

# 既設橋梁の維持管理手法に関する研究（その1） — 鋼橋の挙動モニタリング結果 —

蓮井昭則\*

官・学・産の共同研究プロジェクトのなかで、供用中の道路橋に車重の分かっている交通荷重を通行させ、主桁やコンクリート床版の変位挙動の測定を行った。その結果を整理し、車両が通行しているときのコンクリート床版や主桁の挙動が明らかにした。そして、計測対象とした橋梁に限れば、モニタリングで得られた主桁フランジから算定した中立軸が橋梁全体の見かけ上の剛性を管理する指標として利用できること、主桁下フランジの変形量から通過した交通荷重を推定できることなど、既存橋梁の維持管理における指標を提案した。

キーワード：橋梁，維持管理，モニタリング，変位，剛性，交通荷重

## 1. はじめに

現在、国道で設けられている橋梁は長さ 15m以上のものだけでも 15 万橋と言われており、他の交通機関も含めると日本国内には膨大な量の橋梁が利用されている。これらの橋梁を限られた原資で安全にそして快適に使い続けるためには、信頼性のある手法で点検・調査を行い最適な時期で補修・補強を実施し延命化を計ることが重要である。その中でも現状を的確に把握するためのモニタリングがまず必要となる。

間組では産・学（京都大学）・官（近畿地方整備局）による共同研究プロジェクト新都市社会技術融合創造研究会「既設構造物の延命化技術に関する研究」に参加している。その中で平成 16 年度には供用中の実橋に車重の分かっている試験車両を通行させて、橋の挙動測定を行った。著者も光学ストランドによる構造物のモニタリングシステム（Optical Strand Monitoring System：OSMOS）を用いて挙動計測を行った。本報告は既設橋梁のモニ

タリングによる監視方法を目指とする研究の第 1 ステップとして、共同研究プロジェクトで実施した試験車両の走行による実橋の挙動測定結果をとりまとめ、モニタリング結果の利用について考察したものである。

## 2. 橋梁の概要

対象とした橋梁は兵庫県赤穂市にある全長 187mの国道橋で、交通量は多く、昼夜の別なく長距離トラックなどの重車両が多数往来している。橋梁は供用開始後 40 年経過しており、既に増設縦桁設置、床版増厚などの補強工事が施されている。橋梁の全景を写真-1 に、概要を図-1 に示す。橋梁の形式は 7 径間ゲルバー鋼鈹桁で 4 本の鋼主桁で支えられている。橋梁の幅員は 8m で、岡山方面

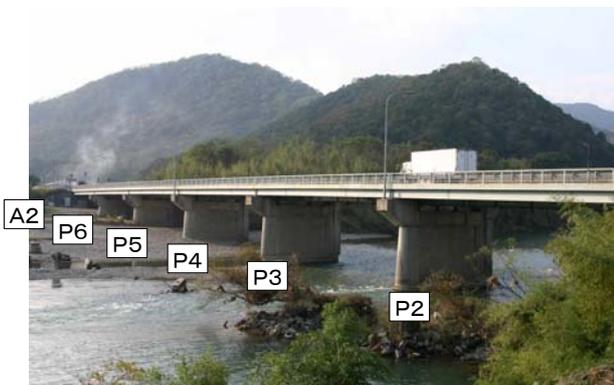


写真-1 対象橋梁の全景（姫路側より岡山側を望む）

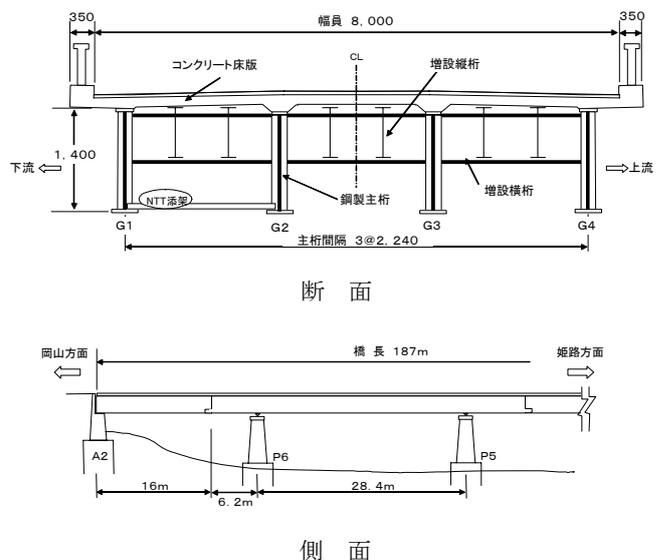


図-1 対象橋梁の概要

\* 技術研究所

の下り車線、姫路方面の上り車線の各1車線であり、また図-1には記載されていないが、橋梁の両側には力学的には別構造の歩道がついている。計測対象とした径間は岡山側にあるP5橋脚～P6橋脚間（P5-P6間）およびP6橋脚～A2橋台間（P6-A2間）である。写真-2に計測区間を、また、写真-3には計測区間の道路面の状況を、写真-4には橋梁下面の状況を示す。

