

中小建設業における 4 次元 CIM の試行

環境風土テクノ	正会員	○本田	陽一
立命館大学	正会員	横山	隆明
北海道大学	正会員	金井	理
可児建設	正会員	可児	憲生
環境風土テクノ	正会員	須田	清隆

1. はじめに

建設業の魅力向上、生産性の向上や維持管理の省力化など建設業が抱える課題を解決するために DX の必要性が言われている。従前より建設業では 3 次元 CIM や ICT 施工をはじめとしたなどのデジタル化に取り組んでいるが、建設業の多くを占める中小企業では従来型の施工にたよる場面も多く、人材的・資金的問題から DX の流れに追随することができない恐れもある。

DX といっても必ずしも方向性が定まっているとは考えられないが、3 次元情報の活用は不可欠と考えられる。そこで、中小建設業では困難であった施工時の 3 次元情報の取得とそれを時間軸方向にも展開した 4 次元 CIM 情報の構築およびその活用について試行を行った。

2. 対象工事

河川護岸工事であり、鋼矢板護岸を設置したのちの工程について、笠コンクリートの設置、地盤整形、平ブロックの設置などの過程を計測の対象とした。施工範囲の延長は約 250m、幅は約 10m である。

3. 方法

高精度に 3 次元空間情報を取得する代表的な方法としてレーダースキャナや Lidar などパッシブなセンサーを用いた方法と写真画像を利用した SfM/MVS などのアクティブな方法がある。ここでは現状で最も低費用で取り扱い安いと考えられる写真画像による SfM/MVS を用いた。

また、3 次元計測に用いる写真画像を撮影する方法として UAV を用いることが多いが、対象とした施工現場の環境（住宅地に隣接した都市域河川）と細部情報の必要性の点から、地上から徒歩による撮影を行った。

（1）機材、ソフトウェア

撮影には一般的なカメラ（単焦点レンズを装着した一眼レフカメラ、アクションムービーカメラ）を用いた。SfM/MVS 処理には商用ソフトである Metashape を主に利用したが、オープンソースである COLMAP でも可能であることを確認した。後処理分析、可視化にはオープンソースの CloudCompare や Paraview を主に利用し、一部の評価のみ独自作成のソフトウェアを用いた。

標定点測位は 2 周波 RTK-GNSS を用いた。安価なモジュールとパソコンにより現場内に基地局を設置した。

（2）標定点

SfM/MVS ではカメラまたは標定点のいずれかの座標によりスケール・座標を決定しなければならないため、標定点を地上に設けた。継続的に測定するために固定標定点の利用が適したが、施工現場は常に変化するために常設はできない。そこで、写真撮影実施時に毎回移動式の標定点を設置した。測位誤差や空間的に不連続な点群を標定点に当てはめる際の誤差などを考慮すると、できるだけ多くの標定点により最適化を図ることが求められる。しかし、毎回設置する標定点はその都度座標を測位する必要があるため、多数を RTK-GNSS で順次測位していくと写真撮影を含めた計測時間の 50%（1 時間以上）を占めるまでになる。そこで、安価な RTK-GNSS モジュールと小型のマイコンを利用して、写真撮影中に自動測位を行った（図 1 参照）。標定点はこのほかに地物も使い、合計 15～20 点とした。

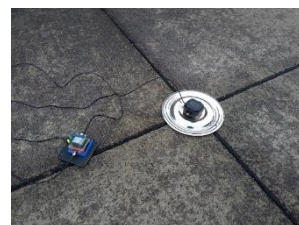


図 1 自動測位標定点の内部

（3）撮影方法

スチル写真または 4K ムービー映像を撮影した。徒歩で移動しながら撮影した 4K ムービー映像からは一定

時間（0.5秒～1秒）間隔で画像を切り出して利用したが、十分な撮影枚数と画像品質を確保することができた。対象域が細長い形状をしているため、長手方向に3回から4回の往復撮影を行った。河川水際で立ち入りが難しい領域は4.5mの長尺ポールを利用した。このポールは鉛直に立てて用いることで高所からの撮影にも利用でき、この高所からの画像がSfM解析の安定性に寄与した。2020年12月から2020年2月中旬までの間、ほぼ一週間毎に12回の測定（撮影）を実施した。

