

# 既設橋梁の維持管理手法に関する研究（その2） — 鋼橋の監視方法の検討 —

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。その結果を参考にして、橋梁の具体的な監視方法を検討し、①通行車両の重量と台数、および②中立軸位置を監視指標にした常時モニタリングを実施中である。ここでは、その監視方法を検討した経過について報告する。

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

米国ミネソタ州のトラス橋の落下、岐阜県の本巣川大橋でのトラス部材の破断、山口県やベトナムでの施工中の橋梁の落下事故などの橋梁のトラブルが報道されている。橋梁は日常の社会生活で利用する身近な構造物であり、そのほとんどは交通施設であるため、トラブルが発生すると交通遮断ばかりでなく、人命に関わることもなる。そのため、供用中の橋梁の健全性や安定性を常に把握しておくことは、維持管理する上で重要であり、モニタリングはそれらに対する情報を与える手段として有効な方法である。また、医療分野での患者の健康状態を常に把握する「ヘルスマニタリング」の考え方を土木構造物にも応用し、構造物の老朽化や地震による損傷の検知などに利用しようとする研究<sup>1)</sup>もされている。しかし、現状ではモニタリングの必要性は認識されてはいるものの、コストが高い、測るより補修・補強した方が早い、測定結果を評価する方法が不明確であるなどの理由から、実施されている事例は少ないように思われる。

間組では橋梁の維持管理手法を目的として、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、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（予備測定）を行い、その結果の一部についてはハザマ研究年報<sup>2)</sup>にその1として報告している。さらに予備測定の結果を参考に、平成19年度からは橋梁の状態を常時モニタリングで監視する試みも開始している。

本報告では、光学ストランドによる構造物のモニタリングシステム（Optical Strand Monitoring System：OSMOS）を用い、実際の既設橋梁（鋼橋）を対象にした監視方法について、検討した経緯や方法について報告する。

## 2. 供用中の橋梁におけるモニタリングの役割

供用中の橋梁に対するモニタリングには、2つの役割が考えられる。1つは供用時や補修・補強時の橋梁の健全性・安全性を確認し、異常の発生を検知すること、他方は補修・補強効果の確認である。特に補修・補強においても構造物を一時的に不安定にする工事や、補修・補



写真-1 対象橋梁の全景

\* 技術研究所

強前後での構造物の挙動形態の変化が十分考えられ、モニタリングの役割は大きいと考えられる。しかし、出来形や施工数量などで管理されているもののモニタリングによる力学的な評価はほとんど実施されていないようである。

一方、モニタリングのみで橋梁の健全性や安全性を網羅して捉えることは多くのコストが必要であり、実現性に乏しい。そのため、モニタリングの役割は異常を詳細に知ることより、異常の発生可能性を捕らえ、たとえば詳細点検などの次ステップに結びつける役目を担うものとする。

橋梁の種類は使用されている材料からコンクリート橋や鋼橋に大別され、さらにそれぞれで種々の形式がある。そして、モニタリングの対象とすべき部材にも多くの選択肢があるが、その種類に関わらず、①健全性（安定性）や安全性を代表する指標を、②少ない測定点で、③長期間にわたって安定して、④簡単に測定できることが必要となる。とくに「簡単に測定できる」には、設置や測

定の簡単さばかりでなく、補修・補強時によく問題となる計測器の付け替えによる測定結果の連続性に実用的な問題がないことも含んでいる。

### 3. 対象橋梁

#### 3.1 橋梁の概要

対象とする橋梁は全長 187m の 2 車線国道橋で、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 年以上経過し、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、道路面の状況および橋梁下面の状況を写真-2, 3 に示す。また、橋梁の構造を図-1 に示すが、橋梁の形式は 7 径間ゲルバー鋼桁で 4 本の鋼主桁で支えられている。橋梁の幅員は 8 m で、岡山方面の下り車線、姫路方面の上り車線の各 1 車線であり、2 車線道路が 4 本の主桁で支持されるという比較的シンプルな構造である。なお、橋梁の両側には歩道がついているが、力学的には別構造になっている。



