

## 連続したトンネル切羽の三次元モデリングに関する研究

元松江工業高等専門学校	非会員	山本 皓成
松江工業高等専門学校	学生会員	○福間 友哉
松江工業高等専門学校	正会員	岡崎 泰幸
山口大学大学院	正会員	林 久資

## 1. はじめに

山岳トンネルの施工では、地山条件の変化に応じた設計の見直しや切羽前方地山の予測などを行うために、日常的に切羽観察が実施される。その際、一般にスケッチや写真撮影などにより切羽状況の記録が行われるが、これらにより記録された切羽の情報は二次元の情報であり、複雑な地質構造や地質の変化を予測するには情報として十分と言いがたいのが現状である。このような切羽の情報を三次元データとして取得し、技術者の判断材料とすることができれば、地山評価や前方地山の予測、地質構造の解釈などが従来より容易になると考えられ、将来的には維持管理への活用も可能になるとも考えられる。

以上のような理由から、近年、写真測量技術を活用して連続したトンネル切羽を三次元モデル化する取り組み<sup>2)</sup>が実施されているが、従来の方法はポールの設置などの特殊な作業を必要とするため、十分な普及や三次元データの取得の促進などは難しいと考えられる。

そこで、本研究では、連続したトンネル切羽の三次元モデルをより簡易に作成できる方法を構築することを目的とし、デジタルカメラで撮影した切羽写真画像のみから連続したトンネル切羽の三次元モデルを作成する方法について検討した。

## 2. 連続したトンネル切羽の三次元モデリング手順

## (1) 切羽の三次元モデルの作成とデータの抽出

本研究では、実現場の切羽の三次元形状を取得する手段として、Agisoft社のMetashapeを採用した。Metashapeは、複数枚の画像の各ピクセルの色調や階調を判別し、画像同士を自動で合成することができる。そして、重なり合う画像のペア間に共通するタイポイントを配置する作業を自動で行い、このタイポ

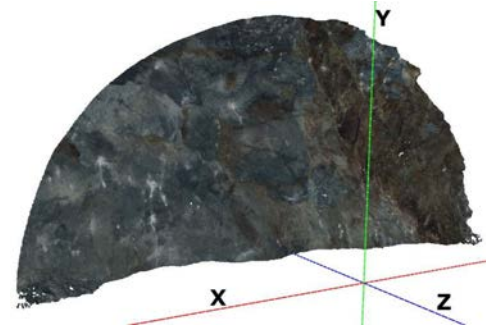


図1 補正後の切羽の三次元モデル（1切羽分）

イントから数値標高モデル（DEM）や高密度点群などの三次元座標データを生成することが可能である。本研究では、実現場の切羽で撮影された10～15枚の切羽写真画像に対してMetashapeを使用し、切羽面における高密度点群データの生成を行った。この際、写真画像はデジタル一眼レフカメラ（PENTAX K-50, 1600万画素）で撮影したものをを用いた。その後、得られた高密度点群データの出力を行った。

## (2) 高密度点群データの座標の補正と削除

連続したトンネル切羽の三次元モデルを作成するため、得られた各切羽の三次元座標に対して、平行移動、回転、スケーリングなどの座標変換（アフィン変換に基づく座標の補正）を行った。ここでの補正は、切羽手前の鋼製支保工のスプリングライン（以下、SLと称する。）と天端の直交点を原点とし、SLの延長方向がx軸、トンネルセンターラインの延長方向がy軸、掘削方向がz軸となるように実施した（図1参照）。加えて、切羽面以外の点群データの削除や、各切羽における点群データのz軸方向座標の修正も実施した。本研究では、上記に示したデータ処理をプログラミング言語Pythonにより実施した。

## (3) 切羽の三次元モデルの表示と削除

座標の補正などを実施した各切羽の点群データを

キーワード 山岳トンネル, 切羽, 写真測量, 三次元モデリング, 前方地山予測

連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町14-4

TEL 0852-36-5111

ビューアソフトにより表示する。本研究では、ビューアソフトにフリーソフトである MeshLab を用いた。1 切羽分の切羽の三次元モデルの表示結果は、図 1 に示すとおりである。図 1 から、切羽面の凹凸形状や各地質の色合いの違いなどが三次元的に表現できることがわかる。

