

石積み擁壁の耐震補強工事における 3D スキャナーの活用

前田建設工業(株) 正会員 ○小野 敦子 正会員 工藤 敏邦
 正会員 小泉 伸之 正会員 笠井 陽介

1. はじめに

建設業では熟練労働者の引退や若年層の就労者数の減少が進み、将来的に技術者が不足することが予想されている。そのため、産業の基盤となるインフラを支えていくためには、近年急速に進展している ICT を活用して生産性を向上させることが不可欠となっている。

国土交通省も平成 27 年 12 月より、ICT の全面的な活用により建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す取組である「i-Construction」を推進している。その中で、一般的な技術として定着してきたドローンを活用した写真測量や、3D レーザースキャナーによる測量の実務での活用を推進させるべく、基準類の制定に取り組んでいる。

ここで、3D レーザースキャナーは、計測対象構造物の形状を短時間で高密度に計測できるツールであり、写真測量と比較して測定精度が高いという特徴を持っている技術である。今回はこの 3D レーザースキャナーを鉄道構造物の設計・施工に適用し、生産性向上を図った事例について紹介する。

表-1 工事概要

2. 工事概要

当工事は、東京メトロ丸ノ内線の地上部、茗荷谷駅～後楽園駅間の路線延長約 700m 区間における石積み擁壁の耐震補強工事である（表-1）。なお、対象の石積み擁壁は、掘割り部分の線路側と、盛土部分の周辺道路側に設置されているもの（写真-1）がある。

耐震補強工事は、地山補強材の設置、および壁体コンクリートの施工から構成され（図-1）、営業線や周辺民家が近接し、施工作业空間や施工時間に制約がある中での施工が求められる。

工事件名	小石川車両基地付近石積み擁壁耐震補強工事
発注者	東京地下鉄株式会社
施工会社	前田建設工業株式会社
工事箇所	東京メトロ丸ノ内線 (茗荷谷駅～後楽園駅間)
工期	平成 26 年 7 月 2 日 ～ 平成 30 年 3 月 12 日

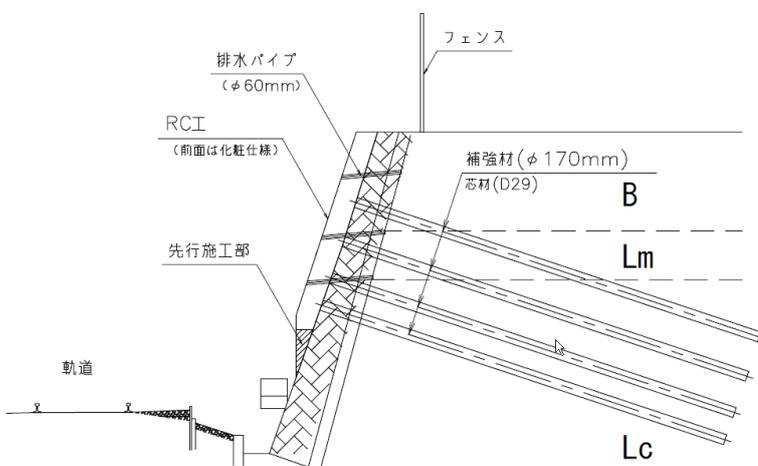


図-1 補強概要図



写真-1 施工前現場状況（線路側）

キーワード i-Construction, 3D レーザースキャナー, 石積み擁壁, 耐震補強

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 TEL 03-5276-5166

3.対象工事における課題

(1) 綿密な施工計画立案のための支障物の把握

線路側の石積み擁壁の耐震補強は鉄道営業線内の工事となるため、夜間のき電停止中（2.5時間）で施工する。限られた時間内で作業を完了させるためには、現場での手戻りが生じない綿密な施工計画が必要であり、現場内に存在するトラフ、支柱などの支障物の位置を正確に把握することが求められていた。

(2) 合理的な壁体コンクリートの設計のための石積み擁壁表面の正確な把握

壁体コンクリートは、必要な厚さや鉄筋のかぶりを確保できるよう、合理的な勾配、線形を設計する必要があった。しかし、石積み擁壁は自然石で作られているため、合理的な設計を行うためには、不規則な凹凸を面的に正確に計測することが求められていた。

