

T20 積載車両走行時における白鳥大橋の挙動性状に関する一検討

One consideration on dynamic response of Hakucho-Ohashi bridge under an automobile with T20-type load traveling

室蘭工業大学大学院 ○ 学 生 員 淡路雄一郎 (Yuichiro Awaji)
 室蘭工業大学大学院 正 員 小室雅人 (Masato Komuro)
 室蘭工業大学大学院 正 員 瓦井智貴 (Tomoki Kawarai)
 室蘭工業大学大学院 名誉会員 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)
 北海道開発局室蘭開発建設部 非 会 員 井内 彰宏 (Akihiro Iuchi)
 北海道開発局室蘭開発建設部 非 会 員 齊藤 嘉之 (Yoshiyuki Saito)

1. はじめに

我が国の社会基盤施設は、その殆どが昭和の高度経済成長期に整備され、現在に至っている。従って、多くの施設は設計耐用年数である50年を超える状態となっている。社会基盤施設の中でも特に重要な橋梁に限定すれば、近年国交省は全国の全ての道路網を対象に5年間に一度の目視点検を義務づけており、健全度評価と共に道路交通網の安全性・信頼性の確保に努めている。その施策によって、現時点では大きな社会的問題には至っていない。

一方で、5年に一度の目視点検業務に着目すると、中小橋梁の場合には目視点検が比較的容易である。しかしながら、水深が深く川幅の広い河川橋梁や深い谷や湾を跨ぐ長大橋梁の場合には、精度の高い目視点検を行うのは容易なことではなく、点検を効率的に実施するための支援技術の進展が期待されている。

また、このような長大橋の場合には、目視点検のみでは耐荷性や劣化度に関する精度の高い評価も難しいものと推察され、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。

一般に耐荷性を評価検討するためには、部材に生じている応力を計測することが必要となる。部材の応力は、通常その部分に生じているひずみを求めることによって得ることができる。しかしながら、その計測には、ひずみゲージの貼り付け、ケーブル配線、防水処理、増幅装置設置等の作業が必要となる。また、短時間の計測であれば比較的容易であるが、1年以上に渡る長期計測のためにはさらなる処理が必要となるため、再設置して実施されるのが通常である。このように、確実なひずみデータの取得には、専門的な知識と共に多大な労力を必要とする。従って、研究対象とする場合や緊急事態を除き、現実的には容易に実施することが困難であると推察され、容易に設置と共に計測、データの取得が可能な技術の確立が喫緊の課題であるものと判断される。

このような観点から、これまで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設置し、波形の取得と共に2, 3の検討を行って来た^{1), 2)}。これまでの計測により、主径間中央部の補剛桁両端部上下縁に関する長期的な温度変化に対応するひずみの変動状況や、強風時における主軸方向や水平方向曲げひずみ成分、対応する固有振動周期についての検討を行ってきた。しかしながら、重量が既知な車両走行時における応

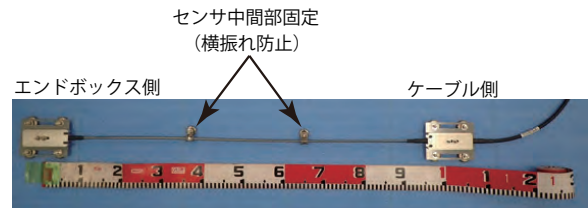


図-1 光学ストランド



図-2 モニタリングステーション部

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 μ)
分解能	1 μ m (1 μ strain)
サンプリング周波数	100 Hz
使用時温度	-10°C ~ +52°C

答ひずみが明らかになっていないことにより、地震時あるいは強風時における動的挙動や安全性の程度を把握することができない状態になっている。

このような観点から、本研究では、白鳥大橋の動的な挙動性状や安全性の程度をよりの確に把握することを目的に、T20積載車を走行させた場合における応答ひずみの計測を実施したので、その結果について報告する。

2. 計測システムの概要

2.1 ひずみ計測部

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。



写真-1 白鳥大橋の全景

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1,000 mmであることより部材の1,000 mm 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3 mmであることより、動的挙動等正・負のひずみを必要とする場合には、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絶縁状態の保持、防水処理等の必要はなく、かつひずみゲージ接着のような接着強度の劣化の心配がないことにより、一度の設置作業のみで数年間の連続的な長期モニタリングが可能になる。

2.2 モニタリングステーション部

図-2には、モニタリングステーション部を示している。キャビネットの高さは500 mm程度である。その機能には、LTE モバイル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。そのため、通常時は勿論のこと災害発生等のような緊急時においても、橋梁管理者も含め即座にデータの共有と対応が可能である。

