

# トンネル切羽に現れた不連続面の簡易計測による切羽評価シートの高精度化

元山口大学工学部 学生会員 ○杉原航平  
安藤ハザマ 名古屋支店 非会員 藤野紘治  
山口大学大学院 正会員 森本真吾  
山口大学大学院 正会員 進士正人

## 1. はじめに

山岳トンネル工法では、切羽が自立していることがきわめて重要であり、特に硬岩地山の場合は切羽面にある不連続面傾斜が切羽の安定性に大きく影響する。そのため、切羽の不連続面の状態を適切に評価する必要がある。

現在、日本の山岳トンネル施工現場で使用される切羽観察シート<sup>1)</sup>には、トンネル掘進方向と横断方向に対して切羽の不連続面がどの方向にどの程度傾斜しているかを判断する評価項目がある。項目の評価は観察者の目視によって実施されており、評価結果は観察者の経験や個人の判断基準に依存するのが現状である。

本研究では、切羽の不連続面の評価をより高い信頼性で実施するために、簡易写真測量により切羽面に出現する不連続面の走向と傾斜の簡便な算出方法の確立を目指した。

## 2. 写真測量解析ソフトの概要

本研究では画像解析ソフト「Photo Scan (Agisoft 社製)」を用いた。ソフトの特徴は、撮影した複数枚の写真内の対応点を照合する作業(対応点探索)を全自動で行い、更に撮影位置の自動照合や被写体の3次元化・数値標高モデル(DEM)やオルソ画像(正射投影)の生成・等高線の表示が可能なことである。

## 3. 切羽の簡易写真測量

切羽撮影に使用した器材を表-1に示す。なお、画像解析によって3次元化された切羽に座標値を持たせる

表-1 使用器材

デジタルカメラ	基準点	高所撮影用ポール
		
画素数:2040万画素 F値: 3.5	三次元座標を有する	高い位置からの撮影に使用する

ために、切羽手前に基準点を設置した後に、撮影を実施した。

## 3-2. 撮影方法

実際の施工中の切羽から5m程度離れた位置で、切羽全体と基準点の両方を捉えられるように写真撮影を行った。切羽に対する写真撮影位置は図-1に示すように、5方向から3段階の高さで計15枚の撮影を行った。この撮影方法は、現場を想定した室内外における模擬撮影を経て考案した。

## 4. 切羽の不連続面の走向・傾斜の取得

画像解析より、オルソ画像や等高線図を参考にして切羽に現れた不連続面と考えられる30平面を抽出した(図-2参照)。各平面の傾斜を最小二乗法により算出した。最終的に、30平面の傾斜を平均することで切羽を代表する不連続面の傾斜を取得した。トンネル掘進方向と横断方向に対する代表的な不連続面の傾斜を、実

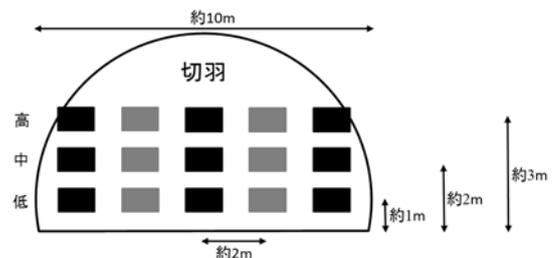


図-1 切羽に対する写真撮影位置



図-2 平面の抽出(画像処理)

キーワード トンネル, 簡易写真測量, 切羽, 不連続面, 画像解析, 切羽評価シート

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16番1号 山口大学工学部 社会建設工学科 進士研究室

TEL 0836-85-9332

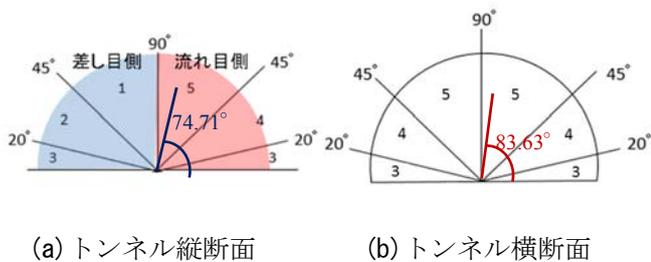


図-3 代表的な不連続面の傾斜とその評価区分

際の切羽観察シートの走向傾斜の評価区分に適応させたものを図-3に示す。その結果、掘進方向の傾斜の評価点は5点、横断方向は5点であった。この結果は、切羽評価区分としては最も劣悪な区分に該当する。