### 3. モニタリング方法

#### 3.1 走行試験

走行試験は車重の判明している車両（試験車両）を姫路側から岡山側への下り車線、岡山側から姫路側への上り車線で時速50kmならびに30kmで走行させ、その際の橋梁各部位の変形を動的に測定することで行った。走行試験は平成16年7月に実施した第1回走行試験、9月の第2回走行試験、そして10月の第3回走行試験と3回にわたって実施した。第1回走行試験で使用した試験車両を写真-5および写真-6に示すが、バックホーを搭載したセルフローダは最も重くて車重27.7tf、セルフローダは車重11tf、散水車は最も軽くて車重8tfであった。



写真-2 計測区間



写真-4 対象区間の道路面



写真-3 計測区間の橋梁下部



写真-5 試験車両 (セルフローダ+バックホー)

#### 3.2 測定位置

第1回走行試験では対象橋梁の現状を把握するために、P6-A2間の下り車線のコンクリート床版下面と主桁、およびP5-P6間の下り車線主桁の挙動を測定対象とした。第1回走行試験での測定位置とセンサーの諸元を図-2、表-1に示す。

続いて実施した第2回走行試験では、P6-A2間でのコンクリート床版下面での変形が予想以上に小さいこと、下り車線ばかりでなく上り車線の挙動も測定するために、測定の中心を構造的に簡単なP5-P6間に変更し、下り車線のコンクリート床版下面と4本の主桁の下フランジにセンサーを移動させた。なお、ここでは主桁のたわみ測定が別途実施されている。図-3、表-2に第2回走行試験での測定位置とセンサーの諸元を示す。

さらに、今回は報告しないが、第3回走行試験ではP5-P6間の主桁（4本）の上下フランジを中心とした測定を行った。



写真-6 試験車両 (散水車)

### 3.3 測定手法

#### (1) 測定方法

光ファイバーを利用した変位測定方法には幾つかの方法が提案されているが、ここでは光学ストランドによる構造物のモニタリングシステムを使用した。この方法は経路の曲線部で赤外線の一部が外部に漏洩し、ファイバー内を透過する赤外線の強度が変化するという性質を用いて、センサー両端間の相対変位を測定する方法で、本測定では試験車両が計測区間を通過するのに1～2秒の時間がかかることから、サンプリングタイム20Hzの動的測定を行った。

#### (2) システムおよびセンサー設置

システムは対象物に設置するセンサー（光学ストランド）と赤外線を発信・受信するオプトボックス、そして測定結果を記録する計測用パソコンで構成されている。センサーの設置はまず定着版を、コンクリート床版の場合に

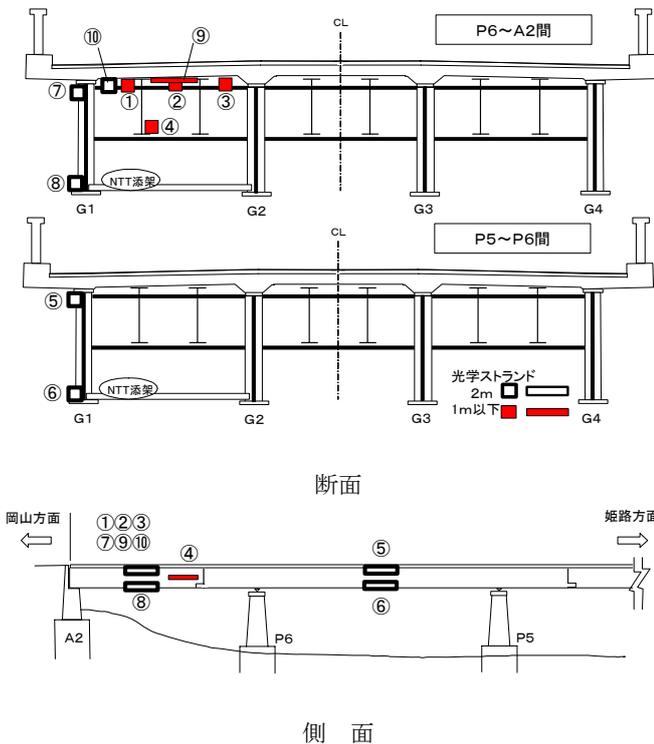


図-2 測定位置 (第1回走行試験)

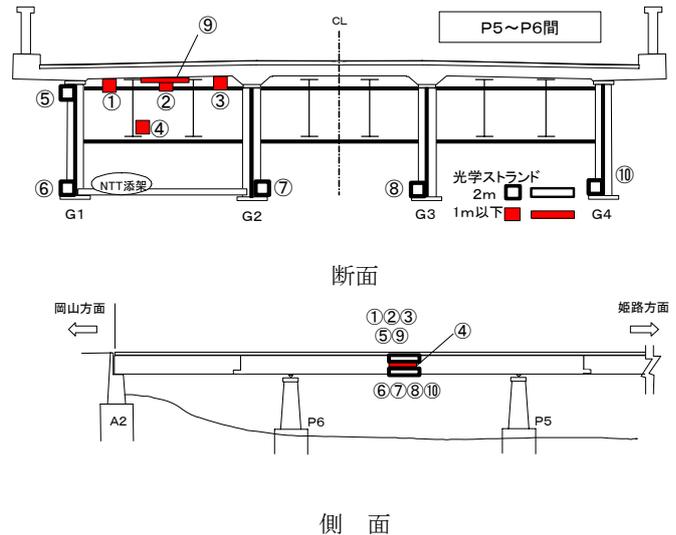


図-3 測定位置 (第2回走行試験)

