

光式 AE 計測システムの光伝送損失に関する考察

大林組	正会員	○畑 浩二
大林組	正会員	丹生屋純夫
日本原子力研究開発機構	正会員	青柳和平
日本原子力研究開発機構	正会員	宮良信勝

1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構と大林組は、幌延深地層研究センターの東立坑深度 370m 地点で光ファイバーセンシングを利用した掘削損傷領域 (Excavation Damaged Zone, 以下 EDZ) の研究を実施している^{例え 1), 2)}。使用しているツールは、3 種類の光式センサ (AE, 間隙水圧, 温度) を一つのプローブに組み入れたマルチ光計測プローブである³⁾。光ファイバーには石英ガラスを使用しているため、電気式センサに比べて絶縁性、腐食性、長寿命に優れるとされている。しかし、モニタリング期間における伝送損失 (経年変化) を公開しているケースはほとんど無い。

本報告では、2014 年からモニタリングに利用している光式センサのうち AE センサ (Optical AE sensor, 以下 O-AE) の伝送損失経時変化を示し、長期モニタリング計測における性能保証の一助とするものである。

2. 幌延深地層研究センターにおける EDZ 評価

幌延深地層研究センターでは、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究開発を実施している⁴⁾。2022 年 2 月時点で、深度 350m の調査坑道、東立坑および換気立坑は深度 380m まで、西立坑は 365m まで掘削が完了している。研究開発項目は多岐にわたり、本 EDZ における各種計測は空洞周辺岩盤の水理・力学的挙動モデルの確立に資するものである。

畑らは、竣工後入坑が困難な地下構造物、例えば高レベル放射性廃棄物地層処分場や液化天然ガス備蓄空洞の健全性を評価するため O-AE を開発し、展開してきた経緯がある^{1), 2), 5)}。その特長は、圧電素子型 AE センサとは異なり、光ファイバー素線を楕円形に積層し光ドップラー効果を利用した新たな岩盤の微小振動計測技術である。レーザー発振器、データ記録部以外のファイバー素線やセンサ本体には通電することが無いため、高湿度や可燃性ガス噴出の環境条件下でも適用可能である。

幌延深地層研究センターで使用した O-AE は、図-1 に示すように 65m のファイバー素線を楕円状に積層し、長軸の一方に振動モード制御用の拘束具を取り付けている。この拘束具を配した面が受波面となる。なお、当該地点は地下水が豊富で、かつ大きな地下水圧が作用すると予測されたことからセンサ本体を SUS 製の金属筐体に封入して用いた。当該地点で設置した O-AE は全 9ch であり、そのセンサ配置レイアウトを図-2 に示



図-1 O-AE とマルチ光計測プローブへの組み込み形態

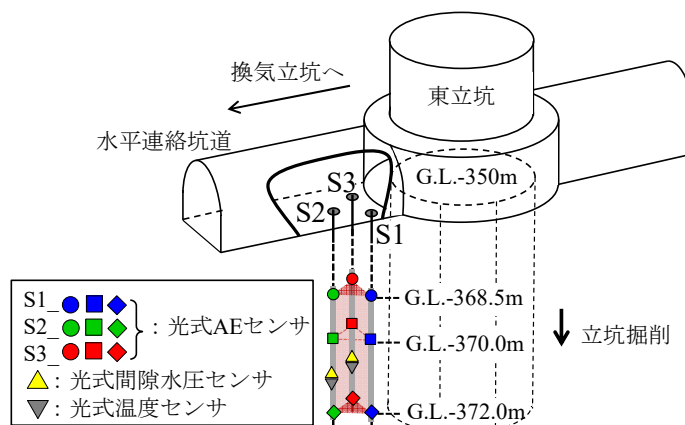


図-2 光式センサの配置レイアウト

キーワード 光式 AE センサ, 長期モニタリング, HLW, EDZ

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林組技術研究所 TEL 080-1038-2174

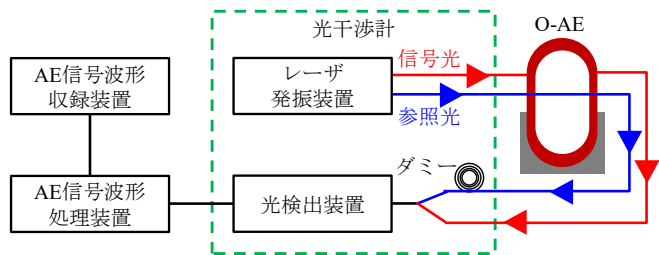


図-3 光式 AE 計測システムのブロックダイアグラム

す。また、計測システムのブロックダイアグラムを図-3に示す。本計測では、レーザ発振装置からレーザ光が信号光経路と参照光経路の2系統に分離発振される。信号光経路にはO-AEを組み込んでいるため、光検出装置に到達する光は周波数変調が生じる。この変調量を測定することで微小振動を算定できる。参照光経路には信号光経路長さと等しくするため、O-AEと同一長さのダミーファイバーを組み込んでいる。

