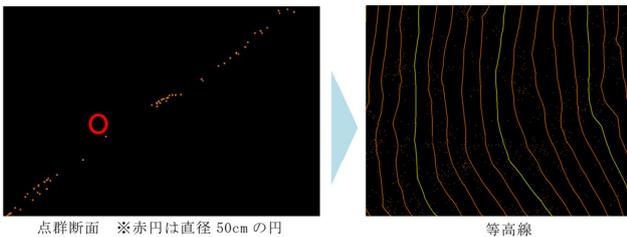


図-7 従来のフィルタリング

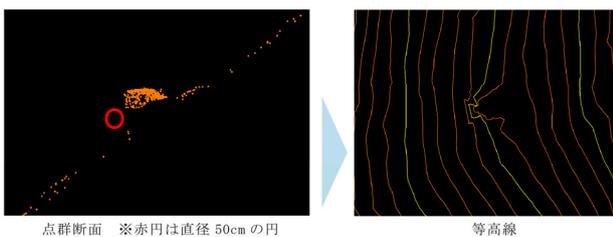


図-8 転石・浮石判読用のフィルタリング

b) 等高線データ作成

グラウンドデータから等高線データを作成した。グラウンドデータ上の転石と思われる岩や石は除去していないため、等高線の乱れとして表現されている。等高線データの作成後、図形編集装置または点検図等を用い、形状、属性情報等を検証した。

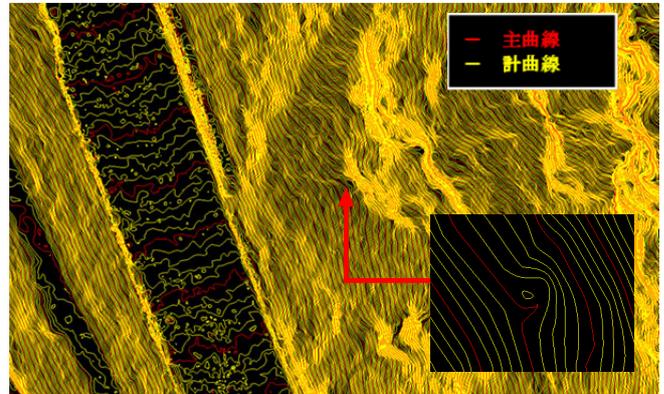


図-9 等高線図

c) オルソ画像

撮影された UAV レーザ用数値写真について、フィルタリングにおける地物判読に用いるため、正射投影変換とモザイク接合処理を行ったオルソ画像を作成した。

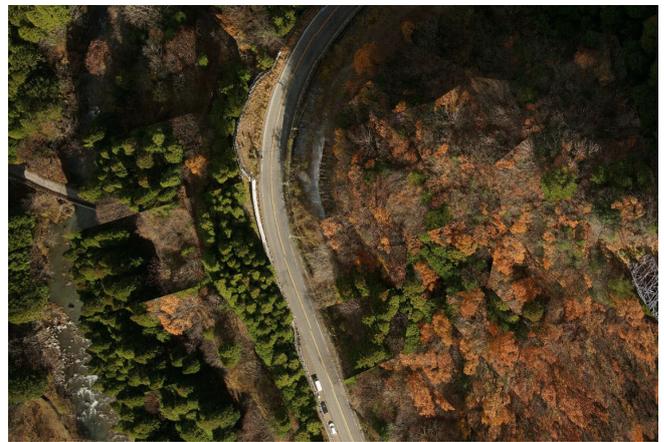


図-10 オルソ画像

d) 陰影段彩画像

グラウンドデータを元に、陰影段彩画像を作成した。陰影段彩画像は標高値によって地表面が色分けされており、また地表面に対して一定方向から光を当て起伏の明暗をつけているため、地形の特徴を直感的に把握できる。

