

光ファイバセンサを用いた鉄道高架橋のモニタリング技術の開発

JR 東日本	正会員	鈴木 修
JR 東日本	正会員	○樺 健典
東京大学	正会員	村山 英晶
茨城大学	フェロー	呉 智深
JR 東日本	正会員	鈴木 博人

1. はじめに

鉄道土木構造物の維持管理には多くの人的コストを要している。また、地震発生時には構造物の被害を確認するため、定められた区間全体にわたって点検を実施している。そこで著者らは、将来的に状態監視によって鉄道構造物の健全性評価を行うことを目指し、光ファイバセンサを用いた鉄道構造物のモニタリング技術の開発を進めており、これまで光ファイバセンサのコンクリート製鉄道構造物への適用性を検証するモデル実験¹⁾などを行ってきた。本論文では、鉄道高架橋の状態監視のために試験設置したモニタリングシステムについて述べる。システムにはFBG方式の4種類の光ファイバセンサ、すなわちFBG加速度センサ、FBG π 型センサ、FBG傾斜計、FBGロングゲージセンサが含まれるが、ここではシステムの総合的な目的・機能について説明し、個々のセンサの特徴や計測結果、考察は関連する論文に示すこととする^{2,3,4,5)}。

2. モニタリング技術の現状

橋梁やライフラインなど老朽化が問題になっている社会インフラに対して安全性と経済性への要求が高まるなかで、維持管理のための点検の自動化についての研究・開発が行われている。中でも構造物にセンサを一体化させ、常時状態監視を行うモニタリング手法が注目を集めている⁶⁾。この場合、常時モニタリングを基本とするため、構造物の地震時の挙動や地震後の残留変形などをリアルタイムに検出できる。将来的に鉄道構造物の常時状態監視をセンサに担わせるとすれば、高い信頼性と精度、安定性が求められる。近年、このような要求に応えるものとして光ファイバセンサが注目され、これまでFiber Bragg Grating (FBG)やRaman Optical Time Domain Reflectometry (ROTDR)、Brillouin OTDR (BOTDR)など、従来のセンサでは実現困難な計測ができるセンシング手法が開発されてきた。構造物の常時状態監視用のセンサとして多くの研究・開発例があるが、最近では石油ガス業界における適用で大きな成功を収めている⁷⁾。これらの手法では、光ファイバに光を入射し、反射あるいは進行方向と真逆に散乱して戻ってくる光を観測することで、光ファイバに沿った複数の特定点または任意位置で分布的にひずみや温度を計測できる。つまり光の長距離伝搬ができる光ファイバがセンサあるいは伝送路として機能するため、計測器から計測位置までに数十km離れた遠隔計測も可能となる。また従来のセンサは落雷による電気系の異常・故障が発生し得るため、石英ガラス製でセンサが耐雷性・耐電圧性を持ち、くわえて計測器を遠隔地に隔離・保護できることは、モニタリングシステムの構築の上で優位性がある。また上述したFBGに関しては、ひずみ、温度をそれぞれ $\pm 10 \mu\epsilon$ 、 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以上の精度を保証すること、長期間にわたる安定した計測、絶対ひずみによる経時的な変動の検知が可能である。

3. 光ファイバセンサを用いた鉄道高架橋のモニタリング手法

コンクリート製ラーメン高架橋を対象として、上述した光ファイバセンサの計測値から評価可能な構造状態をモニタリングする手法について検討した。対象とする高架橋およびセンサの取付け位置などを図-1に示す。図に示すように3スパンの高架橋の柱および梁にセンサを設置した。FBG加速度センサの計測データから卓越振動数、最大

キーワード 鉄道構造物, 光ファイバセンサ, モニタリング,

連絡先 〒331-8531 埼玉県さいたま市北区日進町2-479 JR東日本研究開発センター防災研究所 TEL 048-651-2693

加速度といった構造状態（状態量）をモニタリングする²⁾。また FBG π 型センサと FBG 傾斜計を用いて、部材間の継ぎ目位置での目違いやずれ、柱の残留変形角を状態量としてそれぞれモニタリングする³⁾。梁部と柱部に連続的に固定されている FBG ロングゲージセンサでは、各部材のひずみ分布、あるいは各ひずみ値同士の相関などをモニタリングする状態量とした⁴⁾。これらのセンサの仕様および取付け位置は構造解析をもとに決定した⁵⁾。システムは平成 24 年 8 月に設置し、常時モニタリングおよび専用通信回線によるデータの取得を行っている。これまで知見が少なかった列車走行時あるいは地震発生時の高架橋の力学的応答が明らかになってきた。監視している状態量が異常値を示した場合、状態量と関連する損傷や変形が生じたと判断することができると考える。

