

FBG センサを用いた屋外環境下における ひずみ・温度の遠隔モニタリング

1. はじめに

日本における橋梁の数は約73万橋である。このうち、建設後50年を経過した橋梁の割合は、2026年には44%まで増加し、老朽化が問題となっている⁽¹⁾⁽²⁾。

しかしながら地方自治体などでは、人手や予算などの理由から、保全措置が望ましいとされる構造物すべてには実施されていない⁽³⁾。そのため次の定期点検までの間、老朽化の進展を把握し、さらに同じ区分内でも優先順位をつけて、効率的に修繕措置を実施することが求められている。

目視点検のような従来の方法では、点検時に足場の設置や検査員を要し、費用がかかり、点検回数も限定的となる。一方センサなどを設置し、常にその状態をモニタリングすれば、優先的に保全措置が必要となる構造物を選定できる。またそれにより、山奥などの遠隔地や、計測のために足場が必要となる場所の点検回数を減らすことで、移動時間やコストなどの削減が可能となる。

本稿では、構造物の状態の変化を客観的かつ継続的に把握する測定技術として、ひずみや温度計測に着目し、モニタリングシステムを開発したので紹介する。

2. システムの検討

長期モニタリングを可能とするために、センサデバイス用のソフト面と計測器やPCなどのハード面について検討した。

本システムでは、センサ自体の環境劣化が少ない光ファイバFBG（Fiber Bragg Grating）を利用した。

FBG センサは、コア内部に屈折率の異なる層を作りこみ、反射鏡のような役割をする複数の回折格子からなるブラッグ格子を形成する。広帯域の光源から光がファイバに入射すると、ブラッグ波長と呼ばれる特定の波長の光だけが反射し、他の波長の光は透過する⁽⁴⁾。図1にFBG センサの構造図を示す。FBG 受感部に軸方向の外力や温度が加わるとファイバは伸縮し、回折格子の間隔も変化するため、反射するブラッグ波長も変化する。図2、および図3には、FBG センサに加えるひずみと温度を、それぞれ変化させた時のブラッグ波長の変化を示す。これらの線形性の特性を活かし、ブラッグ波長の変化から、ひずみや温度変化が計測できる。なお、使用環境は屋外で、 $-10 \sim 80^{\circ}\text{C}$ の温度範囲での使用を想定している。

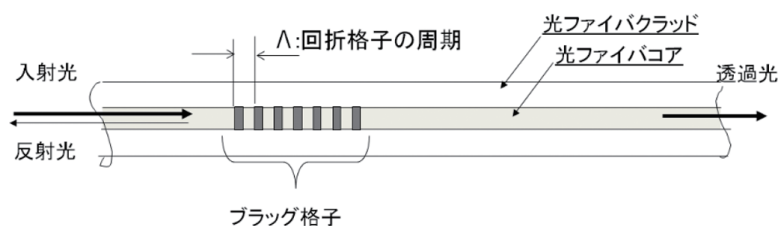


図1 FBG センサの構造図

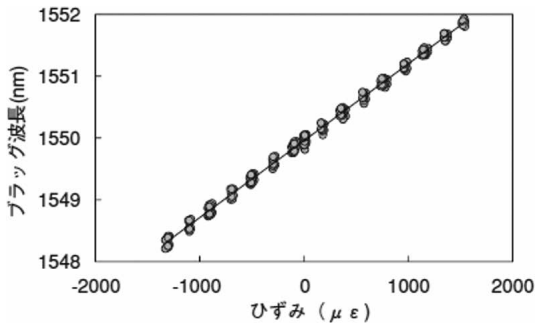


図2 ひずみに対するブラッグ波長変化

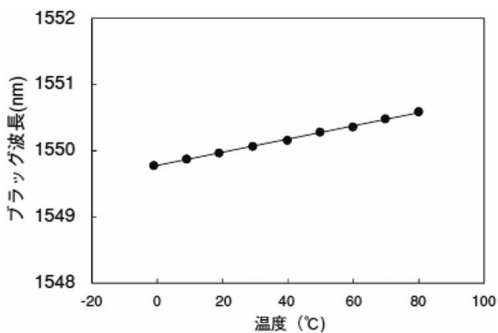


図3 温度に対するブラッグ波長変化

ハード面においては、計測器やPCなどの駆動に必要な電源、および計測データの確認方法について検討する必要がある。本システムでは、太陽光パネルとバッテリーにより機器類を駆動させ、携帯電話網を用いた無線通信により、遠隔地から計測データの確認を可能とした。

