

## ドローンを活用した杭芯位置計測精度の検証

湯浅 嵩之  
Takayuki Yuasa

### 概 要

工事現場における杭芯位置の計測作業を省力化することを目的として、ドローンによって取得した点群モデルを用いて計測する手法について検証を行い、その計測精度を評価した。本検証では、自動飛行ドローンにより上空から一定間隔で連続撮影した杭施工現場の写真画像に対して SfM (Structure from Motion) 処理を行い、12 本の杭を含む施工現場の点群モデルを生成した。この点群モデル上で杭芯位置を計測する方法として、同現場の CAD 図面 (杭伏図) と点群モデルとを重畳させることで、図面上での杭芯位置 (設計値) に対する、点群モデルの杭芯位置の差分を算出した。墨出しによる実測で取得した設計値に対する差分を真値として比較した結果、点群モデルでは最大で 37mm の誤差が確認された。これは、杭芯位置計測業務への適用は難しい結果であると考えられるが、手動による CAD 図面との重畳作業で発生したずれ等も精度に影響を及ぼしている可能性が高い。よって、画像処理技術等を用いて、正確な図面との重畳や杭芯となる点の選択ができれば、より高い精度での計測が期待できる。

### Verification of Pile Center Position Measurement Accuracy Using Drones

#### Abstract

To reduce labor in measuring pile center positions at construction sites, a verification study was conducted using point cloud models generated from drone imagery to evaluate measurement accuracy. In this study, photographs of a pile construction site were taken at regular intervals from above using an autonomously flown drone, and Structure from Motion (SfM) processing was applied to generate a point cloud model of the site including twelve steel piles. To measure the pile center positions on this point cloud model, the CAD drawing and the point cloud model were superimposed, and the differences between the designed pile center positions on the drawing and those obtained from the point cloud model were calculated. The differences between the designed pile center positions on the drawing and the corresponding positions in the point cloud model were calculated. When compared with the actual measurements obtained using layout markings as ground truth, the maximum error observed in the point cloud model was 37mm. This result suggests that applying this method directly to pile center position measurements may be challenging. However, it is highly likely that misalignments during the manual superimposition of the CAD drawing and point cloud model also affected the measurement accuracy. Therefore, if more accurate alignment with the drawing and selection of pile center points can be achieved using Image analysis technology, higher measurement accuracy can be expected.

キーワード：ドローン，点群，SfM，写真測量

## 1. はじめに

工事現場においては、各工程が完了したタイミングで出来形計測が行われ、設計寸法に対する差が許容範囲内であるかの確認が行われる。通常、これらの計測にはコンベックスやオートレベルが使用されるが、現場規模が大きくなるほどに、計測作業に要する人工は増大する。

このような問題に対し、レーザースキャナ等を用いて取得した点群モデルを活用することで省力化を図る事例が増えてきている。しかし、出来形計測にまで活用する事例は、土木分野では増える一方、高精度な点群モデルを取得するために必要なコストの観点から、建築分野においてはまだ少ない。

そこで筆者は、安価に広範囲の点群モデルを取得できる手法として、ドローンにより撮影した写真画像から SfM (Structure from Motion) <sup>注1)</sup>にて点群モデルを生成し、そのモデル上で出来形計測を行う検証を実施した。本報では、杭工事における杭芯位置計測を対象とし、計測結果及びその精度について報告する。



図1 使用ドローン(Matrice300 RTK)

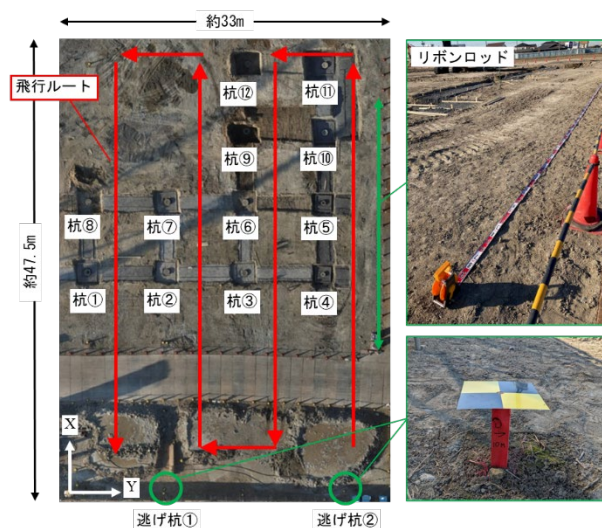


図2 検証現場概要

## 2. 検証内容

### 2.1 検証現場の概要

検証の対象としたのは、機器を保管する倉庫の新築工事現場である。敷地面積は18,999.76m<sup>2</sup>であり、そのうち約1,520m<sup>2</sup>の範囲に施工された12本の杭について計測を行った。

