

実橋梁における高速光ファイバーセンサーを用いたモニタリング技術活用の検討

沖電気工業（株）	正会員	○岩村 英志
沖電気工業（株）		山口 徳郎
沖電気工業（株）		浅林 一成
沖電気工業（株）		村井 仁
鹿島建設（株）	正会員	今井 道男

1. はじめに

高度経済成長期に整備された橋梁などの社会インフラの老朽化問題が顕在化してきており、適切なモニタリングシステムの構築が急務となっている。一方、センシング技術の発達で IoT (Internet of Things) 市場が急速に拡大するなか、インフラモニタリングは、長距離・広範囲をリアルタイムに計測したビッグデータによって、従来よりも高度かつ適切なタイミングで行えるようになり、保守コストの低減や人材不足の解消につながると期待されている。このようなインフラ向けモニタリング技術の1つとして、光ファイバーセンサーが注目されている。光ファイバーセンサーは、光ファイバー自体を媒体として、光ファイバーに沿った連続的な計測ができる。なかでも、光ファイバー中で発生するブリルアン散乱光は、歪み・温度変化に比例して周波数が変化する性質を有しており、このブリルアン散乱光を計測することで、例えば橋梁床版などの面上での分布的な歪み・温度の変化をモニタリングすることが期待できる。しかしながら、従来のブリルアン散乱光の測定技術（特に BOTDR 方式: Brillouin Optical Time Domain Reflectometry¹⁾）では、測定に分オーダーの時間を要することが一般的であり、BOTDR の適用領域を制限する要因の1つとなっていた。

我々はこのような課題認識に基づいて、高速測定を可能にする自己遅延ヘテロダイン BOTDR 方式の開発を進めている²⁾。本稿では、この高速光ファイバーセンサーを供用中の実橋梁に適用した実証実験の結果と考察を通じて、モニタリング技術への活用可能性について議論する。

2. 高速光ファイバーセンサーを用いたモニタリング

高速光ファイバーセンサーによるモニタリングの構成を図1に示す。光ファイバーセンサー装置から入力された入力光に対して、被測定物上で発生する歪みや温度の変化に応じて変化するブリルアン散乱光を、反射光として受光し高速に解析することで、光ファイバー上の位置とその変化量を計測できる。光ファイバー1 km において空間分解能を1mとした場合の測定時間は1秒以下であり、リアルタイムな測定を実現している。従来のポイントセンサーによるモニタリングとの比較では、センサーを設置した箇所のみでの測定となり、長大なインフラ構造物のうちどこで変状（ひび割れ等）が発生するかは捉えられない。そのため膨大な数のセンサーを設置する必要があり、メンテナンスコストも大きくなる。一方、光ファイバーセンサーでは、光ファイバー1本を配線するだけで良いため、シンプルかつフレキシブルに構築可能であり、大型であればあるほど導入コストを小さくできる。

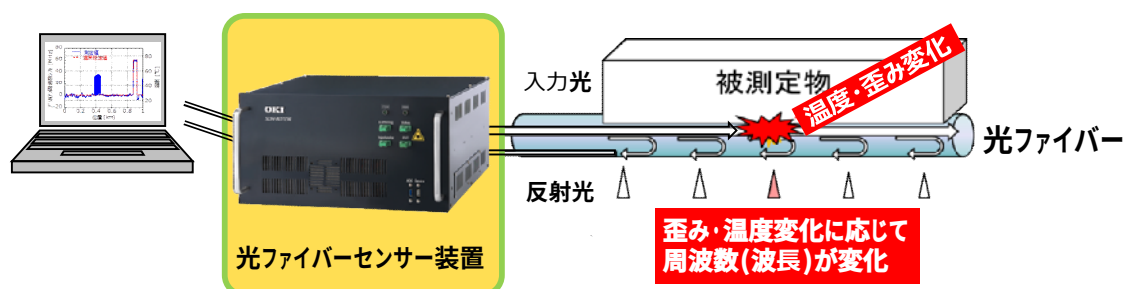
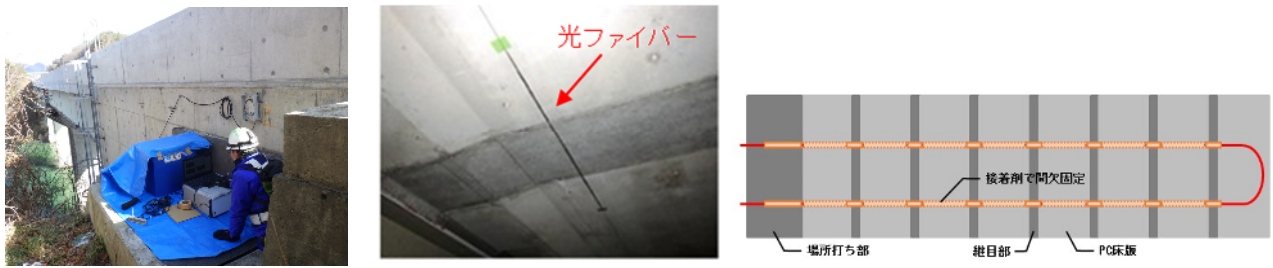