(3) 住民説明用の視覚的に分かりやすい資料の作成

工事施工箇所は住宅密集地域で、民地越境協議および夜間作業を伴うため、周辺住民に対する工事内容の説明を行う必要があるが、平面図や断面図のみでは一般の方は理解が困難であるため、視覚的に分かりやすい資料を作成することが求められていた。

上記（1）～（3）の課題を解決するためには、現場の状況を正確に計測することが必要となるが、その測量自体も2.5時間のき電停止時間内に実施しなければならないため、正確さだけでなく迅速に計測できる手法が求められていた。

4.3D スキャナーによる計測

4.1 計測手法の選定

計測手法の比較表を表-2に示す。現状ではトータルステーション（TS）、写真測量、3D レーザースキャナーを組合せた手法が考えられる。ここで、今回の工事においては、精度が高くかつ迅速な計測が求められているため、コストは高額であるが、計測精度が高く、短時間で大量のデータを取得することが可能なレーザースキャナーとトータルステーションを組合せた方法を選定した。

表-2 計測手法の比較

	トータルステーション	写真測量	3D レーザースキャナー
計測方法概要	・トータルステーションで対象構造物の位置、高さを直接計測	・対象構造物に標定点を設置し、トータルステーションで座標を計測 ・異なる視点からデジタルカメラで撮影(昼間) ・写真解析ソフトで点群データを作成	・測量機器を設置し、周囲360°の対象物を点群として面的に計測
計測精度	◎(数 mm)	△(数 cm)	○(数 mm)
今回の対象構造物における計測時間	× ・定型構造物や境界点の計測に適するため、細かい位置関係の計測は、長時間になる。	○ ・標定点の設置とTSによる座標観測作業が必要だが、写真撮影自体は短時間。	○ ・対象構造物の座標値を短時間で計測可能。
コスト	◎ (廉価)	○ (比較的廉価)	△ (高価)
備考	・石積み凹凸の計測は非現実的	・夜間の測定は不可	
適用	○ 石積み外形、境界、軌道、トラフ等の計測に適用	—	○ 石積み凹凸、支障物の計測に適用

4.2 使用機器の特徴

使用した3Dスキャナー(製品名:ScanStationP20[Leica Geosystems 社製]) (図-2) の特徴を以下に示す.

- ・短時間に大量の点群 (XYZ 座標) を取得可能
- ・ターゲット観測により座標整合可能
- ・石積みの配置, 凹凸を詳細に計測
- ・計測精度は 50m の離れで ±3 mm



図-2 3D スキャナー (ScanStation P20)

4.3 計測

石積み擁壁, 支障物の計測は 3D スキャナー, 軌道やトラフ等の測量はトータルステーションを使用して計測した (図-3). 3D スキャナーによる計測状況を写真-2 に示す.

線路側の計測は, き電停止中の時間内に実施した. 延長 30m の範囲の石積みを計測する時間は, 写真付きで 10 分 30 秒程度であった.

計測結果はソフトウェアにより処理することで, 3D 点群データを作成した (図-4).