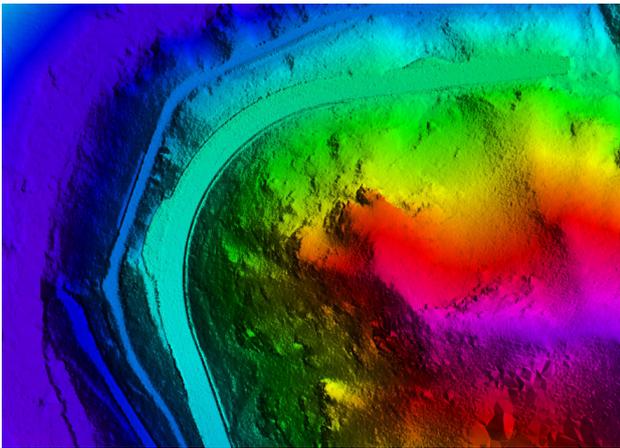


図-11 陰影段彩画像

(3) 転石と浮石の抽出

転石・浮石の判別は、図-12 に示す転石・浮石判別パターンにより等高線形を模式化（転石例 1~3, 浮石例 1~2）し、該当する線形を抽出することにより行った。なお、UAV-LP による抽出結果を現地踏査による落石調査結果との照合も行っている。UAV により浮石・転石を抽出した結果、判定が逆であったものも含め、落石調査結果と照合できた個数は、表-2 に示すとおり UAV により判読した 58 箇所に対し 40 箇所、69%であった。なお、浮石のみの場合は 71.9%、転石は 65.4%であった。

一方、落石調査結果に対する UAV による判読補足率は低く、全体で 18.6%、浮石のみでは 27.3%、転石では 7.4%となっている。安定度 A かつ 1m 以上 ($1 \leq r$) の浮石の場合は、抽出率が 70%程度であり、全体 ($1 \leq r$) でも 43.1%となっている。安定度 B を含みかつ 1m 以上 ($1 \leq r$) の浮石の場合は、抽出率が 50%となっている。転石の場合は、全体の抽出率が 7.4%と低い値となっている。

