

## (48) 点群データを基にする 3次元地形データの表示に関する研究

窪田 諭<sup>1</sup>・今井 龍一<sup>2</sup>・中村 健二<sup>3</sup>・櫻井 淳<sup>4</sup>・田中 成典<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)  
E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京都市大学准教授 工学部 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28番1号)  
E-mail: imair@tcu.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 大阪経済大学教授 情報社会学部 (〒533-8533 大阪市東淀川区大隈2丁目2番8号)  
E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

<sup>4</sup>学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)  
E-mail: k400448@kansai-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)  
E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

地形データは LP, MMS, 地上設置型レーザスキャナ, カメラ搭載 UAV などの計測機器によって 3次元で積極的に取得されているが, その表記標準が定義されておらず, 3次元データの標準規格のための基礎資料が存在しない. 本研究では, 現況地形を LP, MMS, 地上設置型レーザスキャナ, カメラ搭載 UAV によって計測して得られる点群データを 3次元で表示するための方法を検討した. まず, 現況地形の点群データを複数計測機器により取得し表示するために, 点密度と表示レベルの検討を行った. 次に, 道路土工の出来形管理を対象として, 点群データの点密度を変えることによる精度を検証し, 出来形管理に必要な点密度として 100 点/m<sup>2</sup> 以上を示した. そして, 複数の計測機器による点群データを融合するための留意点を検討した.

**Key Words:** three-dimensional data, landform, point cloud data, standardization, visualization

### 1. はじめに

国土交通省が i-Construction<sup>1)</sup>を推進するなか, 社会基盤施設の 3次元データは, 計画, 調査, 設計, 施工, 維持管理において, 生産性向上や品質確保などのために活用が推進されている. 社会基盤施設の 3次元データと密接な関連を有する地形については, 施設と地形の密接な関連を考慮した上で, 3次元で取得し, その利用を促進することが必要である. 地形データは LP (Laser Profiler), MMS (Mobile Mapping System), 地上設置型レーザスキャナ, カメラ搭載 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) などの計測機器によって 3次元で積極的に取得されているが, 業務段階を跨って十分に活用されているとは言い難い. 業務段階を跨って地形の 3次元データを活用するためには, その標準化が必須である. 3次元データの標準規格を定めるためには, その表記の標準化とデータ交換の標準化を考える必要がある. 文献 2)では道路設計を対象とした 3次元の地形データの作成仕様を, 橋梁 3次元

データ流通に係る運用ガイドライン (案)<sup>3)</sup>では橋梁を対象とした 3次元データの利活用を定めている. しかし, 3次元を対象としたモデルの表記標準が定義されていない. したがって, 取得した地形データを 3次元モデルで表記するための描画とビューのガイドラインを策定することが必要である. 文献 4)では, LP, MMS, 地上設置型レーザスキャナの点群データを対象に, その疎密・色付け・反射強度によって構造物・地形・道路形状の抽出に資する仕様作成の基礎を検討し, 最低必要な点群データ密度の指針をまとめている.

本研究では, 3次元地形データの表記標準を検討するための基礎資料とすることを目的に, 現況地形を LP, MMS, 地上設置型レーザスキャナおよびカメラ搭載 UAV などの複数の計測機器によって計測した点群データを基に, 3次元の地形モデルの表示方法を検討する. 図-1に点群データの表示の検討の流れを示す.

#### I. 点密度による表示 (見え方) の整理

点密度ごとに, 点群データの表示 (全体表示, 詳細表



図-1 検討の流れ

示、断面表示) および地物毎の表示を整理する。

## II. 利用用途に応じた点密度と表示レベルの検討

Iの整理結果をもとに、業務段階や用途、目的に応じた点密度や表示レベルとして、LOD (Level Of Detail) や地図情報レベルでのガイドラインを検討する。

## III. 複数計測機器のデータ融合のための留意点の検討

計測機器の特性を考慮して、複数計測機器のデータ融合による留意点を検討する。

## 2. 現況地形の点群データの表示

### (1) 点密度による表示の整理

筆者らは、文献5)において、現況地形の点群データを計測機器によって取得し、加工して、3次元CADソフトを用いて表示した。ここでは、点群データをノイズ除去により加工し、TIN (Triangulated Irregular Network) によって表示して、計測機器と点密度の整理、および、人が描画する際の目安とするために、対象箇所を3次元と2次元(断面)表示による検討を行った。対象とした計測機器は、カメラ搭載 UAV、地上設置型レーザスキャナ、LP、MMSである。