表-1 光学ストランドの緒元 (第1回走行試験)

番号	径間	設置場所	センサー長	測定方向
①	P6~A2	コンクリート床版	1m	橋軸
②	P6~A2	コンクリート床版	1m	橋軸
③	P6~A2	コンクリート床版	1m	橋軸
④	P6~A2	増設縦桁下フランジ	1m	橋軸
⑤	P5~P6	G1主桁上フランジ	2m	橋軸
⑥	P5~P6	G1主桁下フランジ	2m	橋軸
⑦	P6~A2	G1主桁上フランジ	2m	橋軸
⑧	P6~A2	G1主桁下フランジ	2m	橋軸
⑨	P6~A2	コンクリート床版	0.5m	橋軸直交
⑩	P6~A2	コンクリート床版	1m	橋軸

表-2 光学ストランドの緒元 (第2回走行試験)

番号	径間	設置場所	センサー長	測定方向
①	P5~P6	コンクリート床版	1m	橋軸
②	P5~P6	コンクリート床版	1m	橋軸
③	P5~P6	コンクリート床版	1m	橋軸
④	P5~P6	増設縦桁下フランジ	1m	橋軸
⑤	P5~P6	G1主桁上フランジ	2m	橋軸
⑥	P5~P6	G1主桁下フランジ	2m	橋軸
⑦	P5~P6	G2主桁下フランジ	2m	橋軸
⑧	P5~P6	G3主桁下フランジ	2m	橋軸
⑨	P5~P6	コンクリート床版	0.5m	橋軸直交
⑩	P5~P6	G4主桁下フランジ	2m	橋軸

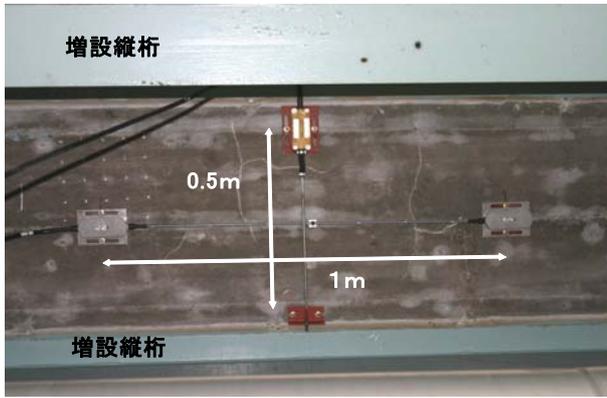


写真-7 コンクリート床版での設置状況

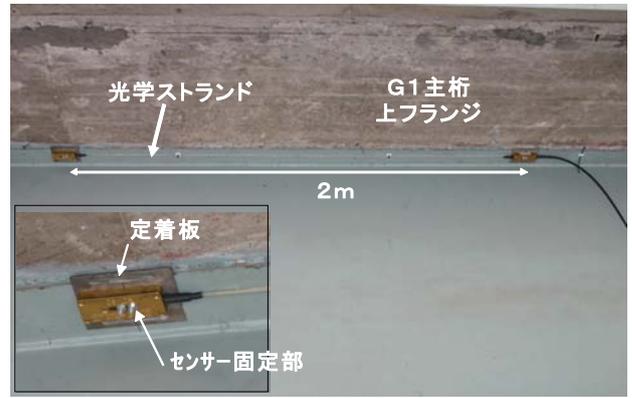


写真-8 鋼主桁での設置状況

はφ4mmのアンカーボルトで、主桁のような鋼材の場合には2液混合タイプの樹脂系接着剤で固定し、それにセン

サー両端の固定部を取り付けた。コンクリート床版にセンサー（光学ストランド）を設置した状況を写真-7に、鋼主桁の上フランジに設置した状況を写真-8に示す。また、測定に使用したシステムを写真-9に示す。

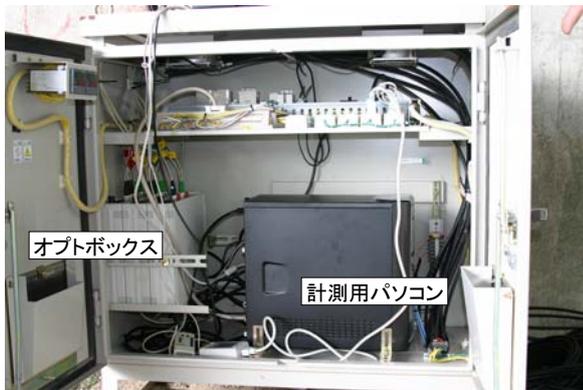


図-9 測定システム

#### 4. 測定結果

##### 4.1 第1回走行試験

###### (1) 主桁の挙動

第1回走行試験では橋梁挙動の状況を確認することを目的として、P6-A2間のコンクリート床版、およびP6-A2間とP5-P6間のG1主桁の挙動を測定対象とした。27.7tfの試験車両が下り車線を通じたときのP6-A2



