

15. 3D スキャナによる山岳トンネルの情報化施工

－中部横断自動車道 八之尻トンネル工事－

清水建設(株)土木事業本部 ○ 藤井 攻
清水建設(株)関東支店土木部 真下 義章

1. はじめに

近年、情報技術分野における急速な技術革新において、各種の計測制御機器の機能向上、電子機器類の低価格化、情報処理技術の高度化により、土木工事現場における情報化施工の活用が加速されるようになってきた。とりわけ、山岳トンネル分野においては、施工の品質確保、施工費の削減、リスクマネジメントおよび生産性向上といった観点で飛躍的に活用が進んでいる。

本稿では山岳トンネル工事での情報化施工の事例として、3Dスキャナを利用した切羽形状計測（写真-1）と掘削出来形管理の概要を報告する。

併せて明り工事の土量管理における3Dスキャナの活用事例についても紹介する。

工期 2009年12月15日

～2015年1月17日(1,860日)

発注者 中日本高速道路株式会社東京支社

施工業者 清水・岩田地崎建設共同企業体

工事内容

トンネル工事 掘削延長：2,464m

掘削断面積：82m²

掘削工法

全断面掘削・補助ベンチ付全断面掘削
機械掘削（ブームヘッダ RH-10J-SS）

明り工事 インターチェンジ造成(38万m³)

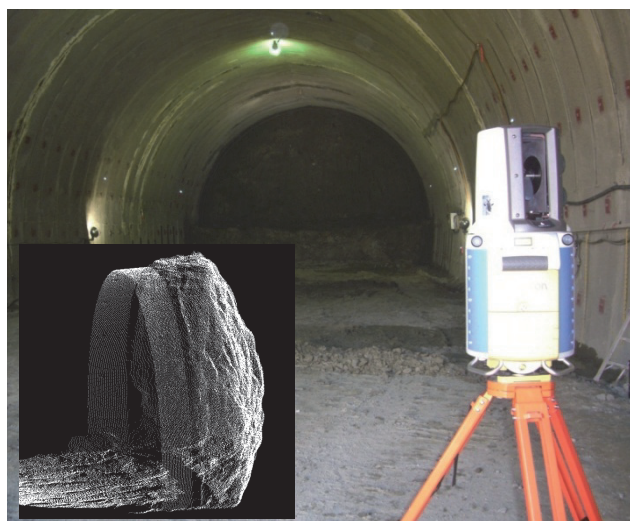


写真-1 3D スキャナによる計測状況

2. 工事概要

今回対象とする工事は、新東名・新清水 JCT と中央道・双葉 JCT を結ぶ中部横断自動車道の八之尻トンネル工事である。

以下に工事概要と現場位置図（図-1）を示す。

工事名 中部横断自動車道
八之尻トンネル工事
工事場所 山梨県西八代郡市川三郷黒沢
～山梨県南巨摩郡富士川町大櫛

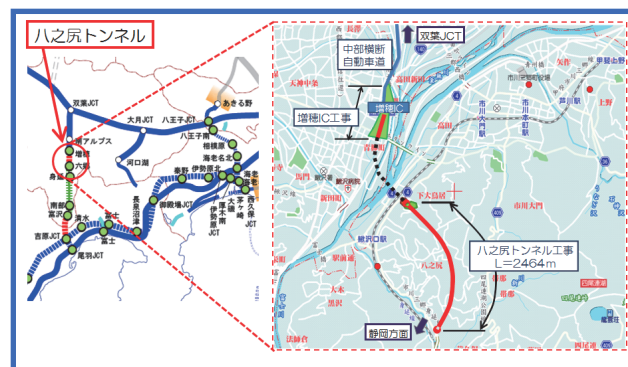


図-1 工事現場位置図

3. 3D スキャナ

3D スキャナは、指定した照射範囲・ピッチで連続的にノンプリズムでの測距測角を行うことで、物体の形状を三次元座標(X, Y, Z)を有する点の集まり（点群データ）として取得する測量機器である。1度に数百万点規模の連続計測が可能であり、測定誤差は測距 30m で±4mm 程度である。内臓のCCDカメラを用いて、点群データに(R, G, B)の色情報を持たせることもできる。

なお今回採用した3Dスキャナ GLS-1500（(株)トプコン製）は、操作にノートパソコンの接続が不要なスタンドアローン仕様であり、切羽での計測時間の短縮化と操作性の向上が図られている。計測データはスキャナ本体に装着したSDカードに保存する。

主な仕様を表-1に示す。

表-1 計測機器スペック

3D スキャナ (GLS-1500)

