

光ファイバによる分布型音響センシング（DAS）の弾性波探査への適用

鹿島建設(株) 正会員 ○栗原啓丞 黒川紗季 小泉悠 宮石雅子 升元一彦
今井道男 川端淳一

1. はじめに

近年、光ファイバケーブル（以下、光ケーブルと表記）を用いた振動計測技術である分布型音響センシング（DAS/Distributed Acoustic Sensing）が注目されており、資源・土木分野での弾性波探査手法への適用例が増えているほか、欧米・中国を中心に多方面に適用されている。そこで、筆者らはこれまで取り組んできた弾性波探査手法への適用可能性を検証するため、速度検層試験により DAS の特性を確認した。

2. DAS(Distributed Acoustic Sensing)について

図-1 に DAS の計測概念を示す。振動が光ファイバに到達すると光ファイバにひずみが生じ、レイリー散乱の振幅（強度）および位相が変化する。DAS とは、この振幅および位相の変化と振動の相関関係を解析することで弾性波を観測することができる技術である。従来、弾性波探査で用いられる速度計などに対して、光ケーブルは安価であること、空間的に高密度かつ連続的な振動データが広範囲に得られることといった特長が挙げられる。DAS と速度計の特徴を比較整理した結果を表-1 に示す。

3. DAS の適用性確認

DAS の弾性波探査手法への適用性を確認するために、CM～CH 級の岩盤に削孔された鉛直孔 L=30m を利用して DAS および速度計を用いた速度検層を行い、それぞれの弾性波の観測結果を比較した。

(1) 試験方法

まず、満水にした孔中に光ケーブルを設置し、孔口近傍の地表面をハンマーで打撃して弾性波を観測した。この時、打撃箇所近傍の光ケーブルで観測した弾性波をトリガー信号に用いた。次に、孔中の光ケーブルと速度計を入れ替えてハンマー打撃を行い、速度計での観測を行った。速度計は計測長が 1 展開あたり 11m で、打撃毎に展開を替えながらデータを観測した。図-2 は試験条件の概要、図-3 は DAS 測定状況である。

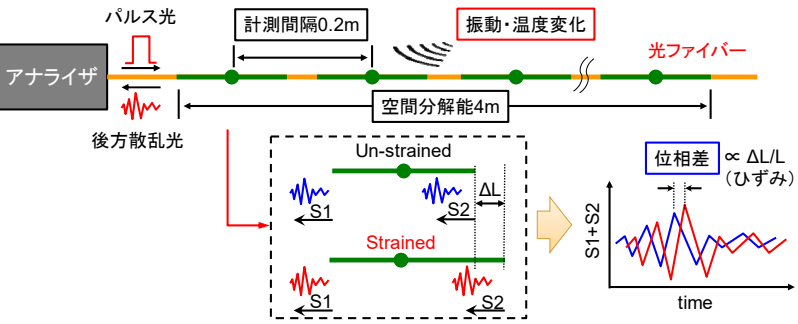


図-1 DAS の計測概念

表-1 DAS と速度計の特徴

	光ファイバ(DAS)	速度計
計測間隔	最小0.2m	最小0.5m程度 ※長大構造物を対象とした調査の場合、一般に2～10m程度
計測長	最長20km	最長100m程度/1展開 ※センサ設置間隔による ※盛替えにより計測長を増加可
コスト	光ファイバ自体は安価 ※埋設残置可能	長くなるに従いコスト大

