

地層処分事業における3次元レーザスキャナを用いた坑道壁面の効率的な地質観察に関する研究

その他（別言語等）のタイトル	Efficient Shaft and Gallery Wall Mapping using Three-Dimensional Laser Scanning for Geological Disposal Program
著者	早野 明
学位名	博士（工学）
学位の種別	課程博士
報告番号	甲第402号
研究科・専攻	工学専攻
学位授与年月日	2017-09-25
URL	http://doi.org/10.15118/00009623

氏 名 早野 明

学位論文題目 地層処分事業における3次元レーザスキャナを用いた坑道壁面の効率的な地質観察に関する研究

論文審査委員 主査 教授 板倉 賢一
教授 木幡 行宏
教授 永野 宏治

論文内容の要旨

地層処分事業の地下施設建設では、坑道掘削直後の露出岩盤を対象にした地質観察（以下、「壁面観察」）を、すべての坑道に渡って実施することが想定されている。しかしながら、壁面観察は、調査員の目視観察を基本とする従来からの手法（以下、「従来手法」）によるため、取得できるデータの量や品質は、調査員のスキルに依存する。そのため、観察作業の省力化やデータ品質の平準化を実現できる効率的な手法が望まれている。その手法の一助として、近年、計測対象物の3次元形状を表す点群を瞬時に取得できる、3次元レーザスキャナ計測（以下、「レーザ計測」）の活用が有望視されている。しかしながら、点群から取得される壁面観察データと従来手法による観察結果を十分に比較した事例が存在しないため、点群から取得可能な情報や情報量について不明な点が多い。従って、レーザ計測を地層処分事業における壁面観察に適用可能かどうか、十分評価できていないのが現状である。

本研究では、地層処分事業における壁面観察の効率化のために、レーザ計測データである点群から壁面観察データを取得する方法を提案すると共に、壁面観察の役割や重要性を示し、最終的にレーザ計測の壁面観察への適用性を評価する。

まず、従来手法による壁面観察とレーザ計測が並行して実施された超深地層研究所計画のデータセットを用いて、点群から壁面観察データを取得する方法の検討と壁面観察データの取得を行った。そのデータと従来手法による観察結果を比較して、点群に基づく壁面データの品質と壁面観察の効率化への寄与について検証した。次に、地層処分事業の母岩選定に係わる水理場に着目した適性評価の方法論を整理し、岩盤の遅延性能評価の試行や地質構造モデル構築の事例から、壁面観察の役割や重要性を明らかにし、レーザ計測の地層処分事業への適用性を確認した。

以上の結果、点群の構成要素であるレーザ光の反射強度を示す画像の解析により、坑道壁面の岩相や変質程度を分類する方法と、坑道壁面形状を表す画像から割れ目分布データを取得する方法を見出した。点群に基づく壁面観察データは従来手法による観察結果を概ね再現しており、特に、変質帯や透水性割れ目を効果的に検出できることがわかった。よって、レーザ計測の適用が、観察作業の省力化と同時に取得データの品質の平準化に寄与することを確認した。さらに、水理場に着目した適性評価の方法論を整理した結果、壁面観察は、地質構造モデルの精緻化のためだけでなく、水理特性評価のためにも有用であることがわかった。すなわち、壁面観察により透水性割れ目を検出できれば、母岩の水理特性

評価に大きな影響を与える割れ目の透水量係数分布の不確実性を低減できる。この観点からも、レーザ計測の有用性を示すことができた。

ABSTRACT

For repository construction related to the Japanese geological disposal program, geological mapping of shafts and gallery walls will be conducted over long distances. However, the quality and amount of geological data acquired using traditional techniques such as visual observations of researchers and simple orientation measurements using a clinometer depend on the researcher experience and skill. Therefore, efficient techniques must achieve high data quality, but with low labor usage. Three-dimensional (3D) laser scanning, which can instantly acquire point clouds representing the 3D shape of an object surface, can resolve these difficulties. However, the quality of geological data obtained from point clouds remains unclear. Consequently, the applicability of 3D laser scanning to geological mapping for the geological disposal program cannot be evaluated. This study was undertaken to raise geological mapping efficiency for the geological disposal program.