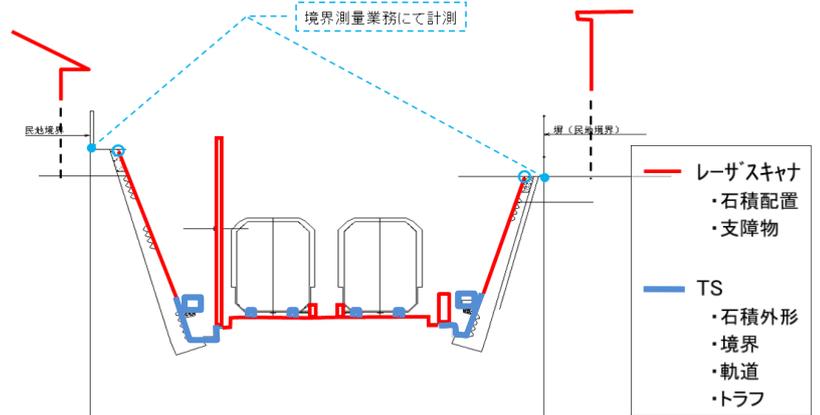


図-3 計測区分図

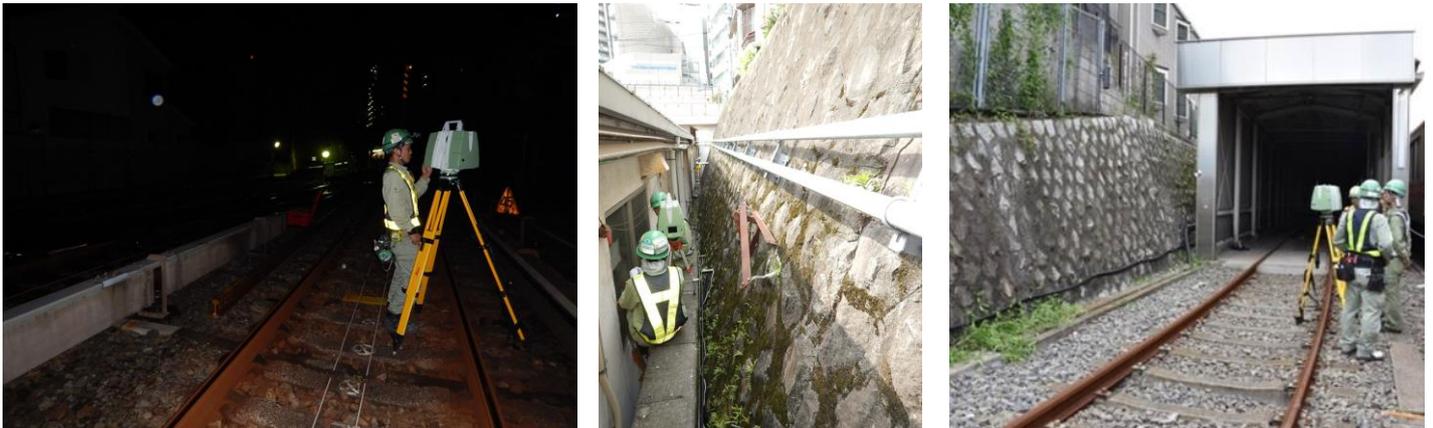


写真-2 3D スキャナー計測状況

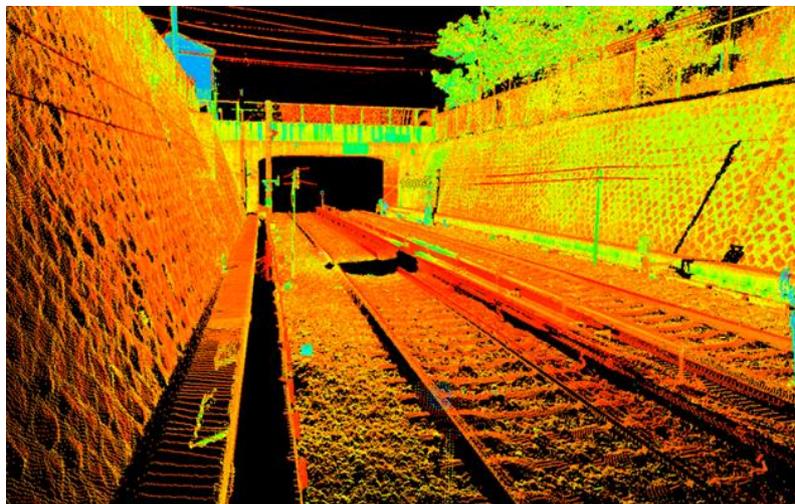


図-4 3D 点群データ

5. 計測結果の活用

5.1 綿密な施工計画の立案

地山補強材設置工事は、毎日、線路閉鎖後に削孔機を現地まで搬入して削孔作業を行い、線路閉鎖終了前に削孔機を撤収する手順で実施する。線路閉鎖時間は2.5時間と短く、作業工程が非常にタイトであるため、計画時に把握していない支障物等が存在していると、対応に手間が掛かり工程の遅延をまねく恐れがあった。

今回は、3Dスキャナーにて近接する設備の位置も併せて計測したため、作成した点群データを参照することで、現場に出向かずとも状況把握が可能となった。特に、本工事では昼間に現地を確認することが困難な状況にあるため、点群データは施工計画や発注者との打合せ等で有効であった。また、点群データから石積み1つ1つの形状や位置、電柱や柵との位置関係の確認が可能な立面図(図-5)、任意の位置の断面図(図-6)も作成することができた。これらを参照することによって、綿密な施工計画の立案が可能となり、手戻りの少ない施工を実現することができた。写真-3に夜間の線路閉鎖中の削孔状況を示す。

