

プロジェクションマッピングを活用した覆工鉄筋の施工方法に関する基礎的検討

清水建設 正会員 ○青野 泰久
清水建設 正会員 吉河 秀郎
清水建設 非会員 竹内 啓五

1. 背景

山岳工法によるトンネルの施工において、坑口部、土被りの小さい箇所等では、覆工コンクリートを鉄筋で補強し(以下、覆工鉄筋)、力学的機能を付加させる場合がある¹⁾。鉄筋の固定には吊り金具²⁾が使用されており、吊り金具の設置箇所と差し筋の切断箇所の位置出しの作業はトータルステーション(以下、TS)を用いて実施される場合がある。これらの作業に加え、差し筋の切断作業に手間と時間を要していることが従来の覆工鉄筋の施工の課題として挙げられる。上記課題に対し、施工の省人化、省力化のために既往の技術³⁾を応用し、プロジェクションマッピング技術を活用した新しい覆工鉄筋の施工方法の開発を進めている。本稿では開発中の施工方法の実施手順、本施工方法における照射する画像のずれの検討結果、模擬トンネルでの実験結果を報告する。

2. 新しい施工方法の実施手順

図1にアンカー方式の吊り金具、図2に新しい覆工鉄筋の施工方法の実施手順、図3に新しい覆工鉄筋の施工方法の実施イメージを示す。本稿では図1に示すアンカー方式の吊り金具を例に、本施工方法の実施手順を説明する。手順1では、防水シートを敷設する前に、三次元スキャナを用いて坑内の既設部の形状データ(データA)を取得する。データAは坑内の既設部の形状を象った点群データである。手順2では、PCによりデータAを分析し、吊り金具設置箇所近傍の所定の領域の点群の抽出し、設置する差し筋の長さの判定を行う。手順2では、吊り金具を設置する位置と設置する差し筋の長さ情報(データB)を出力する。手順3では、防水シートの敷設後に、坑内にプロジェクタを持ち込み、プロジェクタに設置したプリズム、またはプリズムシールをTSで測量し、プロジェクタの位置と姿勢の情報(データC)を取得する。手順4、5ではPCにてデータB、Cを分析し、画像を作成後、プロジェクタで画像を照射する。図3に示すように、画像が照射された箇所は吊り金具の設置位置、色は設置する差し筋の長さを意味する。手順6では、画像を視認し防水シートを背面の吹付けコンクリートに手で押さえつけながら吊り金具の施工を行う。なお、事前に複数の長さに切断した差し筋を用意しておき、照射された色を視認し設置する差し筋を選択し、長ナットに差し筋を設置する。本施工方法の活用により、吊り金具の設置箇所の位置出し作業が簡略化され、さらに差し筋の切断箇所の位置出しと切断作業が不要となり、覆工鉄筋の施工の省人化、省力化が期待できる。

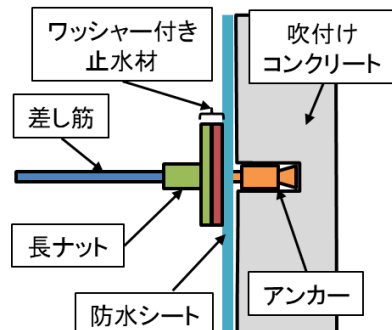


図1 吊り金具(アンカー方式)