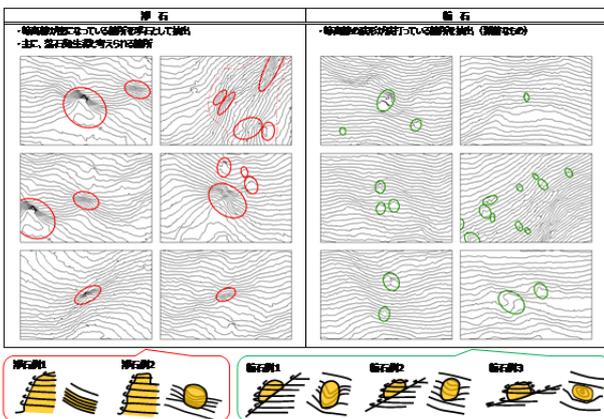


図-12 転石・浮石判別パターン

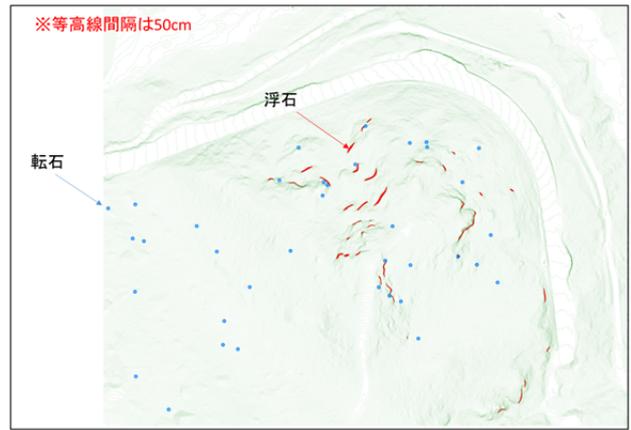


図-13 転石・浮石抽出結果

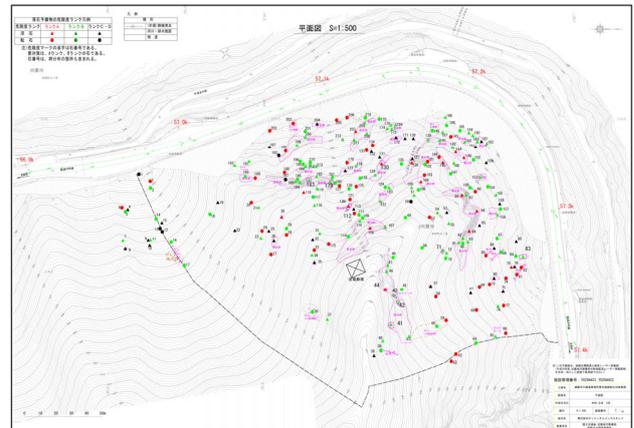


図-14 転石・浮石抽出結果

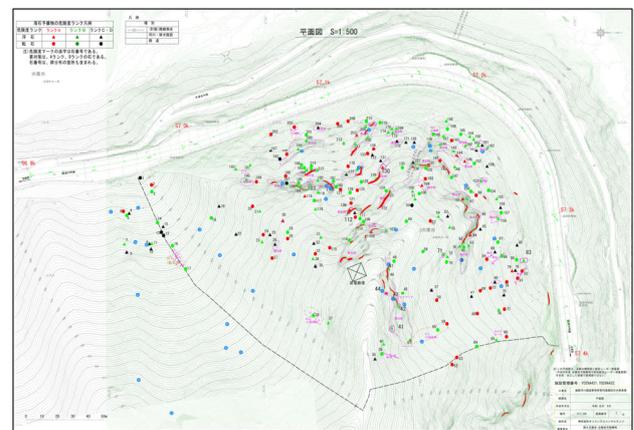


図-15 転石・浮石抽出結果

表-2 転石・浮石抽出結果

種別	○	△	×	合計	○	△
	整合	判定が逆	未抽出		○+△	
浮石	22 68.8%	1 3.1%	9 28.1%	32 100.0%	23 71.9%	
転石	6 23.1%	11 42.3%	9 34.6%	26 100.0%	17 65.4%	
全体	28 48.3%	12 20.7%	18 31.0%	58 100.0%	40 69.0%	

(4) UAV レーザー計測実施のメリットと課題

落石の長径が 1m 以上である浮石（落石発生源）の抽出率は比較的高いため、危険の有無を予め絞り込む手法としては活用可能と考えられる。また、当然として目視による現地確認が困難な箇所における落石発生源の把握に有効である。落石調査の視点から UAV レーザー計測実施のメリットをまとめると、下記のとおりである。

- ・ 転石、浮石の位置は測量レベルで把握可能。
- ・ 短期間での調査可能。
- ・ 道路用地外、踏査困難範囲（急斜面・崖、崩壊箇所、高高度斜面等）の調査が可能。

一方で、現地踏査による落石調査結果に比べて補足率が低い結果となっており、課題をまとめると下記のとおりである。

- ・ 従来調査と比較して、転石・浮石の抽出精度が劣る。
- ・ 転石、浮石の安定度判定が困難。
- ・ 調査コストが従来調査と比べて高くなる場合がある。

4. UAV による台風後の緊急調査

(1) 被害調査概要

令和元年の台風 19 号による道路被害の緊急調査を実施した事例を示す。

- ・ 対象路線 国道 1 号西湘バイパス
 (西湘二宮 IC～大磯東 IC の直轄区間約 6km)
- ・ 調査日時 令和元年 10 月 13 日 (台風 19 号の翌日)
- ・ 調査内容 台風に伴う道路盛土等の被害調査



図-16 被害調査位置

(2) 使用機器

今回の緊急調査では動画・静止画撮影による被害箇所確認が目的であったため、カメラ内蔵型の機体を使用した。仕様機器の概要を表-3 および図-17 に示す。台風後の被害調査では、まだ風が強く発生していることもあり、風速は十分に気を付けて飛行させる必要がある。今回使用した機器でのカタログ値では、風速 10m/s 未満となるが、映像のブレや突風の可能性を考慮すると、風速 8m/s 以下での飛行となる。

表-3 使用機器

機器	名称・型式
UAV	Model DJI Mavic 2 Zoom
カメラ	内臓カメラ



図-17 使用機器

(3) 調査当日の動き

調査依頼は関東地方整備局から建設コンサルタンツ協会への依頼を経て請ける流れとなる。協会の会社に担当する調査箇所が割り当てられ、以降、各社での対応となる。今回は調査依頼を受けてから現地への移動、調査実施、調査結果のまとめ・報告まで概ね 5～6 時間であった。調査当日の動きを図-18 に示す。