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100 Hzのデータ取得が可能であり、静的計測時には1~86,400 s (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。従って、通常時のようにサンプリングタイムを10 min程度と大きくしている場合においても、閾値を超えるような地震発生時や過積載車通過時等にはその事象前後で100 Hzの波形データが取得で

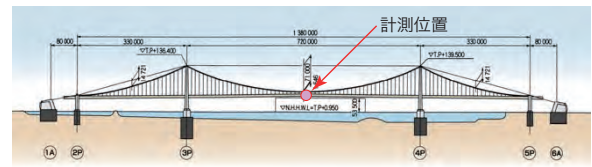


図-3 計測機器の設置位置(側面図)

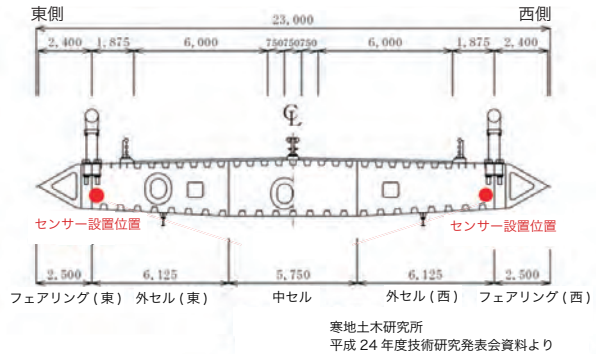


図-4 計測機器の設置位置(断面図)

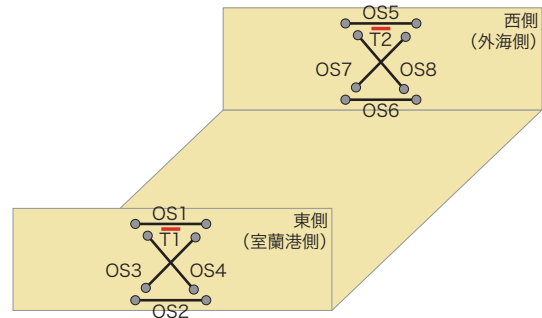


図-5 各センサ設置位置の詳細



図-6 上下縁ひずみ測定用センサ設置状況

き、即座の対応が可能である。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。

3. T20 積載車両走行試験

3.1 計測器設置位置

白鳥大橋は、東日本最大の吊橋であり(写真-1, 図-3)、橋長1,380 m、中央径間720 mの3径間2ヒンジ補剛桁吊橋で、補剛桁は鋼床版桁形式を採用している。

図-3, 図-4には、白鳥大橋における計測器の設置位置を示している。本研究では、計測器を中央径間のスバ



図-7 測定に用いた T20 積載車両の全景



図-8 T20 積載車の試験走行時の状況

ン中央断面における両最外縁主桁部に設置することとした。図-5には、中央断面における各センサの配置位置を示している。本研究では、図に示すように、曲げひずみを計測するために各主桁の上下縁に合計4ch、せん断ひずみを計測するために各主桁の外側にクロスさせ、合計4ch設置した。また、T1/2は温度センサ設置位置を示している。図-6には、一例として曲げひずみ計測のためのセンサの設置状況を示している。

3.2 車両の仕様

図-7には、走行試験に使用した T20 積載車両の全景を示している。車両の左右のタイヤ間幅は外寸で2.3 m、タイヤの設置圧荷重は、前輪が59 kN、後輪の前軸、後軸で等しく70.5 kNの合計200 kNである。

3.3 走行試験の実施方法

走行試験は、道路管理者の確認を得た上で実施した。車両走行時には、T20 積載車両の前後にできるだけ通常走行車両が入らないようにするために、前後50 mにそれぞれ誘導車両、追尾車両を配置することとした。誘導車では、T20 積載車両のセンサ設置直上部通過時における写真撮影とノートパソコンを用いて応答波形の確認を行っている。また、追尾車ではセンサ設置直上部通過時における対向車の有無や後続車両の接近状況の確認を行った。

走行試験は、走行速度を制限速度の60 km/hとして、陣屋側から祝津側へ(上り車線走行)と祝津側から陣屋側へ(下り車線走行)を4回実施した。図-8には、白鳥大橋を走行時の T20 積載車両を示している。

