

光ファイバセンシング技術（BOTDR方式）による鉱山トンネルモニタリング事例

日本電信電話株式会社 正会員 上原秀幹、同 出口大志
エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社 正会員 藤橋一彦、同 正会員 石倉泰宏

1. はじめに

鉱山トンネルの変状モニタリングは採鉱計画、管理のみならず、作業者の安全確保において重要なテーマとなっている。一方、長大な鉱山トンネル全体の変状を把握するためには、コストが安く、安定性、耐久性、施工性に優れたセンサとモニタリングシステムが求められている。

これに関して、光ファイバセンシング技術は期待される技術の一つであるが、本稿では、過去に例のない、大規模坑内採掘鉱山におけるBOTDR方式を利用したトンネルモニタリング事例を紹介する。

2. BOTDR方式の概要

BOTDR方式は、光ファイバにおいて生成される後方散乱光の一種であるブリルアン散乱光のパワースペクトルを測定分析し、光ファイバの歪みの変化をとらえる技術である。

光ファイバセンシング技術の共通の特徴として、光パルスを信号として利用するため、センサ部に給電が不要であり、電磁ノイズの影響を受けないという利点を有する。さらに、BOTDR方式の特徴として、ファイバに沿って連続的、かつ長距離の計測が可能であるため、トンネルに沿って、変状を連続的にモニタリングすることが可能である。

3. モニタリング現場の概要

今回のモニタリングは、チリ国のCODELCO社と共同により、同社が所有するエルテニエンテ鉱山で実施した。現場は、チリ国のほぼ中央にあるランカグア市の北東47km、標高海拔2,500mに位置する世界最大級の坑内採掘鉱山である。

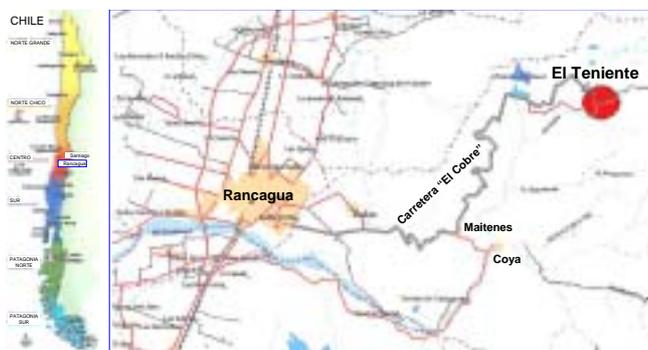


図1 エルテニエンテ鉱山位置図

モニタリングは、鉱山内の換気・保守用トンネルを対象に、トンネル上部における鉱物の採掘の影響による、トンネル全体の変状計測を実施した。

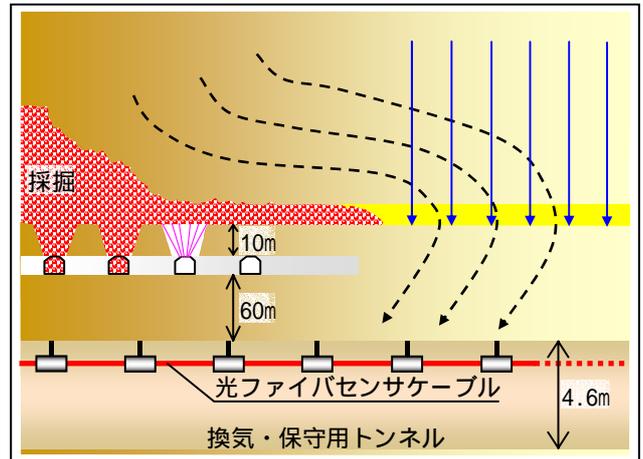


図2 モニタリング現場概略図

4. モニタリングシステムの概要

図3に示すように、モニタリングシステムはトンネル内に設置された光ファイバセンサ、鉱山内オフィスに取り付けられた機器類、およびトンネルとオフィスを結ぶ光ファイバ伝送路で構成される。さらに、ランカグアオフィス、および東京のオフィスにリモートコントロール用のPCを設置、鉱山内オフィスのPCとVPNで接続することにより、監視、データ収集、メンテナンスを遠隔で実施できるシステムとした。

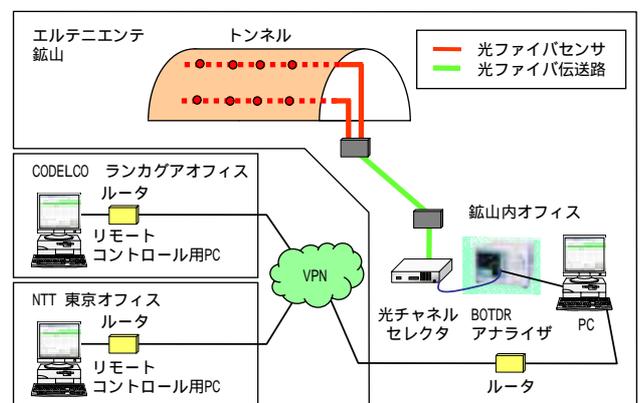


図3 モニタリングシステム概略図

トンネルへの光ファイバセンサの設置については、トンネルの鉛直方向、および水平方向の変形に関するデータを収集

Key Word : 光ファイバセンシング、モニタリング、BOTDR

連絡先 : 〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 Tel.029-868-6240 Fax.029-868-6259

