

地理空間情報アーカイブ活用における 航空レーザ点群の土工事への適用性検証

株式会社安藤・間
朝日航洋株式会社

○澤城 光二郎
大伴 真吾

1. はじめに

産官学が保有する多様な地理空間情報を集約し、新たな利活用方法を創造するためのプラットフォームとして、G 空間情報センター¹⁾や国土交通省データプラットフォーム²⁾などが存在する。建設業界においても i-Construction に関わる電子納品データの登録が今後進むものと予想されることから、このようなアーカイブを有効に活用する方法が求められている。

これらのプラットフォームに蓄積されているデータのひとつに航空レーザ測量の点群データがある。航空レーザ測量とは、航空機に搭載したレーザスキャナ(LS)で地上にレーザ光を照射し、上空から地形形状を効率よく計測するシステムである(図-1)。その中でも固定翼機による計測は、高度2,000m程度から広範囲を迅速に計測することが可能であり、主に標高地形図の作成、災害発生時の現況把握、森林事業管理などに活用されている。

造成工事では、通常、トータルステーションや地上LS、UAVレーザを用いた起工測量を実施して現場の地形データを取得するが、天候の影響や現場の繁忙期と重なるなどして、日程調整が繁雑となる問題があった。そこで筆者らは、この起工測量の地形データに先に挙げたアーカイブのデータを利用することで、現場ごとに測量を実施する必要がなくなるのではないかと考えた。このような背景から既存のアーカイブに蓄積されている航空レー

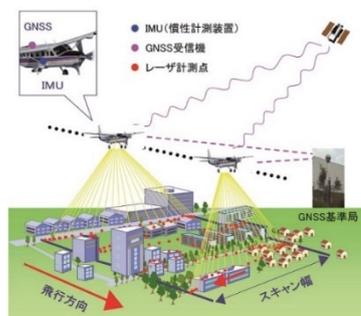


図-1 航空レーザ測量の計測イメージ³⁾

(https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_senmon.html : 国土地理院 HP より)

ザ点群データの現状を整理するとともに、道路造成工事の実現場で航空レーザ計測を実施し、これらを比較することで i-Construction に準じた起工測量に適用できる精度を有するかの検証を実施した。

2. G 空間情報センター

本研究では、活用する地理空間情報プラットフォームとして G 空間情報センターを対象とした。このプラットフォームは地理空間情報の活用を促進するために2016年より官民一体となって運用が開始されたもので、国、地方自治体、教育機関、民間など 456 の組織が保有するオープンデータ、有償・無償データが蓄積されている。ここに存在する航空レーザ点群の活用が可能か、現状のデータ保有数や点群の密度に着目して調査を実施した。

2.1 航空レーザ点群のデータ数

2020年8月21日調査時点、G 空間情報センターにある全データセット数は 5,402 件でファイル数は 49,588 となっている。データの種類は様々であり、日本各地の地質図や地震動の波形データをはじめ、交通量情報や人口流動データなど多岐にわたるデータが蓄積されている。これらのデータセットの中にある 3 次元点群や航空レーザ点群のデータセットの数を表-1 に示し、全データセットのうちに占めるこれらデータの割合を図-2 に示す。全データセットに占める 3 次元点群データの割合は約 0.5% と非常に少なく、点群データの蓄積が現状では十分に進んでいないことがわかる。一方で 3 次元点群データに占める航空レーザ点群の割合は図-3 に示すように 54% となっており、点群データの中で最も多いデータ数となっている。