写真-2 道路面の状況



写真-4 計測区間



写真-3 橋梁下面の状況

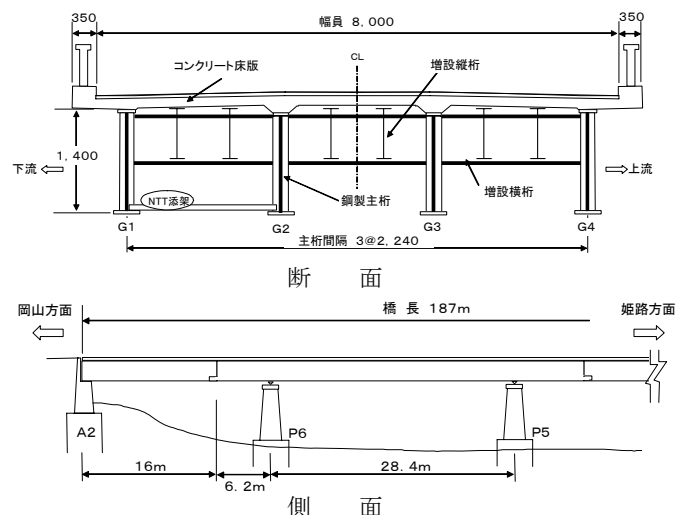


図-1 対象橋梁の概要

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。この区間は橋梁したに河川敷があり、アクセスや計測器の設置が容易である。また、予備測定の結果、コンクリート床版と鋼主桁はP5橋脚～P6橋脚間では非合成桁、P6橋脚～A2橋台間では合成桁の挙動を示していることが分かっている。計測区間を写真－4に示す。

### 3.2 監視対象とする挙動

橋梁の変形挙動には、長期的な変形と交通荷重や地震動による短期的な動的変形が考えられる。長期的な変形には部材のクリープ的な変形やクラックの発生による変形などの他に、温度による年間変化や日変化も含まれており、部材そのものの変化を明確にするためには、温度や日射などの天候による構造物への影響を的確に除去するとともに長期間にわたる計測が必要である。一方、交通荷重や地震動による変形は短期間に発生する。そこには温度の影響が関与する余地が少なく、外力に対する応答のみを対象にする場合には時期を問わずに計測値を分析することが可能であるが、部材そのものの変化を知ることにはできない。

対象橋梁では健全性や安全性が低下する原因として、車両通行の繰り返し荷重による疲労劣化が最も大きいと考えられる。疲労劣化が進行すると、車両が通行した際にたわみが大きくなったり、衝撃など乗り心地が悪くなるような変化が予想されるため、監視対象とする挙動として通行車両による変形を選定した。

## 4. 予備測定と挙動の特徴

### 4.1 予備測定

予備測定は車重の判明している車両（試験車両）を下り車線と上り車線で走行させ、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。予備測定については参考文献<sup>2)</sup>に詳細に述べているので、ここではその概要を紹介する。

#### (1) 測定手法

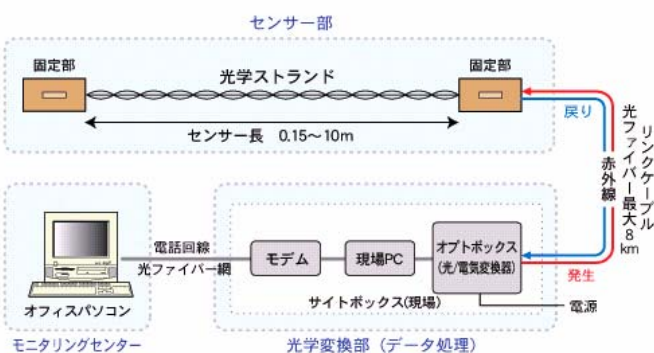
光ファイバーを利用した変位測定方法には幾つかの方法が提案されているが、ここでは「光学ストランドによる構造物のモニタリングシステム<sup>4)</sup>」を使用した。この方法は「OSMOS(オスモス)」と呼ばれている方法で、センサー両端間の相対変位を測定するもので、システムの基本構成を図－2に示す。