図1 高速光ファイバーセンサーを用いたモニタリング

キーワード BOTDR, ひずみ測定, モニタリング, ブリルアン散乱光, 自己遅延ヘテロダイン
 連絡先 〒335-8510 埼玉県蕨市中央 1-16-8 OKI システムセンター TEL:048-431-5475



(a) 橋台での計測状況 (b) 床版下面への光ファイバー設置状況 (c) 光ファイバー設置模式

図2 計測概要

3. 実橋梁におけるモニタリング結果と考察

図2(a)に示す床版取換後の実橋梁（連続鋼鈑桁橋）にて実際に測定を行った。プレキャスト PC 床版の継目部の変状をモニタリングすることを目的とし、床版下面1スパン分（約46m）へ光ファイバーを図2(b)のように継目部付近に全長接着固定している。敷設したファイバーは外径0.9mm 芯線であり、走行車線における大型車の車輪が載荷される位置と載荷されない位置とに折り返して敷設した（図2(c)）。

図3の左グラフはある時刻における歪みの空間分布を表している。グラフ中央に位置する2つの山は、それぞれ走行車線と追越車線の設置時導入歪みも含む歪み量を示している（測定時間約0.7秒）。特にプレキャスト PC 床版の継目部に歪み変化は確認できず、また詳細は割愛するが、歪み量がより詳細に測定できる BOCDA 方式³⁾による測定結果とも良く一致しており、変状を示唆するようなひずみ変化は発生していないことが確認できた。一方、図3の右グラフは歪み空間分布の変動履歴を表している。歪み量をカラーバーで表しているが、時間的な変動がないことが見て取れる。例えば大型車両通過時に、歪みの量が変動したり、位置が変わったりしたということはない。

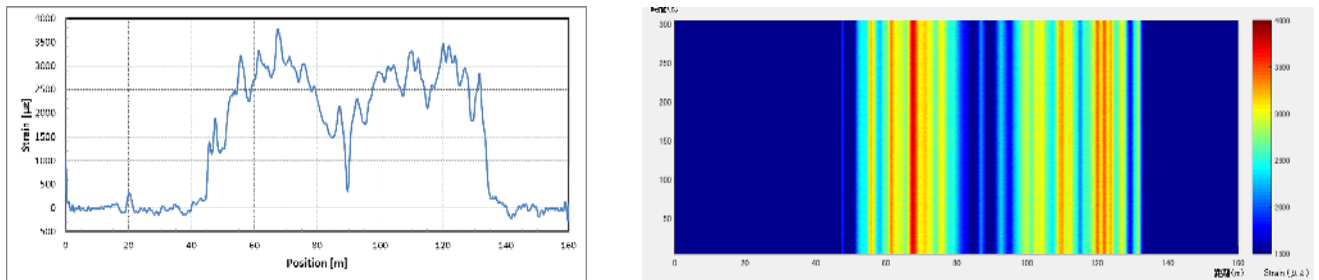


図3 モニタリング結果：歪み空間分布（左）、歪み変動履歴（右）

4. おわりに

本稿では、高速測定を可能にする自己遅延ヘテロダイン BOTDR 方式の光ファイバーセンサーを用いて、供用中の実橋梁の歪みモニタリングを行った。実際には床版取換後の実橋梁にて実施し、活荷重下においてもその結果はほぼリアルタイムによる歪み空間分布を測定でき、変状などによるひずみ変動は発生していないことが確認できた。また歪み変動履歴から、車両通過時の振動について考察した。今後は高速光ファイバーセンサーのさらなる高分解能化などの技術開発を通じて、橋梁などの社会インフラに対するモニタリング技術の活用可能性を検証していきたい。

謝辞

本研究は、モニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）が実施した研究であり、内閣府の「SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果です。

参考文献

- 1) T. Kurashima et al., IEICE Trans. Commun., Vol. E76-B, no. 4, p. 382 (1993).
- 2) K. Koizumi et al., ECOC2015, P.1.07 (2015).
- 3) K. Hotate et al., IEICE Trans. Electr., Vol. 83, no. 3, pp. 405-412 (2000).