

## 3次元点群データを用いた坑道壁面における不連続面の自動推定に関する研究

著者	松川 瞬
学位名	博士（工学）
学位の種類	課程博士
報告番号	甲第416号
研究科・専攻	工学専攻・先端環境創生工学コース
学位授与年月日	2018-03-23
URL	<a href="http://doi.org/10.15118/00009637">http://doi.org/10.15118/00009637</a>

氏 名 松川 瞬

学 位 論 文 題 目 3次元点群データを用いた坑道壁面における不連続面の自動推定に関する研究

論 文 審 査 委 員 主査 教 授 板倉 賢一  
教 授 永野 宏治  
教 授 鈴木 幸司

## 論文内容の要旨

高レベル放射線廃棄物の処分場設計においては、周辺岩盤の力学的安定性や水理特性等を、モデルを通じて評価する。対象岩盤が亀裂性の特徴を有する場合、モデル化のために岩盤中の不連続面の物理的特性を取得する必要がある。不連続面は地質専門家による目視での地質観察に基づいて取得されるが、その際の省力化と平準化が求められている。そのために注目を集めているのが、3D レーザースキャナを用いて得られる点群データである。しかし、不連続面の取得に際し手動での操作が多く、自動的な点群処理を行っている例は少ない。そのため、現状のままでは、高レベル放射線廃棄物のような大規模な地下施設の岩盤評価に活用できない。

そこで本研究では、点群データから不連続面を自動で抽出する処理について検討し、点群から自動で面を推定する可変格子分割アルゴリズム (Variable-Box Segmentation : VBS) を開発した。また、推定した面について不連続面を判別する処理についても検討し、表面粗さに関する従来のハンドクラフトな特徴量とディープラーニングにより自動抽出した特徴量の2つに関して Support Vector Machine (SVM) による判別を試みた。

具体的な研究内容は、VBS アルゴリズムの開発については、アルゴリズムを「大格子分割」「小格子分割」「結合」の3つのプロセスから構成し、場所により適切なサイズの格子をボトムアップ的に定め、適切な面を推定した。実験では、実際の点群データから VBS により坑道壁面の表面形状を推定し、従来处理のアルゴリズムと比べ、VBS の判別精度や自動化への寄与について検討した。

不連続面の判別処理については、ハンドクラフトな特徴量として、4つの表面粗さ(フラクタル次元・算術平均粗さ・最大高さ粗さ・Roughness-length)を用いて、SVM による判別を試み、適合率・再現率・F 値を確認した。自動抽出した特徴量については、点群データをレンジ画像データに変換し、Convolutional Neural Network (CNN) の一種である AlexNet から特徴量抽出を試み、ハンドクラフトな特徴量と比べ再現率の増加を確認した。

以上の結果から、不連続面・掘削面共に約 6 割の精度で判別できることを確認した。すなわち、地質観察の省力化や平準化に対して、本研究で提案する VBS を用いて点群データから適切な面を自動推定した後、CNN で表面の特徴量を抽出し SVM で不連続面を学習・判別する手法は充分活用できると判断する。従って、点群データを用いた不連続面の自動推定は将来の処分場設計や設置場所の選定等の検討に役立つことができると考える。

## ABSTRACT

The mechanical stabilities and water-flow properties around the rock mass are valid from a model in designing of the high-level radioactive wastes final disposal. For modeling, it is necessary to obtain the properties of the discontinuities in the rock mass. The geologists survey discontinuities from the rock mass manually, then the qualities of the obtained properties are depending on the skill of the geologist. It is therefore necessary to optimize and standardize the surveying method. The three-dimensional point cloud is focused on the optimization and standardization of the surveying, recently. However, all the developed method to obtain discontinuities processes point clouds manually or semi-automatically using some tools. Therefore, we developed the Variable-Box Segmentation algorithm (VBS) to estimate planes from point cloud automatically.

The VBS has three processes: first segmentation, second segmentation and combining. The box suited to the surface shape are obtained through these processes, and after that suitable planes are estimated. The estimated planes are compared with planes estimated using DiAna, the semi-automatic method. The result of comparison shows that the VBS planes are more similar to planes estimated manually than the DiAna planes.

Next, we tried to discriminate the estimated planes between discontinuity and excavated plane using four hand-craft surface features, fractal dimension, arithmetic average roughness, maximum height roughness and roughness length, through the Support Vector Machine (SVM). However, the precisions, recalls and F values are not appropriate to practical application. We therefore obtained features automatically using AlexNet, a Convolutional Neural Network. The recalls are higher than the recalls of the hand-craft features.

In the future, the three-dimensional point clouds are obtained from the rock mass and the discontinuities are obtained automatically using the VBS algorithm developed in this research. The surveying of the rock mass will be optimized and standardize by VBS and it will support the construction of the high-level radioactive wastes repository.

## 論文審査結果の要旨

近年、岩盤掘削後の岩盤形状計測に、3次元レーザースキャナが活用されつつある。取得された点群データの利用は、掘削体積の推定や岩盤の力学・水理モデルの構築、仮想採掘現場の構築等、多岐にわたる。中でも、高レベル放射線廃棄物の処分場建設の場合には、岩盤表面に現れる不連続面の分布を用いて岩盤モデルを構築し、坑道の力学的安定性や水理場を評価する。しかし、坑道掘削長が200km以上にも及ぶと想定されることから、地質専門家の目視観察による不連続面抽出では時間と労力を要するだけでなく、結果に個人差が生じる。そのため3次元レーザースキャナを導入し、その点群データから岩盤表面の不連続面の自動抽出が期待されている。これにより、経済的で客観的かつ安全に、岩盤モデル化のための情報が得られる。本論文の第1章では、こうした研究背景や研究目的等について述べている。

第2章では、本研究で使用したレーザースキャナの詳細と、地質観察に適用した先行研究を総括している。特に、点群データから面構造を推定するこれまでの手法のうち、DiAnaアルゴリズムに注目し、その問題点について言及している。

第3章では、本研究で新たに開発した、面構造の自動推定アルゴリズムであるVariable-Box Segmentation（以下：VBS）法について述べている。また、VBS法の従来手法に対する優位性を、実際の坑道で取得した点群データを用いて証明している。

次に第4章では、VBS法で推定した面から、不連続面を判別する手法について検討している。ハンドクラフト特徴量として4種の表面粗さパラメータを求め、Support Vector Machine（以下：SVM）による判別を試みている。結果として、特徴ベクトルの次元の追加が必要であることを明らかにした。

第5章では、Convolutional Neural Network（以下：CNN）を用いた自動的な特徴抽出について検討している。実際に得られた点群データをレンジ画像データに変換し、CNNの一種であるAlexNetの学習済みネットワークに入力して特徴を抽出した後、SVMを用いて不連続面の判別を試みている。その結果、不連続面と掘削面をそれぞれ約60%の精度で識別できることを確認している。

第6章は、以上の総括と今後の課題で、不連続面の識別精度の向上について言及している。

以上のように、本研究で得られた成果は、資源開発工学や岩盤工学のみならず情報工学分野などの発展に寄与するところが大きく、よって、本論文は博士論文に値すると判断された。