

BIM/CIMに用いる3D計測方法の検証

周 媛媛・田中 恭介（株式会社日本インシーク）

1. はじめに

近年、BIM/CIMは国際的にも顕著な進展があり、土木分野での国際標準化の流れからソサエティ 5.0にも取り込まれている。「i-Construction」において重要な役割を担っているBIM/CIMは、3Dモデルを使い計画から維持管理までを一元管理することが可能となり、生産性向上が見込める。

しかし、利用用途に応じて、さまざまな要求精度がある。例えば、実施設計ではミリメートルの精度、予備設計ではセンチメートルの精度、管理用BIM/CIMでは数十センチメートルの精度が必要となる。

3Dモデルの作成に使用される機器や計測方法の違いによって、作業効率と得られる精度が異なるため、使用用途に応じて計測機器と作業方法を選択することが重要になる。

3D計測で一般的に使われる計測機器は大きく分けてレーザを使用したもの、カメラを使用したものがある。土木における3D計測は作業範囲と現場環境により適した機器の選定は容易であるが、屋内の狭小な空間にパイプ等の設備が密接に設置されている環境において、作業効率が良く必要な精度が得られる計測機器と作業方法を選定することは困難である。

よって本稿では、屋内で一般的に使用される3D計測方法をモデル区間において実際に計測し、各方法で取得した3Dデータの精度と作業効率について評価した。

2. 検証場所

今回の検証場所は下水終末処理場の地下管



図1 検証場所

廊の一部（15m×6mの空間）とした（図1）。汚泥ポンプの周りに施設やパイプが多数あり屋内計測で構造物を対象とした場合、最も複雑な環境であると考えられる。

3. 3D計測方法

4種の一般的に活用される3D計測機器を選別し計測を行った。

(1) 地上レーザスキャナ

特定の位置に機器を据え付け、ミラー回転により照射位置から視通可能な全周囲をスキャンし、3D点群データを取得する技術である。

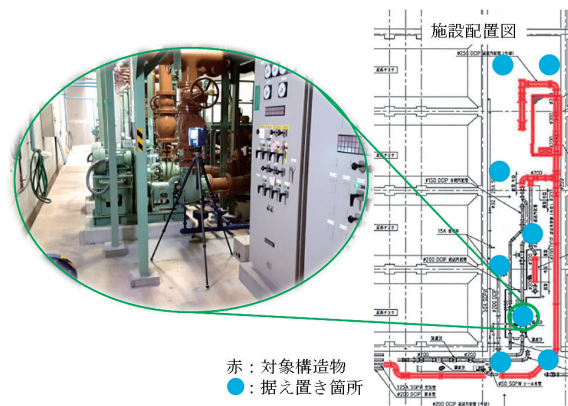


図2 地上レーザスキャナ

今回の検証場所においては、構造物が密集しているため、地上レーザスキャナの照射位置を変更しながら計測する必要がある。

図2に示すように三脚を使用した固定計測を地上6点、中2階の梯子上部2点の計8点で実施した。

(2) 移動式レーザスキャナ

3DSLAM技術（レーザスキャナ、IMU、カメラ画像を使用して自己位置を推定する技術）を使用し、3D点群データを取得する技術である。

図3に示すように移動式レーザスキャナを手にとって構造物に対し回りこむようなルートを3コース設定し徒歩による計測を実施した。

