

光ファイバ被覆構造と固定方法が分布分散型計測に及ぼす影響

大林組 正会員 ○ 畑 浩二 , 古賀 和正
レーザック 正会員 藤井 宏和, 海老原 悠馬

1. はじめに

北海道幌延町に位置する幌延深地層研究センターの東立坑深度 370m において、光ファイバセンシングによる掘削損傷領域（Excavation Damaged Zone, 以下 EDZ）のための長期モニタリングを 2014 年から継続している。使用しているセンサは、光ドップラ方式の AE センサ、ファブリ・ペロ方式の間隙水圧センサと温度センサである。これらの技術は、単点計測のため狭領域の監視である。例えば、光 AE センサでの監視領域は当該地点では概ね 5m 程度である。¹⁾

近年、OTDR（Optical Time Domain Reflectometer）技術を応用した分布分散型光ファイバ計測技術（以下、DAS（Distributed Acoustic Sensor））^{2),3)}が注目を集めている。これは領域計測に分類され、上述の単点計測に比べ監視領域を格段に広げられる可能性がある。畑らは、幌延深地層研究センターの EDZ 評価地点で既存の光 AE 計測線を転用した試行実験から、監視領域を 35m 程度に拡張できる結果を得ている。⁴⁾

本報告では、DAS を原位置で本格的に使用するための重要事項である光ファイバ構造や計測対象との固定方法に関して、実験的に調査し影響を評価した。

2. モデル実験

光ファイバは、石英ガラスやフッ化ガラス（非石英系）等からなるコアと光を閉じ込めるクラッドおよび被覆を基本とする同心円状の三重構造となっている。被覆の構造には、クラッドと密着しているタイトバッファと、隙間があるルースバッファの 2 種類がある。DAS のように被覆含みの光ファイバ自体をセンサとする場合、被覆は伝播振動を減衰させるためタイトバッファの方が適すると考えられている。そこで、コンクリート製床盤に 2 種類の被覆構造が異なる光ファイバを敷設し、ハンマリング起震で疑似的振動波を与え感知の違いを検証した。また、コンクリート床盤との固定方法の違いとして、光ファイバを這わせただけの拘束無し、点による部分拘束および全面的な連続拘束で影響を調べた。図-1 に実験レイアウトを示す。ハンマリングは鉄ハンマと木製ハンマの 2 種類を用い、打撃位置 1 と 2 で行った。DAS 計測にはレーザック社製 LZDVS 1500C1 を使用し、サンプリングレートを 1kHz、4kHz の 2 種類、周波数フィルタは無しで連続測定とした。空間分解能は 5.0m である。