この手法により、切羽面における不連続面を満遍なく抽出することで、切羽の平均傾斜を客観的に評価することができると考えられる。さらに、観察者による目視の評価は個人依存性の影響が懸念されるが、この手法は画像解析によって機械的に実施できるため、目視よりも正確に走向傾斜を取得することが可能であるといえる。

また、画像解析による誤差は室内実験より約1°生じることが分かった。この誤差は、切羽評価への影響は無いと考えられるため、考慮する必要性は低いと判断した。

### 5. ステレオ投影図法を用いた新しい切羽の不連続面の評価法の提案

前章までで得られた傾斜は走向をトンネル掘進方向と横断方向に固定した見かけの傾斜を用いて切羽評価を行っている。しかしながら、その傾斜は図-4に示すような縦横断から組み合わせられた本来の不連続面の走向に対する傾斜（以下、「真の傾斜」と呼ぶ）ではない。

そこで本章では、前章で抽出した30平面の不連続面の真の傾斜を算出し、ステレオ投影図法適用し、不連続面の走向傾斜を極としてシュミットネット図に表示した。その結果の頻度分布コンター図を図-5に示す。ここで、図中のプロットは30の不連続面の極である。この図から分かるように、シュミットネット図の右上部分に極の分布が最も卓越している。このことから、切羽を形成する不連続面は約75°の角度で南西（掘進方向を北とする）に傾斜する不連続面が特に多いということがわかる。

この結果を用いて真の傾斜による新たな評価法の提案を行った。現在の評価区分<sup>1)</sup>を参考にシュミットネット図上に点数を付与した（図-5参照）。

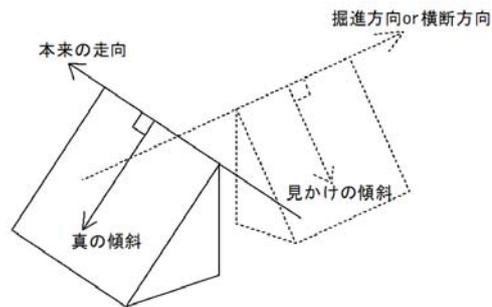


図-4 真の傾斜と見かけの傾斜の比較

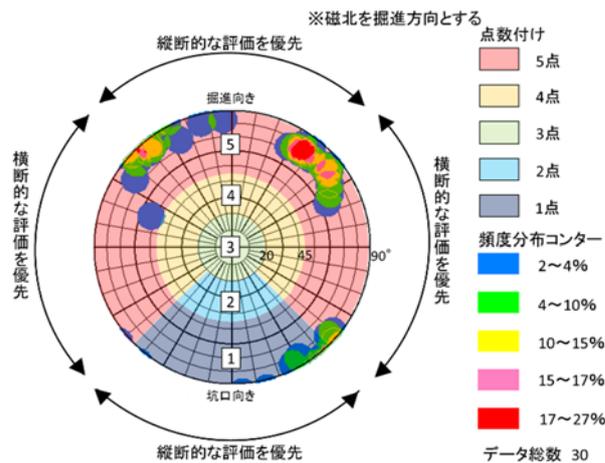


図-5 極の頻度分布コンター図

図-5より、極の分布が最も卓越している箇所は点数5の領域にあるため、30平面を形成する切羽の評価点は前節と同様に5点であると判断できる。

このように、図-3の現在の評価区分と組み合わせることにより、掘進方向と横断方向の2つの評価を1つのシュミットネット図に簡潔にまとめることができる。また、本手法は真の傾斜による評価が可能であるため、見かけの傾斜による評価よりも一般性の高い評価法であると考えられる。

### 6. まとめと今後の課題

本研究では、簡易写真測量を用いて実切羽面における不連続面の傾斜取得を行なった。この取得した傾斜を走向傾斜の評価区分に適用することで、個人依存性のない切羽の不連続面の評価を行うことができることを示した。今後は、三次元化した切羽写真から不連続面をより簡便な抽出する方法を検討していきたい。

当実験にあたり、現場をご提供頂いた安藤ハザマの方々に対し、紙面をお借りして御礼申し上げます。

### 参考文献

1) 例えば、トンネル標準示方書山岳工法・同解説、土木学会、2006、p.262