

分散型光ファイバセンシングを活用した活荷重変位応答推定

日本電気株式会社 正会員 ○久村 孝寛
日本電気株式会社 美島 咲子

日本電気株式会社 正会員 Petladwala Murtuza
京都大学 正会員 金 哲佑

1. はじめに

インフラ構造物の老朽化問題や構造物管理技術者の減少問題への対策の一つとして、センサを活用したインフラモニタリング技術が期待されている。変位応答は橋梁の維持管理を効果的に行うためのモニタリング指標の一つとして注目され、各種センサを用いた計測および推定手法が提案されている¹⁾²⁾³⁾。既存手法の多くは測定対象に密着あるいは測定対象の近傍に新たにセンサを取り付ける必要がある。一方、分散型音響センシング (Distributed Acoustic Sensing; DAS) と称される光ファイバを用いたセンシング方式は、光ファイバの端部に接続された計測装置で光ファイバに沿って連続的に振動を計測する。そのため、通信用として敷設されている光ファイバを活用することで、橋梁付近へ新たにセンサを設置することなく、ファイバが設置されている構造物の振動を計測できる。本研究では、橋桁へ簡易的に取り付けられた光ファイバを用いて振動を計測し、その振動計測値から変位応答の推定を試みた。

2. DAS を活用した変位応答推定

DAS は、光ファイバの端部に取り付けられた計測器からコヒーレントなパルス光を一定間隔で入力し、光ファイバの内部で生じた後方散乱光を利用して振動を計測する。光ファイバに振動が加わると光路長が僅かに変化するため、その現象をレイリー散乱光の位相差として計測する。後方散乱光が戻る時間が光ファイバの位置と対応しており、光ファイバ全長のうち任意地点での振動計測が可能である。

DAS の時系列計測信号を用いた変位応答推定の概要を図 1 に示す。橋軸方向の複数の計測地点に対応する DAS の時系列計測信号群に前処理を施した後、変位推定を行う。推定された変位応答に対して後処理を加えたものを、最終結果として出力する。

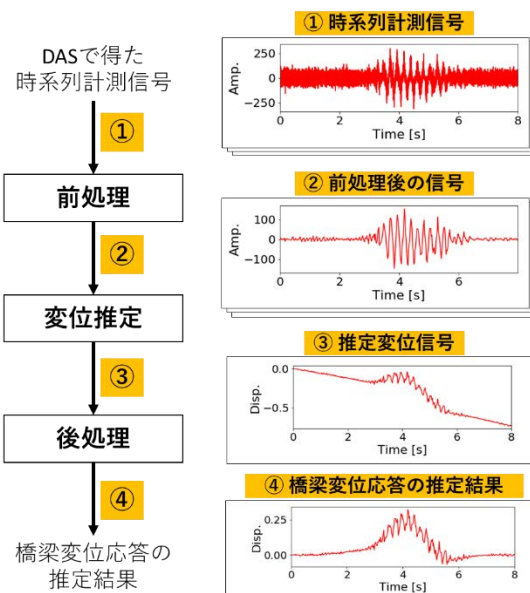


図 1. 変位応答推定の概要

前処理では低域通過フィルタを利用し、DAS で計測した信号に混入する光学系由来の高周波数帯域の雑音を除去する。本研究では 25Hz をカットオフ周波数とする低域通過フィルタを用いる。次に、振動応答から変位を求める手法⁴⁾を前処理後の信号に適用し、橋梁中央の変位を推定する。後処理では、推定信号に含まれる超低周波数の変動バイアス成分を減算処理によって除去する。変動バイアス成分は加振時以外にも混入しているため、橋梁への加振が無い区間の推定信号から変動バイアス成分を推定する。加振が無い区間の信号に対して二乗誤差を最小化する多項式を求め、その多項式で表される値を変動バイアス成分とする。本研究ではバイアス成分の推定に 3 次多項式を用いる。変動バイアス成分を減算した結果を橋梁変位応答の推定結果として出力する。