#### (2) 測定位置

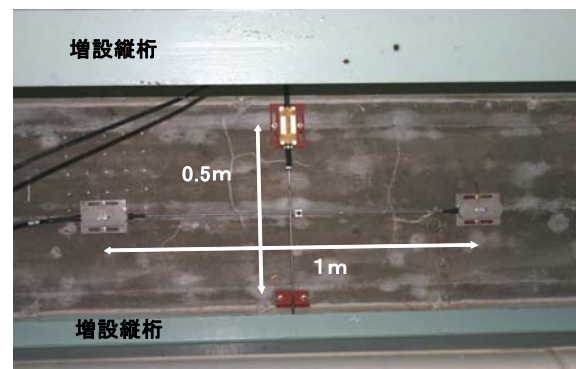
測定は色々な部材の挙動を測定するために、第1回走行試験ではA2－P6径間、第2回走行試験ではとP6－P5径間の主桁の上下フランジ、コンクリート床版の下面、増設縦桁を測定位置とした。なお、P6－P5径間での測定では、同じ位置で主桁のたわみ測定も別途実施されている。コンクリート床版、主桁フランジのセンサー設置状況例を写真－5、6に示す。

#### (3) 試験車両の走行

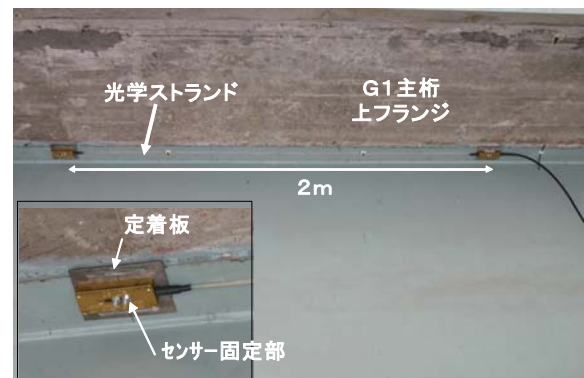
車重の異なる2種類試験車両を時速50kmならびに30kmで下り車線、上り車線を走行させた。試験車両の走行では、速度は運転席の速度メーターを目安に、走行位置はできるだけ車線中央を走行するものとした。



図－2 システムの機器構成



写真－5 コンクリート床版での設置



写真－6 鋼主桁での設置状況

## 4.2 監視方法につながる挙動の特徴

予備測定の結果については参考文献<sup>2)</sup>に詳細に述べているので、ここでは監視方法の検討に繋がる挙動の特徴を整理する。

### (1) コンクリート床版および増設縦桁の変形

コンクリート床版の変形量は小さく、重量 27.7 t の車両が通行した場合には測定区間長 1 m に対し、0.01mm の変位（平均ひずみに換算すると  $10\mu$ ）であり、センサーの感度（ $\pm 0.002\text{mm}$  程度）を少し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る効果と考えられる。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（図-3 参照）。

### (2) 主桁（鋼主桁）の変形

通行車両がゲルバーの影響範囲を通行することに反応して挙動し、車両が径間中央部を通過する際に、径間中央部で最大の変形が発生する。挙動は通過車両の車軸 1 つ 1 つには反応しておらず、1 台の車両が 1 つの荷重のようになっている。重量 27.7 t の車両が通行した場合、径間中央部では測定区間長 2 m に対し、0.2mm の変位（平均ひずみに換算すると  $100\mu$ ）である（図-4 参照）。