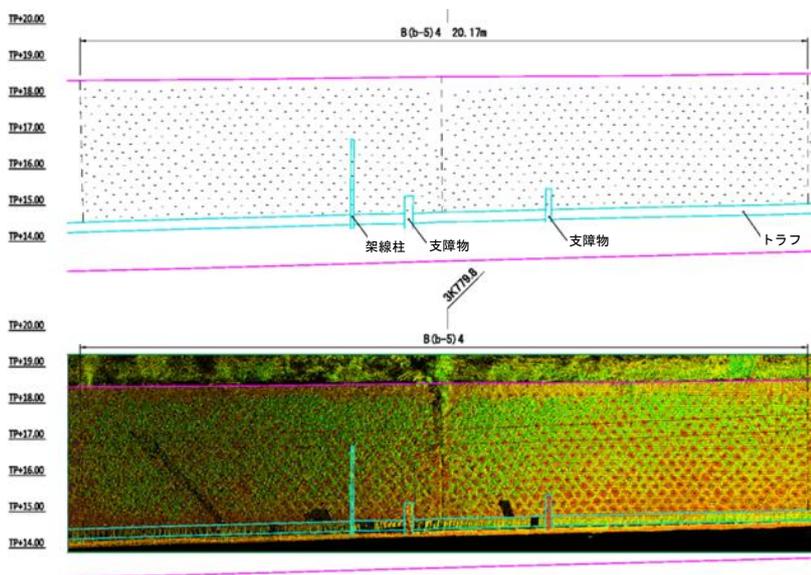


図-5 現況立面図

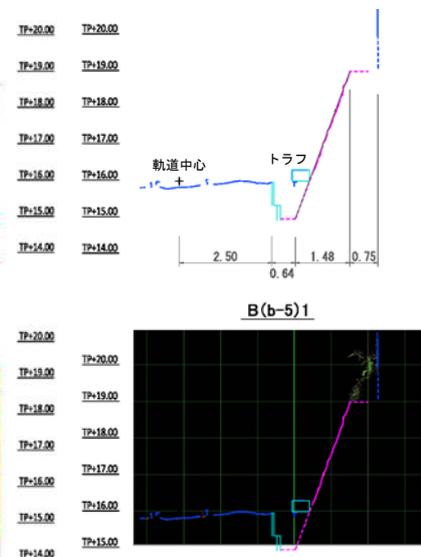


図-6 現況断面図



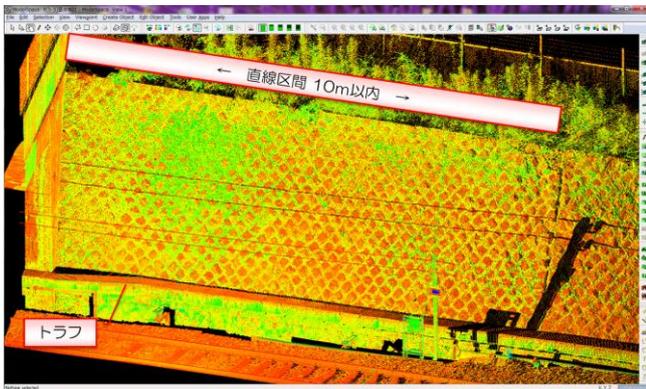
写真-3 地山補強材設置のための削孔状況(夜間作業)

5.2 合理的な壁体コンクリート面の設計

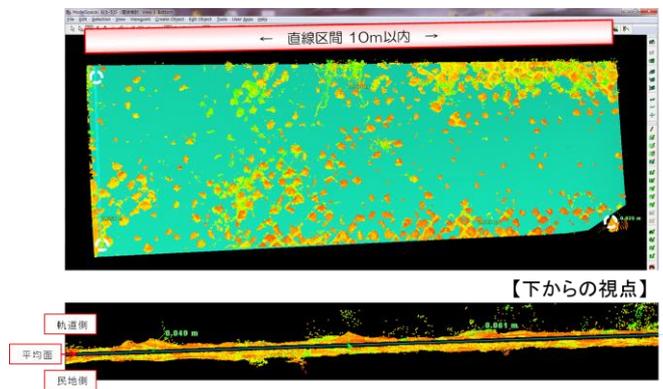
石積み擁壁の凹凸を精度高く計測した点群データを活用して、壁体コンクリートの表面の検討を行った。検討手順を以下に示す（図-7）。