■スキャニング部	
測距方式	パルス方式 (Time of Flight)
測定距離	330m
単発測定精度	
距離精度	4mm (ρ) /1~150m
角度精度	6"
スキャンスピード	30,000 点/秒
スキャン分解能	
計測密度	最大 1mm/20m
最大測点数	V×H : 100,000,000 点
測定範囲	鉛直 : ±35°、水平 360°
■カメラ部	
画角	約 22° (V) × 16.5° (H)
画素数	2メガピクセル (1600×1200)
■外観	
寸法	299 (D) × 240 (W) × 566 (H) mm
機械高	410mm
質量	16kg

計測データ処理用 PC

CPU	Intel®Core™5Duo CPU
クロックスピード	2.4GHz
メモリ	8GB
OS	Windows7
グラフィックメモリ	1GB

4. 導入経緯

本工事では、機械掘削による全断面早期閉合工法の試験施工に発注者と共同で取り組んでおり、全断面掘削に伴う鏡面（切羽前面）の安定化対策として、球面（曲面）切羽を国内で初めて採用した。球面（曲面）切羽は鏡面を球面（曲面）形状に掘削することで、ドームアクションによる安定化効果を期待する方法である。

球面（曲面）切羽の効果を評価するに当たり、掘削形状を定量的に計測・記録し、分析することが必要である。そのためには 3D スキャナを用いた三次元形状計測が必要不可欠と判断し、本システムを導入した。

また、トンネルの掘削出来形（当り/余掘り量）管理へ適用範囲を拡大することにより、当該作業の省力化、迅速化および高精度化を目指すこととした。

5. 切羽形状計測

3D スキャナを使った計測の一連の作業は図-2 のようになる。

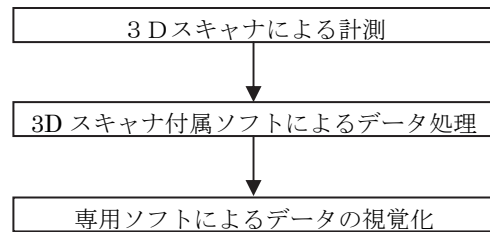


図-2 計測作業フロー

5.1 3D スキャナによる計測

切羽形状計測では 1 切羽当りの計測点数を約 15 万点とし、計測時間を 5 分程度に設定した。その他、機器の立ち上げとキャリブレーション、既知点の後視等を合わせた作業時間は 15 分程度となる。

なお 3D スキャナで計測した点群データは、この時点では相対位置情報のみであり、絶対座標データは持っていない。

測量データの特徴として測定距離が遠くなるほど点群データは粗くなり、近くなるほど密になるため、測定距離は 30m~50m とした。

坑内での計測状況を写真-2 に示す。



写真-2 坑内計測状況

5.2 3D スキャナ付属ソフトによるデータ処理

切羽で計測した点群データに事務所に設置したパソコンにて 3D スキャナ付属ソフトを使って座標データと色データを持たせる（写真-3）。また、基準点の情報を基に測量データを絶対座標系に置き換え、3D モデルを作成する。計測目的外（配管、風管、照明器具など）の不要データはこの時削除し、データ量を必要最低限にする。これらの処理を行った後、点群データ（X, Y, Z, R, G, B）をテキストファイル、DXF 形式等で出力する。

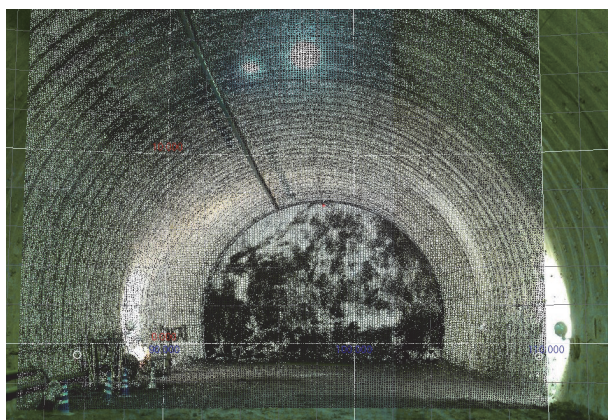


写真-3 切羽計測写真

5.3 3次元設計ソフトによるデータの視覚化

上記処理後の点群データは、三次元設計ソフトやCADソフトを使い、パソコン上で三次元的に表示することができる(図-2)。また、任意の断面で輪切りにした、断面図として表示させることも可能である(図-3)。