その結果、点群データの表示に注目すると、1000点/m<sup>2</sup>と100点/m<sup>2</sup>では、点同士が密接に分布しており目視で地形形状を把握可能であるが、10点/m<sup>2</sup>以下では、点がまばらに分布し目視で地形形状を把握できない。TINデータの表示に注目すると、全ての点密度において地形形状を把握可能である。ただし、1000点/m<sup>2</sup>と100点/m<sup>2</sup>に比べて10点/m<sup>2</sup>と1点/m<sup>2</sup>ではエッジ箇所が滑らかになり、地形形状が変化した。断面の表示に注目すると、地上設置型レーザスキャナでは、全ての点密度で全体的に断面が類似した。ただし、エッジ部分では1点/m<sup>2</sup>と他の点密度との断面が約20cm離れている。UAVカメラでは同

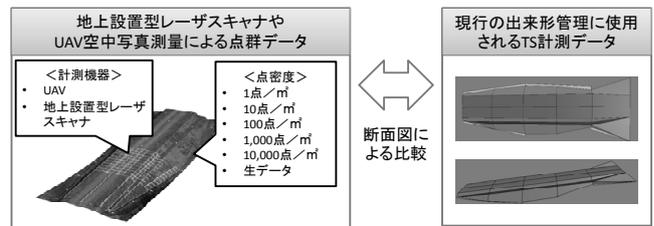


図-2 利用用途に応じた点密度と表示レベルの検討

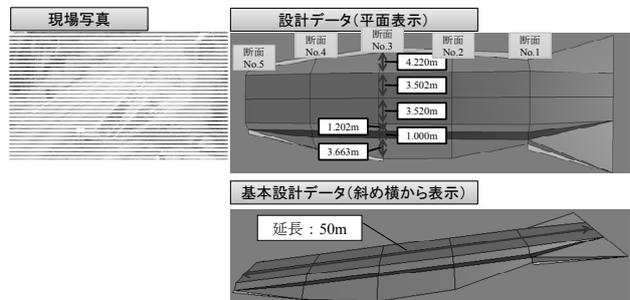


図-3 対象とする土工現場



図-4 評価の手順

様に、全ての断面で類似しているが、エッジ部分に着目すると、1点/m<sup>2</sup>は他密度に比べて数十cm離れていることがわかった。

### (2) 利用用途に応じた点密度と表示レベルの検討

#### a) 点群データの取得と評価の手順

前節の点密度による点群データの表示結果では、業務段階や用途を考慮せずに点群データの表示例を整理した。本節では、業務段階や用途、目的に応じた点密度や表示レベルとして、LOD や地図情報レベルでのガイドラインを検討する。そのために、道路土工の出来形管理を対象として、点群データの点密度を変えることによる精度の違いを検証し、出来形管理に必要な点密度を検討する(図-2)。データは、図-3に示す道路土工の模擬現場において、UAV(カメラα6000)、UAV(カメラGoPro)、および地上設置型レーザスキャナ(RIEGL)によって計測した。点群データの密度を変更したときの精度の違いを評価する手順を図-4に示す。

Step1: 断面No.1~5を対象に、点群データから一定範囲の点を取得して横断面を作成する。一定の範囲とは、点密度100点/m<sup>2</sup>以上の場合は横幅0.2m、10点/m<sup>2</sup>の場合は横幅0.4m、1点/m<sup>2</sup>の場合は横幅2mとする。