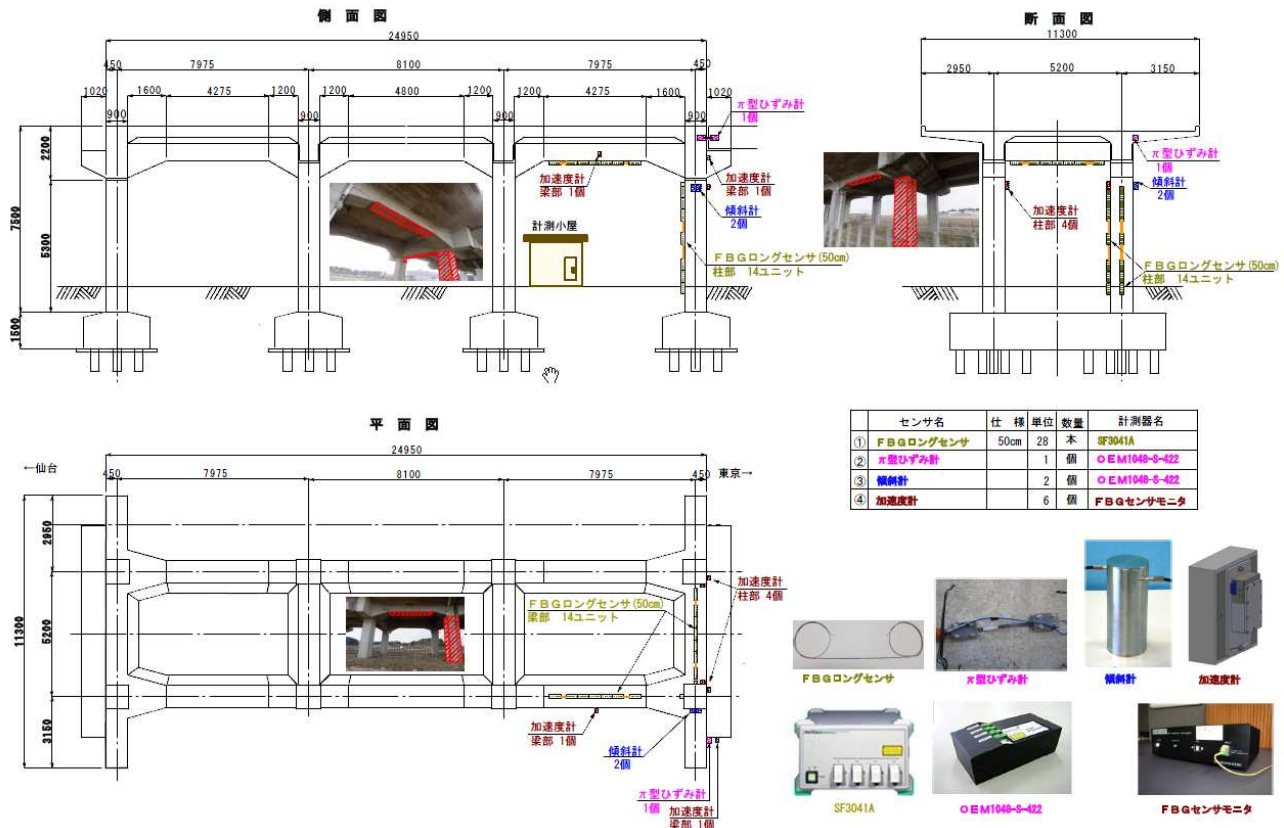


図-1 モニタリング対象の鉄道高架橋と光ファイバセンサの取付け位置

4. まとめ

光ファイバセンサによって鉄道高架橋の構造状態を常時モニタリングする手法を検討し、試験設置した。列車走行時および地震発生時の高架橋の応答が精度良く、また長期間安定して観測されている。鉄道構造物の健全性評価へとつなげるためには、これらの観測データを総合的に分析することが必要と考えている。

謝辞

本研究の実行計画を策定するに当たり、特定非営利活動法人光防災センシング振興協会の協力を頂きました。また仙建工業株式会社には現地施工において協力を得ました。

参考文献

- 1) 鈴木修, 光ファイバセンサを使用した地震損傷モニタリングの研究, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 50, No. 3, pp. 51-53, 2012.
- 2) 生井貴宏他, 鉄道高架橋の振動特性変化に着目したモニタリング手法の開発, 平成 25 年度土木学会全国大会, 2013.
- 3) 田村琢之他, 鉄道高架橋の柱の変形と継ぎ目変位に着目したモニタリング手法の開発, 平成 25 年度土木学会全国大会, 2013.
- 4) 高岡満他, 鉄道高架橋の動的挙動に着目したモニタリング手法の開発, 平成 25 年度土木学会全国大会, 2013.
- 5) 楊克儉, 鉄道高架橋のモニタリング手法開発における解析的評価, 平成 25 年度土木学会全国大会, 2013.
- 6) 村山英晶他, ヘルスモニタリング, 強化プラスチック, Vol. 55, No. 4, pp. 136-141, 2009.
- 7) 村山英晶, 光センシングによる防災情報システムの展望, 応用物理, Vol. 82, No. 3, pp. 234-238, 2013.