図-4 鋼主桁での測定結果（試験車両 27.7tf）

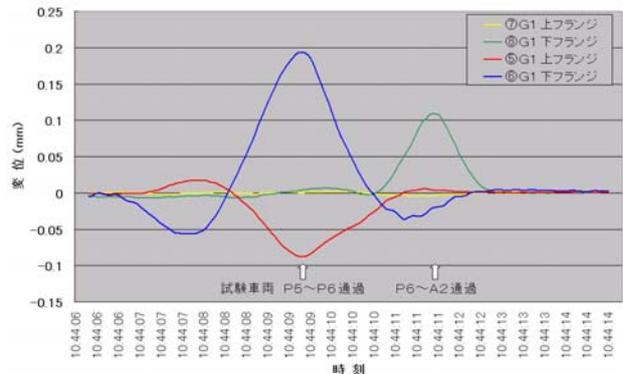


図-6 移動平均処理後の挙動（鋼主桁）

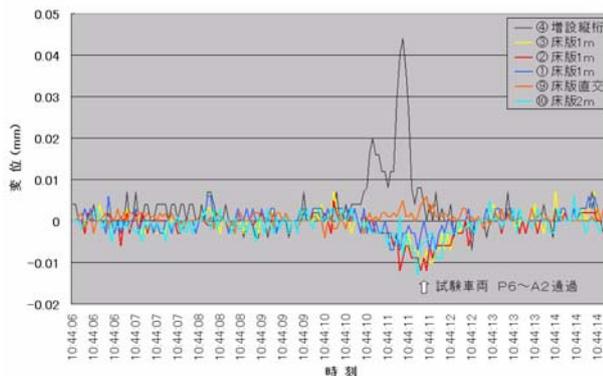


図-5 コンクリート床版での測定結果（同 27.7tf）

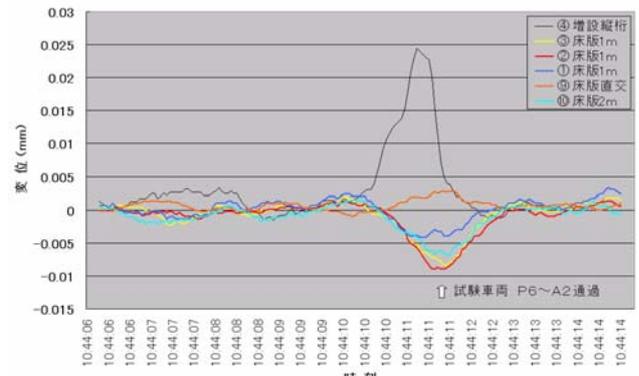


図-7 移動平均処理後の挙動（床版他）

間の鋼主桁、およびP5-P6間の鋼主桁の測定結果を図-4に示すが、試験車両はP5側からA2側に向かって走行しているため、まずP5-P6間の主桁が変形し、その後、P6-A2間の主桁が変形している。同じ荷重にも関わらず、下フランジでは変形量が、そして上フランジでは傾向に相違が見られ、P5-P6間はゲルバーヒンジ部を境とする連続桁の挙動を示し、P6-A2間の吊り桁部のセンサーは単純桁の挙動をしているとともに、主桁とコンクリート床版が合成桁的に応答しているか、あるいは非合成桁的に応答しているかの差も考えられた。

(2) コンクリート床版および増設縦桁

P6-A2間のコンクリート床版と増設縦桁の同じ試験車

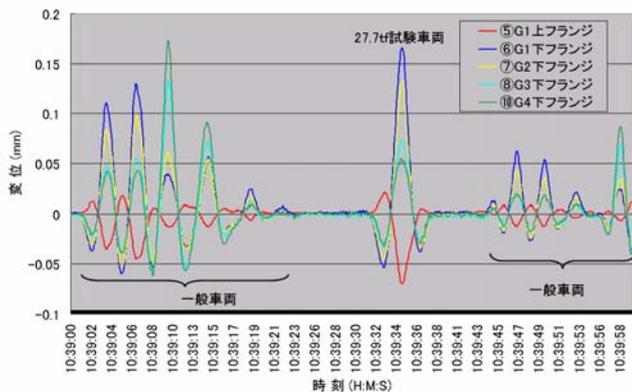


図-8 1分間の連続挙動 (鋼主桁)

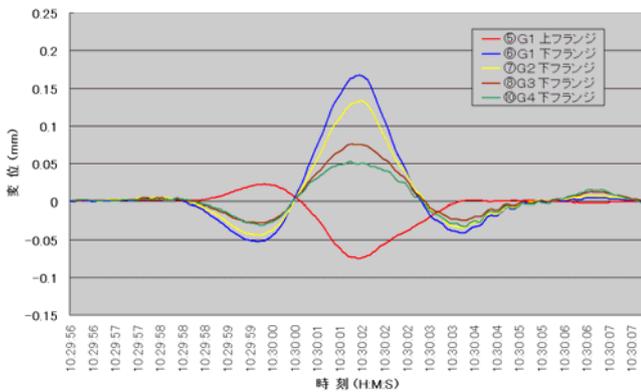


図-10 下り車線走行時の主桁の変形



写真-10 試験車両の下り車線走行

両による結果を図-5に示す。コンクリート床版の変形量は非常に小さく、センサーの感度 ( $\pm 0.002\text{mm}$  程度) をわずかに越える程度の変形量である。これは増設縦桁や増設横桁の補強によりコンクリート床版の変形がかなり抑えられているためと考えられる。また、増設縦桁では変位に2つのピークが明確に測定されており、試験車両であるセルフロードの前輪と後輪の影響と推定されるが、確認は今後の課題である。

