

大深度高水圧下の岩盤地下空洞への光ファイバ式 AE モニタリングの適用

－倉敷国家石油ガス備蓄基地（貯槽工事その 5）－

鹿島建設(株) 正会員 ○森孝之, 手塚康成, 宮嶋保幸, 村上浩次, 高岸哲哉
(株)レーザック 正会員 藤井宏和, 町島裕一
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金戸辰彦

1. はじめに

倉敷国家石油ガス備蓄基地において、作業時の貯槽周辺岩盤の安定性監視を目的として、光ファイバ式 AE センサによる岩盤モニタリングシステムを適用した。本論文では開発した AE センサと計測システムの概要を示し、作業トンネルの充水に伴う貯槽プラグ部の岩盤の健全性評価の一例について報告する。

2. AE 計測システムの概要

AE(Acoustic Emission)は岩石などの材料内部の応力変化や微小な破壊が生じた際に放出される弾性波であり、大規模岩盤地下空洞の安定性や周辺岩盤のゆるみ領域を評価する手法として適用例がある¹⁾。

当地点では LPG 貯槽の用途から、従来式の AE センサに代わり、防爆性に優れ、長距離伝送性に有利な光ファイバ技術に注目し、光ファイバ式 AE センサが採用された。この AE センサは光ファイバコイルで構成される FOD(Fiber Optical Doppler)センサ²⁾であり、振動によってファイバセンサ部が微小伸縮すると、光路長が時間的に変動し周波数変調を生じるレーザドップラ効果現象を測定原理としている。

適用対象サイトは高水圧条件下であるため、筆者らは新たに防水耐圧性を有する岩盤埋設型のセンサを開発した。図 1～3 にセンサの概要を示すが、センサ管体とケーブル接続部は防水構造かつ耐久性構造とし、さらにセンサの検出感度を改善するために積層コイル巻き構造とした。

適用した AE 計測システムは図 4、表 1 に示すように、「FOD 式 AE センサ」、光信号を電気信号に変換する「光干渉計」、AE 波形データを記録・処理する「AE 計測装置」で構成される。

3. 計測配置

AE センサの配置を図 5 に示す。監視対象箇所としてプラグ部や地質不良部にセンサを埋設した。岩盤内に埋設した各センサからの AE 信号は、貯槽作業トンネル、水封トンネル、給水竪坑に光ケーブルを敷設して地上の管理棟計測室まで伝送される。

計測される AE 信号が岩盤起源の AE であるのか岩盤内で気体の移動に由来する信号であるかを判別するために、ボーリング孔加圧透気試験に伴う AE 計測に基づき図 6 に示す判別基準を目安として設けた。

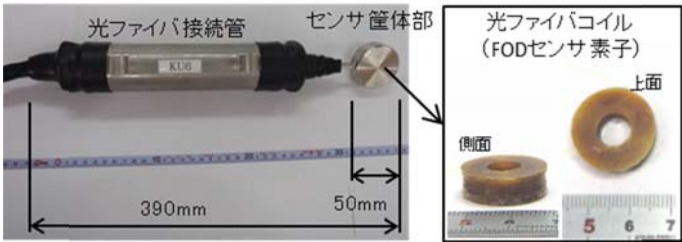


図 1 光ファイバ式 AE センサ(FOD センサ)