なお、走行試験時の気象は、気温21°C、風速0 m/sであった。

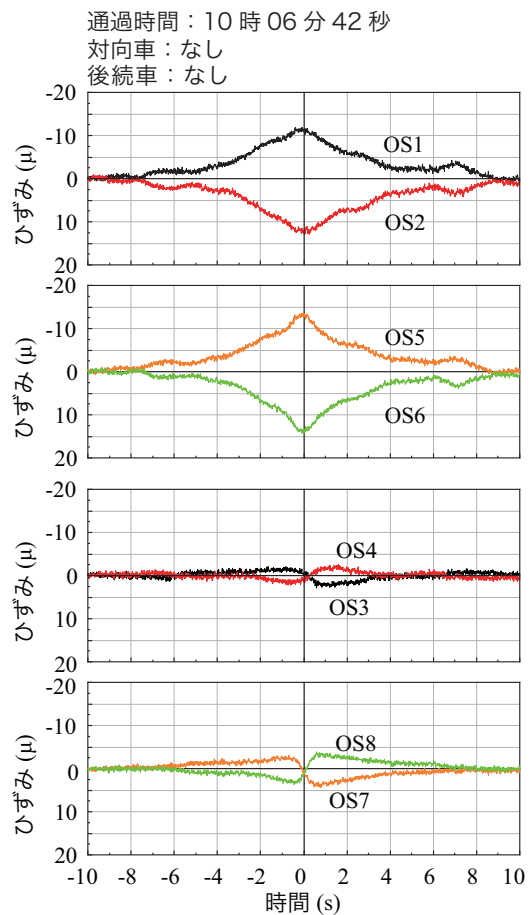


図-9 第2回目下り線走行時の各センサーの記録波形

4. 走行試験結果

図-9、図-10には、第2回目下り車線走行時、第3回目上り車線走行時におけるセンサー設置点通過時の前後10s間の各センサーの応答波形を示している。

図より、両桁における上下縁軸方向ひずみ分布を見ると、センサー設置位置に関する曲げモーメントの影響線に類似した分布を示していることが分かる。車両走行側と非走行側の波形分布を比較すると、走行側の波形は非走行側のそれに比較してセンサー設置位置近傍で若干鋭角な分布性状を示しており、振幅も若干大きい。しかしながら、両桁の最大ひずみに大差はなく、補剛桁の荷重分担性状は非常に良いことが分かる。影響線的に考えると、前後8秒以内でセンサー設置部に影響を与えており、その距離は130 m程度となる。

一方、斜めに直交するセンサーのひずみ波形を見ると、軸方向ひずみ分布と同様にセンサー設置位置に関するせん断力の影響線に類似していることが分かる。その影響範囲は、軸方向ひずみよりも大きく、時間的には10秒程度、距離に換算して160 m程度となる。両桁間で比較すると、前者の軸方向ひずみ分布とは異なり、非走行側のひずみ分布は走行側の1/2程度を示し、急激に減衰していることから非走行側桁のせん断変形の小さいことが確認できる。これらの傾向は、上下線走行時と同様である。