- ①ブロック（延長 10m 以内）ごとに点群データから平均面を作成
- ②擁壁の平均面と石積み凹凸との距離を確認
- ③同様に隣区間も平均面を作成し、石積み凹凸との距離を確認
- ④鉄筋かぶりを十分満たせるよう、区間ごとにオフセット量を調整
- ⑤区間境の取合いを調整し、CG パースを活用して完成時の見え方を確認

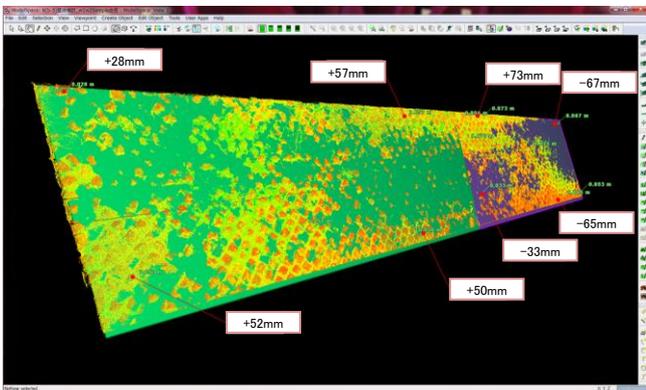
以上の手順により壁体コンクリートの計画を実施することで、最小壁厚、鉄筋かぶりの基準を満たし、石積み表面の不陸整正量が最少となる合理的な壁面を設定できた。また、正確な 3 次元モデルを構築することで、計画形状を現場に墨出しする際の座標や寸法の抽出や、支障物との離れや段差状態の事前把握が可能になり、不具合の未然防止を図るなど施工の効率化に大きく寄与した。



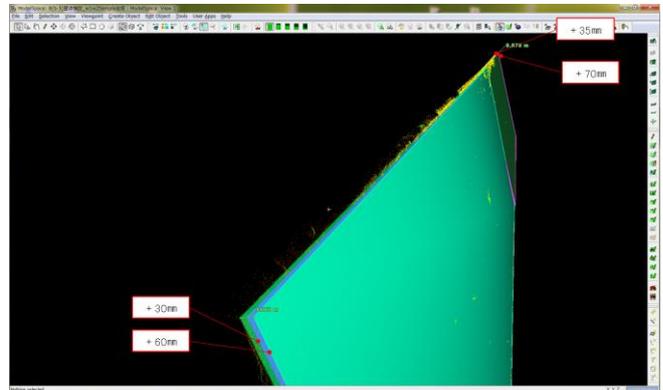
①点群データから平均面を作成



②平均面と石積み凹凸との距離を確認



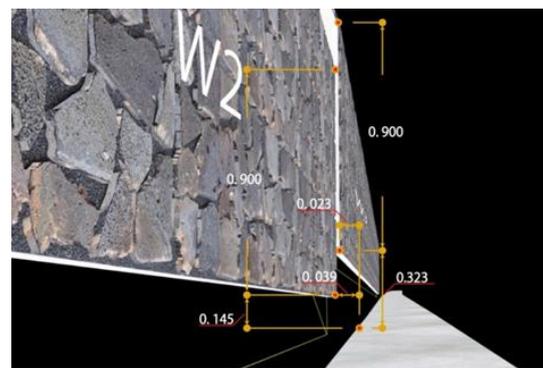
③隣区間も同様の処理を実施



④鉄筋かぶりを満たすようにオフセット量を調整



⑤区間境の取合いを確認・調整



⑥支障物との離れを確認

図-7 合理的な壁体コンクリート面の設計

5.3 近隣住民への施工説明資料の作成

石積み擁壁だけでなく周辺の設備も含めた計測を実施して3次元モデルを作成、施工状況のアニメーション化を図った(図-8)。可視化を図ることで、施工方法のイメージや地山補強材と建物との位置関係などが専門知識のない人にも分かりやすくなったため、住民説明会において合意形成に大きく貢献した。