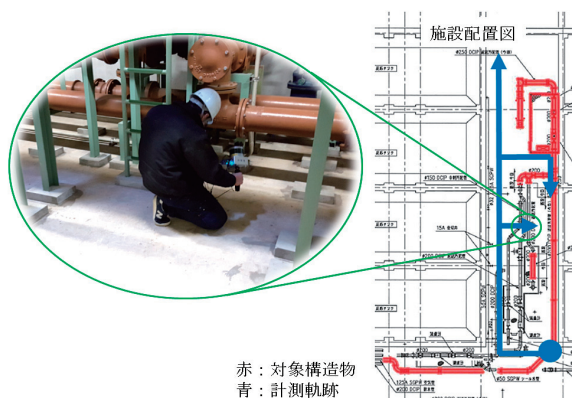


図3 移動式レーザスキャナ

(3) 画像SfM式3D計測

画像SfM式3D計測は画像内に同一対象物を含むように撮影を行い、SfM解析ソフトウェアで3D形状を復元することで3D点群データを取得する技術である。

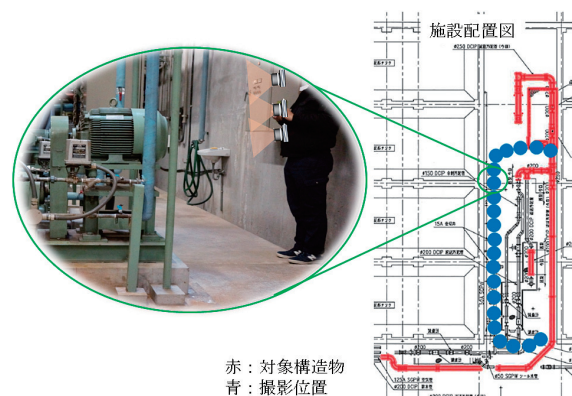


図4 画像SfM式3D計測

得する技術である。

図4に示すように青い点のルートに沿って、可能な限り対象から離れ円軌道にて上段・中段・下段で撮影を実施した。サイドラップは80%とした。

(4) 近接移動式センサー

デプスカメラ（赤外線レーザの深度情報とステレオカメラ）により復元した3D形状を特徴点追跡で結合しながら点群データを生成する技術である。

メーカー製の一体型と、既製品のIntel製を使用した2機種を選定しそれぞれセンサー①、②とした。

対象構造物を連続してスキャンし、周辺地物データを取得した（図5）。

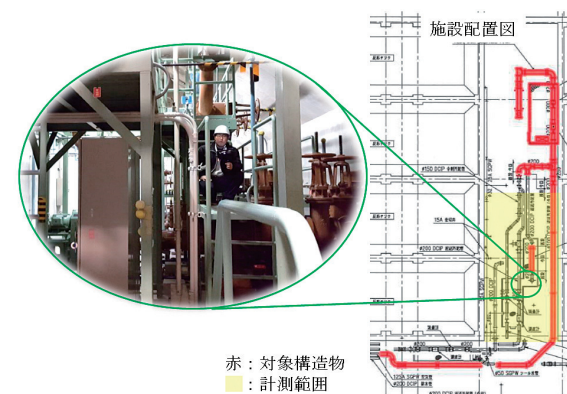


図5 近接移動式センサー計測風景

センサー①は、光量が足りず正常に動作しない部分があったため照明器具を使用して光量を確保したが、壁面や床面の特徴点が少ない区間の移動時にデータの連続性が途絶え全体を繋げたデータの作成が困難であった。そのため分割でデータを取得した。

センサー②は、光量の影響は少なかったがセンサー①と同様の理由で、移動時にデータの連続性が途絶えたため、分割でデータを取得した。

各計測方法の詳細と計測時間は表1の通りである。

表1 各計測方法の詳細

3D計測方法	計測距離	計測精度	導入費用	計測時間	備考
地上レーザスキャナ	0.6 ～ 300m	0.3mm	約1000万円	2時間	8点の計測
移動式レーザスキャナ	1 ～ 100m	30mm	約700万円	20分	3回の計測
画像SfM式3D計測	—	5060万画素	約50万円 (カメラのみ)	20分	フラッシュ無し
近接移動式センサー①	0.5 ～ 3m	1mm以下	約300万円	2時間	照明機器を使用
近接移動式センサー②	0.6 ～ 3.7m	数mm	約100万円	2時間	—

4. データ処理

データの処理時間も作業効率を評価する指標になるため、それぞれの計測方法で取得したデータの処理時間を記録した(表2)。画像SfM式3D計測は処理の際の解像度によって精度と処理時間が変動するため、低品質モードでの解析と高品質モードでの解析を実施し比較した。使用したパソコンの諸元を表3に示す。

