

## 光ファイバ技術とIoT技術を併用した長大橋の挙動性状把握に関する一検討

室蘭工業大学大学院	名誉会員	○岸 徳光	北海道開発局	非会員	福原 潤二
室蘭工業大学大学院	正会員	小室 雅人	北海道開発局	非会員	高野 眞司
室蘭工業大学大学院	正会員	瓦井 智貴	北海道開発局	非会員	川村 雅洋

## 1. はじめに

我が国では、橋梁の長寿命化を目的に、5年に一度の目視点検を実施し健全度評価と共に効率的な対策を施すことが義務づけられている。その中で、中小橋梁の場合には比較的容易に点検と対策が可能である。しかしながら、水深が深い河川橋梁や深い谷を跨ぐ長大橋梁の場合には、精度の高い目視点検も容易なことではなく、効率的に実施するための支援技術の進展が期待される。

また、長大橋の場合には、目視点検のみでは耐荷性や劣化度に関する適切な評価も困難であるため、主要部材の応力度あるいは橋梁全体の固有振動特性を把握することも必要になるものと判断される。

通常、応力度評価にはひずみ計測を行わなければならない。その場合には、ひずみゲージの貼付、防水処理や増幅器が必要になることから、的確にデータを取得するためには専門的な知識と共に多大な労力を要する。また、ひずみゲージの接着性や絶縁性の観点から長期に渡っての計測は不可能に近い。通常は計測毎に同様な作業が要求される。これより、設置作業が容易で対象橋梁の応力レベルや振動性状を遠隔で的確に把握可能、かつ10年オーダーの継続的な計測も可能なシステムの構築が望まれるところである。

このような観点から、著者らは設置が容易な光学ストランドとIoT技術を併用した計測システムを長大橋の維持管理に適用することを最終目的に、その可能性を検討するために、試行的に長大吊橋である白鳥大橋に本システムを設置し、波形の取得と共に2,3の検討を行ったので報告する。

## 2. 計測システムの概要

図1には、ひずみ計測のための光学ストランドを示している。また、表1には、その仕様一覧を示している。光学ストランドは、図あるいは表に示されているように、全長が1,000mmであることより部材の1,000mm区間における平均ひずみを評価することとなる。そのため、スパン長の短い部材の場合には精度の高いひずみ分布を求めることができないことに注意しなければならない。また、計測範囲が最大3mmであることより、地震時挙動を計測する場合のように正・負のひずみを必要とする場合には、

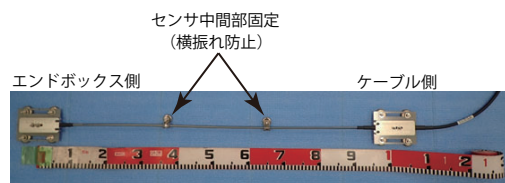


図1 光学ストランド

表1 計測器の仕様

項目	仕様
ストランド長	1,000 mm
計測範囲	3 mm (3,000 $\mu$ )
分解能	1 $\mu$ m (1 $\mu$ strain)
サンプリング周波数	100 Hz
使用時温度	-10°C ~ +52°C

設置時に初期伸びを与えることにより計測が可能になる。

設置は、光学ストランドを強力磁石あるいは接着剤を用いて固定するのみであり、ひずみゲージ貼り付け時のように防水処理等の必要はなく、一度の設置作業のみで長期モニタリングが可能になる。

モニタリングステーション部の大きさは、高さが500mm程度である。その機能には、4G通信規格を使用したインターネットにより、離れた場所からリアルタイムで双方向からのアクセスが可能である。

また、ひずみ計測のための光学ストランド以外にも、温度計や振動計測用の加速度計等のアナログセンサを接続することができるため、特に災害発生時には複数の動的応答に関する情報が収集でき、総合的な対応が可能になる。

計測したデータに関しては、インターネットを通してサンプリングタイムの設定やアラートレベルの設定をする機能を有している。サンプリングタイムは、動的計測時には100Hzのデータ取得、静的計測時には1~86,400s(1日)までの設定が可能である。また、温度補正機能や関数設定による簡易な分析機能も有している。取得したデータは、専用クラウド上に保存される。アラートの設定に関しては、動的と静的計測時に対して、最低値、中間値、最大値の3つの閾値をEメールやSMS経由で設定可能である。なお、1ステーションには、最大8chまでの光学ストランドが設置可能である。

キーワード：光学ストランド、IoT技術、長大橋、維持管理

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 もの創造系領域 TEL/FAX 0143-46-5241

