

簡易計測データを元にした地下埋設物の三次元モデルの精度検証

(株)竹中土木／東京都市大学大学院 正会員 ○岡本 健
 アジア航測(株) 正会員 新名 恭仁
 アジア航測(株) 非会員 高橋 恭子
 東京都市大学 正会員 今井 龍一

1. はじめに

我が国の公共事業では、建設生産システムの諸課題を解決して業務の効率化させることを目的に、調査・計画、設計、施工および維持管理の過程にて、公共構造物の三次元モデルを共有、活用および発展させる CIM (Construction Information Modeling) が推進されている。その中で都市部の社会資本整備（以下、「都市土木」という。）に着目すると、今後老朽化の著しいインフラ設備や地下埋設物が輻輳している箇所での構造物の改築・更新・新設の事業の増加が予想される。現行の施工には二次元図面を用いられており、複雑な地下埋設物の位置・高さの把握が困難となっている。その解決策の一方策として、CIM の活用が期待されている。

著者らは、私たちの日常生活に浸透しているスマートフォンやデジタルカメラを用いて地下埋設物を動画・静止画を撮影し、簡易に三次元モデルの生成ができると、施工計画や仮設計画における地下埋設物の状況把握の支援策になると考えた。本稿は、地下埋設物の簡易な三次元モデル生成手法を考案し、ケーススタディを通じて考案手法に基づく三次元モデルの位置精度を検証した結果を報告する。

2. 三次元モデルの生成手法

本研究が提案する三次元モデルは、画像（動画・静止画）を用いて生成する。動画・静止画は、汎用的なスマートフォンの搭載カメラ・デジタルカメラやビデオカメラを用いて撮影する。現場条件に応じて測量可能な地表面に標定点を適宜設置する。解像度はフル HD 以上とし、静止画は 90%以上のラップ率を確保して撮影する。三次元モデルは撮影した動画・静止画を用いて SfM（三次元復元技術）により生成する。

3. 精度検証概要

本研究は、ケーススタディを通じて前章の手法に則した三次元モデルの精度を検証した。検証場所は、都市再開発の新築ビルから地下鉄への新設地下連絡通路工事において、民地と公道の歩道部を一部占用し常設作業帯を設置している施工ヤードの一角とした。施工基面（表面部）は、路面覆工板が設置してあり、地下部の深さは 3m 程度、地下埋設物は吊防護等が施されている。

まず、三次元モデルを生成するための基準点となる標定点(GCP)と精度検証のための検証点とを撮影範囲周囲および対象管路等に設置した。そして、撮影機材・パターン（表-1 参照）、静止画および動画の撮影方法（図-1 参照）を設定した。三次元モデルの生成には、PhotoScan (Agisoft 社製) を用いた。

三次元モデルの精度の検証方法は、撮影機材・パターン毎（昼夜区分・ラップ率等）に生成された三次元モデルと、トータルステーションで測量した実測データを正解データとして照合した。精度目標は、空中写真測量 (UAV) を用いた出来形管理要領 土工編¹⁾ に準じた ± 5 cm とした。標定点および検証点の平面位置を図-2、

表-1 撮影機材と撮影パターン

No.	種別	機種	モード	画像サイズ	枚数・時間	撮影
1	ビデオカメラ	Panasonic HC-VX985M	動画	3840×2160 (4K, 30fps)	133秒 約3900枚	昼夜
2	デジタルカメラ	Nikon D5100	静止画	4928×3264	68枚	昼夜
3	スマートフォン	iPhoneSE	静止画	4032×3024	52枚	昼夜
4	スマートフォン	iPhoneSE	動画	3840×2160 (4K, 30fps)	124秒 約3600枚	昼夜
5	スマートフォン	iPhoneSE	動画	1920×1080 (7MHz, 30fps)	189秒 約5600枚	昼
6	スマートフォン	XiaomiMi	静止画	4608×3456	80枚	昼夜

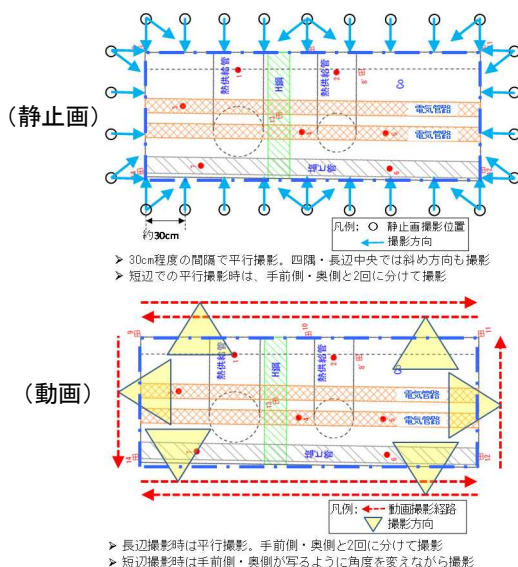


図-1 静止画及び動画の撮影方法

連絡先 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 (株)竹中土木 TEL. 03-6810-6220 E-mail: okamoto-t@takenaka-doboku.co.jp