表2 各データの処理時間と点数

3D計測方法	処理時間	処理後合計点数
地上レーザスキャナ	3.5時間	107,936,133点
移動式レーザスキャナ	1時間	91,180,640点
画像SfM式3D計測	2時間	16,530,905点～ 248,533,706点
近接移動式センサー①	5時間	76,331,105点
近接移動式センサー②	5時間	33,799,979点

表3 使用PCの諸元

CPU	Intel Xeon E5-2620 V3 2.4Ghz
メモリ	32.0GB
グラフィックボード	NVIDIA GeForce GTX 660Ti

5. 精度評価と考察

精度評価は、形状の再現性と位置の精度を確認するため、施設機器の縦横の長さを鋼巻尺で計測した値を寸法比較の正解値(図6)、TSによって観測した値を座標比較の正解値(図7)として行った。

精度評価の結果は表4に表示している。座標比較における平均誤差は各計測点と検証点の点間距離の平均値とした。寸法比較における平均較差はそれぞれの計測方法で得た点群で計測した四つの形状寸法と正解値の較差の平



図6 寸法検証(鋼巻尺)

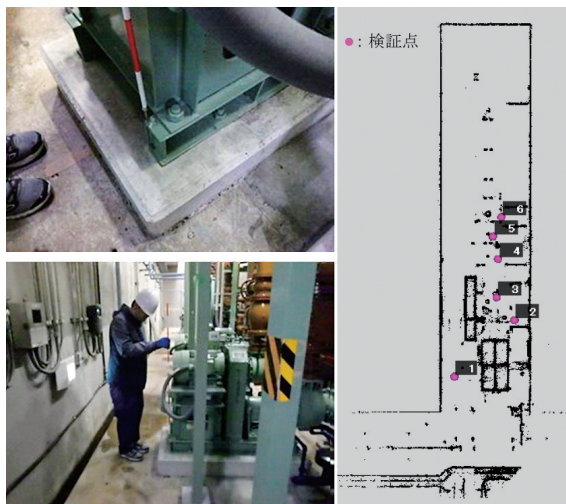


図7 座標検証(TS)

表4 精度検証結果

3D計測方法	座標比較 平均誤差 (m)	寸法比較 平均誤差 (m)
地上レーザスキャナ	0.004	0.008
移動式レーザスキャナ	0.07	0.014
画像SfM式3D計測	0.005～0.022	0.003～0.015
近接移動式センサー①	—	0.011
近接移動式センサー②	—	0.024

均値である。画像SfM式3D計測はSfM処理の処理時間を優先するか精度を優先するかの設定により、得られた結果は異なるため、ここではその最小値と最大値を記入した。近接移動式センサーはどちらも、壁面や床面にて誤差累積による点群形状の歪みが発生し合成が困難で、局所的な点群しか生成できなかったため、精度検証は寸法比較のみになった。

6. まとめ

表5に示すように、各3D計測方法の性能を比較し、4段階（×～◎）で評価した。

地上レーザスキャナは実施設計に適しているが構造物を対象とした場合の作業効率は極めて悪く全体を網羅することは難しい。

移動式レーザスキャナは予備設計に適しており、作業も簡便であるが、小物体の判読性は悪い。

画像SfM式3D計測は要求精度に応じて撮影方法や調整点の配点を適切にする必要がある等作業者の習熟度が必要となるが、実施設計から予備設計まで対応可能である。

近接移動式センサーは実施設計での小規模な構造物の計測に適している。

計測方法は、計測対象と求める精度について、上記の検証結果を参照して適切な機器や手法を検討し、現場環境に合わせて適切な組合せを選定することが重要である。

■執筆者

周 媛媛（しゅう えんえん）

株式会社日本インシーク

（共著者）所属は筆頭執筆者に同じ

田中 恭介（たなか きょうすけ）

表5 各3D計測方法の性能比較表

3D計測方法	導入コスト	構造物対象の作業効率	空間全体対象の作業効率	3D精度
地上レーザスキャナ	×	×	○	◎
移動式レーザスキャナ	△	◎	◎	△
画像SfM式3D計測	◎	○	△	△～◎
近接移動式センサー①	△	○	×	◎
近接移動式センサー②	○	◎	×	△