Step2: 作成した横断面から1cm間隔で垂線を下ろし、

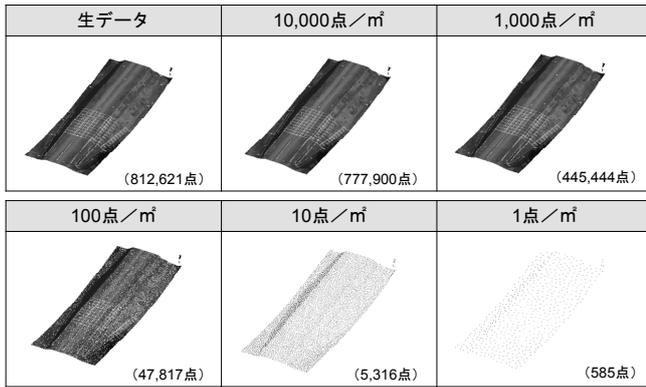


図-5 UAV (カメラ α6000) による点群データ

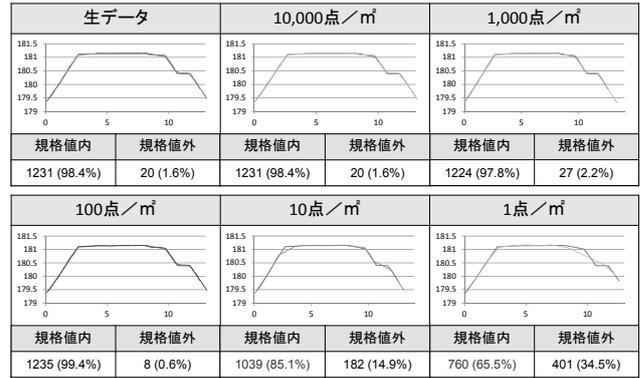


図-8 断面における評価結果 UAV (カメラ α6000)

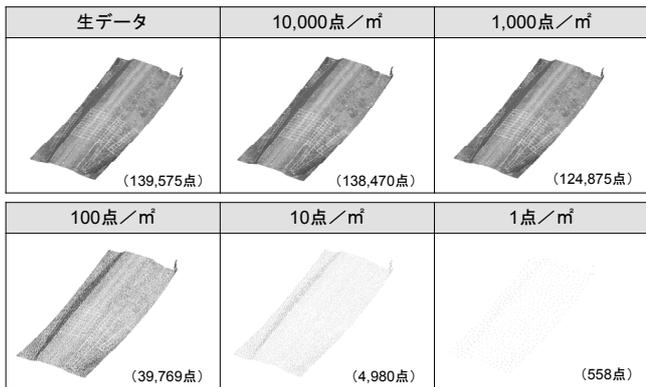


図-6 UAV (カメラ GoPro) による点群データ

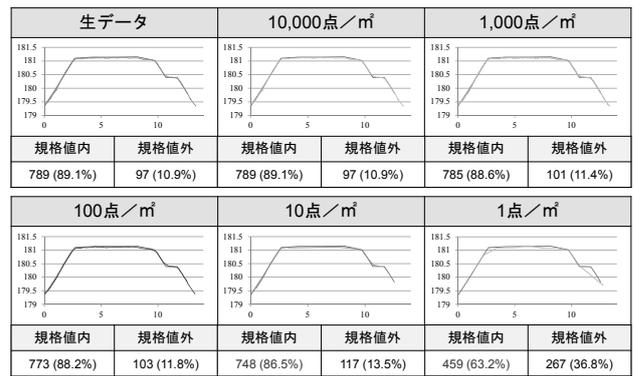


図-9 断面における評価結果 UAV (カメラ GoPro)

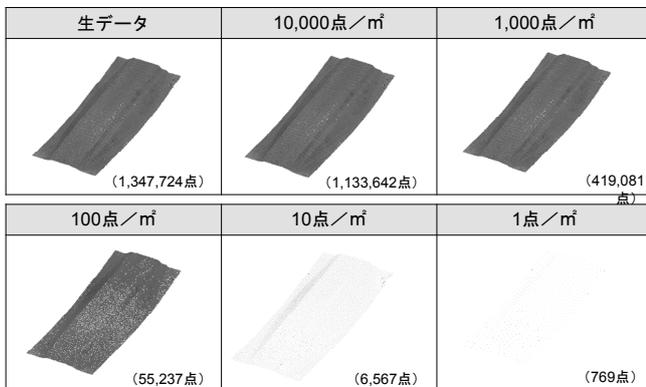


図-7 地上設置型レーザスキャナ (RIEGL) による点群データ

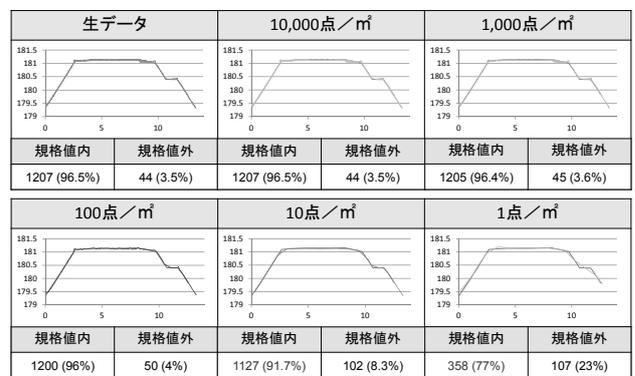


図-10 断面における評価結果 (RIEGL)