(3) 測定値の移動平均処理

センサーの感度や測定の誤差を平滑にするため、前出の図-4、図-5の測定値に対して9点の測定値を基にした移動平均処理を行った結果を図-6、図-7に示す。この

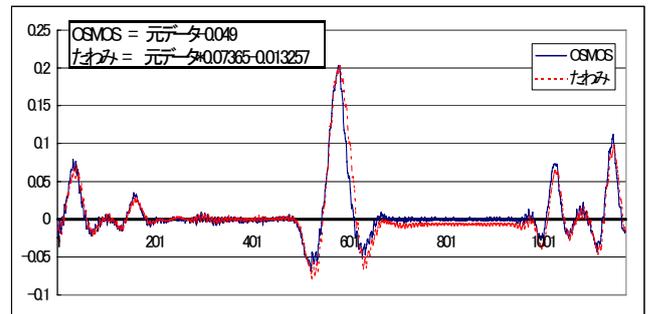


図-9 主桁の変形とたわみの比較

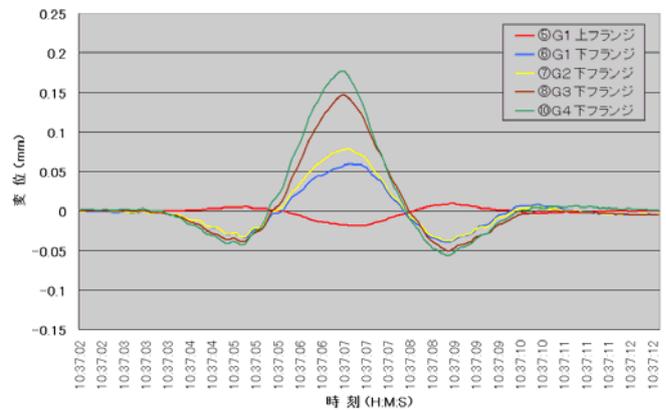


図-11 上り車線走行時の主桁の変形



写真-11 試験車両の上り車線走行

結果、バラツキが消去され、変位量の大きさはやや小さくなるものの、滑らかな変形挙動を得ることができ、今後の計測結果は移動平均処理による結果を表示する。しかし、増設縦桁では2つのピークも消去されており、移動平均処理の方法について検討あるいはサイクルタイムをより細かくした測定が必要である。

## 4.2 第2回走行試験

### (1) 一般車両による挙動

第2回走行試験では測定区間をP5-P6間に移し、4本の主桁の挙動を確認することを中心にした測定を行った。図-8に1分間の連続した主桁の変形を示すが、試験車両による挙動以外にもピークがあり、これら1つ1つが試験車両以外の車両(一般車両)の通行を表している。

