

## 3D レーザースキャナを用いたトンネル壁面のき裂の抽出に関する研究

大阪大学	学生員	土肥 泰之
大阪大学	正会員	谷本 親伯
大阪大学	正会員	小泉 圭吾
大阪大学	学生員	津坂 仁和

## 1. はじめに

トンネルのような地下掘削を行う場合、掘削対象の岩盤内には節理や層理などのき裂が存在する。岩盤の力学的挙動は岩石の材料特性だけでなく、岩盤中に存在するき裂の有無にも大きく依存するため、施工の効率性や安全面を考慮する場合、岩盤内のき裂の分布状況を知る必要がある。現在、掘削壁面のき裂の情報を得ようとするときには、人の手によりスケッチを行い、坑壁展開図を作成している。しかしこの手法では、き裂の位置や形状に個人差が生じてしまう点に問題がある。そこで本研究では、3D レーザースキャナを用いてき裂の情報を3次元座標データとして取得して、そのデータをスケッチと比較し、また、3次元におけるき裂頻度を算出することで、3D レーザースキャナを用いた計測手法の有効性について検討を行う。

表1 HDS3000の基本仕様

座標精度	6mm (@50m)	
角度精度(鉛直・水平)	12秒 (60 μ rad)	
レーザー波長	532nm	
レーザースポット径	6mm以下 (@50m)	
測定レンジ	200m	
ターゲット測定精度	1.5mm (@50m)	
モデリング精度	±2mm	
スキャニング範囲	水平方向	鉛直方向
	360°	270°
スキャニングレート	1,800点/秒	

## 2. 3D レーザースキャナについて

測量用機器である3D レーザースキャナ(以下スキャナとする)とは、対象の表面の3次元座標を瞬時に取得可能な機器である。レーザー光を対象物に照射し、反射光が光源に戻るまでの時間と照射角度から、照射点の3次元座標を決定する。この動作を1秒間に数千~数十万点の高速度で繰り返すことで、対象の表面形状を点群データとして短時間のうちに取得できる。表1に、本研究で用いたスキャナHDS3000の基本性能を示す。

## 3. 計測対象の概要

本研究で対象としたトンネルは、TBM工法によって施工された延長3,692m、掘削径5.0mの避難坑である。掘削の対象となった岩盤は、飛騨外縁帯に属する宮津花崗岩類で、粗粒の黒雲母花崗岩で構成される<sup>1)</sup>。計測現場の岩盤状況は、き裂付近にある岩が湧水による風化作用を受け、一部が黄褐色に変質しているが、大部分は新鮮で硬質な岩塊である。計測は、トンネル距離程(以降T.D.とする)およそ3,000m付近で行った。この地点は、地山が堅固であるために付近に支保工がなく、岩盤表面を連続した状態で計測できる。ただし、掘進方向左側には、蛍光灯や配管が設置されている。

## 4. 計測データの比較

図1に、得られた点群データのうち、特に精密に計測した箇所であるT.D.2997-3012mの15m区間のデータを示す。図1の色相は反射強度を反映した結果であり、赤色に近いほど反射強度が弱い。き裂はその構造上、反射光量が少ないと考えられるため、図1上の赤線部をき裂とみなし、その線上をトレースし、き裂を抽出する。ただし、この作業は主観的であるため、スキャナの計測と同時に、別途き裂

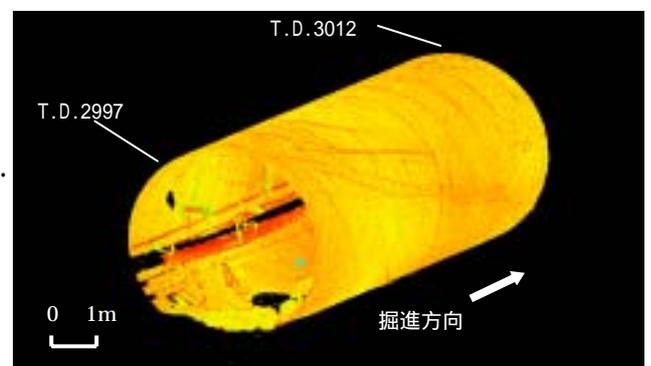


図1 T.D.2997 - 3012mの点群データ

キーワード：3D レーザースキャナ、き裂、トンネル

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学工学院工学研究科 Tel: 06-6879-7346

をスケッチし、それを参考にすることで誤判読を防いだ。

図2に、作業の結果得られたき裂線の3次元データを示す。このデータと、現場の作業員によって描かれた壁面のスケッチとを比較するための評価指標として、き裂の長さを用いる。これを用いると、計測区間内において、スキャナによって得られたデータから抽出したき裂の総距離と、スケッチのき裂の総距離を比較し、その値が大きい方が実際に目視で確認できるき裂をよりよく抽出しているということが言える。計算の結果、スキャナのデータから作成したき裂の総距離は155.43m、スケッチ上に描かれたき裂の総距離は171.60mであった。これより、スキャナを用いて壁面のき裂を計測したときは、現場で必要とされる水準の9割程度のき裂が取得できることがわかった。