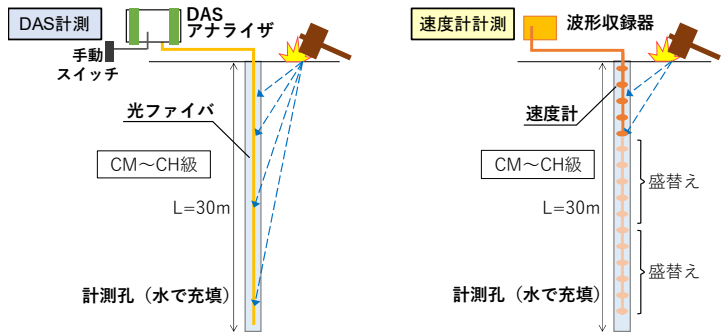


図-2 試験条件の概要



図-3 DAS 測定状況

キーワード：光ファイバケーブル、DAS(Distributed Acoustic Sensing)、弾性波探査

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-489-6669

(2) 試験結果

DAS では 0.2m 間隔（空間分解能 4m）、速度計では 1m 間隔でそれぞれ弾性波を観測した。深度 3m 毎に整理した弾性波の観測波形と初動走時の読み取り結果を図-4 に示す。どちらもスタック数 1 回の観測波形を比較している。それぞれの観測波形に対して、50-800Hz のバンドパスフィルタを施したが、両者の S/N 比に大きな差異は見られなかった。DAS および速度計のどちらの観測波形においても、深度が深くなるにつれて S/N 比が低下する傾向が確認できた。ここで、3m 区間毎に算出した弾性波速度分布を図-5 に示す。得られた結果をみると、DAS と速度計のそれぞれで算出された弾性波速度値は概ね整合していた。原位置における岩級区分は CM~CH 級であることから、得られた 2~4km/s 程度の弾性波速度値自体も妥当であると考えられる。また、図-6 は深度-12m 位置の観測波形におけるフーリエスペクトルを比較したものである。DAS のスペクトル応答では、150Hz~350Hz 付近にピークがあり、速度計の場合には 250Hz~400Hz 付近にピークがある点で概ね類似している。一方で、150Hz 以下の周波数分布が異なる点については、例えば素材がガラスである光ケーブルは動的に剛性が高く低周波数帯が捉えにくいなど、それぞれのセンサの材質や構造、計測原理の差が影響していると考えられるが、今後のさらなる検証が必要である。

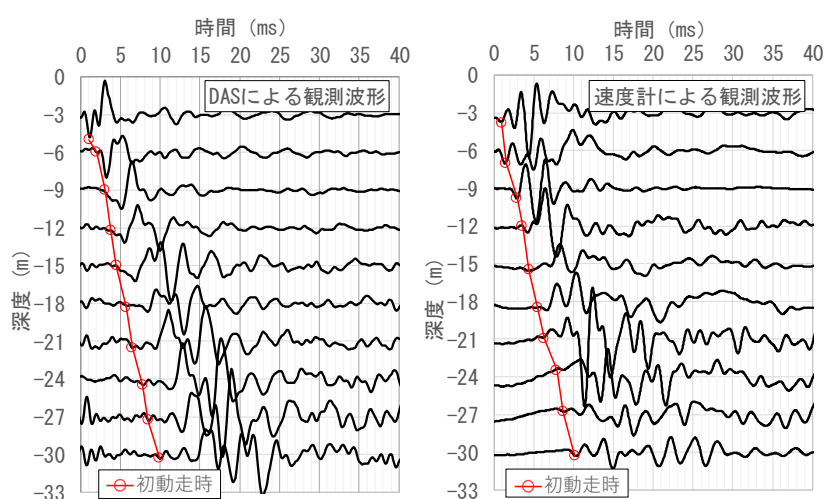


図-4 深度 3m 毎の弾性波の観測波形と初動走時（左：DAS、右：速度計）

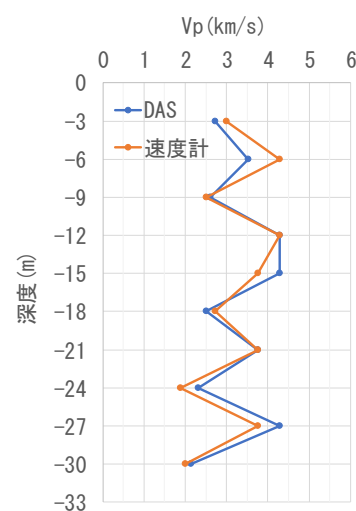


図-5 弾性波速度分布

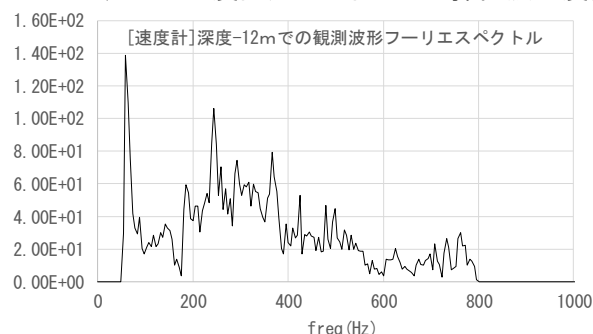
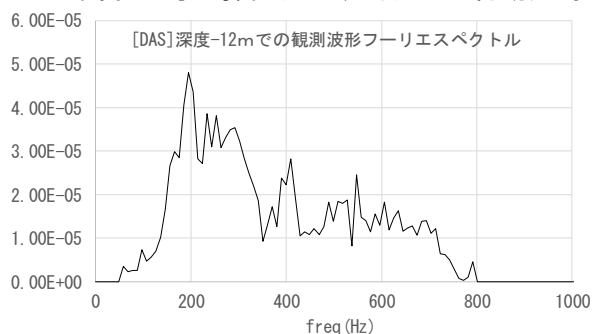


図-6 深度-12m 位置の観測波形フーリエスペクトル（左：DAS、右：速度計）

4. おわりに

今回の試験から、DAS により従来型センサの速度計と同様の弾性波形を観測できることがわかった。空間的に高密度かつ連続的なデータが取得できる利点を考慮すると、弾性波探査手法に対する DAS の適用性は高いといえる。また、セメンチング等により光ケーブルと地盤とを一体化させることなく、水中においても速度計と同様の波形を観測できたことから、検層手法に対する汎用性にも期待できる。今後は反射法やトモグラフィ法、表面波探査等の異なる探査手法や地質条件で適用し、DAS による振動計測技術の可能性を広げるべく検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) Arthur H. Hartog, AN INTRODUCTION TO DISTRIBUTED OPTICAL FIBRE SENSERS, CRC Press, pp339-382