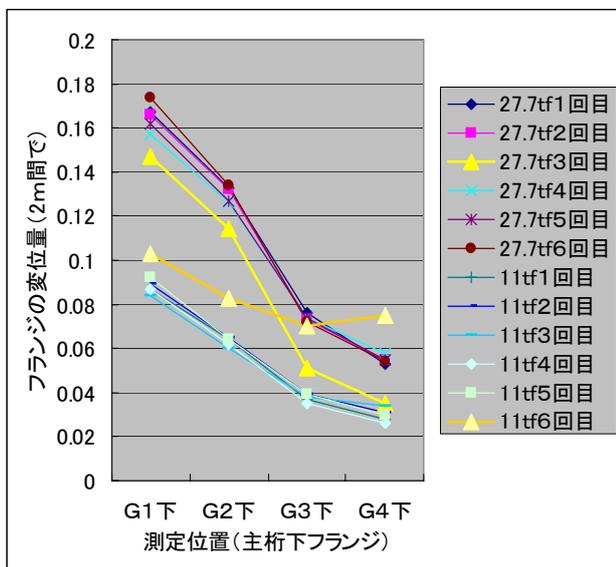


図-12 下り車線走行時の主桁変位

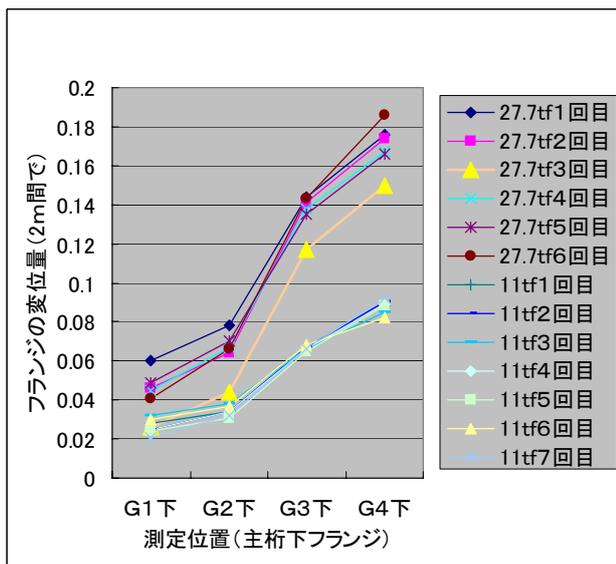


図-13 下り車線走行時の主桁変位

### (2) 主桁変形とたわみ

P5-P6間の中央部のG1主桁では径間中央の計測断面位置で下面のたわみ(鉛直変位)も測定しており、下り車線を27.7tfの試験車両が通過したときのG1主桁下フランジの橋軸方向変位とたわみの比較を図-9に示す。たわみと橋軸方向の変位は当然のことながら相似形であり、工学的にみると、橋軸方向の変位は「たわみ」と同じ意味を持つ情報であることが分かる。

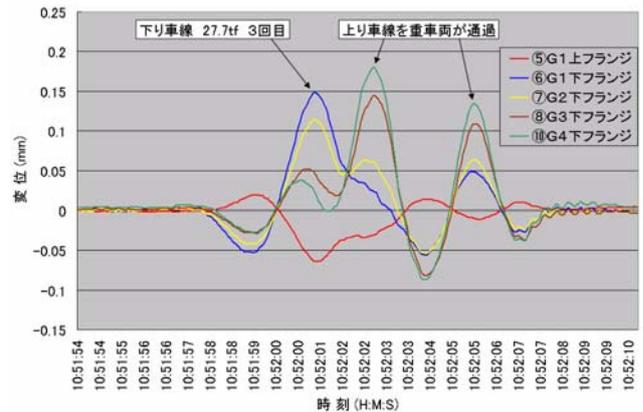


図-14 下り車線 27.7tf3回目の測定結果

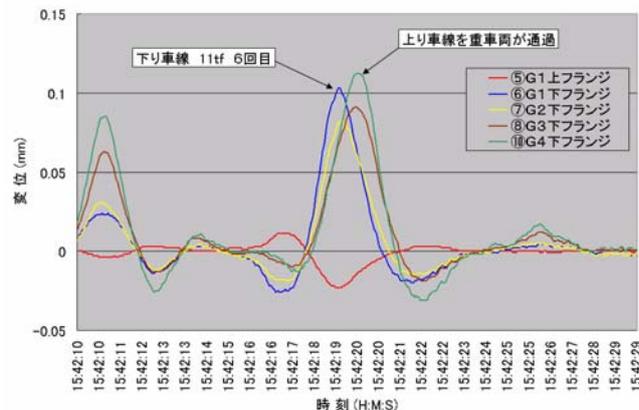


図-15 下り車線 11tf6回目の測定結果

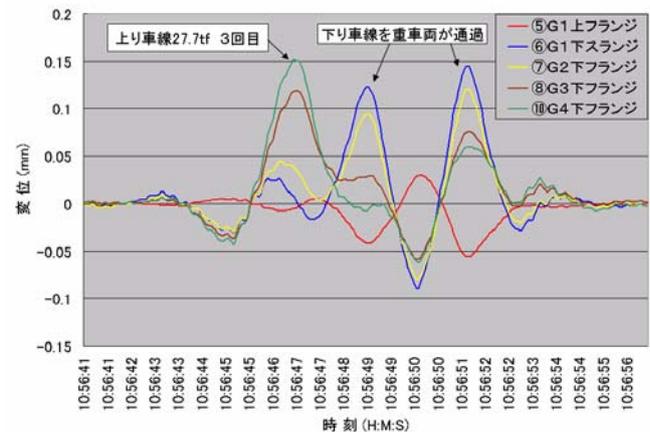


図-16 上り車線 27.7tf3回目の測定結果

### (3) 4本の主桁変形

下り車線と上り車線に試験車両が通過した際の4本の主桁下フランジの挙動を図-10、図-11に示す。これによると、下り車線を車両が通過したときはG1主桁の変位が最も大きく、続いてG2主桁、G3主桁と小さくなり、下り車線から最も遠いG4主桁が最も小さくなっている。一方、上り車線を車両が通過したときには逆にG4主桁が最も大きく、G1主桁が最も小さい変位が発生している。このことは他の計測結果も同様であり、言い換えれば、G1主桁の下フランジの変形がG4主桁の下フランジの変形より大きい場合には車両は下り車線を、逆の場合には上り車線を通過したといえる。車重27.7tfの試験車両が下り車線および上り車線を通過している状況を写真-10、写真-11に示す。

### (4) 車重と主桁変形

車重27.7tfと車重11tfの試験車両が下り車線を通過したときのG1主桁の変位のピーク時刻を基準に、同じ時刻の他の主桁の変位を横並びにしたものを図-12に、同様に上り車線を通過したときのG4主桁の変位のピーク時刻を基準に他の主桁の変位を横並びにしたものを図-13に示す。この結果をみると、車重が同じであれば主桁の下フランジにはほぼ同様の変位が測定されており、主桁の挙動は通過する車両の重さと相関関係があるといえる。しかし、図-12では2ケース(27.7tf3回目と11tf6回目)、図-13では1ケース(27.7tf3回目)で他と傾向が異なる。この3ケースの経時変化を図-14、図-15、図-16に改めて示すが、試験車両のピークとは別のピークが重なっており、試験車両が通過している時に別の車両が対向車線を走行したことを表している。このことから、対向車線の車両が主桁の変形に影響したため、傾向が異なると考えられた。