図-18 調査当日の動き

(4) 調査計画

現地到着後、発注担当者に対象範囲を確認した後、調査計画を立案した。UAV による撮影は台風 19 号に伴う越波による道路被害について、踏査が困難な海側を撮影する。飛行計画は、調査対象範囲 6.0km 区間を 2.0km ごとの 3 区間に分け、UAV 離発着箇所から起終点にそれぞれ 1.0km 飛行させる計画とした。

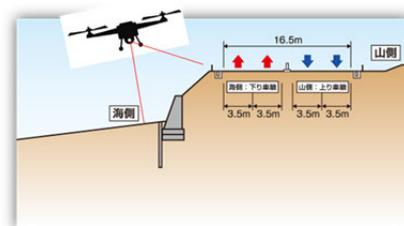


図-19 撮影方向



図-20 飛行計画

(5) 調査結果と課題

UAVにより撮影した映像確認の結果、海側の道路盛土において、のり尻浸食が3箇所確認された。のり尻浸食箇所の評価は、確認された浸食が今回の台風で生じたものなのか、台風以前から在った変状なのかの判断材料が不可欠となる。今回は同箇所の航空写真を Google で確認したところ、台風前は法面は健全な状態である事が分かり、図-21 の状況は台風によって生じた変状と判断した。このように、被害調査においては災害前後の状況を比較する必要がある事がある。近年増加傾向にある豪雨による斜面災害等も同様であり、路線全体の映像データ、点群データ等を定期的に取得・更新し管理しておくことが被害状況を判断するのに重要となる。



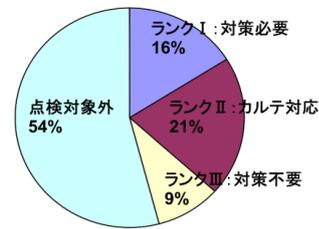
図-21 のり尻浸食箇所

5. 道路防災事業への活用

(1) 道路防災点検への活用

道路防災点検は 5~10年に1回スクリーニングを行い、要対策、カルテ対応、対策不要を判定している。要対策は対策工実施まで、カルテ対応は年1回の点検を実施している。しかしながら災害に占める割合は、平成9~16年統計値によると約54%がスクリーニングによる点検対象外の範囲で発生している。要因として考えられるのは、過去のスクリーニング手法に起因する危険箇所抽

出の精度である。平成8年のスクリーニング手法は現地踏査による危険箇所の抽出で、道路上から目視によるため、斜面の傾斜、高度での浮石・転石群や変状の有無を見落としている可能性がある。このため、平成18年には新スクリーニング手法として地形図、航空写真、可能な範囲でLP図の活用を導入しているが、航空写真では樹木があると斜面の地形が把握しづらいなどの問題もある。このことから、スクリーニング段階で危険箇所を見逃さない事が最も重要であり、平成18年で可能な範囲とされたLP図活用をUAVを用いて範囲拡大していく事がスクリーニング手法の高度化となり、危険箇所の見落とし防止となる。なお、近年は航空機レーザーによるLP図整備が国道を中心に進められており、図-23に示すように、まずは航空機レーザーでのLP図で1次スクリーニングを実施し、UAVレーザーで詳細を取得する流れが効率的と考える。また、UAVレーザーであれば1/250~1/500の精度で点群データを取得することが可能で、生成した陰影図・コンター図から変状箇所、浮石・転石判読の精度向上も期待できる。また防災カルテは手書きでの地形スケッチが大半を占めるが、点群データ取得により地形がデジタル化され、属人的な精度課題が解消される。さらには、4.UAVによる台風後の緊急調査で述べたように、災害発生前の地形データとしての活用も可能である。