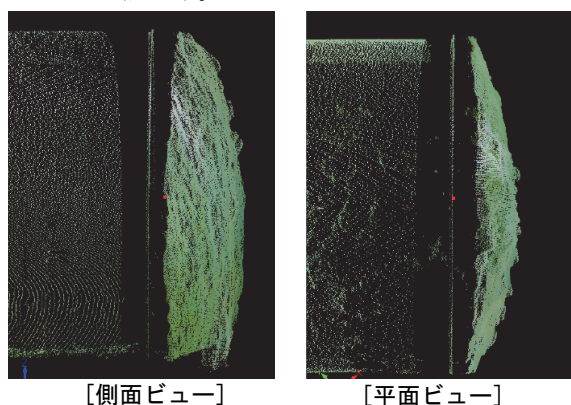


図-2 球面切羽形状計測結果

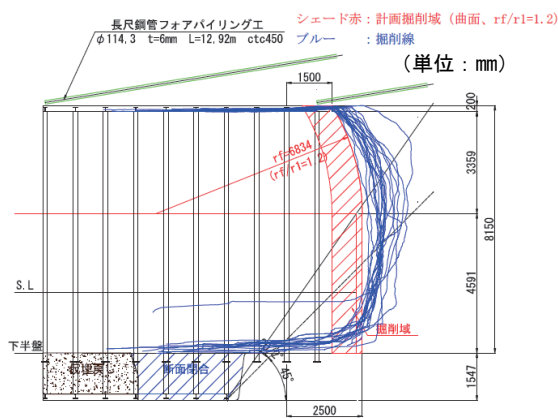


図-3 切羽縦断面形状重ね合わせ図
(センター縦断面×20断面)

3D スキャナを用いた切羽形状計測結果の分析により、地質毎の鏡面の安定性と切羽形状との相関性が明らかとなるなど、球面(曲面)切羽の有効性の評価が可能となった。

6. 3D 出来形管理システムの開発

切羽形状測定では、現場での3D スキャナ計測そのものは比較的スムーズに行えたが、その後のデータ処理においては専門知識を持つオペレータの手により長時間を掛けて実施したものであり、現場の係員クラスが行うには負担があった。そのため、トンネル掘削の出来形管理への3D スキャナの適用に当たっては、誰にでも取り扱える簡便性と、山岳トンネル現場であればどこでも水平展開可能な汎用性を確保することを目標に、3D 出来形管理システム(Shimz 3D Scan-view)を新たに開発した(図-3)。

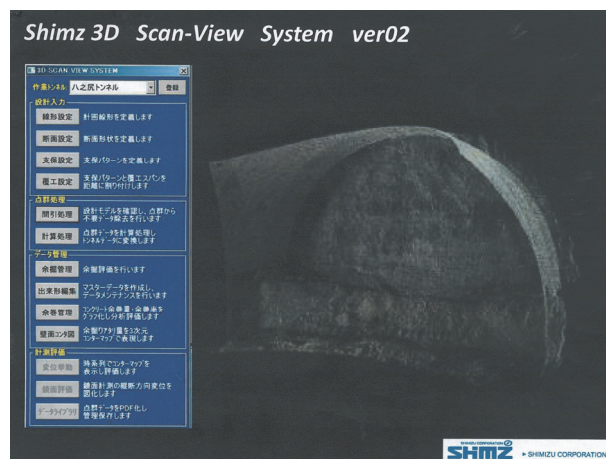


図-3 Shimz 3D Scan-view

本システムはトンネル坑内で計測した一次支保工(吹付けコンクリート)仕上がり面の3D点群データから、余掘り(当り)量や二次覆工打設数量をダイレクトに計算し、三次元コンター図や展開図、断面図として容易かつ迅速に結果を得ることが可能なシステムである(図-4)。

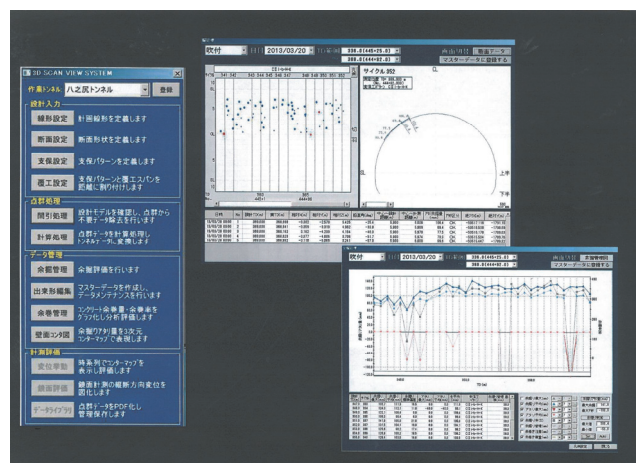


図-4 トンネル出来形計測結果表示

初期設定で入力が必要なトンネル線形、断面形状などの設計データは、山岳トンネル現場で一般的に用いられる切羽レーザー照射システムとの共

有化が可能で、3D ビューアを用いてトンネル設計形状を三次元的に表示し確認することができる。
(図-5, 6)

