

切羽プロジェクションマッピングシステムの開発

大成建設 技術センター 正会員 ○古賀 快尚 谷 卓也
大成建設 東北支店 宮本 真吾 福原 俊一

1. はじめに

山岳トンネルの掘削において、安全かつ合理的に作業を進めるためには、切羽近傍の地質状況を把握することが重要である。現状では、切羽観察や削孔時の削孔速度（ノミ下がり）から地質の性状や硬軟を把握し、作業班交代時には引継ぎを行っている。しかしながら、引き継がれる情報は硬い・軟いといった定性的な表現である他、安全のために施す鏡吹付けコンクリートにより直接切羽の状況を確認できないことから、注意を要する箇所が正確に伝達されないといった問題もあった。そこで、作業班間および同一の作業班内での作業員間の地質に関する情報共有を目的として、直前の掘削時に得た情報を切羽に投影するプロジェクションマッピングシステムを開発した。本稿ではその概要について述べる。

2. 切羽プロジェクションマッピングにおける投影画像

通常、室内でプロジェクターを用いる場合、投影画像の大きさや焦点と、設置位置・傾きによって生じる投影画像の歪みに対する調整が必要である。本システムでは作業員への負担軽減を目的に、この調整を自動化した。

投影画像の大きさと焦点は、プロジェクターとレンズの仕様によって決定される投写距離に依存する。開発に当たって、プロジェクターをドリルジャンボのキャビン天井に設置すること、スクリーンとなる切羽とプロジェクター間の距離は毎回ほぼ一定であることを前提としてプロジェクターとレンズを選定した。表-1 および表-2 にその仕様を示す。

投影画像は、設置位置と傾きによって歪むため、出力画像に幾何補正を行う必要がある。幾何補正は、コンピュータの演算によって3次元空間内の仮想的な立体物を、2次元平面上の情報に変換することで補正画像を生成する手法（3D-CG）を用いた。本システムでは、プロジェクターと一緒に搭載する小型PCの演算により、仮想空間内にプロジェクターとスクリーンとなる切羽を再現し、投影する画像の幾何補正を行っている。図-1 にその概要と手順（図中①～⑤）を示す。補正画像の生成では、はじめに仮想空間上に掘削断面図から作成した切羽に相当する平面的なオブジェクトを置き、投影したい画像をテクスチャマッピングする。次に実空間（トンネル現場）のプロジェクターの中心と同じ位置に仮想のカメラを配置し、カメラの視点を定める。仮想カメラの視点は、画像の幾何補正なしに投影できる理想的な仮想空間の位置座標を基準点として、この基準座標からの相対座標と三軸方向の傾

表-1 プロジェクターの仕様

光源	レーザー
解像度	WUXGA
方式	3LCD方式
有効光束	12000lm
本体サイズ (W×D×H)	568×492×185 (mm)
質量	21.8kg

表-2 レンズの仕様

焦点	電動ズーム/フォーカス
倍率	1.2倍
F値	2.0～2.3
絞り値	11.1～13.1mm

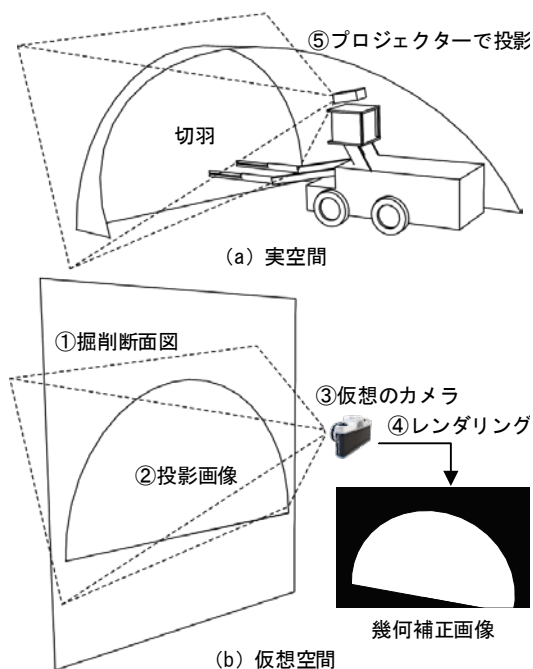


図-1 幾何補正方法の概要と手順

手順（図中①～⑤）を示す。補正画像の生成では、はじめに仮想空間上に掘削断面図から作成した切羽に相当する平面的なオブジェクトを置き、投影したい画像をテクスチャマッピングする。次に実空間（トンネル現場）のプロジェクターの中心と同じ位置に仮想のカメラを配置し、カメラの視点を定める。仮想カメラの視点は、画像の幾何補正なしに投影できる理想的な仮想空間の位置座標を基準点として、この基準座標からの相対座標と三軸方向の傾