このことから G 空間情報センターの点群アーカイブの活用を効率的に進めるためには航空レーザ点群を使用することが最も効果的であることがわかった。

表-1 G 空間情報センターデータ数

全データセット数	5399
3次元点群	26
航空レーザ	14

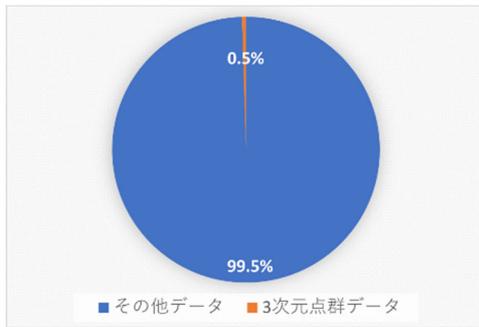


図-2 全データセットに占める点群データの割合

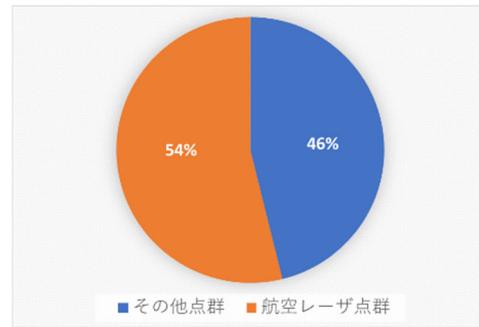


図-3 点群データに占める航空レーザ点群データ

2.2 航空レーザ点群の点群密度

国土交通データプラットフォームで公開され、G 空間情報センターからデータ入手可能な国土交通省および静岡県から提供された 11 個の航空レーザ点群のデータセットの中から一部データを抜き出して点群密度を算出し、国土交通省の定める⁴⁾i-Construction の土工事起工測量に準じた点群密度 (0.25 m²あたり 1 点以上) を満たすデータがどの程度存在するか検証した。

検証の結果を表-2 に示す。11 個のデータセットのうち 8 個で上記の基準を満たす点群密度を有することが確認された。このことから、これまでの航空レーザ計測業務において取得されてきた点群データには、土工事の起工測量に適用できる品質を持つデータが数多く存在すると考えられる。

2.3 点群アーカイブ活用に向けての課題

航空レーザ点群の土工事における起工測量への活用を実現するためには、日本全国の地域をカバーできるデータ数と要求精度を満たすデータ品質が必要となる。これまでの検証から土工事の起工測量に適用できる点群密度を有するデータの存在が確認できたことから、今後はいかに広範囲かつ点群精度の高いデータを蓄積できるかが重要となる。

表-2 航空レーザ点群の点群密度

No.	データ名	提供元	有償/無償	データ形式	点群数 (0.25m ² あたり)	起工測量基準 (1点以上)
1	平成20年度 狩野川水系航空レーザ 測量業務	国土交通省	無償	.las	1未満	×
2	平成30年度 静岡国道管内航空レーザ 測量業務	国土交通省	無償	.las	15	○
3	平成20年度 沼津河川国道事務所管内 航空レーザ測量業務	国土交通省	無償	.las	1未満	×
4	平成25年度 菊川航空レーザ測量	国土交通省	無償	.las	3	○
5	平成27年度 天竜川地形計測業務	国土交通省	無償	.las	1未満	×
6	平成26年度 天竜川地形計測業務	国土交通省	無償	.las	2	○
7	平成25年度 天竜川航空レーザ測量	国土交通省	無償	.las	2	○
8	平成30年度 沼津河川国道管内航空測 量業務	国土交通省	無償	.las	2	○
9	平成30年度 二級河川太田川河川改良 工事に伴う測量業務委託	静岡県	無償	.las	6	○
10	平成30年 度蘆山放射炉計測業務	静岡県	無償	.las	18	○
11	掛川城オープンデータ化プ ロジェクト	静岡県	無償	.las	136	○

3. 現場計測実験

前章では G 空間情報センターに蓄積されている航空レーザ点群の密度を確認したが、実際にこれらの点群がどの程度の精度を有するか検証する必要がある。そこで本研究では実際の工事現場を対象に航空レーザ計測を実施し精度を検証した。