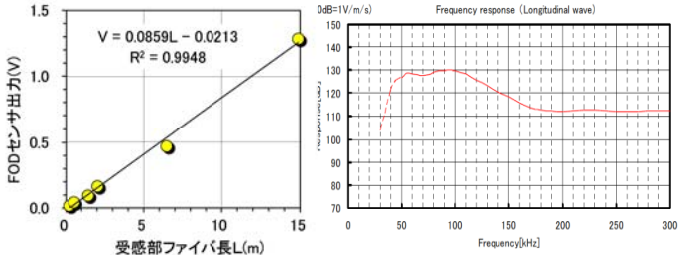


図 2 ファイバ巻長と感度

図 3 AE センサの周波数特性

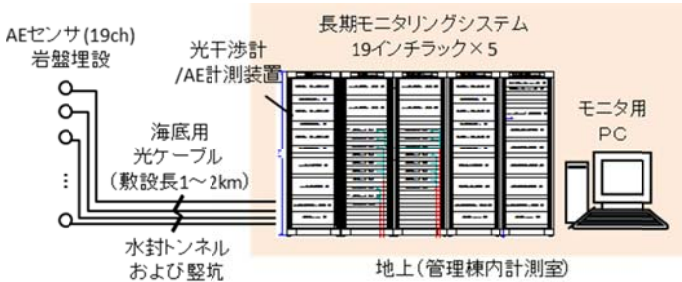


図 4 AE 計測システム

表 1 AE 計測システムの概略仕様

形式	光ファイバ式(FOD)AEセンサ
計測ch数	19 c h
測定周波数帯域	10kHz～200kHz
サンプリングレート	1MHz
波形記録長	2048μsec

キーワード：光ファイバ， AE， センサ， モニタリング， 岩盤， 地下空洞

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) Tel. 042-485-1111

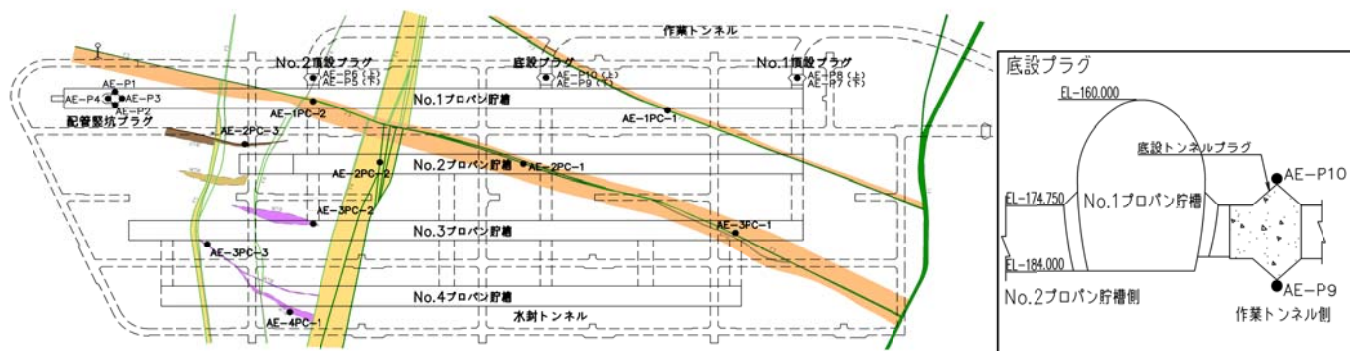


図 5 AE センサ設置位置図

4. 岩盤 AE モニタリングの例

図7に作業トンネルの充水時の AE 計測例として、底設プラグ周辺岩盤に設置されたセンサ(AE-P10)の計測結果を示す。プラグ外部の作業トンネルに充水することでプラグ部には外水圧が作用する。トンネル充水は EL-180m からトンネル坑口レベル EL+4m まで、段階的に一定の昇圧速度で注水し、昇圧と停止を繰り返して実施した。同図によると EL-80m まで水圧を上げた段階で AE イベント数は急増しており、間隙水圧計のデータと合わせて考察すると貯槽周辺の水圧場の再編成によるものと推定された。

その後、トンネル坑口に近い EL-20m まで昇圧させると著しい AE 発生を示したが、トンネル掘削以前の自然水位まで回復したことによるカイザー効果的な AE 発生現象と推察された。また、全般に昇圧すると AE が発生し、停止すると AE の発生が鎮静化することが特徴で、岩盤内部の応力変化に伴う弾性的な AE 挙動の傾向を示している。また、AE パラメータ分析によると、巨視的な破壊の前兆とされる周波数の低下現象や、振幅値の増大および m 値の低下が認められないので、プラグ周辺岩盤は健全な状態にあると評価された。