正解データの横断面との標高差を算出する。正解データには、出来形管理で使用した TS (Total Station) 計測データを使用する。

Step3：算出した標高差を空中写真測量 (無人航空機) を用いた出来形管理要領 (土工編) とレーザスキャナを用いた出来形管理要領 (土工編) の規格値 (平均±5cm) を基準に評価する。

評価に用いる UAV (カメラ α6000) による点群データを図-5に、UAV (カメラ GoPro) による点群データを図-6に、地上設置型レーザスキャナ (RIEGL) による点

群データを図-7に示す。

#### b) 点群データの精度評価

図-3に示す断面のうち、断面 No. 4を対象とする評価結果を図-8 (UAV (カメラ α6000))、図-9 (UAV (カメラ GoPro)) と図-10 (地上設置型レーザスキャナ (RIEGL)) に示す。また、出来形管理要領の規格値内である点数を点密度毎に整理した結果を表-1 (UAV (カメラ α6000))、表-2 (UAV (カメラ GoPro)) と表-3 (地上設置型レーザスキャナ (RIEGL)) に示す。

評価結果より、UAV (カメラ α6000)、UAV (カメ

表-1 規格値内の点数 UAV (カメラ α6000)

断面 No.	点群データ密度					
	生データ	10,000点/m <sup>2</sup>	1,000点/m <sup>2</sup>	100点/m <sup>2</sup>	10点/m <sup>2</sup>	1点/m <sup>2</sup>
1	1055 (96.4%)	1055 (96.4%)	1056 (96.5%)	1050 (97.8%)	969 (94.1%)	1014 (96.5%)
2	1306 (89.6%)	1305 (89.5%)	278 (98.2%)	1318 (90.6%)	278 (98.6%)	1071 (78.4%)
3	1458 (94.2%)	1457 (94.1%)	1460 (94.3%)	1461 (95.1%)	1116 (78.5%)	823 (55.9%)
4	1231 (98.4%)	1231 (98.4%)	1224 (97.8%)	1235 (99.4%)	1039 (85.1%)	760 (65.5%)
5	851 (96.2%)	505 (89.2%)	854 (96.5%)	507 (89.6%)	629 (77.2%)	554 (97.9%)
合計	5901(94.6%)	5553(93.8%)	4872(96.3%)	5571(94.9%)	4031(84.5%)	4222(75.2%)

表-2 規格値内の点数 UAV (カメラ GoPro)

断面 No.	点群データ密度					
	生データ	10,000点/m <sup>2</sup>	1,000点/m <sup>2</sup>	100点/m <sup>2</sup>	10点/m <sup>2</sup>	1点/m <sup>2</sup>
1	844 (77.1%)	844 (77.1%)	810 (74%)	828 (78%)	471 (44.2%)	440 (43%)
2	1241 (85.1%)	1225 (85%)	1222 (84.2%)	1220 (84.8%)	854 (64.9%)	411 (32.3%)
3	1427 (92.2%)	1427 (92.2%)	1447 (93.5%)	1401 (91.3%)	1320 (86.9%)	811 (54.4%)
4	1193 (95.4%)	1189 (95.3%)	1179 (94.3%)	1216 (97.3%)	921 (86%)	729 (65.3%)
5	789 (89.1%)	789 (89.1%)	785 (88.6%)	773 (88.2%)	748 (86.5%)	459 (63.2%)
合計	5494(88.2%)	5474(88%)	5443(87.4%)	5438(88.3%)	4314(73.9%)	2850(50.6%)

表-3 規格値内の点数 (RIEGL)