キーワード 山岳トンネル、プロジェクションマッピング、削孔エネルギー

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社技術センター TEL : 045-814-7217

き、レンズのスローレシオ（スクリーンの幅/投写距離）とシフト（光軸による補正）により求めることができる¹⁾。このカメラの視点から画像をレンダリングすることで、幾何補正画像を生成する。レンズのスローレシオとシフト量はプロジェクター設置時に調整する。プロジェクターの中心座標と3軸方向の傾きは、ジャンボの設置位置や姿勢により毎回異なるため変数となる。これを測量および計測することで、出力画像の幾何補正を自動で行うことができ、作業員は手動で調整することなく投影できる。

3. 切羽プロジェクションマッピングシステムの構成

開発したシステムの概要を図-2に示す。システムは主としてコンピュータジャンボとプロジェクター、小型PCで構成されている。コンピュータジャンボは後方に複数のプリズムを有しており、トータルステーションで測量することで座標を得ている。測量した絶対座標とキャビン天井に固定したプロジェクターとプリズム間の相対座標から、プロジェクターの絶対座標を得る。また、ジャンボ内部の2軸の傾斜センサーよりピッチングとローリングを、複数箇所の座標よりヨーイングを得る。プロジェクターはトンネル掘削環境下にて安定して稼働できるように、防水・防塵・耐震動の機能を有する防護ケースに格納した。写真-1に防護ケースの内部構成を示す。ケースにはプロジェクターからの放熱に対応するため送排気ファンを計6個搭載した。また底盤には削孔時の振動対策として防振装置を施した。

ジャンボ運転席に設けた外部スイッチを押すとプロジェクターが起動しレンズ保護用のシャッターが開く。ケース内部の小型PCで出力画像の幾何補正を行い、プロジェクターにて投影する。これら一連の動作は、ドリルジャンボの運転席に設けたボタンを一度押すことで実行できる。

投影画像は、コンピュータジャンボで自動取得が可能な削孔エネルギーのコンター図と切羽写真とした。削孔エネルギーは地質の硬軟の目安になるとされ²⁾、切羽における硬軟の分布を確認できる。また、切羽写真と削孔エネルギーのコンター図を比較することで地質による硬軟の違いを把握できる。この2種類の投影画像は、ボタン一つで切替えが可能である。写真-2に削孔エネルギーコンターの投影状況を示す。

4. まとめ

作業班間および同一の作業班内での作業員間の地質に関する情報共有を目的に、直前の掘削時に得た情報を切羽に投影するプロジェクションマッピングシステムを開発した。このシステムはボタン一つで投影ができ、作業員の負担なく運用可能である。また削孔エネルギーのコンター図を投影することで、従来は削孔担当者が感覚的に把握していた硬さに関する情報を、作業員全員が硬軟の分布と一目で把握することができる。今後は現場への導入実績を増やし、システムのさらなる機能向上と作業性を改良し、安全かつ合理的な掘削作業に寄与したい。

参考文献

- 1) 西田友是：コンピュータグラフィックスの数理（2）座標変換，応用数理 13 巻 4 号，pp.334-342，2003。
- 2) 西松裕一：掘削方法とその評価方法について，日本鉱業会昭和 47 年度秋季大会分科講演会資料，1972。

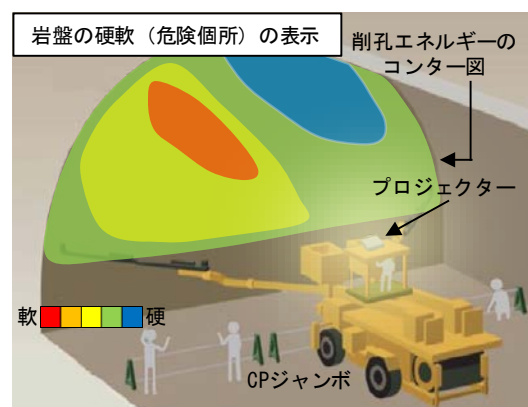


図-2 切羽プロジェクションマッピングの概要
プロジェクター レンズ保護用のシャッター

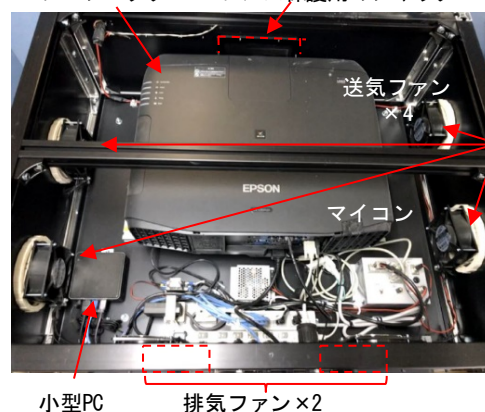


写真-1 防護ケースの内部構成



写真-2 削孔エネルギーコンター図の投影状況