切羽プロジェクションマッピングシステムを活用した山岳トンネルの施工事例

大成建設 東北支店　　正会員　○宮本　真吾，福原　俊一
大成建設 技術センター　　谷　　卓也，古賀　快尚
国土交通省東北地方整備局三陸国道事務所　　河上　伸一

１．はじめに

国道 106 号下川井トンネル工事（岩手県宮古市古田～川井地内）では，掘削断面積が 100m^2 を超える大断面の道路トンネル（延長 2,306m）を，山岳トンネル工法（NATM）によって施工している．掘削の対象となる地山は，中生代ジュラ紀の堆積岩を主体とする硬質な岩盤であることから主に発破による掘削を進めてきたが，盛岡側（発進側）の坑口から 100m 付近より，図-1 に示すような粘板岩・砂岩・チャートを主体としたさらに硬質化した堆積岩が連続して現れた．それまでの順調に掘削を行ってきた時と同様に，昼夜の作業班の交代時には切羽写真を使った引継ぎ（図-2）を行っていたが，特に全体が硬い岩盤の中での硬軟の分布状況を正確に伝達しきれず，適正な火薬量での掘削が難しい状況となった．そのため，岩盤の硬さに対して火薬量の少ない弱装薬による掘り残しが生じ，これを除去するアタリ取りの増加や，逆に火薬量が多い過装薬による飛び石（鉄砲）などのトラブルも発生するようになった．このような状況を改善するために入念に引継ぎを行うようにしたものの，実際の切羽は吹付けコンクリートで覆われており，次の作業班による切羽状況の正確な把握は依然困難であった．装薬孔の削孔では，前の掘削の情報を引き継いだ作業員の記憶に頼った削孔が行われ，同じ作業班内でも削孔と装薬を行う作業員が異なる事から，削孔時に感じとった地山の硬軟が装薬する作業員に適切に伝達されないという状況により上述のようなトラブルが繰り返し生じる状況であった．

そこで，著者らが開発した切羽プロジェクションマッピングシステム[1)]を現場に導入し，地山の硬軟を色で定量的に表現されるコンター図を吹き付けられた切羽に投影し，作業員が地山の硬軟を正確に把握できるようにした．さらに，直近の切羽写真も投影し，鏡吹付けにより見えなくなった切羽状況の復元を可能にし，さらに地質状況を視覚により実感し，掘削作業に生かせるようになった．本報では，この切羽プロジェクションマッピングを導入した施工について述べるとともに，導入の成果をまとめる．

図-1 切羽状況（粘板岩と砂岩の互層）

図-2 切羽写真を利用した引継ぎ状況

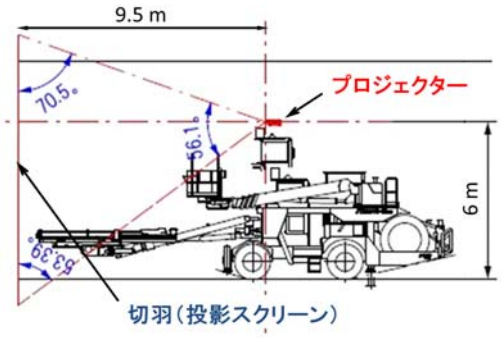


図-3 切羽プロジェクションマッピングにおけるジャンボの標準配置

２．現場での運用

切羽プロジェクションマッピングは図-3 に示すように，ジャンボの運転席（キャビン）の屋根上に設置したプロジェクターにより画像を投影する．プロジェクターは切羽から凡そ 10m の離間，路盤からの高さは 6m となる．このとき，ジャンボの据え付け位置にずれがあっても，投影される画像は正確に切羽の形状に合わせて投影され