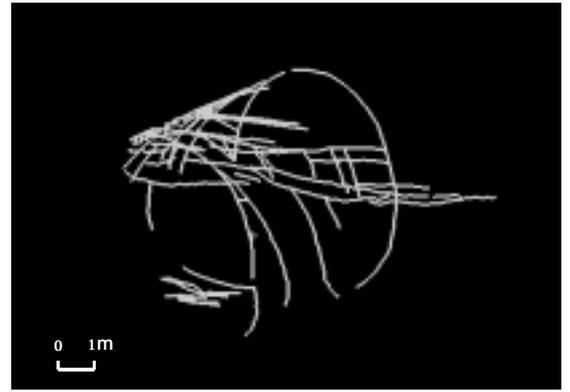


図2 点群データから抽出したき裂 (図1に対応)

5. き裂頻度の算出

き裂頻度とは一般に、坑壁展開図に任意にひかれた測線の長さLと、測線とき裂の交点の数Nで表される指標である。き裂頻度を  $\lambda$  とすると、 $\lambda = N/L$  で表され、この値が大きいほどき裂が多く存在し、岩盤は不安定な状態にある。しかしこの算出方法は、測線の位置によって値が変わるため、正確性を欠くという問題があった。図3にその概念図を示す。そこで、3D レーザースキャナで計測したき裂は3次元で表されるという特性を用いて、き裂頻度を3次元的な要素をもつ値として定義することを考えた。いま、き裂頻度の意味を考えたとき、それは対象とする区間にき裂がどれだけ含まれるかということである。すなわち、ある区間において、坑内中の不連続面の面積をその区間の体積で除した値は、既存のき裂頻度よりも正確な値であることが期待できる。図4にこの概念図を示す。スキャナの計測結果からき裂の走向傾斜が求められるため、そこから不連続面の位置情報が判断できる。本研究においては、き裂の構成する不連続面は、岩盤表面に現れるき裂線と、そのき裂線の端点を結ぶ直線で囲まれた領域で定義する。

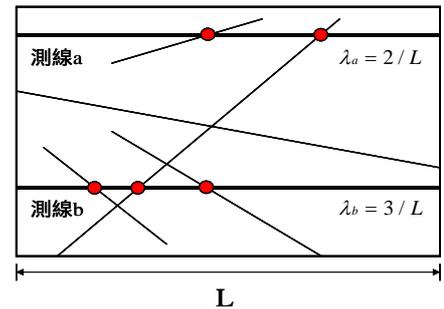


図3 測線の違いによる頻度の差異

計測区間を進度1mずつ15分割し、各々のブロック毎のき裂頻度を上述の方法により算出した。図5にその結果を示す。

6. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 3D レーザースキャナで壁面のき裂を抽出した。その結果、現場のスケッチに対し約9割のき裂を抽出できていた。
- 2) 3次元の要素をもつき裂頻度を定義し、実際に計測結果からその値を算出した。

[参考文献]

- 1) 京都府：京都府レッドデータブック 下巻 地形・地質自然生態系編，pp. 116-130,2002

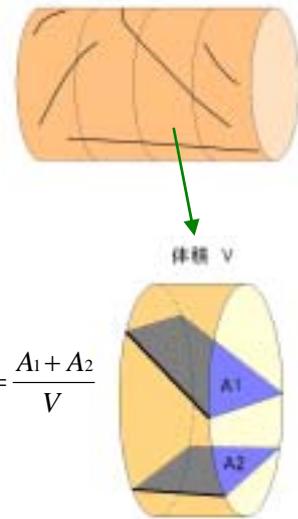


図4 3次元のき裂頻度の算出方法

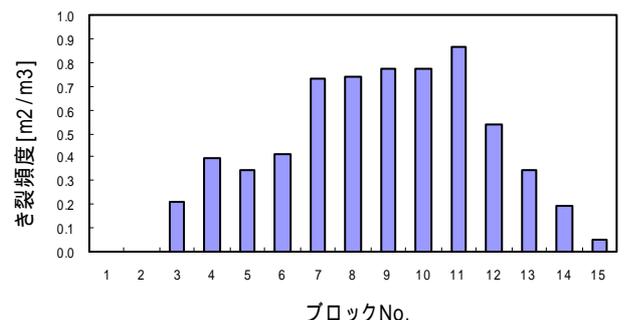


図5 各ブロックのき裂頻度