平成9~16年度直轄国道

図-22 道路被害発生箇所割合

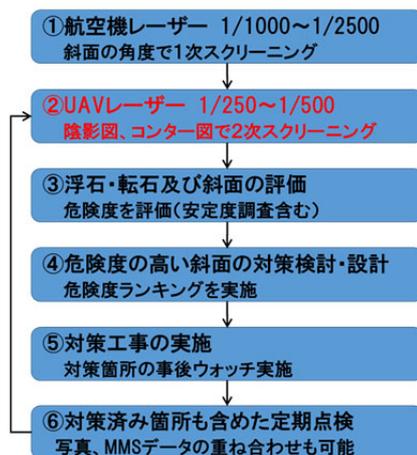


図-23 スクリーニング手法の高度化と対策事業のサイクル

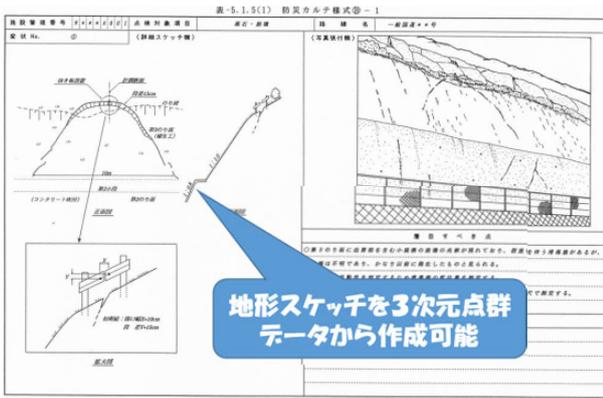


図-24 防災カルテ

(2) 防災対策設計への活用

UAVにより取得した3次元データは、1/250~1/500レベルの精度を有しているため、道路防災点検の危険個所把握だけでなく、落石シミュレーション解析への活用が可能で、設計の効率化が図れる。点群データであるため、落石位置も座標管理され、より正確な位置でのシミュレーションとなり防護柵設計での要求性能である設置高さや設置範囲が適正化され、設計精度が向上する。

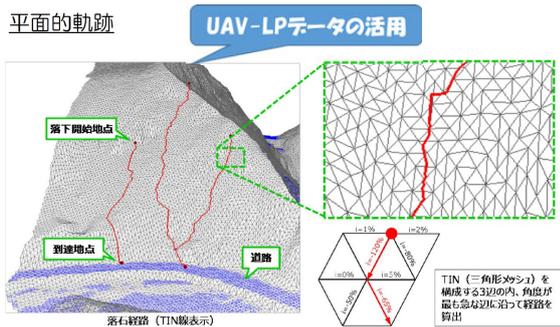


図-25 落石シミュレーションの例

(3) 維持管理計画への反映

UAV-LPによるスクリーニング高度化の結果、点検箇所および要対策箇所の増加が見込まれる。現状においても限られた予算で維持管理を実施している中、より計画的かつ効果的な事業継続が求められる事になる。そこで、ここでは多数の要対策箇所を有する路線を対象に、要対策箇所の優先度評価と予算投資計画について検討した内容を述べる。

まず、表4に示すように要対策箇所の優先度評価を行うため、社会的影響を考慮した評価指標を設定する。表4の例では、対象としている路線が山間部であるため、孤立化区間の評価を最も優先すべき指標として配点を設定している。配点の重み付けについては、地域特性に応じて設定することになる。

対象路線には全部で359箇所の要対策箇所が存在するが、優先度評価指標に基づき点数付けを行い、その結果

を3区分の優先順位に評価した結果、最優先箇所は156箇所となった。最優先箇所は、被災時孤立化区間を必須とし、それと同等の点数である3点以上となる箇所としている。

3区分に分類した優先順位は、そのまま短期、中期、長期の整備として予算投資計画(案)も作成。図-27では、当初5年に年間約5.0億円の投資、以降、年間約2.5億円を18年間、年間約1.5億円を7年間継続する計画となる。年間投資可能予算により、それぞれの投資期間を定めることになる。

表4 優先度評価指標の例

評価項目	評価指標	配点
①孤立化区間	孤立化区間(迂回路無)	3.00
	孤立化区間以外(迂回路有)	0.00
②被災履歴有無	A)被災履歴有(路面影響有)	1.00
	B)被災履歴有(路面影響無)	0.50
	C)被災履歴無し	0.00
③発災規模	通行止め日数3日以上	1.00
	通行止め日数3日未満	0.00
④利用交通量	4000台/日以上	0.25
	3000(台/日) ≤ 4000台/日未満	0.20
	2000台/日 ≤ 3000台/日未満	0.15
	1000台/日 ≤ 2000台/日未満	0.10
	1000台/日未満	0.00
⑤役場へのアクセス	不可×	0.25
	可能○	0.00
⑥観光地へのアクセス	不可×	0.25
	可能○	0.00
⑦地域避難所へのアクセス	不可×	0.25
	可能○	0.00