3. 計測条件

全長約 21m の PC 橋に変位センサ、加速度センサ (ACC)、光ファイバを設置し、車両走行に起因する変

位および振動を計測した。計測地点の模式図を図 2 に、光ファイバケーブルとセンサの設置状況を図 3 に示す。変位センサは橋桁下部、加速度センサは橋桁側面に設置し、鉛直方向の振動を計測した。光ファイバケーブルは橋桁下部に粘着テープで固定した。計測信号のサンプリング周波数は変位センサと加速度センサで 200Hz、DAS で 20kHz に設定し、計測後にダウンサンプリングを施し 50Hz に統一した。

DAS では任意地点の振動計測が可能であるが、本研究では図 2 に示す 3 地点の振動を計測した。総重量約 20t に調整した車両を平均時速約 30km/h の速度で走行させ、橋梁に車両が進入する前から退出した後までを 1 イベントとし、全 9 イベントを計測した。

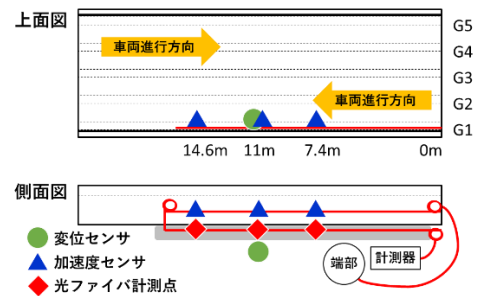


図 2. 計測地点の模式図



図 3. 光ファイバケーブルとセンサの設置状況

4. 類似度評価

加速度センサまたは DAS で得た時系列計測信号から変位応答を推定し、変位センサによる計測値と推定値との相関係数を算出することで波形類似度を求めた。加速度センサ計測信号からの変位応答推定については従来法⁴⁾を利用した。各種センサ間の時刻は同期されていないため、各波形の平均と偏差を用いて振幅値を個別に正規化した後、相互相関が最大になる時間シフト量に基づいて同期させ、波形の相関係数を算出した。

全 9 イベントから算出した相関係数の分布を図 4 に示す。DAS を用いた場合の平均は 0.93、偏差は 0.08 であった一方、加速度センサを用いた場合の平均は 0.97、偏差は 0.04 であった。評価の結果、DAS を活用した変位応答推定により変位センサ計測値と類似する変位応答波形が得られること、加速度センサを使用する場合と比較して僅かに相関係数が低下するもののほぼ同等の結果が得られることを確認した。図 5 に代表イベントの変位応答を示す。計測値と推定値のいずれにおいても、車両の走行位置に応じて変位が時間的に変化する様子が分かる。DAS 推定値では車両入退場に相当する時刻(2.5, 5.5 秒)で計測値との乖離が生じており、この原因として DAS に特有な雑音成分の残留が考えられる。最大値を示す時刻近傍(4.0 秒)では車両の加振に起因する微小な変動をまで良く推定できており、橋梁の活荷重変位が求まる可能性が示された。

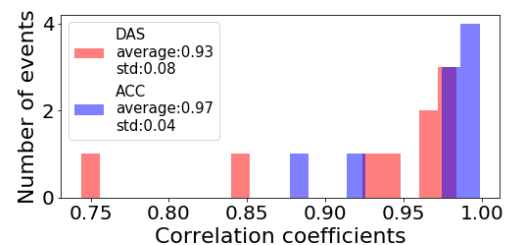


図 4. 相関係数の分布

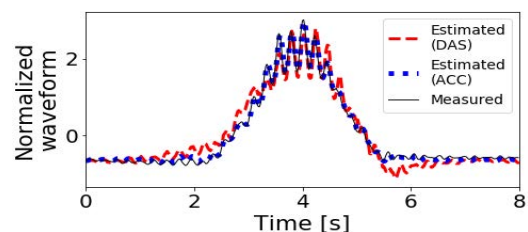


図 5. 代表イベントの変位応答

5. おわりに

本研究において、DAS で得た時系列計測信号から橋梁の活荷重変位応答を推定できる可能性が示された。今後は、既設ファイバを用いた検証に取り組む。

参考文献

- 1) 関谷ら, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 72, No. 1, pp.61-74, 2016.
- 2) 實成ら, 令和 2 年度全国大会第 75 回年次学術講演会, I-343, 2020.
- 3) 近藤ら, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 75, No. 2, (応用力学論文集 Vol. 22), I_51-I_62, 2019.
- 4) 加藤ら, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 76, No. 2, pp.356-375, 2020.