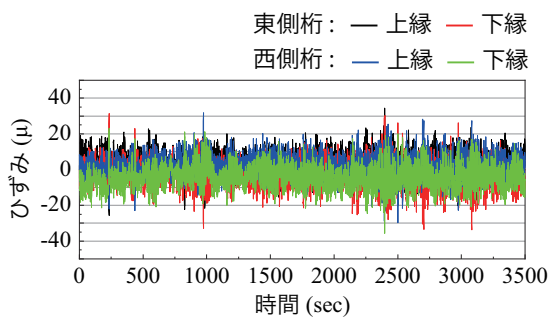


図2 計測したひずみの時刻歴波形

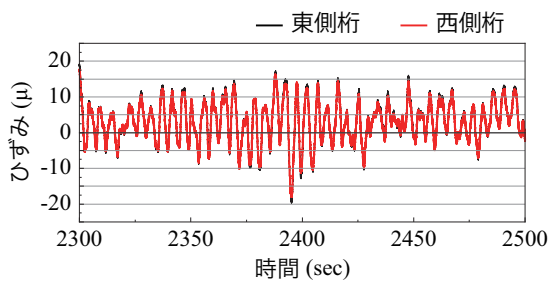


図3 各桁の軸方向曲げひずみの時刻歴波形の比較

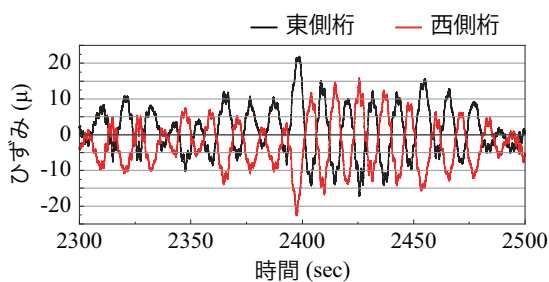


図4 各桁の軸力成分に関するひずみの時刻歴波形の比較

### 3. ひずみ振動計測

本研究では、計測器を白鳥大橋の中央径間のスパン中央断面両最外縁主桁部の上下縁に設置することとした。

図2には、2021年6月4日の午前10時からの約1時間に渡って取得したひずみの時刻歴波形を重ねて示している。なお、当日の気温は摂氏14℃、南東の風、風速10.9 m/s前後である。図より、最大振幅は風速が約11 m/sにおいても30 μ程度と非常に小さいことが分かる。

以下に、収録波形において比較的応答振幅の大きい2,300 s間(午前10時38分過ぎ)～2,500 s(200 s間)の波形を取り出し、各桁の軸方向曲げひずみ成分と軸ひずみ成分について、その波形性状と周波数分析による各固有振動モードに対する振動数について検討を行うこととする。

図3には、両桁の軸方向曲げひずみ成分波形を示している。図より、両波形は時間的・振幅的にほぼ一致していることが分かる。このことは、東桁と西桁でほぼ同位相かつ同程度の曲げ振動を示し、ねじれ振動は励起していないことが分かる。最大曲げひずみは20 μ程度である。

図4には、両桁の軸力成分のひずみ波形を示している。

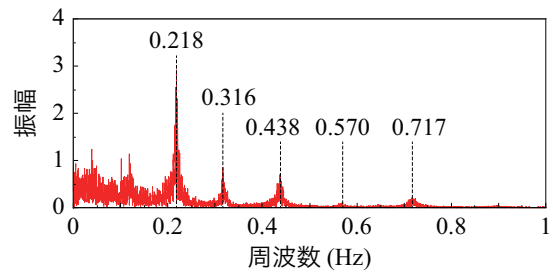


図5 軸方向曲げひずみ波形のスペクトル分布

表2 軸方向曲げ振動に関する固有振動数(Hz)比較

振動モード	起振実験	数値解析	常時微動	本研究結果
対称1次	0.129	0.115	0.115	
対称2次	0.218	0.215	0.220	0.218
対称3次	0.435	0.435	0.436	0.438
逆対称1次	0.149	0.128	0.151	
逆対称2次	0.317	0.318	0.317	0.316
逆対称3次	0.568	0.566	0.540	0.570

図より、両波形は時間的には位相が半周期ずれ、振幅的にはほぼ一致していることが分かる。このことは、主桁全体に対しての軸力成分は励起せず、水平方向の曲げ振動状態であることが分かる。最大曲げひずみは22.5 μ程度で、軸方向曲げひずみと同程度であることが分かる。

図3を基に、スペクトル解析を実施して卓越振動数を探索すると、図5のように示される。ここで得られた各固有振動数を竣工直後に実施された起振実験結果や数値解析、常時微動観測で得られた結果<sup>1)</sup>と比較すると、表2のように示される。なお、本研究では計測システムを上記の通り中央径間のスパン中央断面に設置していることにより、対称と逆対称1次振動モードに関する固有振動数は検出されない。表より、本システムを用いて収録したデータから求められる固有振動数は、起振実験結果等とほぼ一致していることが分かる。

### 4. まとめ

検討の結果、取得したひずみ波形を用いることによって、主要部材の健全度評価に重要な主桁の軸方向曲げや水平曲げひずみ振幅、及びそれらの固有振動特性を適切に評価可能であることが明らかになった。

**謝辞** 本研究は、日揮(株)、安藤ハザマ、宮地エンジニアリング(株)との4機関の共同研究として実施した成果である。ここに記して感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) 新山 淳, 佐藤昌志, 池田憲二, 菅原登志也, 佐藤浩一: 白鳥大橋の固有振動数評価に関する常時微動観測法の適用性, 構造工学論文集, Vol. 47A, pp.469-477, 2001.