3. 開発した長期モニタリングシステム

本システムは図4のように、制御装置(500×400×200mm)、バッテリーボックス(400×300×200mm)、および太陽光パネル(530×530×20mm)から構成されている。図5に制御装置内部を示す。粉塵や浸水を防ぐ構造(IP65)となっているため、屋外での使用が可能であり、また、ボックス内はすべての部品が固定されているため、壁に掛けて使用することもできる。なお、太陽光パネルだけでなく、AC100V電源での使用にも対応している。

無線通信については、計測データをリアルタイムで受信するため、通信機器にはSIM内蔵型Virtual Private Networkルーターを使用して、仮想プライベートネットワークを構築した。図6にFBGセンサによる長期モニタリングシステムの構成を示す。これにより、遠隔地からFBGセンサによる対象構造物のひずみをリアルタイムに計測し、このシステムで遠隔地の構造物の計測したデータは、インターネット経由で受信できる。これにより、遠隔地の構造物のデータ保存やPC画面で状態監視が可能となる。

このとき本システムの計測周期は1時間に1回程度を想定している。また、計測時間になるとす

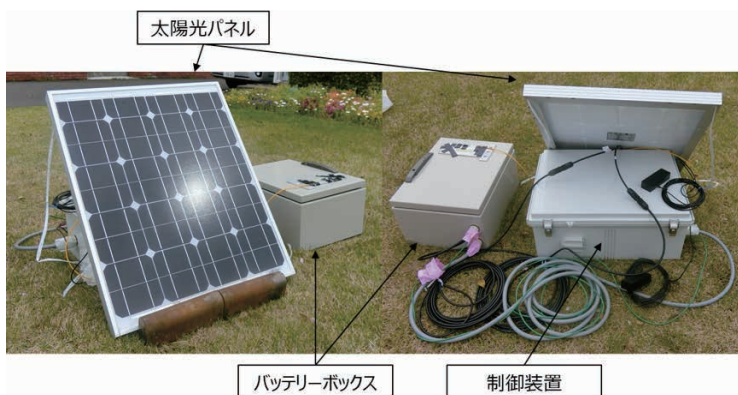


図4 開発した長期モニタリングシステム (左:正面、右:背面)

