分散型光ファイバセンシングを活用した変位応答推定の検討

日本電気㈱　正会員　○美島 咲子
日本電気㈱　正会員　Petladwala Murtuza
日本電気㈱　正会員　久村 孝寛
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，光ファイバの端部へ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．分散型音響センシング(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 の複数の振動応答信号系列に対して前処理を施した後，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．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対して適用することで，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 3 次多項式を用いてバイアス成分を推定する．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．

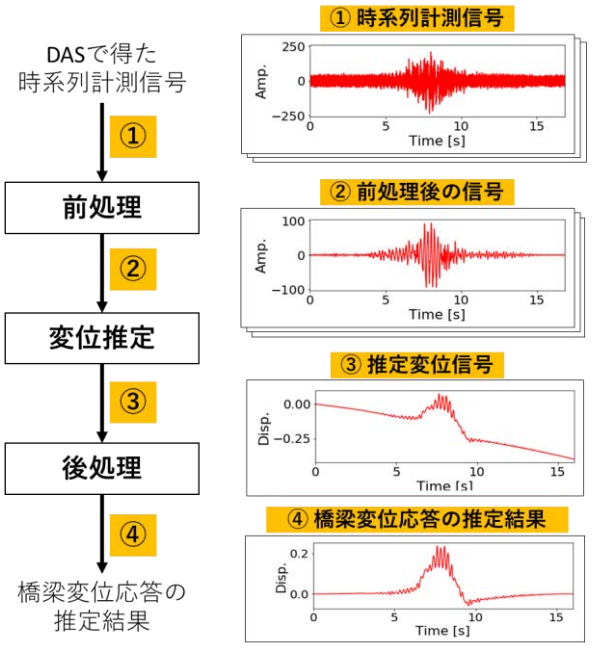

図 1. 変位応答推定の概要

キーワード　変位応答推定，分散型光ファイバセンサ，橋梁モニタリング

連絡先　〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753 日本電気㈱　TEL：044-431-7663　E-mail：s.mishima@nec.com

３．計測条件

全長約 21m のプレストレスコンクリート橋に変位センサおよび光ファイバを設置し，車両の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変位センサの設置状況を図 3 に示す．変位センサは径間中央の橋桁下部に設置し，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．計測時のサンプリング周波数は変位センサ 200Hz，光ファイバセンサ 20,000Hz と設定し，計測後にダウンサンプリング処理を施し 50Hz に統一した．DAS では任意地点の振動の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，変位応答の推定に用いた．総重量約 20t に調整した車両を，平均時速約 30km/h の速度で走行させて橋梁を加振した．車両が橋梁に進入する前から橋梁から退出し終えた後までを 1 イベントとし，全 9 イベントを計測した．

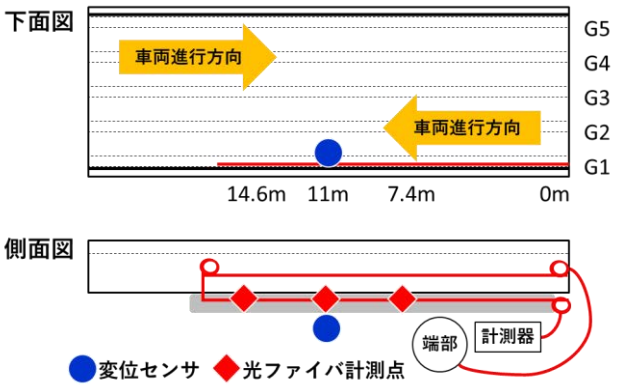

図 2. 計測地点の模式図

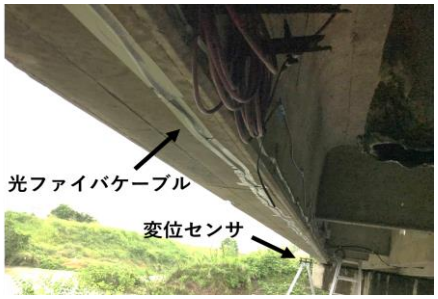

図 3. 光ファイバケーブルと変位センサの設置状況

４．類似度評価

変位センサで計測した計測値と DAS で得た時系列計測信号からの推定値の波形類似度を求めた．変位センサと DAS は計測サンプリング周波数が異なるうえ時刻同期がとられていない．そこで，サンプリング周波数を一致させ，各波形の平均と偏差を用いて振幅値をそれぞれ正規化し，相互相関が最大になる時間シフト量にもとづいて両者の波形を同期させ，両者の波形の相関係数を算出した．

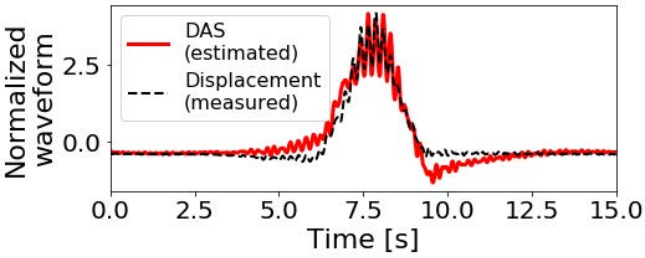

図 4. 変位応答

評価の結果，全 9 イベントから算出した相関係数の平均は 0.937，偏差は 0.087 であった．相関係数の値が大きいうえに偏差が十分小さいことから，DAS を活用した変位応答推定により計測値と類似する変位応答が得られることが示された. 図 4 に代表的なイベントの変位応答を示す. なお, 図 4 に示す変位センサの計測値と DAS を活用した推定値の相関係数は 0.960 である．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を確認できる．車両の加振に起因する微小な変動も捉えられており，動的な応答が推定により求まることが判明した．

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動的な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.