

# 光変位センサを用いた鋼橋の車両走行実験と FEM 解析との検証

## Vehicle Running Tests on Steel Bridges Using Optical Displacement Sensors and Verification with FEM Analysis

○菅谷 琉真(前工大・院) 宮川 睦巳(前工大)

Ryuma SUGAYA, Maebashi Institute of Technology graduate school, 460-1 Kamisadori-Cho, Maebashi-City, Gunma 371-0816

Mutsumi MIYAGAWA, Maebashi Institute of Technology, 460-1 Kamisadori-Cho, Maebashi-City, Gunma 371-0816

### 1. 諸言

近年、道路橋の老朽化の進行は深刻な社会課題となっている。道路橋の構造的劣化を加速させる主要因として、法定荷重を超過する車両の走行が挙げられる。これらの車両による繰返し荷重は、床版や舗装に損傷を与えるだけでなく、疲労き裂などの発生原因<sup>(1)</sup>となる。このため、警察による過積載車両の取り締まりは行っているものの、取り締まりの頻度を増やすことは困難であり、過積載車両の交通量を減少させる手段は限られている。これは橋梁の保守・保全において極めて重要であり、いかにして過積載車両を減少させ交通インフラの長寿命化を図るか重要な課題である。

現在、NEXCO による過積載車両は舗装部に自動軸重計を設置することで走行車両の車重を測定しているが、設置のための工事による時間と費用が発生する。本研究で用いる光変位センサ(太陽誘電株式会社)<sup>(2)</sup>は供用中の橋梁の主桁もしくは床版部に設置するだけで、高感度にひずみを計測できることから、簡単に設置することができ、大きな工事を必要としない。本研究では、高感度光変位センサを用い、供用中の鋼橋における車両走行時のひずみを計測することで、構造部材の挙動を定量的に把握する手法を紹介する。さらには、計測されたひずみデータを基に有限要素法(FEM)解析を実施し、走行モデルの妥当性を検証し、維持管理技術の向上に向けた研究を行う。

### 2. 対象橋梁および光変位センサの概要

#### 2.1 上信石上橋の概要

本研究で光変位センサの設置した上信石上橋(群馬県東吾妻町)は令和6年に開通した橋長47.500m、総幅員11.390m、合成床版の鋼単純少数鈹桁橋(3主桁)である。図1は上新石上橋の側面図であり可動支承の付近に光変位センサを設置する。一般的に光変位センサは主桁に設置して発生ひずみを計測しているが、本研究では図2のように主桁部のみならず車重直下となる床版底面にも設置する。なお、別の交通量調査の結果から1週間当たり5~6台の過積載車両が通ると見込んでいる。

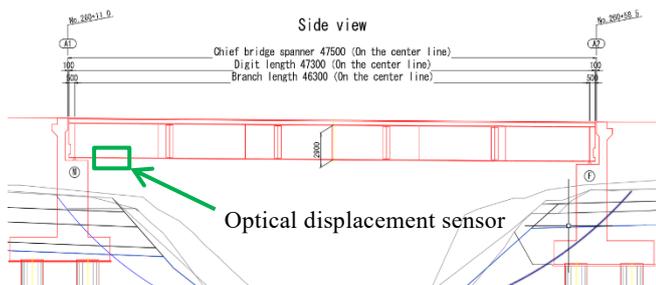


Fig.1 Side view of Joshin Ishigami Bridge

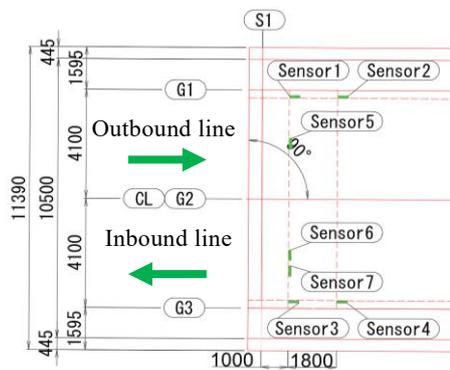


Fig.2 Optical displacement sensor positions

#### 2.2 光変位センサの概要

図3が本研究で用いる光変位センサである。この光変位センサは4nmの分解能を有し、標点距離は350mmであるため、ひずみ分解能は0.01 $\mu$ mである。加えて5年以上屋外で使用することができ、橋梁等のインフラ設備のモニタリングに適している。