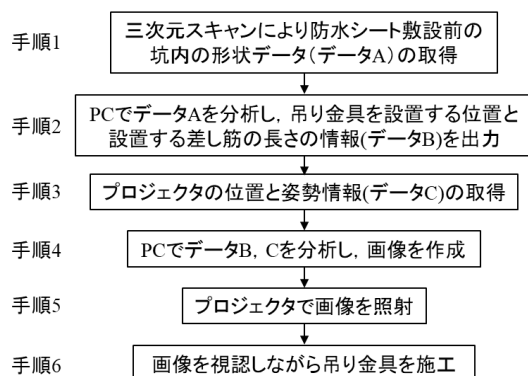


図2 新しい覆工鉄筋の施工方法の実施手順

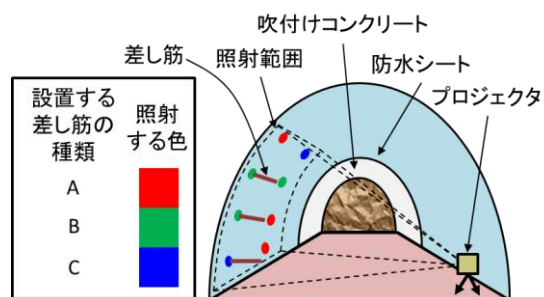


図3 新しい覆工鉄筋の施工方法のイメージ

キーワード 三次元スキャナ プロジェクションマッピング トンネル 覆工鉄筋

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 TEL 03-3820-8576

3. 画像の照射精度の検討

本施工方法において、照射する画像の位置のずれの程度と、このずれが吊り金具の施工に及ぼす影響について検討を行った。照射する画像のずれは、主に①三次元スキャナの位置、姿勢推定誤差、②プロジェクタの位置・姿勢推定誤差に起因すると考えられる。詳細な説明は省略するが、測距精度が $\pm 0.5\text{mm}$ のTSを用いて各機器の測量を行い画像の照射を行うことを想定した場合、①、②に起因するずれは約 1.5mm 、約 10.5mm 生じ、照射した画像にはその合計である約 12mm の大きさのずれが生じる可能性があると考えられる。このずれは、けれんを行った凹凸の少ない吹付けコンクリートの表面に画像を照射する場合は、吊り金具の施工精度に及ぼす影響は無視して良いと考えられる。しかし、吹付けコンクリートの表面に凹凸が多い場合、施工する吊り金具の施工精度に影響を及ぼす可能性があるため、凹凸の少ない箇所に吊り金具の設置箇所を変更する、吊り金具の設置箇所近傍を予め平滑に形成する等の対策が考えられる。

4. 実験概要、結果

本施工方法を用いた際に、照射した画像を視認しながら施工が行えることを確認するために、施工技術総合研究所の模擬トンネルにて吊り金具の施工を模擬した実験を実施した。図4に資機材の配置図を示す。吹付けコンクリートの厚さのばらつきを模擬するために、30、50、70mmの3種類の厚さの発泡ポリエチレンシート(以下、ポリシート)を使用した。図5に示すように、設計上の差し筋の設置箇所を基準点とし、基準点から形状データまでの距離に応じて照射する画像の色が変化するよう判定を行った。吊り金具の差し筋を模擬し、260、280、300mmの3種類のステンレス製パイプ(以下、パイプ)を使用した。模擬トンネル内の三次元スキャンには測距精度 1.2mm の三次元レーザースキャナを使用した。使用したTSの測距精度はプリズムシールを用いた場合 $\pm 0.5\text{mm}$ である。手順として、最初に養生テープを用いてポリシートを側壁に設置し、三次元スキャンを実施した。次に養生テープを用いて防水シートをポリシート上にたるませて設置を行った。その後、TSを用いてプロジェクタに設置したプリズムシールを測量し、三次元スキャン結果を分析し作成した画像を、プロジェクタを用いて防水シート上に照射した。最後に、照射した画像の色をもとに差し込むパイプを選択し、ポリシートにパイプを差し込んだ。

図6にポリシートへのパイプの差し込み作業の様子を示す。図6より、画像を視認しながらポリシートにパイプを差し込む作業が行えることを確認した。したがって、実現場での吊り金具の施工時にも画像を視認しながら施工が可能であると考えられる。今後は新しい施工方法の実用化に向け、実際の吊り金具を使用した実験、本手法を実施するためのハードウェアとソフトウェアの改良、運用方法の検討を行う。

参考文献

- 1)トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説, 土木学会, pp.94-101, 2006.
- 2)同上, pp.178-179.
- 3)青野 泰久, 竹内 啓五, 中谷 篤史: 3Dスキャナとプロジェクションマッピング技術を用いたインバータ掘削管理の精度の検証, 平成29年度土木学会全国大会 第72回年次学術講演会, 2017.

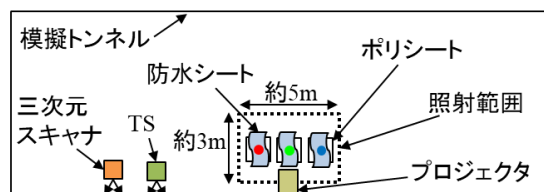


図4 資機材の配置図(側面図)

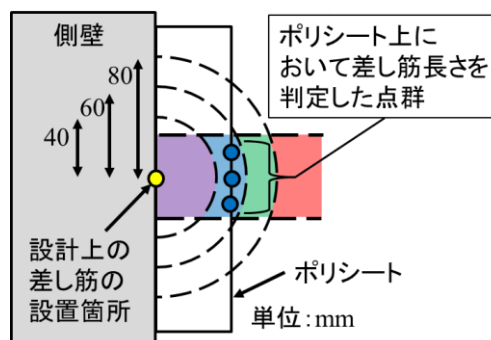


図5 照射する色と点群の位置の関係



図6 パイプの差し込み作業