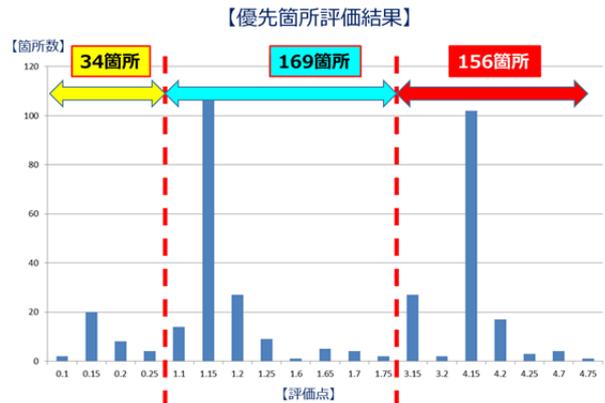


図-26 優先箇所評価結果

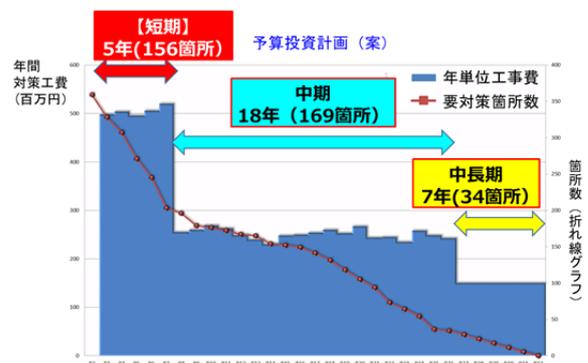


図-27 予算投資計画(案)

5. まとめ

本稿では、近年急速に普及している UAV-LP による道路防災事業への活用範囲と課題、対応策についてまとめた。点検においては、危険個所のスクリーニングが最も重要であるが、従来の手法では実際に災害が発生している箇所を見逃している事実を認識し、UAV を用いたスクリーニングを実施することを提言した。

防災対策設計については、本稿では落石調査を例に示したが、転石・浮石の補足率は低く、全数把握に課題がある。ただし、補足した転石・浮石の位置は GNSS で座標管理されているため、現地踏査による位置出しより高精度である。また、立ち入りが困難な急斜面、高高度斜面等での転石・落石有無を判断するには有効な手段である。

維持管理においては、今後 UAV-LP を活用したスクリーニングが実施されれば、点検対象箇所、要対策箇所が

増加することが容易に想像される。このような場合には、本稿で示したように対策優先順位を定め、計画的に防災事業を継続する必要がある。

このように、UAV-LP を活用することで危険個所の見落とし防止、設計精度の向上が期待できる反面、対象箇所増加による予算確保の課題などが生じるため、道路防災事業を包括した取組み、検討が今後一層必要になると考える。

参考文献

- 1) (独) 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム：航空レーザ測量の概要と活用例について
- 2) 大森将樹，小瀬川奉久，片山輝彦：UAV を用いた転石・浮石の抽出技術の検証

(?)
(?)

Understanding slope danger points using UAV-LP and how to effectively use it for road disaster prevention projects

Tadashi WATANABE, Yosiyuki ISHIMURA and Hideki SASAMORI

This paper makes use of the UAV laser surveying technology that has rapidly become widespread in recent years, and uses a method for highly visualizing dangerous areas and slope deformation that could not be grasped by conventional inspections, and road disaster prevention projects (inspection, design, It describes the development to maintenance and management).

In addition, in order to contribute to safety confirmation on road traffic and prompt formulation of road restoration plans in response to frequent heavy rain disasters, emergency inspections actually carried out as one of the means to quickly grasp the road damage situation Based on the contents, we propose future issues and countermeasures.