断面 No.	点群データ密度					
	生データ	10,000点/m <sup>2</sup>	1,000点/m <sup>2</sup>	100点/m <sup>2</sup>	10点/m <sup>2</sup>	1点/m <sup>2</sup>
1	556 (50.8%)	564 (51.6%)	632 (57.8%)	894 (81.7%)	719 (66.1%)	3 (0.9%)
2	1182 (81.1%)	1180 (81%)	1201 (82.5%)	1346 (93.1%)	1277 (88.5%)	1093 (78.9%)
3	1497 (96.7%)	1498 (96.8%)	1501 (97%)	1499 (97.5%)	1348 (89.4%)	1335 (88%)
4	1207 (96.5%)	1207 (96.5%)	1205 (96.4%)	1200 (96%)	1127 (91.7%)	914 (73.3%)
5	809 (91.3%)	808 (91.2%)	815 (92.1%)	834 (95.8%)	818 (96.5%)	478 (71.7%)
合計	5251(84.2%)	5257(84.3%)	5354(85.9%)	5773(93.2%)	5289(86.5%)	3823(74.1%)

ラ GoPro), 地上設置型レーザスキャナ (RIEGL) において、点密度が 10,000 点/m<sup>2</sup>~100 点/m<sup>2</sup>では、生データの規格値内の割合と類似している。一方、点密度 10 点/m<sup>2</sup>と 1 点/m<sup>2</sup>では、生データの規格値内の割合と比較して大幅に異なっている。以上より、出来形管理においては、点密度を 100 点/m<sup>2</sup>以上にすることが望ましい。

### 3. 複数計測機器のデータ融合のための留意点

地上設置型レーザスキャナやカメラ搭載 UAV での点群データによる出来形管理では、端点の計測ではなく面との乖離として出来形管理を行う。点群データは、計測時点にその点に何かがあったという情報しか持っておらず、点群データから形状データを作成するためには、点群データの精度や密度だけでなく、その点の判読情報と、どの程度に形状化したいのか、という要求を踏まえ、図化方法を検討する必要がある。これらのことから、形状データ作成のための点群密度は、人間の判読を踏まえた図化方法をもとに実際に対象物を設定して実験を重ねる必要がある。

UAV による計測については、「UAV を用いた公共測量マニュアル」第 8 節三次元点群データファイルの作成<第 76 条 運用基準>では、「土木施工における法肩・法尻等の地形形状が急激に変化する箇所においては、原則として、点密度を高密度とし、三次元点群データ上で高密度の範囲を表示しなければならない。」との記載

がある。UAV による計測であれば、計測された点群データの座標値は様々な誤差を内包しているため、同一箇所の繰り返し計測による高密度化は、結果として誤差要因をそのまま含んだデータがエッジ周辺に集まり、エッジの識別が難しくなることが予想される。したがって、何度も計測を繰り返すのではなく、高密度化した箇所は他の計測データと合成しないことが望ましいと考えられる。

また、高密度な点群データは形状の構成要素となる境界を求めやすいが、膨大な点群データは作業効率の低下要因となる。そのため、形状データの作成においては、形状データの構成要素となる境界、特に形状変化のあるエッジ部分のみ高密度な点群データとなるよう計測を行うという計測方法の工夫が必要である。

### 4. おわりに

本研究では、現況地形を LP, MMS, 地上設置型レーザスキャナ, カメラ搭載 UAV によって計測して得られる点群データを 3 次元で表示するための方法を検討した。まず、点群データの点密度と表示レベルの検討を行った。次に、道路土工の出来形管理を対象として、点群データの点密度による精度を検証し、出来形管理に必要な点密度として 100 点/m<sup>2</sup>以上を示した。そして、複数の計測機器による点群データを融合するための留意点を検討した。

謝辞：本研究は、一般財団法人日本建設情報総合センターの研究助成を受けて実施したものである。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction～建設現場の生産性向上の取り組みについて～, 2016.
- 2) 重高浩一, 青山憲明, 井星雄貴：道路設計のための 3 次元地形データの作成仕様に関する研究, 国総研資料, No. 664, 2012.
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所情報基盤研究室：橋梁 3 次元データ流通に係る運用ガイドライン(案), 2012.
- 4) 住田英二：異なる計測方法によるレーザ計測データを基とする CIM のための 3 次元空間情報の整備手法に関する研究, 一般財団法人日本建設情報総合センター研究助成報告書, No. 2013-5, 2014.
- 5) 窪田論, 中村健二, 重高浩一, 今井龍一, 櫻井淳：3 次元地形モデルを対象とした描画ガイドラインの提案, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol. 71, No. 2, pp. II\_50-II\_57, 2015.