

ドローンを活用した斜面検査手法の開発（ドローン飛行方法の検討）

J R 東日本コンサルタンツ株式会社 正会員 ○ 今村 駿志 非会員 喜 里美
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 神谷 弘志 秋山 保行 非会員 佐藤 洋平
 中日本航空株式会社 非会員 原 太一

1. はじめに

JR 東日本では IoT センサやドローンを活用した落石検査手法の開発を進めている。神谷ら¹⁾は、点群処理手法について検討を行った。

本報告では、落石斜面検査に最適化されたドローンの飛行計画の策定を目的に、飛行条件によるレーザ点群取得率の変化、及び斜面の微地形変化の把握に必要な点密度の検討を行った。

2. 落石斜面検査に必要なデータの点密度の検討

ドローンレーザ計測による落石斜面検査では、二時期においてレーザを照射し、新たな転石の移動の有無を把握することが必要となる。本検討では変化の対象を、転石の大きさ 50cm 程度、移動量を 10cm 以上として、試験を実施した。

実地試験に先立ち、形状の再現性について机上検討を行った。1m 四方の平面の任意の位置に 50cm 四方の四角形（転石を模した物体）を置いた（図-1）。地表面にあたるレーザをイメージした点を、乱数により密度 25 点/m²、100 点/m² でプロットし、四角形内部に入った点の外周を転石の形状として直線で囲んだ。その結果、25 点/m² では形状が再現できていないが、100 点/m² では形状が数 cm の誤差で再現できている。これより、50cm 四方の転石の形状を把握するには、レーザの点密度が最低でも 100 点/m² 以上必要であることが分かった。また、二時期のレーザ計測の際に、同一のレーザ計測機器を使用し、基準点で位置合わせを行うことで、数 cm 内の誤差で転石の移動を把握できることになる。

3. ドローン飛行方法による点群取得率の検証

レーザ計測において、レーザパルスは地表面以外にも樹木や建物等、様々なところで反射し戻る。地表面で反射して戻ってくる点群（グラウンドデータ）の透過率は裸地や植生地で様々だが、樹木等の透過率は 10% 程度と仮定し、反射して戻ってくる全点群（オリ

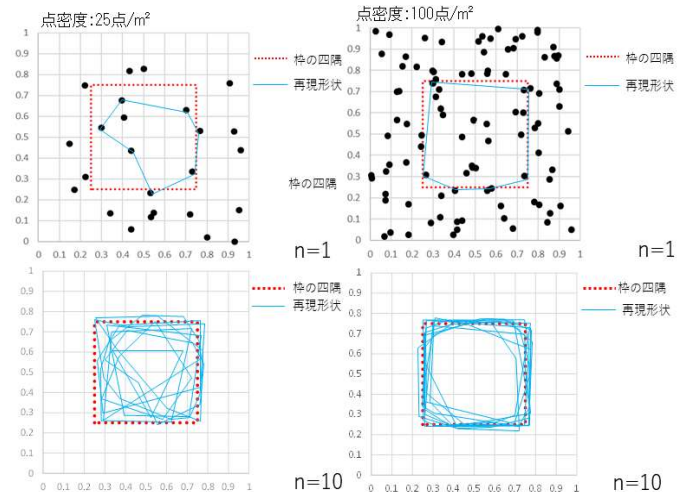


図-1 レーザ計測データの点密度の机上検討

ジナルデータ) の点密度 1,000 点/m² 以上の取得を目標としてドローンの飛行方法の検証を行った。

検証は常緑高木植生の平地で行った（図-2）。範囲は 100m 四方、高低差は約 6m、中央部の南西斜面に常緑樹が植生している。飛行条件を表-2 に示す。検証に先立ち、レーザ機種、飛行速度、対地高度、コース間隔から求められる取得点群数の机上計算を行った。

表-4 に裸地における机上計算値と取得データの点密度を整理した。何れの場合でも概ね机上計算値に近く、オリジナルデータ 1,500 点/m² 以上を取得できた。図-2 の裸地と常緑樹植生箇所には置いた検証体（一辺 30cm 箱）周辺の、対地高度 100m、飛行速度 15km/h 計測の点群断面図を図-3 に示す。裸地、常緑樹植生箇所ともに一辺 30cm の箱を検出することができた。常緑樹植生箇所の検証体周辺のオリジナル、グラウンドデータの点密度はそれぞれ、2,184 点/m²、178 点/m²、透過率は 8.2% であった。

4. 実斜面における試験計測

鉄道路線沿線の落石検査斜面を対象に、試験計測を実施した（図-4）。当該斜面は、比高 300m、斜面勾配は 1 割程度であり、各所に露岩が見られる。斜面内には落

キーワード 鉄道防災、落石斜面検査、ドローン、レーザ測量、レーザスキャナ、三次元計測

連絡先 〒141-0033 東京都品川区西品川一丁目 1 番 1 号 J R 東日本コンサルタンツ（株）防災計画部 TEL:03-5435-7636

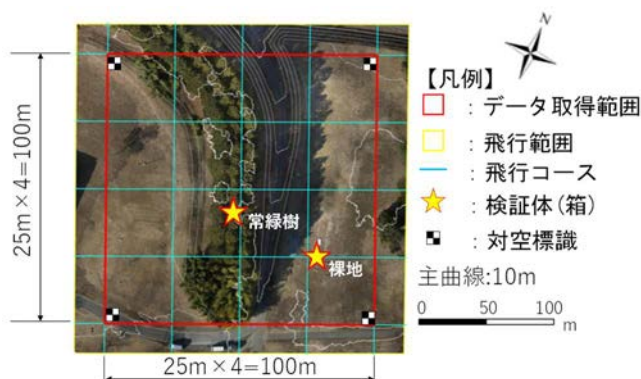


図-2 ドローン飛行検証箇所（平場）

表-1 仕様と検討項目

試験箇所	平地（11月）	
機器等仕様	UAV	産業用UAV GRYPHON DYNAMICS
	レーザスキャナ	発射回数50万発/秒,スキャン角330°,計測精度10mm
	計測コース	10本（格子状）、コース間隔25m
検討項目	対地高度	50m 100m
	飛行速度	12km/h 15km/h