本検証において計測対象とした現場は、切土法面の道路造成現場である(図-4)。当該現場は ICT 活用工事となっており、UAV レーザによる起工測量が予定されていたことから、航空レーザとの比較データとしてこの UAV レーザのデータを使用した。航空レーザは、図-5 に示す固定翼機にレーザ計測器としてライカジオシステムズ社製 Terrain Mapper を搭載したもので、12 月 8 日に対地高度 2,300m から計測を行った。このときの計測性能は鉛直精度 18cm⁵⁾となっている。一方、UAV レーザによる起工測量は、UAV の機種として DJI 社製 MATRICE600PRO(図-6)、レーザ計測器は Yellow Scan Surveyor を使用し、10 月 22 日に対地高度 50m から計測を行った。このときの計測性能は鉛直精度 5cm⁶⁾となっている。

3.1 検証項目

本実験では、UAV レーザで取得した点群を基準データとし、国土交通省の UAV レーザにおける出来形管理基準⁴⁾と照らし合わせることで航空レーザの起工測量への適用性を検証した。検証項目は①標高精度、②地形条件の精度への影響、③点群密度の 3 つを設定した。①標高精度についてはエリアを図-7 のように 9 箇所選定し、それぞれのエリアで UAV 点群から作成した不整三角網(TIN)と航空レーザ点群の標高較差を計算した。UAV レーザと航空レーザの計測日が約 2 か月離れているため、各計測間で地形変状の少ないエリア 1~エリア 8 を精度検証の対象とした。また、大きな地形の変状のあったエリア 9 では土量の変化を点群データから確認できるかについても検証した。②については計測した地盤の地形条件(傾斜や地形形状)によって標高較差精度にどのような影響を及ぼすかについて検証を実施した。③点群密度については、①において選定した 9 箇所のエリア毎に航空レーザと UAV レーザ点群の密度を計算した。



図-4 検証現場



図-5 航空レーザ搭載固定翼機



図-6 UAV レーザ

4. 検証結果

検証項目①, ②, ③の結果を以下に示す。

①標高精度

エリア 1 から 9 までの標高精度の結果を表-3 に示し、図-8 から図-11 にエリア 1, 7 における標高較差のヒートマップとデータ分布のヒストグラムを一例として示す。標高較差の平均値と標準偏差がともに国土交通省の要求精度 $\pm 100\text{mm}$ を満したものはエリア 1, 2, 3, 4, 6 の 5 箇所である。要求精度を満たさなかったのはエリア 5, 7, 8 となった。このうちエリア 7, 8 については勾配が他のエリアに比べて大きい箇所になっている。また、エリア 9 については UAV レーザと航空レーザの計測間に地形が変化した範囲であり、図-12 のヒートマップ上でわかるように土が削られて土量が少なくなっていることが確認できた。

②地形条件が精度に与える影響

先に挙げた測定エリア 9 箇所の勾配を X 方向, Y 方向それぞれで算出し、絶対値の大きいものを表-3 に記載し、地面の勾配と標高較差の関係を表したグラフを図-13 に示す。この結果をみると傾斜が小さいほど標高較差も小さく、傾斜が大きくなるほど標高較差も大きくなる傾向が確認できた。

国土交通省の要求精度を満した検証エリアの勾配は、おおむね 20 度~30 度程度であるのに対し、要求精度の範囲外となったエリア 7, 8 では検証エリア全体の勾配が 40 度程度で局所的に約 80 度と非常に急傾斜な地形が存在している。このような部分で UAV レーザと航空レーザそれぞれの点群のばらつきが大きくなり、そのデータどうしを比較したことが較差の大きくなった原因と考えられる。このことから航空レーザ計測の標高格差精度には対象となる地形の傾斜が影響していると考えられる。

③点群密度

エリア 1 から 9 まで、それぞれ 0.25 m^2 あたりの点群密度を表-4 に示すように平均 8 点となった。i-Construction における起工測量の基準では 0.25 m^2 ($50\text{cm} \times 50\text{cm}$) に 1 点以上となっており、全エリアにおいてこの基準を満することが確認できた。一方、UAV レーザと比較すると単位当たりの点数は 15 分の 1 程度と点群密度が小さかったことから、さ