### 2.2 点群モデルの取得方法

点群モデルの素材となる写真画像の撮影に用いたドローンはDJI製のMatrice300 RTK(図1)である。同社の標準操作アプリDJI Pilotにて、表1の諸元を満たす飛行ルート(図2)を作成し、自動飛行による撮影を行った。表1に記載しているオーバーラップ率とはドローン進行方向における写真画像同士の重なり代であり、サイドラップ率とは隣り合う飛行ルート間における写真画像同士の重なり代である。このオーバーラップ率とサイドラップ率を満足するように、ドローンは飛行ルートに沿って飛行しながら一定間隔で撮影を行う。それぞれの数値は、国土交通省が定める「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」<sup>注2)</sup>に基づき決定した。

ドローンによる写真測量においては、点群モデルの精度を向上させるために、事前にトータルステー

表1 撮影諸元

カメラ解像度	8192×5460 画素
カメラ角度	-90° (真下方向)
飛行高度	12m
地上解像度	1mm
オーバーラップ率	80%
サイドラップ率	70%
撮影枚数	1862 枚

表2 縮尺補正值

	実寸法 (mm)	点群モデル	
		寸法 (mm)	実寸法との比
リボン ロッド	29600	29589	0.9996
逃げ杭 ①②間	21500	21506	1.0002

ションやGNSS (Global Navigation Satellite System)

<sup>注2)</sup>ローバーで事前に座標を取得した標定点を撮影範囲内に設置する方法がよく用いられるが、今回の検証では、作業時間短縮による省力化の観点から標

定点の設置は行わず、Matrice300 RTK に搭載されている RTK (リアルタイムキネマティック) -GNSS<sup>注3)</sup>を用いて、撮影画像に高精度な座標情報を付与した。

撮影した写真画像は点群処理ソフトウェア (Metashape, Agisoft LLC) にて SfM 処理を行い点群モデル化した。ただし、表 1 に示す解像度・枚数の写真をそのまま使用しては、処理に多大な時間を要し、工事現場での出来形計測業務に適さないため、写真画像の 2 画素を 1 画素に圧縮する設定とした。表 1 に記載の通り、元の写真画像の地上解像度は 1mm であるため、圧縮後の地上解像度は 2mm となる。すなわち、生成される点群は 2mm 間隔で配置されるため、この点群モデルを用いた計測における誤差の最小値は 2mm となる。

また、点群モデルの精度を向上させることを目的として、縮尺補正を試みた。これは、一度生成された点群モデル上で計測した任意の箇所の寸法が、実寸法と同じになるように点群モデルを再構成するものである。補正に使用した寸法は図 2 に示す位置に配置したリボンロッドの長さ、及び逃げ杭①②の中心間の距離である。逃げ杭の上部面には、点群モデル化した際に中心が明確となるように、図 2 に示すような対空標識を設置して撮影を行った。この対空標識は黄色と黒色の市松模様となっており、その交差部が逃げ杭の中心と重なるように設置した。それぞれの実寸法と点群モデル上での寸法を表 2 に示す。

## 2.3 杭芯位置の計測方法

縮尺補正した点群モデルを用いて杭芯位置を計測し、設計値に対する差分を算出した。

点群モデルが持つ座標情報は測地系 (旧東京天文台の子午環の中心を原点とする) であり、工事現場で用いられる数学座標系 (現場内のどこかを原点とする) とは異なっているため、設計値と直接比較することはできない。また、点群で再現された杭において、中心となる 1 点を特定することは難しいため、点群モデルを CAD 図面 (AutoCAD, Autodesk, Inc.) と重ね合わせることで、杭芯座標を取得した。手順は以下の通りである。

- (1) 点群モデルを AutoCAD の杭伏図に読み込む
- (2) 逃げ杭①②それぞれの点群モデルの中心が、杭伏図上の同じ逃げ杭の中心と重なるように、点群モデルの位置を合わせる (図 3)
- (3) 各杭の点群モデルと重なるように、各杭と同じ径の円を AutoCAD にて描画する (図 4)

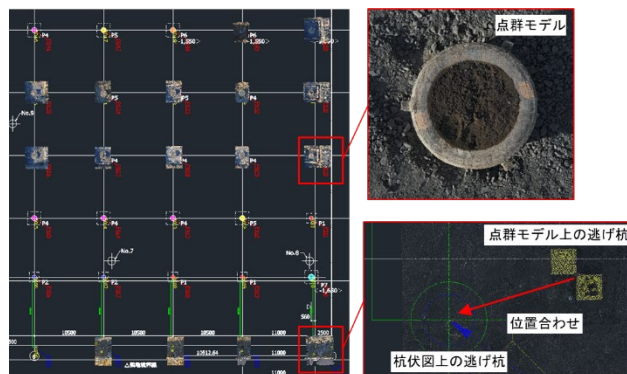


図 3 CAD 図面との重ね合わせ



図 4 点群モデル上での杭芯位置計測

- (4) 手順 (3) にて描画した円の中心座標を、杭伏図上の数学座標系にて取得し、設計値に対する差分を算出する

現場では、墨出しによる実測によっても設計値に対する差分を算出した。これと上記手順で取得した点群モデル上での差分とを比較することで、本手法の精度を評価するものとした。