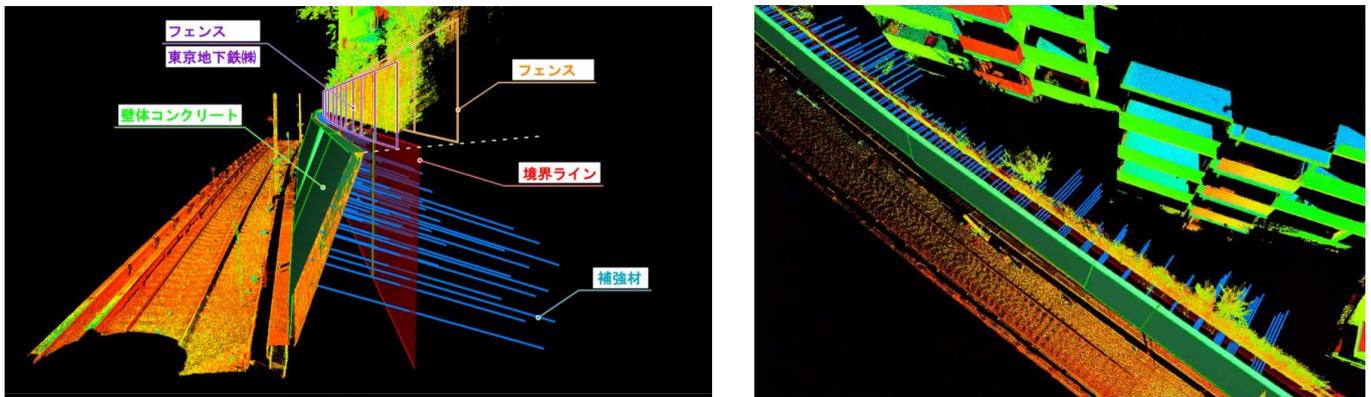


図-8 施工説明アニメーションの例

6. おわりに

本報告では、営業線近傍という時間的な制約のある中で、精度の高い3Dモデルを作成する手法として3Dスキャナーを活用した事例を紹介した。作成した点群モデルの品質は満足するレベルであり、設計、施工において生産性向上に大きく貢献するものであった。

点群モデルの閲覧、距離計測等は無料ビューワを使用することにより、誰にでも可能な作業であるが、断面図等の図面作成や壁体コンクリートの検討のような複雑な作業は専用ソフトウェアの活用が不可欠であった。今回の工事においては、複雑な検討は専門会社の支援により実施したが、取得した点群モデルをさらなる生産性向上につなげていくためには、専門会社だけでなく現場職員や発注者などのすべての工事関係者が、高性能PCやソフトウェア等の点群モデルを自由に取扱える環境を整えるとともに、それらを取扱うための自らのICTリテラシーを向上させていく必要があると思われる。

また、本工事の設計、施工のプロセスで作成した、壁体コンクリート、石積み擁壁、支障物の点群モデル、軌道、トラフ、地山補強材等の3Dモデル、コンクリートや地山補強材の材料物性、試験結果等は、CIM (Construction Information Modeling/Management) モデルとして取りまとめて、維持管理プロセスに引き渡すよう検討を進めている。特に石積み擁壁表面は、壁体コンクリートの設置により半永久的に確認できないものとなるため、今回作成した点群データは将来的な補修、補強、災害時の早期復旧計画の立案に有効と思われる。

ここで、基本的に維持管理業務は設計や施工を実施した会社が担当するものではないため、CIMモデルは維持管理業務を担当する発注者、受注者だれもが活用できるものでなくてはならない。国土交通省ではCIMガイドラインを制定して、ダム、トンネル、土工、河川構造物、橋梁等の主要構造物について、CIMモデルの形式や細やかさの基準である詳細度、データのフォーマット、保管方法を提示している。今後はこれらのガイドラインを参考に、今回対象としたような鉄道構造物や石積み擁壁についても、CIMモデルの仕様を規定していく必要があると思われる。

【謝辞】東京地下鉄株式会社様、ならびにビッグ測量設計株式会社様には、本研究の実施に当たり多大なるご理解とご協力をいただきました。ここに記して、感謝の意を表します。