（4）撮影の最適化

高精度で細密な結果を得るために多数の画像を使用すると多大な計算時間を要する。特にMVS計算で時間がかかる。そこで、少数の画像で処理を開始し、SfMの段階で最終の点群品質を予測して不足している画像の条件（撮影視点と方向）を提示する。必要な画像を順次付加していくことで最小限の画像数で高品質点群を得ることのできる最適カメラポーズ指示システムを試行した。

4. 結果

（1）精度

RTK-GNSS 基地局と移動局間の距離は200m以内であり、RTK-GNSS測位のRMS値は水平鉛直とも最大2cm、多くは数mm以内であった。今回は精度検証用標定点を設けていないが、標定点を用いて点群を相似変換した際の残渣の標準偏差はおおむね5cm以内であったが、最大で6.7cmとなった。図2は施工範囲近傍の既存法面法枠の縦断面図であるが、このように異なる日で同一箇所の座標を比較すると、水平鉛直とも1cm～3cmのずれがみられることがあった。これらは点群の相似性が崩れたためと考えられ、撮影方法（視点配置の偏りや不足）およびSfM処理パラメータ（特にカメラモデル）がその主要要因と推察された。

（2）施工状況、数量の確認

点群を利用して対象エリア内の体積変化や護岸平ブロックの数量カウントを行い、施工進捗状況をこまめに把握していくことができた。図3は平ブロックの累積設置数、1日当たりの設置数を示した図であるが、作業効率の変化も抽出でき、細密な工程管理の資料となった。

（3）出来形・出来映えの確認

平ブロックは整形地盤上に設置されるが、地盤の微細な凹凸がブロックの平坦性に影響することがあるため、設置後のブロックに再調整が必要な場合がある。図4は点群から段差指標を求め、調整済と未調整の平ブロックを判別した例である。このようにして検査点の高さ管理だけでなく、面的な不陸分布も評価することができた。このほか、笠コンクリートの線形の確認、工区端処理状況の確認などに点群を利用することができた。

5. まとめ

中小建設業でも導入の容易なSfM/MVSを用いて施工状況を継続測定し、空間と時間をあわせた4次元情報として活用・記録した。これは歩掛・工程管理情報として利用でき、出来形・出来映え評価も行うことができた。3次元点群は実形状をコンピュータ内に構築するものであり、形状や数量を現場外からも自由に測定することができる。テクスチャ付きメッシュを利用すれば自由な視点から写真品質の画像を得ることも可能である。技術情報の集積や維持管理での活用、映像による遠隔臨場と組み合わせることによる現場立会の代替など、多くの利用場面があると考えられる。今後は精度管理手法を確立していく必要がある。

キーワード CIM, SfM/MVS, 写真計測, 3次元モデル, 点群

連絡先 〒165-0026 東京都中野区新井1-1-5 (株)環境風土テクノ TEL03-5318-9706

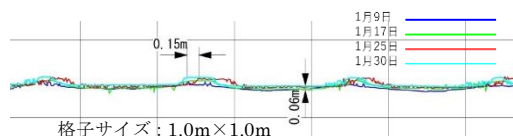


図2 既存法面法枠の断

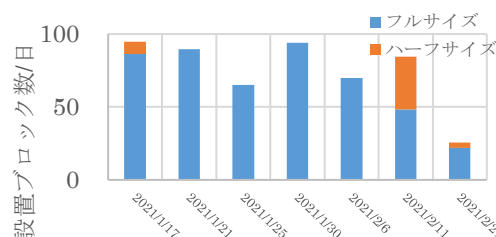


図3 1日当たりブロック設置数

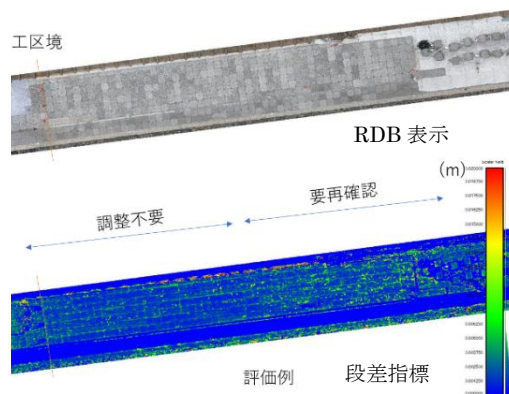


図4 調整済平ブロックの判別