検証実験条件を以下に示す。

- 撮影範囲：約 1m×3m×深さ 3m（試掘調査を想定）
- 撮影対象物（地下埋設物）：
 - ・電氣管路 Φ130 2条2段 土被り 約0.6m
 - ・熱供給管（仮管）3系統 土被り 約2m
 - ・仮想管 Φ150（塩ビ管） 土被り 約0.8m

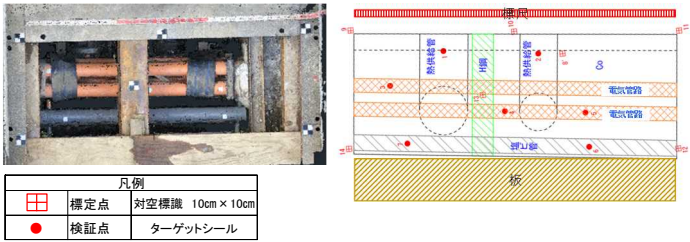
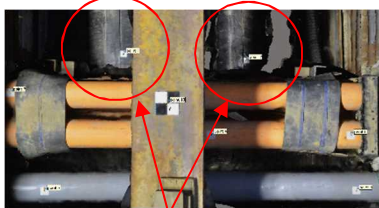


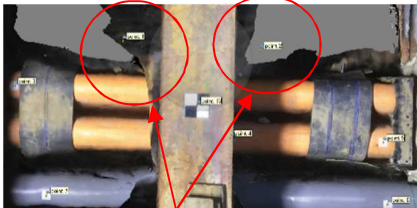
図-2 標定点および検証点の平面位置

4. 検証結果

動画・静止画のパターン毎に生成した三次元モデルの位置精度および形状の検証結果を以下に示す。撮影データより生成された三次元モデル（静止画一部：No. 2-1-N, No. 3-1-N）を図-3、動画・静止画のパターン毎の三次元モデル生成の精度検証結果を表-2 および表-3 に示す。



熱供給管が再現できた
(デジタルカメラ, 四隅 GCP, 撮影夜)



熱供給管が再現できていない
(スマートフォン, 四隅 GCP, 撮影夜)

(1) 静止画（表-2 参照）

- ・デジタルカメラ（No. 2-1-D, N：昼・夜共）・スマートフォン（No. 3-1-D, N：昼・夜共）は、検証点誤差の標準偏差で 10mm 以内の位置精度を確保できた。
- ・スマートフォン（No. 3-1-D'：No. 3-1-D の写真を 1/2 程度間引き）は、No. 3-1-D・N と比較してほぼ同等の精度を確保できた。
- ・デジタルカメラでは、最深部の熱供給管まで三次元モデル化されたが、スマートフォンでは熱供給管が再現できなかった（図-3 参照）。

(2) 動画（表-3 参照）

- ・ビデオカメラ（No. 1-1-D-60）では、検証点誤差の標準偏差で 10mm 以内の位置精度を確保できた。
- ・スマートフォン（No. 4-1-D-60, 30, 20:iPhoneSE）の 4K 動画は、画像抽出枚数や標定点数を変えて照合してみたが、アライメント（写真位置・姿勢の推定）の成否や検証点での精度が不安定であった。

5. まとめ

今回の検証結果によると、デジタルカメラ・ビデオカメラ・スマートフォン（iPhoneSE：静止画）の昼・夜に撮影した動画・静止画を用いて生成した三次元モデルは位置精度が高く、高精度のアライメントが得られた。また目視の結果、三次元形状も良好であった。一方、スマートフォン（iPhoneSE：4K 動画）では、アライメント結果が不安定となり、動画から抽出する画像のブレや焦点距離等に依存している可能性があることから、スマートフォン動画による簡易な三次元モデルの生成には更なる措置を講ずる必要がある。

今後は、今回の精度検証の結果を踏まえて簡易的な三次元モデルの生成手法を洗練し、実現場および現場専用デジタルカメラ（現場管理職員による撮影）にて有用性を検証する。

参考文献

1) 国土交通省：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），2017.3