図-7 検証エリア

表-3 標高較差結果

エリア		1	2	3	4	5
標高較差(mm)	平均	98	56	60	74	103
	標準偏差	37	31	68	30	96
勾配(度)		31	27	21	33	31
エリア		6	7	8	9	
標高較差(mm)	平均	91	274	228	-262	
	標準偏差	83	191	145	681	
勾配(度)		39	46	41	26	

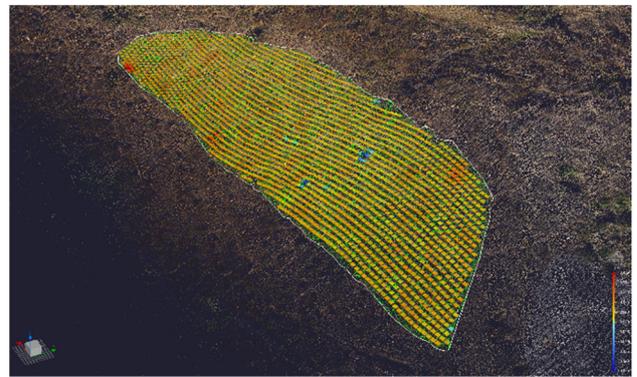


図-8 標高較差ヒートマップ(エリア 1)

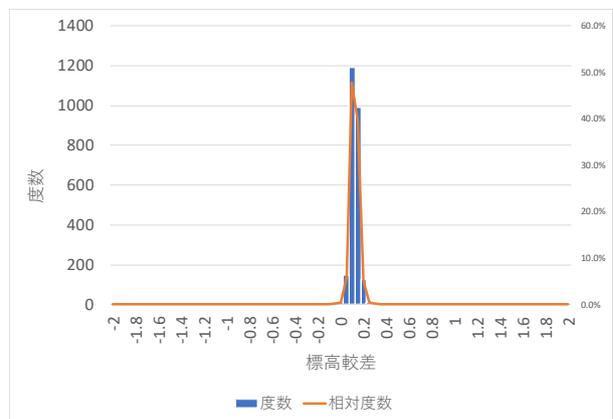


図-9 標高較差ヒストグラム(エリア 1)

らなる精度向上のために飛行高度を下げることやレーザラップ率を上げるなどの方法で点群密度を大きくすることが望まれる。

なお、高度を下げた場合でも、航空レーザ計測では高度に応じて自動的にレーザを遮断するようなフェールセーフを備えているため、身体に対する安全性は担保できている。

5. まとめ

地理空間情報アーカイブにおける航空レーザ点群の活用において、G 空間情報センターに蓄積されている既存のデータにも、i-Construction における起工測量の基準を満たすものが存在することを確認した。このことは現場検証においても確認した。また、アーカイブに占める点群データの絶対数が十分でないことから、航空レーザ点群の活用のために、各所で計測された点群データがアーカイブに集積されていくための仕組みを検討する必要があることがわかった。

現場検証においては、標高較差について、傾斜角が一律に30度程度までの地形では基準値を満たすことが確認できた。一方で傾斜が大きくなるほど標高較差が大きくなり、一部に約80度のような非常に急傾斜な部分を有する地形では基準値外の結果となったことから、傾斜の大きい地形でも航空レーザ計測での精度を確保する方法を検討する必要があることがわかった。

今後検証で未実施の事項として水平精度の検証が挙げられる。今回使用した航空レーザは高度1,000mにおいて水平精度13cm⁵の機器性能となっているが、今回の計測では点群から判読可能な地物が少なく、水平精度を満足に検証できなかった。今後、水平精度の検証を進め、これらの結果をもとに起工測量への点群アーカイブの有効活用へと繋げていきたい。