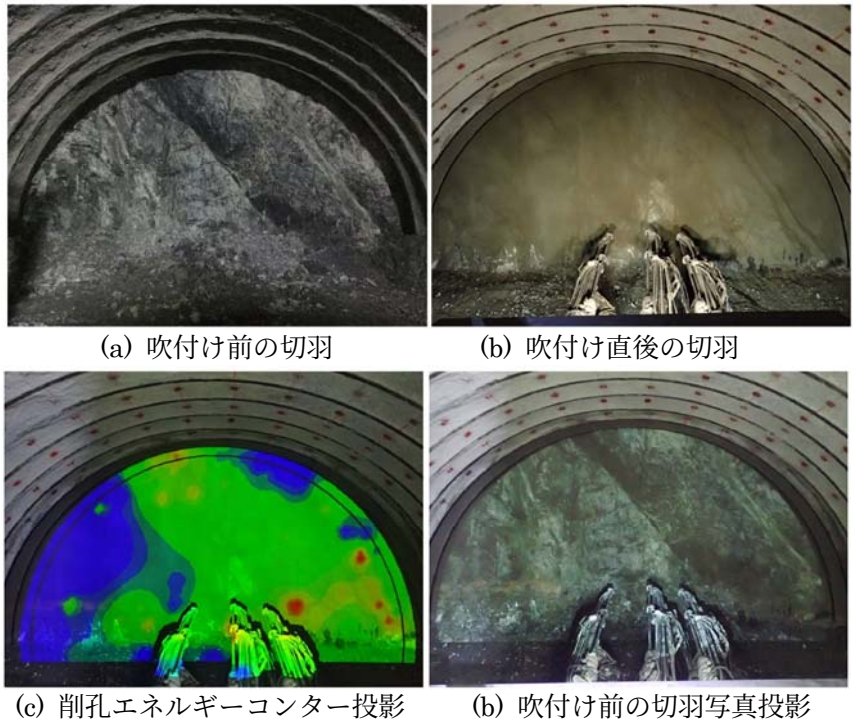
キーワード　山岳トンネル，地山情報，可視化，切羽写真，削孔エネルギー
連絡先　〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町 3-1-1 大成建設(株)東北支店土木部　TEL：022-225-7617

© Japan Society of Civil Engineers

るようになっている[1]．情報を共有する地山情報としては，地山の硬軟を表すコンター図（削孔エネルギー分布）と切羽写真のデータの2種とした．これらの画像情報については，著者らが先に開発したジャンボのガイダンス用モニターに任意画像を表示できるシステム[2]を利用した．このシステムは，削孔終了後に図-4 に示すジャンボ運転席のモニター横のボタンを押す事で，掘削した切羽の削孔エネルギーの処理画像データを瞬時にジャンボのモニターに転送し，地山の硬軟状況を直ちに確認できるようになっている．削孔エネルギーの表示は，ジャンボの回転・打撃・フィードから計算される孔ごとのエネルギー値を平均化して色分けし，硬質であれば青，軟質であれば赤，その中間は緑といったイメージし易い配色とした．画像データがジャンボに転送された後，ジャンボ運転席上部の設置した防塵・防水・防振の対策が施された保護ケース（図-5）内に収納されたプロジェクターから，切羽写真や削孔エネルギーデータを切羽に投影させた．切羽写真と削孔エネルギーデータ表示の切替えおよびプロジェクターの電源オンも全てボタン一つ（図-4 左側）で行える等，操作性にも配慮した．また，投影画像はジャンボの座標データから自動的に補正を行うので，ジャンボの設置される場所によらず，図-6 のように切羽の形状通りに投影することができた．

図-4 ジャンボ運転席のスイッチ類

図-5 ジャンボに設置したプロジェクター


(a) 吹付け前の切羽　(b) 吹付け直後の切羽
(c) 削孔エネルギーコンター投影　(b) 吹付け前の切羽写真投影
図-6 切羽プロジェクションマッピングの様子

3．まとめ

切羽へのプロジェクションマッピングを行うことによって，切羽状況の復元と，地山の硬軟区分の定量的な可視化に成功し，今まで軟らかい・硬いでしか表現できなかった地質状況を定量的に確認できるようになった．昼夜の作業班での引継ぎの中でも『エネルギー』という言葉が多く使われるようになり，色で示された硬軟状況の変遷をより詳しく把握できるようになった．特に，切羽の作業員が自分たちの作業している地山の状況をリアルタイムに把握できるようになった事は大きな成果であり，削孔後の装薬時にエネルギー分布を見ながら爆薬量を決められる事で，弱装薬・過装薬によるトラブルが減少し，安定した掘削サイクルを確保できるようになった．今回の切羽プロジェクションマッピング技術は切羽写真と削孔エネルギーに特化したものであるが，データの転送さえ行えば，様々なものを投影することが可能なので，発破パターン図の投影や，切羽での災害事例の教育等，様々な用途に活用していきたい．

参考文献

1) 古賀ら：切羽プロジェクションマッピングシステムの開発，第 74 回年次学術講演会，2019（投稿中）．
2) 谷ら：山岳トンネル工事における地山情報可視化・情報共有の取組み，第 74 回年次学術講演会，2019（投稿中）．

© Japan Society of Civil Engineers