First, methods to obtain geological data from point clouds were developed using the geological mapping dataset compiled in parallel with 3D laser scanning of the Mizunami underground research laboratory project. Then geological data were obtained using the developed methods. The geological data from point clouds were compared to geological data obtained using traditional techniques to verify the quality of geological data from point clouds and their contribution to efficient geological mapping. Then, a methodology was constructed for evaluating the suitability of host rock of the underground facility. It was organized considering hydrologic conditions. The importance and role of geological mapping were emphasized based on results of nuclide migration analysis and geological model construction. Finally, this study evaluated the applicability of 3D laser scanning to geological mapping of the geological disposal program.

Two methods to obtain geological data from point clouds were identified from results of this study. One method maps the lithofacies and alteration zone on reflection intensity image analysis. Another method extracts fracture data by interpretation of images showing the wall surface shape. Geological data obtained from the point cloud can reproduce most geological data obtained using traditional techniques. Especially, water-conducting features and the alteration zone can be extracted effectively. Actually, geological mapping is important for updating of geological models and for reducing the uncertainty of the transmissivity distribution, which is a hydraulic parameter. From this viewpoint, the usability of 3D laser scanning is clear.

論文審査結果の要旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、地下岩盤内に 200km 以上にも渡る坑道掘削が想定されており、その際、全坑道壁面観察による岩盤亀裂分布調査が不可欠とされている。これを地質技術者が目視等で観察調査すること（以下、従来手法と呼ぶ）は、経済性、保安および取得データのバラツキや客観性の観点からも非現実的である。本研究では、3次元レーザスキャナの点群データ、反射

強度等を用いて、岩相の特定や主要な亀裂を抽出する手法（以下、レーザ計測と呼ぶ）を開発し、その有用性、有効性を明らかにしている。第1章では、こうした研究背景、レーザ計測を用いた岩盤亀裂分布調査に関する既往の研究と、地層処分へ応用する場合の課題の抽出、研究目的等について述べている。

第2章では、初めに、本研究で主に対象とした日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所（岐阜県瑞浪市）における調査坑道および主立坑の構造と、そこで取得されたレーザ計測と従来手法による岩盤亀裂分布観察結果のデータセットについて述べている。次に、主立坑を対象にして、レーザ反射強度の画像処理による岩石マッピング手法を提案している。この手法により、地質技術者が代表的な箇所のみ観察すれば、未観察箇所についても自動的に地質スケッチを作成でき、観察作業の効率化とスケッチの品質の均一化が期待できる。

第3章では、レーザ計測による点群座標データから坑道壁面に分布する断層や亀裂等を抽出し、その走向、方位等を取得する方法を提案している。提案手法と従来手法によるデータを比較した結果、1 m以上のトレース長を有する250条の亀裂のうち、83.2%が提案手法により抽出され、トレース長の再現率は、抽出できた亀裂の68.7%となった。すなわち、従来手法と遜色ないことを確認している。

第4章では、地層処分事業の適正母岩選定に関わる水理場評価などにおいて、各種物理探査やボーリング調査等から得られる水理データだけでは不十分であり、レーザ計測データが不可欠であることを示している。

第5章では、地層処分事業の坑道掘削に想定される調査プログラムを示し、坑道壁面観察へのレーザ計測の適用性や観察作業の効率化への寄与について述べている。

第6章では、以上の総括と今後の課題、すなわち提案手法の自動化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分野などの発展に寄与するところが大であり、今後、世界中の地層処分場建設現場のみならず、一般の土木トンネル等でも広く活用が期待される。よって、本論文は博士論文に値すると判断された。