参考文献

- 1) G空間情報センターHP : < <https://www.geospatial.jp/> > (2020.3.20入手)
- 2) 国土交通省データプラットフォームHP<https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000066.html>
- 3) 国土地理院HP : < https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_senmon.html >
- 4) 国土交通省：無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案）H30.3
- 5) ライカジオシステム社HP : < <https://leica-geosystems.com/> >(2020.3.20入手)
- 6) YellowScan社HP : < <https://www.yellowscan-lidar.com/ja/> > (2020.3.20入手)
- 7) 澤城光二郎・中野一也他：航空レーザ点群の造成工事における起工測量への適用性検証，土木学会第75回年次学術講演会VI-1117，2020

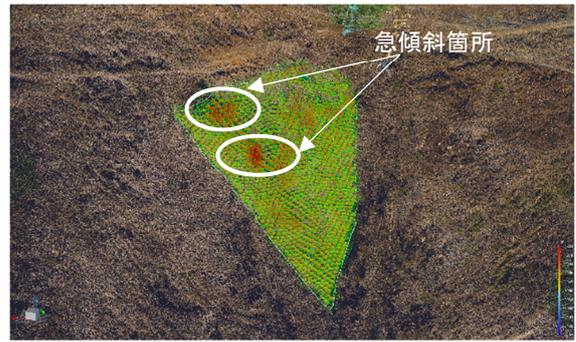


図-10 標高較差ヒートマップ(エリア7)

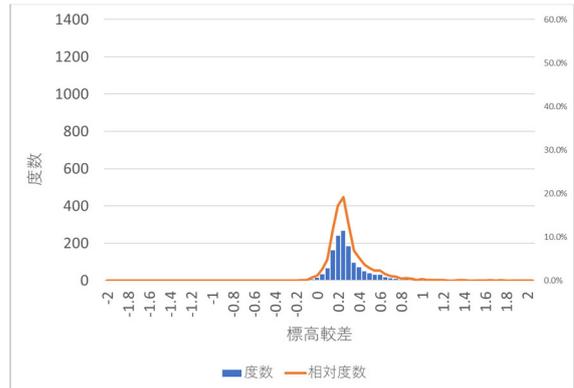


図-11 標高較差ヒストグラム(エリア7)

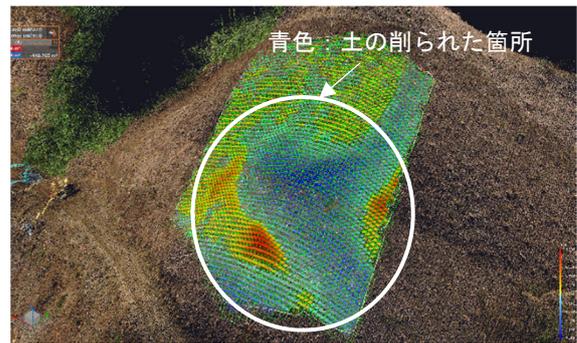


図-12 標高較差ヒートマップ(エリア9)

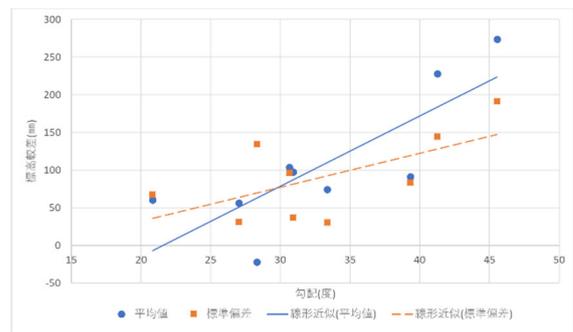


図-13 勾配と標高較差の関係

表-4 航空レーザ点群の点群密度

点群数 (点/0.25㎡)	UAVレーザ		航空レーザ
	エリア	点群数	点群数
	エリア1	102	7
	エリア2	125	9
	エリア3	105	14
	エリア4	111	8
	エリア5	120	8
	エリア6	159	5
	エリア7	158	6
	エリア8	149	5
	エリア9	117	7
	平均	127	8
i-Construction基準	1点以上		