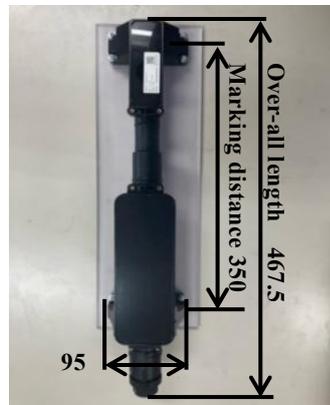


Fig.3 Appearance of optical displacement sensor

### 3. 車両走行実験

#### 3.1 車両走行実験の概要

車両総重量が既知の試験車両を単独走行させ、車重とひずみの関係性を分析することを目的に、当該橋梁で車両走行実験を行う。この結果に基づき令和6年秋より隣接軸重が20t以上である車両に対してサイネージによる注意喚起を行う。

#### 3.2 車両走行試験の結果

図4、図5は2軸10tの車両が図2に示す上り線を走行した時の計測値である。図4は主桁に設置したセンサ4、図5は床版直下に設置したセンサ6でのひずみである。主桁に設置した光変位センサでは車が連なって走行すると車両1台ごとの判断が困難になっている。これに対して床版

に設置したセンサでは1軸ごとのひずみを得ることができ、車両1台ごとの判断が容易である。そのため、過積載車両の検知は図2に示すセンサ6で行うことにする。

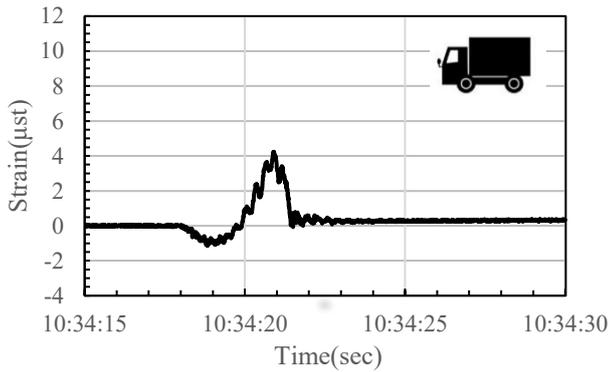


Fig.4 Strain of sensor 4 when running 2-axle 10-ton carloads

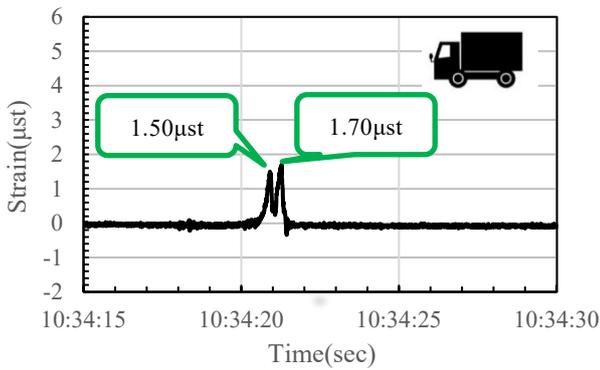


Fig.5 Strain of sensor 6 when running 2-axle 10-ton carloads

#### 4. FEM 解析

##### 4.1 解析の概要

荷重走行試験より得られた結果より、有限解析ソフト MarcMentat2022.1 による解析を行う。解析モデルは図6の床版 1/4 モデル、図7の全橋モデルとする。鉄筋はトラス要素、コンクリート部はソリッド要素、底版や主桁、横桁などの鋼板はシェル要素とする。この解析モデルに移動荷重や集中荷重を載荷し、荷重走行試験で得られた実測値との比較を行う。