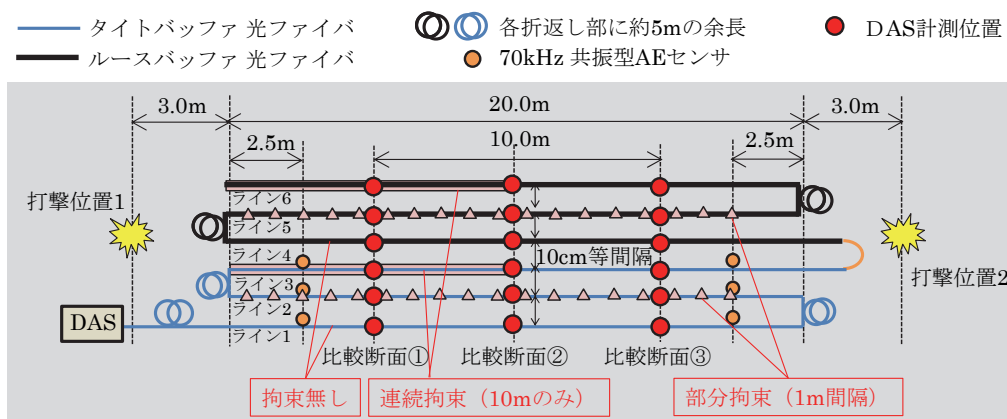


図-1 モデル実験レイアウト

キーワード DAS, 分布分散型光ファイバ, 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

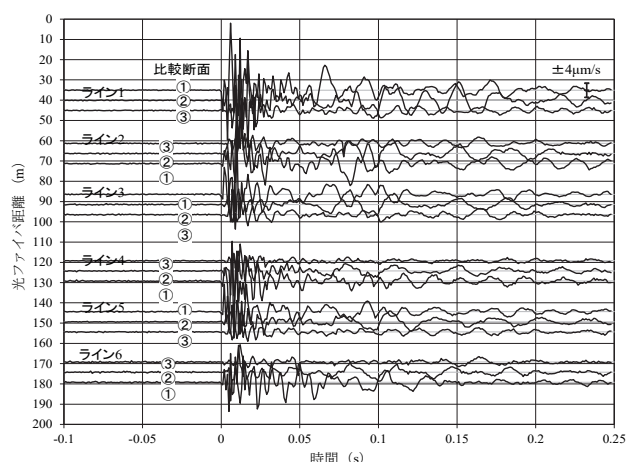


図-2 サンプルングレート 1kHz の受振信号波形

3. 測定結果

使用した DAS 計測システムの空間分解能が 5.0m であることから、図-1 に示す離間 5.0m の比較断面①, ②, ③で感知された受振信号の波形形状適正確認と感度比較を行う。一例として、図-2 に木製ハンマによる打撃で、サンプルングレートを 1kHz にした場合の受振信号波形を示す。ハンマリングによる打撃は 16 回行った。得られた受振信号波形は、AE 計測で通常見られるよう

な突発的で減衰特性を示す形状であり、正常な受振信号を取得できたものと判断できた。図-3 に拘束無し条件でのタイトバッファとルースバッファの受振感度比（最大振幅）を比較した結果を示す。タイトバッファとルースバッファで受振振幅比に大きな違いは無く、実用上は何れの被覆構造を利用しても問題無いことが示唆された。次いで、図-4 にタイトバッファにおける拘束条件の違いに着目した振幅比の測定結果を示す。拘束が無い場合に比べ部分拘束は平均振幅比が低下し、全拘束は上昇した。部分拘束より全拘束の方が DAS 計測上は有効である可能性が示唆された。ただし、本実験で使用した拘束材料は一般家庭用のすきま充填パテである。取扱いを勘案して、軟質で自由に形状を変えられる材料を選定したが、受振信号の伝達においてエネルギー減衰する可能性が考えられる。

4. おわりに

光ファイバの被覆構造と対象物との接触固定条件に着目し、実験的検討を行った。その結果、タイトバッファとルースバッファで受振振幅比に大きな違いは無く実用上はどちらを使用しても DAS 計測は問題ないことが判明した。また、拘束無しに比べて全拘束することで振幅比が上昇することが明らかになった。今後は、原位置での実計測に展開し、光 AE 計測とのハイブリット化で総合的な EDZ 評価を進める予定である。

参考文献

- 1) 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. https://doi.org/10.2208/jscejtc.77.2_I_29
- 2) María R. F-R, Luis C. and Hugo F. M. : Distributed Acoustic Sensing Using Chirped-Pulse Phase-Sensitive OTDR Technology, *Sensors*, 19(20), 4368, 2019, <https://doi.org/10.3390/s19204368>.
- 3) Lu, P., Lalam, N., Badar, M., Chorpeneing B.T, Michael P. Buric, M.P. and Ohodnicki, P. R. : Distributed optical fiber sensing: Review and perspective, *Applied Physics Reviews* 6, 041302, 2019, <https://doi.org/10.1063/1.5113955>.
- 4) 畑 浩二, 丹生屋純夫, 松井裕哉, 宮良信勝: 掘削損傷領域の評価へのDAS利用に関する研究, 第32回トンネル工学研究発表会 トンネル工学報告集, 第32巻, I-2, 2022.

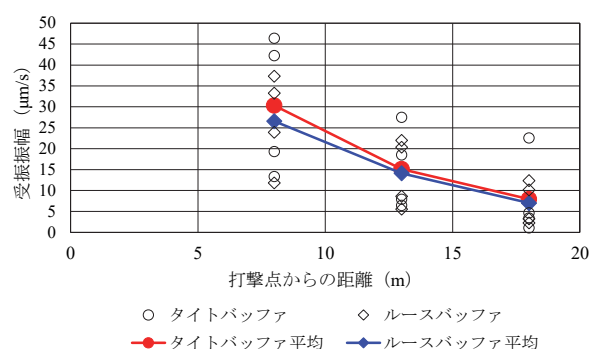


図-3 被覆構造の違いによる受振信号振幅

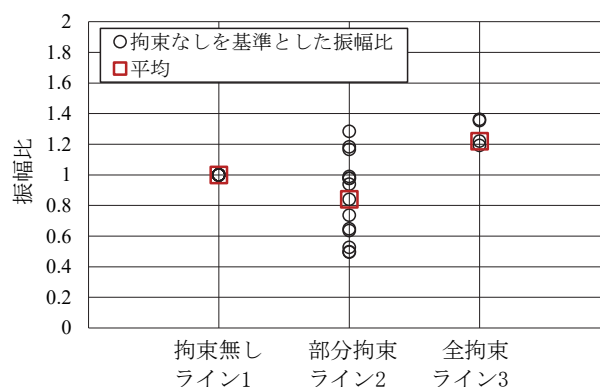


図-4 タイトバッファ拘束条件の違いによる振幅比