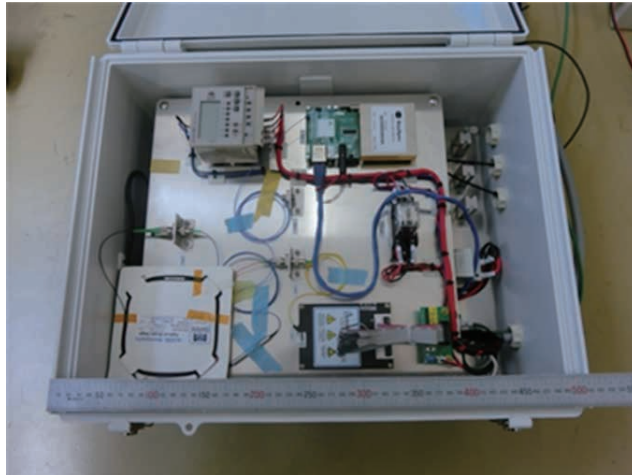


図5 制御装置内部

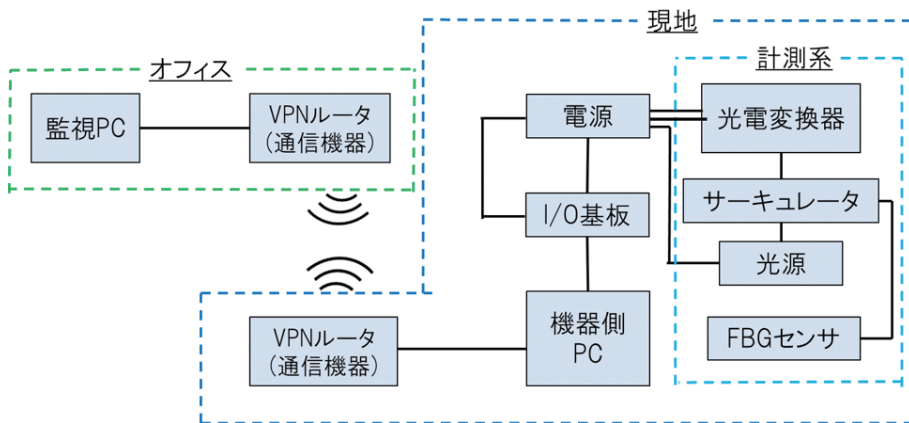


図6 FBG センサによる長期モニタリングシステムの構成図

すべての機器が駆動し、計測後は次回の計測時間までシャットダウンできる省エネ装置を備えている。なお、計測周期についても遠隔で変更することが可能である。

4. 適用先について

本システムの適用先の例として、橋梁の金属製のピン支承を紹介する⁽⁵⁾。支承は、上部構造の荷重を下部構造(橋台や橋脚)に伝達する役割を担いながら、温度変化による主桁やコンクリート床版の伸縮の吸収をする部材である。図7に計測の一例を示す。支承の各部材にセンサを貼り、それら

の発生ひずみを計測する。支承が正常に機能すれば、移動や回転などの動作をするので、ひずみは発生しない。しかし、可動部分に腐食や摩耗などが発生すると、支承は拘束されるため、ひずみが発生する。このことから、支承の発生ひずみを継続的にモニタリングすることにより、異常を検知することが可能である。

支承のひずみ計測による異常検知の有効性を確認するため、コンクリート床版を持つ橋梁全体に加え、支承部をモデル化し、図8のように有限要素解析を実施した⁽⁶⁾。この解析により、移動や回転を拘束された支承の機能低下状態から、コンク

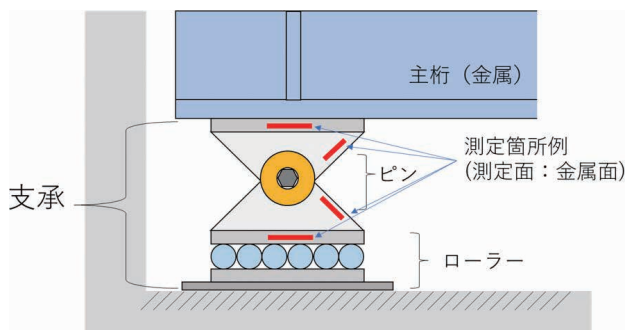


図7 支承の計測例

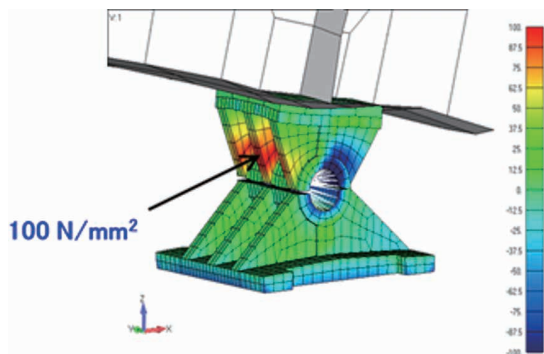


図8 支承の有限要素解析結果例

リート床版、鋼桁が共に 20℃上昇したとき、支承の斜材中央部に大きな応力 (100MPa) が発生することがわかった。このことから、支承の斜材に FBG センサを貼り、ひずみを計測することで、支承の機能低下を検知できる。

5. おわりに

本稿で紹介した FBG センサによる長期モニタリングシステムは、環境劣化の少ない光ファイバデバイスである FBG センサを使用し、電源不要で長期間遠隔モニタリングを継続できることが優位な点である。本モニタリングシステムが今後多くの構造物で適用されることを期待している。

現在、センサ設置時に使用する接着剤の耐久性、および作業性の向上を目指したセンサの開発を他社と共同で実施している。得られたデータから構造物の健全性評価にどうつなげていくかにつ

いても、産学官と連携をして、社会インフラの保全に貢献を図る。

文責

研究開発センター 研究開発グループ
福本 伸太郎
研究開発センター 技師長 西土 隆幸

参考文献

- (1) 道路メンテナンス年報：国土交通省、2017
- (2) 国土交通省ホームページ：インフラメンテナンス情報、各施設の点検結果 (国土交通省管理)、http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_03_01_01.html
- (3) 国土交通省ホームページ：インフラメンテナンス情報、点検の実施状況、https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_02.html
- (4) A. Othonos and K. Kalli：Fiber Bragg Gratings, Artech House Publishers, 1999, pp.98-99
- (5) 公益社団法人土木学会：鋼構造シリーズ 17 道路橋支承部の改善と維持管理技術、2008、pp.36-41
- (6) 西土隆幸、福本伸太郎、今川峻：橋梁支承の機能低下がコンクリート床版に与える影響、IHI 技報、Vol.58、No.2、2018、pp.34-40