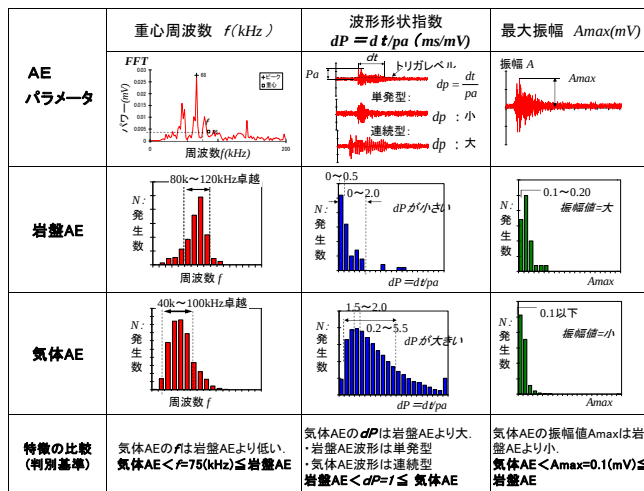


図 6 AE 信号の判別方法

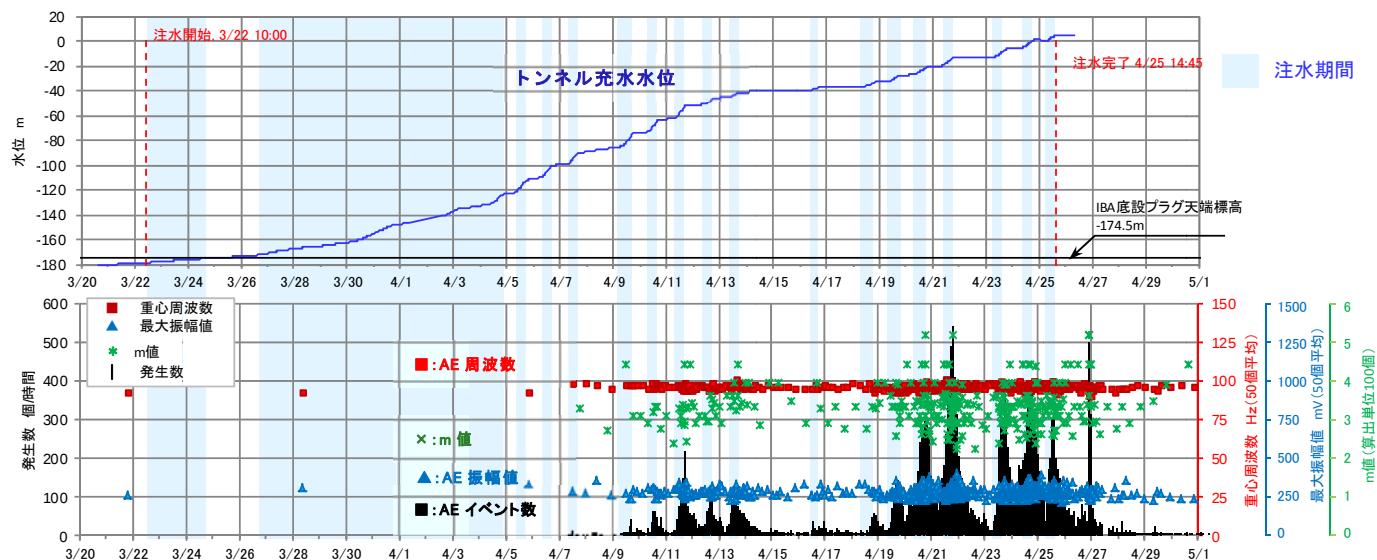


図 7 トンネル充水水位の上昇に伴う底設プラグ部岩盤のAE発生状況

参考文献

- 1) Mori, T., Aoki, K., Maejima, T., Morioka, H., Iwano, K., Tanaka, M., Kanagawa, T.: Application of borehole seismic and AE monitoring technique in the rock cavern, ISRM 10th International Congress, South Africa, pp.845-848, 2003
- 2) Kageyama, K., Murayama, H., Ohsawa, I., Kanai, M., Moteji, T., Nagata, K., Machijima, Y., Matsumura, F.: Development of a new fiber-optic acoustic/vibration sensor, Proc. of International Workshop on Structural Health Monitoring 2003, pp.1150-1157, 2003.