4.1 曲げ、軸方向、及びせん断作用によるひずみ波形分布

今、両桁の中立軸が桁上縁から桁高の1/2の位置にあるものと仮定すると、上下線の桁に関する曲げひずみ成分

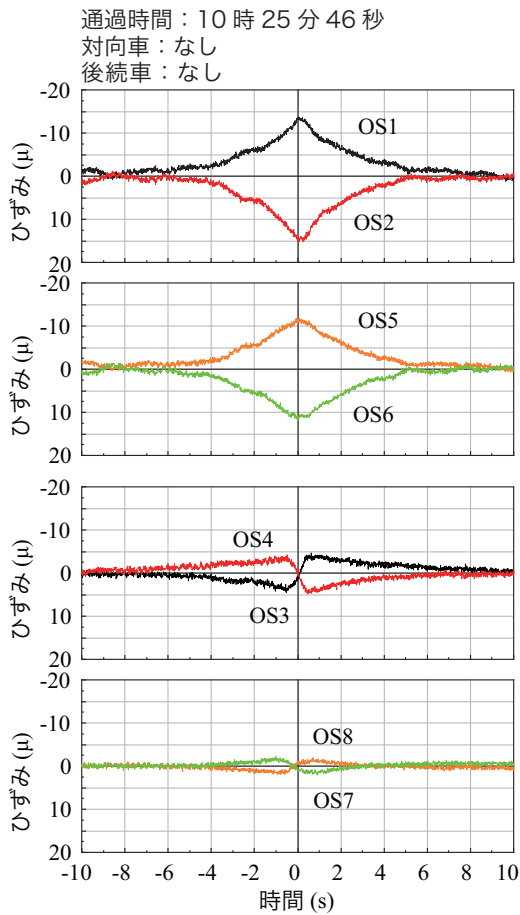


図-10 第3回目上り線走行時の各センサーの記録波形

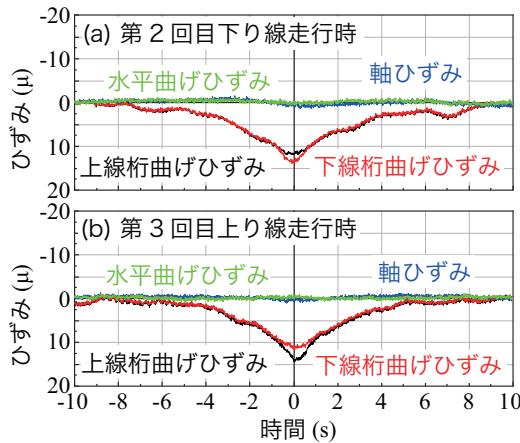


図-11 第2,3回目走行時における各桁の曲げ及び軸ひずみ、断面全体の水平曲げひずみ波形の比較

はそれぞれ $(OS2-OS1)/2$, $(OS6-OS5)/2$, 軸ひずみ成分は $\{(OS6+OS5) + (OS2+OS1)\}/4$ として求まる。また、断面全体の水平方向の曲げひずみ成分は、下り線側の桁が引張になる場合を正と仮定すると、 $\{(OS6+OS5) - (OS2+OS1)\}/4$ として求めることができる。

図-11には、各桁の鉛直曲げと軸ひずみ波形、及び断面全体の水平曲げひずみ波形を下り、上り線走行時について、比較して示している。図より、各桁の曲げひずみ成分は走行側桁で $13 \sim 14 \mu$ 程度、非走行側桁で約 11μ であることが分かる。そのときの各桁の軸ひずみ及び断面全体

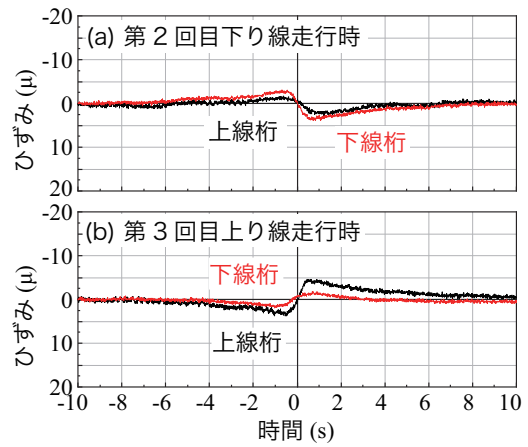


図-12 第2,3回目走行時における各桁のせん断作用によるひずみ波形の比較

の水平曲げひずみは、殆ど励起していないことが分かる。また、桁のせん断作用によるひずみ成分は、各桁でそれぞれ $(OS4-OS3)/2$, $(OS8-OS7)/2$ として求まる。図-12には、下り、上り線走行時におけるせん断作用によるひずみ波形を比較して示している。図より、下り線走行時が上り線走行時より若干小さく示されており、最大ひずみが 5μ 弱の値を示していることが分かる。

以上の結果は、第2回目走行時と第3回目走行時の応答波形である。最後の車両を停止させて計測した場合を除いた平均の最大曲げひずみは、走行桁で 15μ 、非走行桁で 12μ であった。

5. まとめ

本研究では、白鳥大橋の動的挙動性状把握に関する基礎データの取得を目的に、中央径間スパン中央部の補剛端桁に光学ストランドとIoT技術を併用したシステムを設置し、T20積載車走行時の応答ひずみの計測を行った。車両の時速は 60 km/hr として、4往復の走行試験を実施した。その結果、桁の平均最大曲げひずみは走行側の桁で 15μ 、非走行側で 12μ 程度であることが明らかになった。今後は、この計測結果を基本にして白鳥大橋の挙動性状や安全性の程度に関する把握を行いたいと考えている。

謝辞

本研究は、安藤ハザマ、日揮(株)、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る。

参考文献

- 1) 岸 徳光, 小室雅人, 澤田純之, 阿南誠一, 永谷秀樹, 大平利光: IoTと光ファイバ技術を用いた既設長大橋の常時微動計測に関する一検討, 土木学会北海道支部論文報告集, 第77号, A-08, 2021.1
- 2) 岸 徳光, 小室雅人, 瓦井智貴, 吉村直樹, 澤田純之, 永谷秀樹, 高野真司: 光ファイバ技術とIoT技術を併用した長大橋の維持管理に向けた一検討, 土木学会北海道支部論文報告集, 第78号, A-09, 2022.1