## 3. 検証結果と考察

### 3.1 精度の比較

実測による差分を真値として、前述の手順にて取得した点群モデル上での差分との比較を行った。表 3 に、実測値に対する誤差を示す。

ドローンを用いて取得した点群モデルにおいて、実測値に対する誤差は最大 37mm となった。これは、杭芯位置計測業務への適用は難しい結果であると考えられる。しかし、今回の検証においては、逃げ杭を基準とした CAD 図面との重畳や、杭の点群モデル上での円の描画・配置を手動で行っているため、それらのずれ等も精度に影響を与えている可能性が高い。よって点群モデルの中から、逃げ杭や杭の中心となる一点を正確に選択することができれば、より高い精度での計測が期待できる。例えば、対空標識が持つような特定の模様や、点群モデルの形状情報等を基に、画像処理技術等を用いて、その中心点を自動認識するような手法が考えられる。

表3 実測値に対する誤差

	杭①	杭②	杭③	杭④	杭⑤	杭⑥	杭⑦	杭⑧	杭⑨	杭⑩	杭⑪	杭⑫
X方向 (mm)	-24	-24	-18	-11	-34	-20	-20	-22	-15	-21	-29	-33
Y方向 (mm)	-4	8	3	14	16	2	5	0	7	18	15	10
直線方向 (mm)	24	25	18	17	37	20	20	22	16	27	32	34

表4 ドローンを活用した杭位置計測の作業時間

	撮影	SfM 処理	CAD 図面との重畳+計測
所要時間	40 分	1440 分	60 分

### 3.2 作業時間の比較

今回の点群モデルを用いた杭位置計測において、各作業に要した時間は表4の通りであった。これに対し、従来の墨出しによる計測に要した時間は480分であった。これらを比較すると、SfM処理に多大な時間を要している(24時間)と言えるが、SfM処理は自動で処理が進むため、処理中は別の業務を行うことが可能である。よって、計測担当者が拘束される作業時間は「撮影」と「CAD図面との重畳+計測」の合計100分であると言え、墨出しによる計測作業よりも短縮できている。さらに、3.1節に記載したように、AIや画像処理技術等を用いて計測作業の一部を自動化できれば、精度向上と共に作業時間の短縮も実現するものと考えられる。

## 4. まとめ

ドローンにより撮影した写真画像から生成した点群モデルを用いて杭芯位置の計測を行い、以下の結果・知見を得た。

- (1) 点群モデルをCAD図面と重畳させることで、杭芯位置の計測及び設計値に対する誤差を算出できることを確認した。
- (2) 点群モデルを用いた計測値について、実測値に対する差分は最大で37mmであり、杭芯位置計測には適さない結果となった。

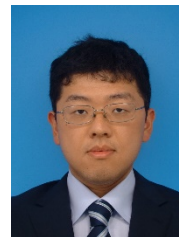
- (3) 今回の手法において、計測作業に要する時間は100分であり、従来の墨出しによる計測時間よりも短縮できることを確認した。ただし、SfM処理(自動処理)には24時間を要した。

計測精度については、画像処理技術等を活用し、点群モデルの中から特定の点を抽出することで、精度を向上できると考えられる。また、撮影時におけるカメラ角度や、点群生成時における画像圧縮の有無等、各諸元を変更した場合の精度への影響も検証していきたい。

## 参 考 文 献

- 1) 国土地理院:”UAVを用いた公共測量マニュアル(案)”, 国土交通省, 2016.3  
<https://www.gsi.go.jp/common/000186712.pdf>,  
(参照:2025-03-17)
- 2) 池田雄一, 矢吹信喜: 杭工事における杭芯計測への点群データの活用に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第88巻, 第805号, pp.347-355, 2023.

## 執筆者紹介



湯浅 嵩之  
修士(工学)

### ひとこと

ドローン関連技術は国内外を問わずに日進月歩で進化を続けており、様々な分野での活用が進んでいます。これらの有用な技術の進歩に後れを取らないために、多様な活用方法に関する検討・評価が必要と考えます。

注1) 複数の写真から対象物の3次元形状を復元する技術を指す。画像内における特徴点を複数の位置から撮影した際の各カメラの位置・向きを焦点距離等のカメラ情報を用いて推定し、三角測量の原理で対象物の3次元点群モデルを生成する。  
注2) 人工衛星から送信される衛星の位置や信号送信時刻等から衛星と受信機との距離を計算し、地上における受信機の位置を特定する技術を指す。  
注3) 衛星の位置誤差や衛星からの電波の遅れ等によって発生する数m程度の測位誤差に対し、位置の判明している基準局と位置を特定しようとする観測点とで同時に測位を行うことで誤差を補正し、数cm程度の誤差に抑える技術を指す。