### 3. 切羽の三次元モデルの作成結果

2 章に示した手順で作成した連続したトンネル切羽の三次元モデルを図 2 に示す。図 2 から、本研究で用いたモデリング方法でも連続した切羽の三次元モデルが作成可能であることがわかる。また、一部の連続した切羽の三次元モデルから、同一地質の連なりを確認することができた。例えば、図 3 ではトンネル右肩部周辺とその他が前後の切羽で同様な色合いを示しており、同一な地質であることが確認できる。加えて、図 3 内に橙線で観測可能な割れ目の記入を行ったが、これらも前後の切羽で概ね同様なものとなり、前後の切羽の割れ目の関連性も確認することができた。したがって、本研究で用いたモデリング方法を用いて地質境界や割れ目を面的に示すことで、より簡便に前方地山の予測や地質構造の解釈が行える可能性があると考えられた。

その一方で、三次元モデルが作成できない切羽も存在した。このようになった要因として、以下の 2 点が考えられた。

- 1) 写真の枚数自体が少ない。ピントが合っていない写真が多い。
- 2) 基準とする切羽手前の鋼製支保工のスプリングライン部分に障害物（例えば、換気のための風管など）がある。

その他にも、地質や割れ目の確認が困難になるほど三次元モデルの明度が高くもしくは低くなっている切羽が存在した。これについては、三次元モデルの作成に用いている切羽写真の撮影時の切羽周辺の明るさが大きく影響していると考えられた。

### 4. まとめと今後の課題

本研究では、デジタルカメラで撮影した切羽写真画像のみから連続したトンネル切羽の三次元モデルを作成する方法について検討した。その結果、いくらか課題は見られたものの、本研究で用いたモデリング方法でも、連続した切羽の三次元モデルが作成でき、より簡便に前方地山の予測などが行える可能性

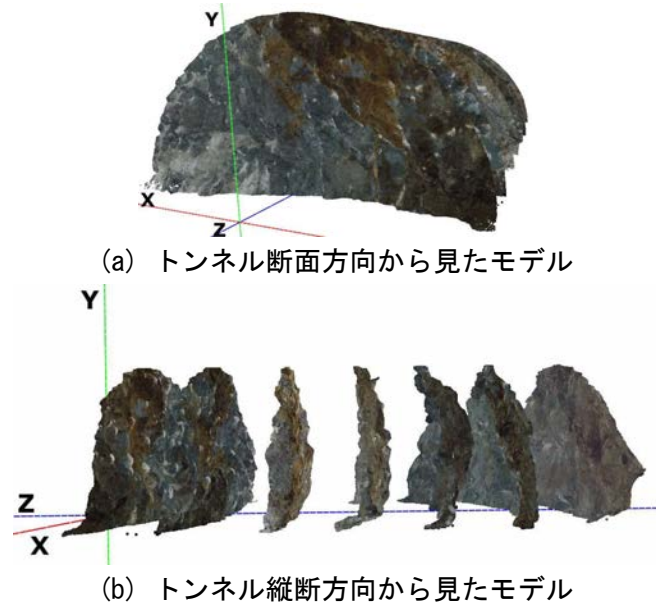


図 2 連続したトンネル切羽の三次元モデル



(a) 手前の切羽の三次元モデル



(b) 後の切羽の三次元モデル

図 3 前後の切羽の三次元モデルの比較

があると考えられた。

今後は、良質な切羽写真の撮影方法や、今回検討していない道路線形（曲率・勾配）の考慮などについて検討し、より良いトンネル切羽の三次元モデルを作成する方法を構築したいと考えている。

### 参考文献

- 1) 土木学会：2016 年制定トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[山岳工法編]・同解説, p.259-264, 2016.
- 2) 舟橋孝仁, 高橋幹夫, 植村義幸, 越智康博, 宇野淳二：写真測量技術を活用したトンネル切羽面の 3 次元化に関する取組み, 土木学会第 71 回年次学術講演会, VI-401, pp.801-802, 2016.