## 5. 考察

### 5.1 主桁の中立軸による管理

橋梁における桁の中立軸位置は桁の構造特性であるが、コンクリート床版との合成桁では、コンクリート床版の力学特性の影響を受けるため、その変化は径間全体の健全性と関係する。今回の測定においても主桁の上下フランジの変形から主桁の中立軸位置を算出することが可能であり、その中立軸は通行車両の大小に係わらず一定の位置にあると考えられる。ここでは第2回走行試験から無作為に採取した5分間のG1主桁上下フランジ測定値から、主桁の中立軸位置の推定を試み、その結果を図-17

に示す。

測定値から算出したG1主桁の中立軸は多少の幅はあるものの、車重の重軽に関わらずほぼ一定であることが分かる。このことから鋼橋では車両の重量が分からなくても車両の通行による主桁の上下フランジの変形から中立軸の位置を、そしてその変化を確認することができると分かる。

### 5.2 車重の推定

試験車両の重量と主桁下フランジの変形には相関性があり、主桁下フランジの変形量から、通過する車両の重量を算定を試みる。今回の測定結果では下り車線の車両通過に最も敏感に応答するのはG1主桁、上り車線ではG4主桁である。そのため、前出の図-12、図-13で示した測定結果から対向車線の影響を除いたG1、G4下フランジの変位量を横軸に、車両の重量を縦軸に整理し、変位量と車重との関係を求めた。最小2乗法により求めた回帰直線を図-18、図-19に示すが、この回帰直線は主桁変位から橋梁を通過する車両の重量を推定する校正係数ということもできる。さらに、この校正係数を使って図-12、図-13の数値から試験車両の車重を算定した結果を図-20、図-21に示す。これによると、車重27.7tfの試験車両では下り車線6回の通過に対して23.7~29.4tf、上り車線6回の通過では23~29.8tfと推定した。また、車重11tfの試験車両では下り車線6回の通過では10.3~14.3tf、上り車線7回の通過では10~11.9tfであった。通行車両の重量をより正確に把握するためには、対向車線の車両の影響、前後に繋がって走行した場合の影響、渋滞で車両が停止した場合の分析方法など、課題は残されているものの、大まかな交通車両の重量や頻度を管理することは可能と考えられる。また、今回の方法は主桁そのものを利用したものであり、車軸1つ1つの荷重を判別することはできない。車軸の荷重を求める場合には、主桁ではなく増設縦桁のように限られた範囲の荷重に反応するような部材を選定する必要があると思われる。

## 6. おわりに

本報告は既設橋のモニタリングによる維持管理手法を最終目標とする研究の第1ステップとして、通行車両による鋼橋各部位の挙動測定結果をとりまとめたものである。第1回走行試験および第2回走行試験の結果からは、鋼橋の主桁挙動のモニタリングは橋梁の健全度や交通量の管理に利用できることが明らかとなった。また、第3