表-2 取得点密度（裸地部） (点/m²)

対地高度	飛行速度 12km/h		飛行速度 15km/h	
	机上計算値	取得点密度	机上計算値	取得点密度
50m 平均	2,891	2,786	2,310	2,413
最小～最大		2,212～3,682		1,588～4,086
100m 平均	2,060	2,167	1,650	1,628
最小～最大		1,580～3,236		922～3,383

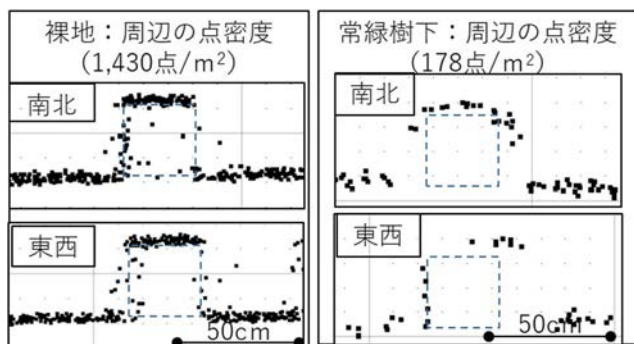


図-3 検証体検出結果

葉樹が植生しているが、線路脇の斜面の立ち上がり部に常緑樹が植生する。3. の結果を基に現地の状況を考慮し表-3の飛行条件を設定した。

図-4に示す星印の箇所で、斜面内の約30cmの転石が検出できた。転石の点群断面図を図-5に示す。また、図-4に示す場所ごとの点密度と透過率を表-4に示す。オリジナルデータの点密度は概ね1,000点/m²以上となった。グラウンドデータの点密度は、裸地、落葉樹植生箇所では概ね100点/m²以上となったが、常緑樹植生箇所では15点/m²で透過率1.1%となった。一方、別の計測範囲の斜面内にある常緑樹植生箇所では5箇所の平均でオリジナル4,647点/m²、グラウンド643点/m²、透過率14.8%であったことから、常緑

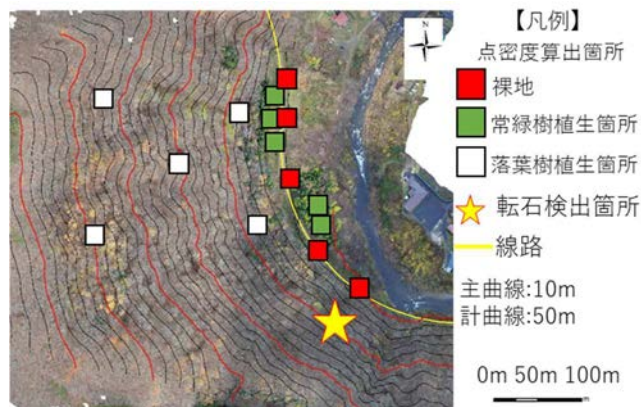


図-4 ドローン飛行試験箇所（落石検査斜面）

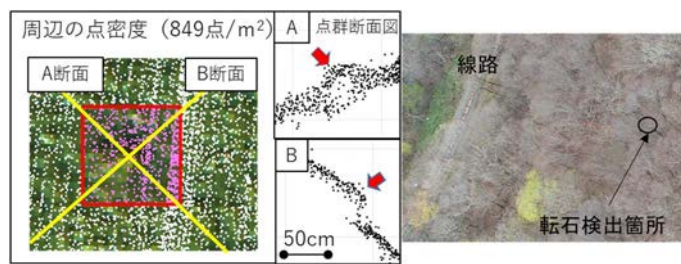


図-5 転石検出結果

表-3 飛行条件（落石検査斜面）

試験箇所	落石検査斜面（11月）	
機器等仕様	UAV	Freefly Systems社 ALTA X
	レーザスキャナ	発射回数50万発/秒,スキャン角330°,計測精度10mm
	計測コース	10本（格子状）、コース間隔40m
飛行条件	コース方向	クロスコース
	対地高度	100m
	飛行速度	18km/h(5m/s)

表-4 場所ごとの点密度と透過率

場所	平均点密度 (点/m ²)		透過率(%)
	オリジナル	グラウンド	
裸地	1,076	1,076	100
落葉樹植生箇所	3,721	1,072	28.8
常緑樹植生箇所	1,280	15	1.1

樹の植生位置、種類、立木密度等が点密度の取得率に影響することが推察される。

5. まとめ

本報告の場合、グラウンドデータ 100 点/m² 以上を確保する目安として落葉期に対地高度 100m 以下、コース間隔 40m 以下、飛行速度 5m/s 以下のクロスコースで飛行させると良いことが分かった。常緑樹や常緑樹下の植生状況によって点密度が極端に減衰することがあるため、対地高度を低くするなどの工夫や、地上レーザ計測、SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)の活用等を検討すると良い。

参考文献

- 1) 神谷ら：ドローンを活用した斜面検査手法の開発(点群処理手法の検討)，土木学会年次学術講演会，2022. 9.