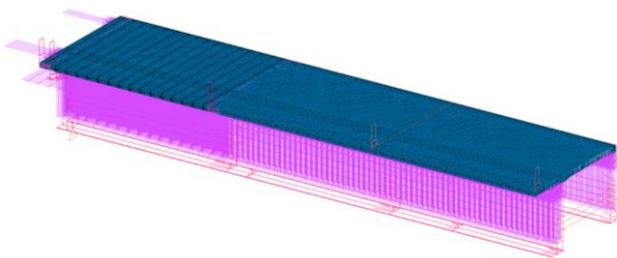


Fig.6 Floor plate 1/4 model

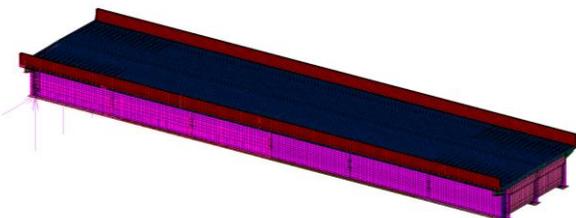


Fig.7 All bridge models

##### 4.2 解析結果

図8は床版 1/4 モデルを用いて上り線を2軸 10t 車量がセンサ位置付近を時速 36km で走行した際のセンサでのひずみである。全橋モデルでも概ね同じ形状のひずみ分布が算出されているが、図5の車両走行実験の実験値と比較すると最大ひずみが小さいことがわかる。このひずみの実験値と異なる理由は低ひずみにおけるコンクリートのヤング率(初期ヤング率)の違いにあると考えられる。また、1軸目と2軸目のひずみの大小関係が逆転していることがわかる。今回の試験車両は車検証記載重量において、車両総重量 10t になるように積み荷を調整している。そのため車両荷重は車検証から荷重配分比率より 10t となるように算出したが後輪のほうが重い可能性がある。なお床版 1/4 モデルと全橋モデルでは解析結果に大きな違いがないため、床版 1/4 モデルでの最適化を目指す。

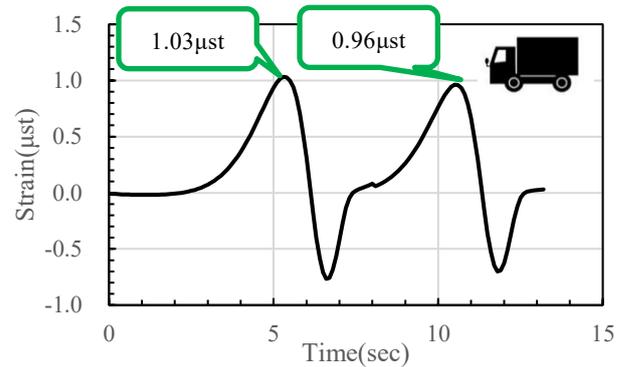


Fig.8 Strain of sensor 6 by FEM analysis

#### 5. 結言

本研究では、光変位センサを用いて鋼橋における車両走行時のひずみを計測し、FEM 解析との比較を通じて走行モデルの妥当性を検証した。車両走行実験では、主桁だけでなく、床版にも光変位センサの設置することで、車軸ごとの重量を推定することができ、精密なひずみが検出可能であった。FEM 解析では車軸ごとのひずみが算出できたが、実験値との比較からひずみが小さくなってしまった。これは低ひずみではコンクリートの初期段階におけるヤング率を見直すことで改善できると考える。

#### 6. 今後の課題

##### 1) 解析モデルの再検討

解析モデルの境界条件やコンクリートの初期段階のヤング率を見直す。

##### 2) 損傷度の推定

主桁の振動を加速度ではなく、ひずみで捉えることができていく。このため、過積載車両および疲労による累積損傷度の推定、地震発生時の損傷度の推定などの活用を検討する。

謝辞: 本研究の遂行にあたり太陽誘電株式会社の皆様には、データ提供等の協力を賜りました。深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- (1)山田, “重交通下における鋼床版の疲労損傷-名古屋での事例-”, 鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告, 土木学会, Vol.10, pp.11~18, 2007
- (2)太陽誘電株式会社: <https://www.yuden.co.jp/jp/>