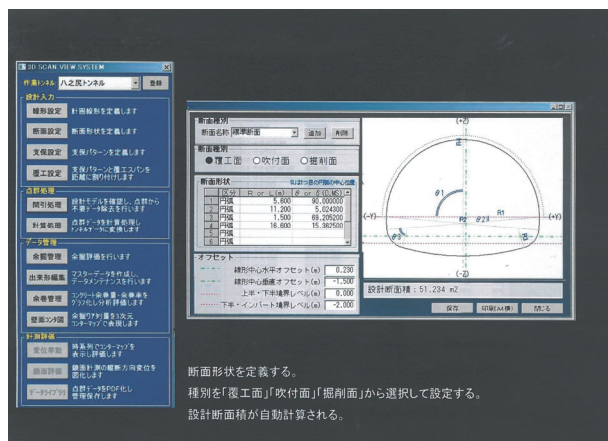


図-5 設計データ入力

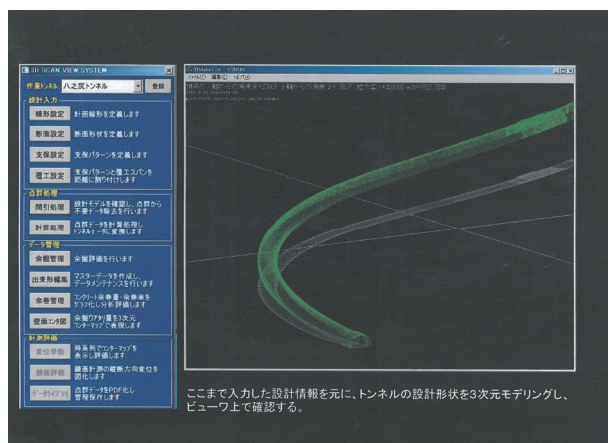


図-6 3D ビューアによる設計形状表示

導入の効果としては出来形管理作業の省力化（5～6 時間/週→15 分/週）および迅速化による生産性向上を実現した。また高精度の出来形管理により、覆工巻厚を確実に確保しつつ余掘り量の低減が可能となった。

7. 明り工事における 3D スキャナの活用事例

本工事では明り工事（トンネル両坑口部の切盛土工およびインターチェンジの盛土工）の起工測量、施工中の土量管理および出来形管理において 3D スキャナを活用した。

トンネル北坑口部の切土工における土量管理の状況を写真-4、図-7 に示す。



写真-4 北坑口部切土工状況

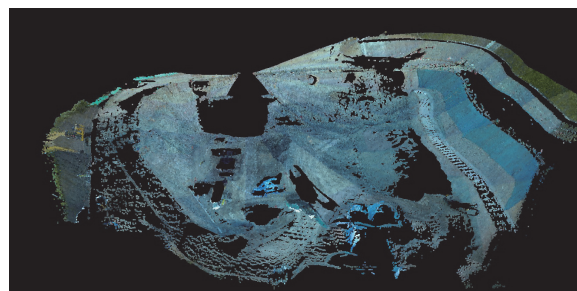


図-7 北坑口部施工中の 3D 点群データ

3D スキャナによる測量データと設計データを重ね合わせることで計画形状の照査（異常点の抽出）、施工段階毎の切盛り土量の正確な把握、土配計画のタイムリーな修正などを効率的に実施できた。
(図-8)

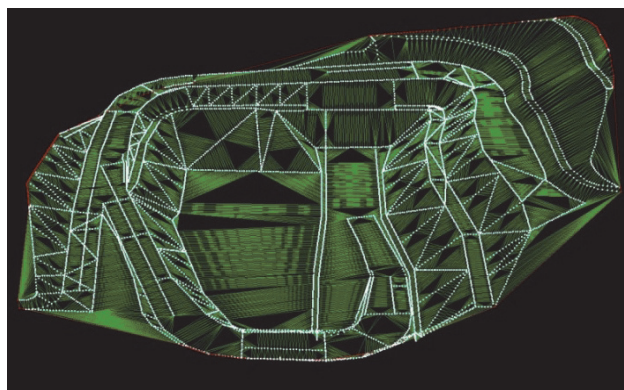


図-8 北坑口部 3D 設計データ

これらの出来形測量の大幅な省力化により、従来の測量費用に対し約 60%のコストダウンを実現できた。

8. おわりに

本工事では「3D スキャナを用いた情報化施工」をテーマに取り組み、明り工事の切盛土工及びトンネルの切羽形状計測へ展開し、球面（曲面）切羽の有効性の定量的評価を実現できた。

また、3D 出来形管理システムの開発により、当該作業の簡便化、汎用化を行い、同システムによる品質、コスト面での改善を行った。効果については、当現場での施工データを更に蓄積することで今後、検証していきたい。

近年では技術の進歩も伴い、3D スキャナについては精度を要求しなければ安価な 3D スキャナでも現場計測の視覚化は十分可能である。今後はそれらも踏まえ、他現場への展開・普及を図り、これらの情報を施工のみならず、設計や維持管理の分野まで広げ、ICT を活用した CIM の普及に役立てられるよう展開していきたい。