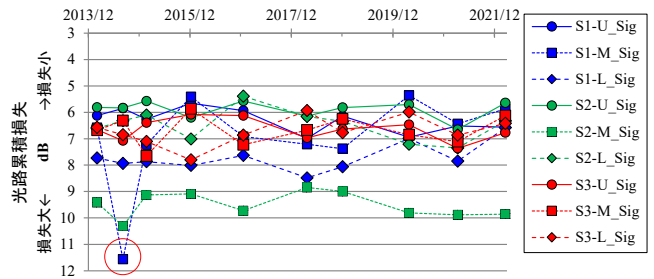


図-4 O-AE の信号光損失経時変化

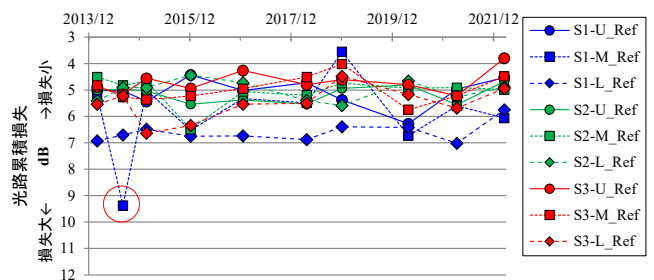


図-5 O-AE の参照光損失経時変化

3. 光伝送損失測定結果

計測全体のシステム状況を把握するため1回/年の頻度で伝送損失を計測した。O-AEの光伝送状況確認には光パワーメータを用いた。図-3に示す光検出装置直前の信号光経路と参照光経路での戻り光量を測定し、全体経路における累積損失量を算定した。得られた測定結果を2014年2月のEDZ計測開始から2022年2月までの期間で整理したものが図-4と図-5である。2014年8月の確認時において、S1孔中段(S1-M)のO-AEにおける信号光と参照光の損失量が突発的に大きくなっていた。製造メーカの管理基準では信号光損失11dB以上、参照光損失7dB以上を注意レベルとみなしている。これは直ちに計測が不能になる基準ではなく、将来干渉機能が低下し計測不能に陥る前兆としている。この結果を受け、光干渉計内での計測ラインを確認し、局所的にねじれによる圧迫が作用したことで損失量が増加したことが判明したため、改修の対策を行った。その結果、管理基準値以下に収まり、現在まで全期間で計測不調を引き起こす光伝送損失の異常値は生じていない。

4. おわりに

長期モニタリングを可能にするO-AEの光伝送損失を経時的に計測している。その結果、損失量は規定値内であり8年間適切に信頼のあるデータが取得できている事が確認できた。今後も継続してEDZの研究を行うとともに、レーザ発振装置や他の光計測センサの稼働状況も併せて監視する予定である。

謝辞

本計測では、株式会社レーザックの藤井宏和氏にご助力いただいた。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 畑 浩二, 丹生屋純夫, 鶴山雅夫, 中岡健一, 深谷正明, 青柳和平, 櫻井彰孝, 棚井憲治: マルチ光計測プローブを用いた立坑周辺岩盤の掘削影響領域の長期モニタリングとその評価 (共同研究), JAEA-Research 2020-010, 2020.
- 2) 畑 浩二, 丹生屋純夫, 青柳和平, 宮良信勝: 幌延深地層研究センターの東立坑における掘削損傷領域の評価, 土木学会論文集F1 (トンネル工学), Vol.77, No.2 (特集号), I_29~I_43, 2021.
- 3) 畑 浩二, 藤井宏和: マルチ光計測プローブの開発, 第69回土木学会年次学術講演会講演概要集 共通セッション, CS9-035, pp.69~70, 2014.
- 4) 中山 雅 他: 幌延深地層研究計画における地下施設での調査研究段階 (第3段階: 必須の課題 2015-2019年度), 日本原子力研究開発機構, JAEA Research, 2019-013, 2020.
- 5) 畑 浩二, 二島 建, 大久保秀一: 光式 AE センサによる波方国家石油ガス備蓄基地での岩盤健全性評価, 第68回土木学会年次学術講演会講演概要集 第VI部門, pp.381~382, 2013.