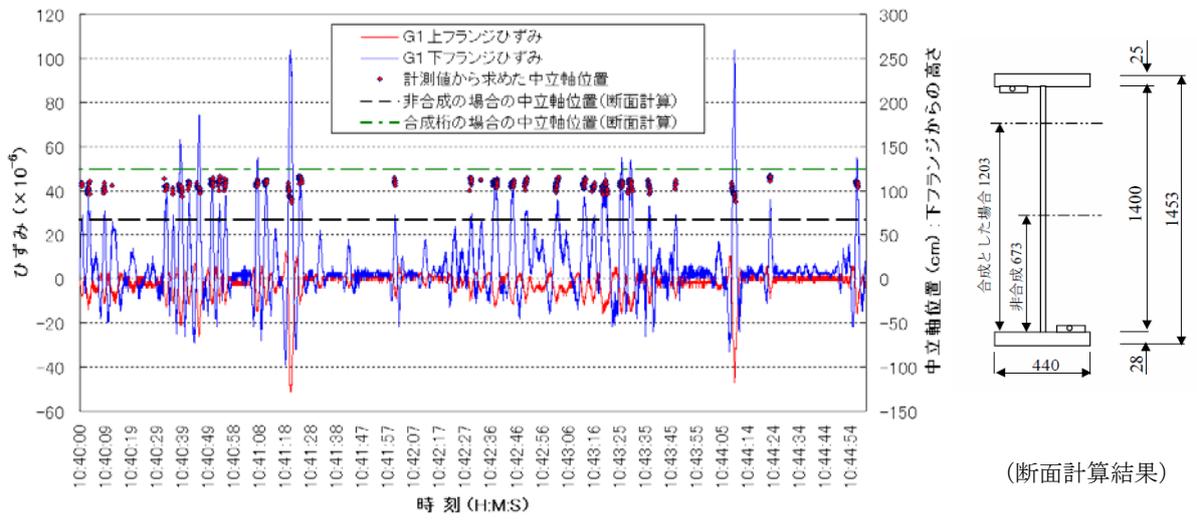


図-17 主桁中立軸の推定結果

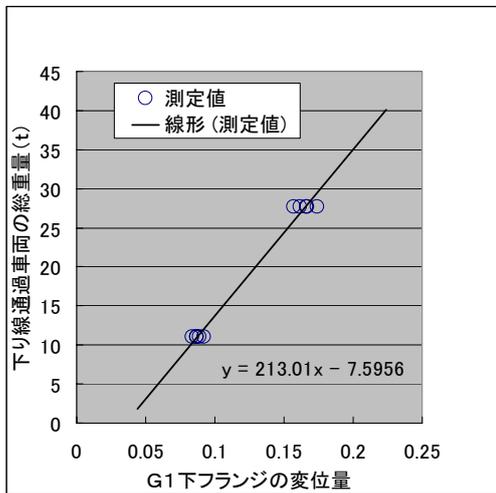


図-18 下り車線での主桁変形と車重との関係

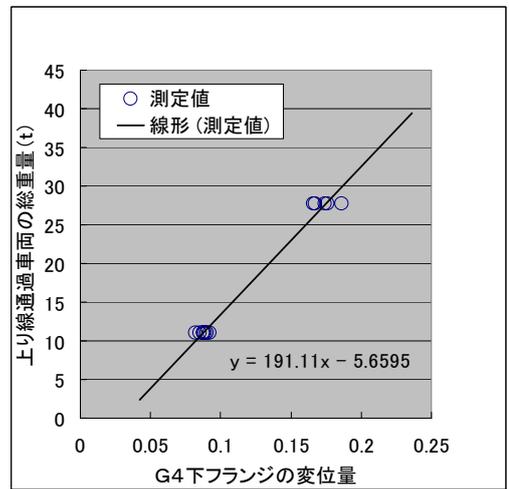


図-19 上り車線での主桁変形と車重との関係

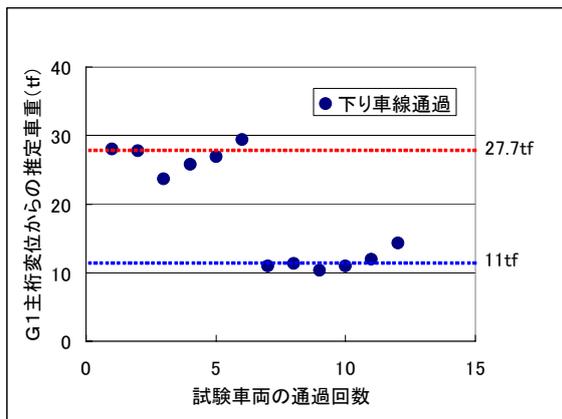


図-20 下り車線の試験車両の車重の算定結果

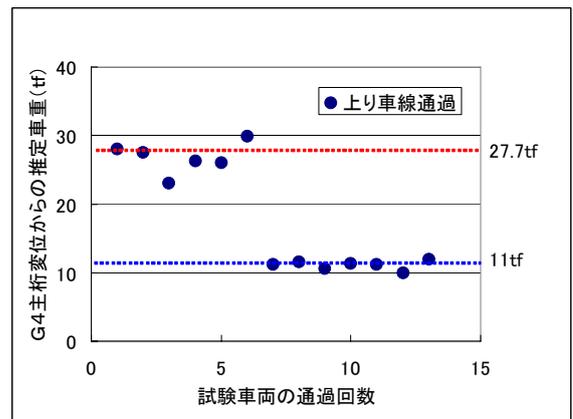


図-21 上り車線の試験車両の車重の算定結果

回走行試験のデータが残されており、今後はそのデータを用いて検証を行う予定である。

なお、試験車両の走行および主桁のたわみ測定は共同研究で実施したものを利用しており、光学ストランドによる測定は宮地鐵工所と共同し、OSMOS技術協会の協力を得て実施したものである。

最後に共同研究ならびに測定において、ご指導いただいた京都大学大学院大島義信氏、元（株）宮地鐵工所の能登宥愿氏ならびに山下久生氏に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 山下久生, 蓮井昭則, 能登宥愿, 大島 義信: 光学ストランドによる既設橋梁の動的モニタリング, 土木学会第60回年次学術講演会, I-428, pp.853-854, 2005.9
- 2) 前田信行, 粥川幸司, 山下英俊, 蓮井昭則, 田口史雄, 嶋田久俊, 佐々木慎一: 橋梁を対象としたコンクリート構造物の品質性能評価に関する研究(その1), ハザマ研究年報2002年版, 2002.12
- 3) 蓮井 昭則, 能登 宥愿, 門 万寿男: 光学ストランドを用いた構造物モニタリングについて, 地下空間開発における調査・計測に関するシンポジウム, 2006.5

---

---

### A Study on a Maintenance Method of Bridges in Operation -Part 1: Behavior Monitoring Results of a Steel Bridge-

Akinori HASUI

In a joint research project, we carried out measurement of the displacement behavior of a concrete floor and principal beams of a bridge using optical strands. As a result, the response of the bridge by traffic loads became clear. It is thought that an index to know a healthy degree of a bridge is to use the neutral axis. From the deformation of the lower flange of a principal beam, traffic loads can be roughly estimated.