するために、光ファイバセンサを、1側線はトンネル天井部に、1側線はトンネル側壁部に、合計2側線設置した。各センサケーブルは3mの間隔（スパン）で固定されており、天井部、側壁部それぞれ約70スパン、約200mの区間を計測した。モニタリングには通信用トンネル等の監視に用いる特殊な構造を有する光ファイバセンサケーブルを用い、専用の固定具を使って固定した。計測精度を保つためには、センサケーブルはできるだけ直線に配置されることが望ましい。これに対して、鉱山トンネルは壁面の凹凸が激しいため、固定具をトンネル壁面に直に取り付けるのではなく、ボルトを介して、壁面からの離隔を調整しつつセンサケーブルを直線に配置した。

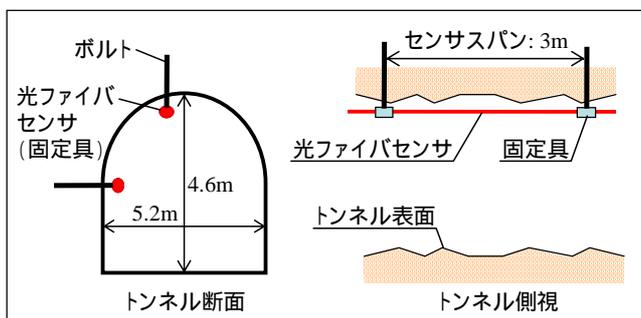


図4 光ファイバセンサケーブルの配置

5. モニタリング結果

図5にモニタリングの計測データを示す。

グラフはトンネルに沿って計測された変位の分布を示しており、グラフの左側の変化は小さいが、中央から右側にかけての変化は著しいことが確認できる。これに関して、採鉱活動はグラフの左側から右側に向かって進行しており、モニタリング終了時点における現地調査において、グラフの変化の著しい、トンネル中央部から左側にかけて、トンネル表面の吹き付けコンクリートにひび割れが生じ、漏水が発生していることが確認された。（図6）このことから、採鉱活動に伴いトンネルには変状が発生しており、計測データはこの変状を表していると考えられる。

また、計測データの時間的変化に着目すると、計測開始の5月から8月においては、変化が緩やかであり、その後9月から10月にかけて変化が大きく発達している。これは、採鉱活動の進捗とよく合致している。実際の採鉱活動においては、5月から8月までは採掘のための空洞および鉱物の運搬路等が建設された、いわゆる採鉱の準備段階にあたり、トンネル周囲の応力変化が比較的小さかったと考えられる。その後、9月以降本格的な鉱物の採掘が行われており、トンネル周囲の応力変化が大きくなったものと考えられる。

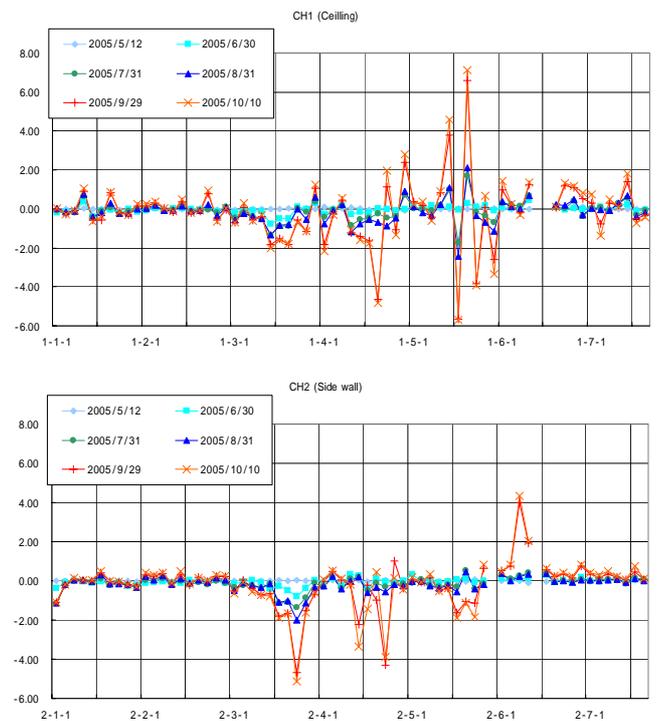


図5 計測データ



図6 モニタリング終了時のトンネル内部の様子

さらに、今回のモニタリングでは、鉱山特有の細粒塵が浮遊する気質環境下におけるアナライザの稼働評価も実施したが、空気清浄機等の対策により、十分対処できることが確認された。

7. 今後の予定

今回の結果により、地下鉱山トンネルモニタリングへのBOTDR方式の適用可能性が確認された。

今後は岩盤の変位量と変位の方向を的確に把握するために、3次元における変形の検出方法について検討する予定である。