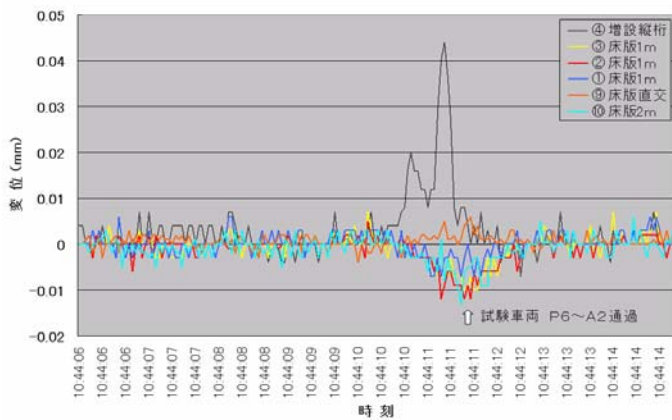


図-3 コンクリート床版、増設縦桁での予備測定

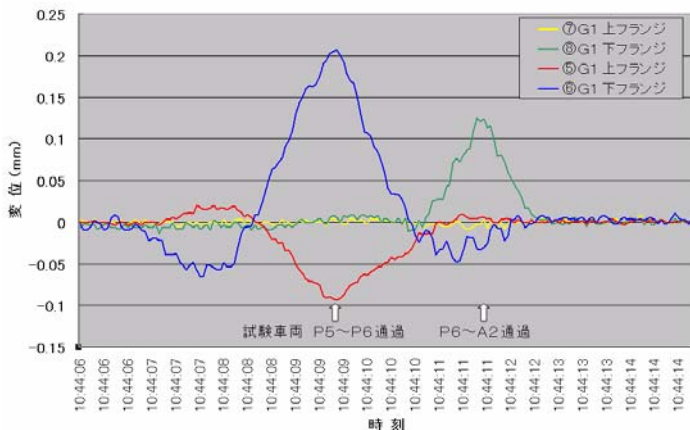


図-4 鋼主桁でのよび測定結果

橋梁は上り下り各 1 車線の 2 車線が一体になっているため、主桁の下り線を通過した車両の影響が上り線側の主桁にも及んでいる。

上り線を車両が通行する場合は上り線側端の主桁下フランジの変位が最も大きくなる。逆に下り線を車両が通行した場合には下り線端の主桁下フランジの変位量が最も大きくなる（図-5 参照）。

### (3) 主桁変形と車重

試験車両の走行速度（時速 30km と 50km）や車線上の微妙な通行位置に関わらず、主桁の下フランジにはほぼ同様の変形が発生するが、対向車線に重量車両がすれ違う場合（図-5 中、27.7tf3 回目と 11tf6 回目）では、その影響を受けて主桁の下フランジの変位量にバラツキが生じる。しかし、そのような事例を除く、つまり試験車両が単独で通行した場合、主桁の下フランジの変形量と通行する車両総重量は良い相関性がある（図-6 参照）。

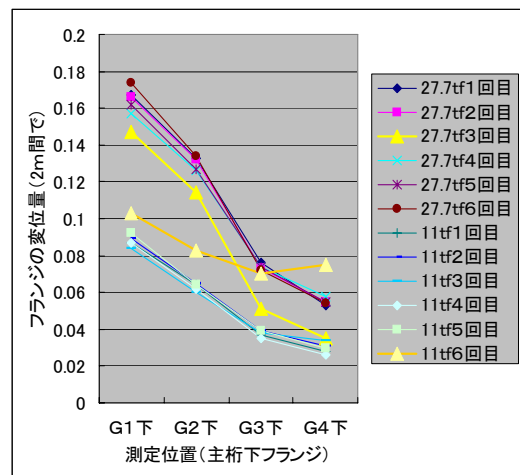


図-5 下り車線走行時の主桁変形

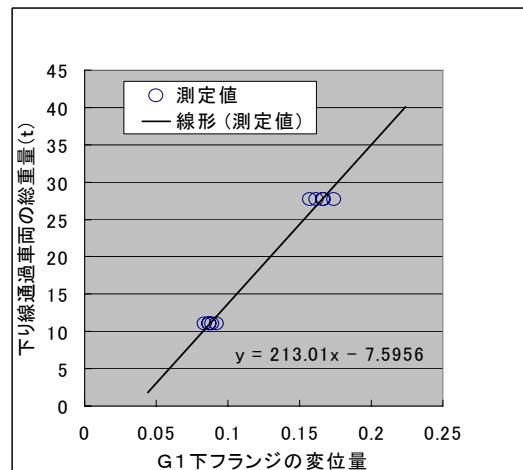


図-6 下り車線での主桁変形と車重との関係

#### (4) 主桁の中立軸

試験車両とは関係ない一般車両が通行しているG1主桁の上フランジと下フランジの変形(10分間)を図7に示す。この時間内には3回の試験車両通過を含め112台(下り車線通過は32台)の大小様々な車両が通行している。このうち、下り車線を通過した32台の車両による上フランジと下フランジの変形量の関係を図8に示すが、両者は当然のことながら良い相関があり、特に下フランジの変形量が0.1mmを越える場合にはそれが明確である。この結果は大小様々な車両がランダムに、対抗車や連行車がある状態で通行しても、上フランジと下フランジの変形量の関係は一定であるといえる。また、この測定値をもとに中立軸位置を算定した結果を、図9に示す。測定値から算定したG1主桁の中立軸はやや合成桁側にあり、多少の幅はあるものの、車重の重軽や通行状況に関わらずほぼ一定に近い。

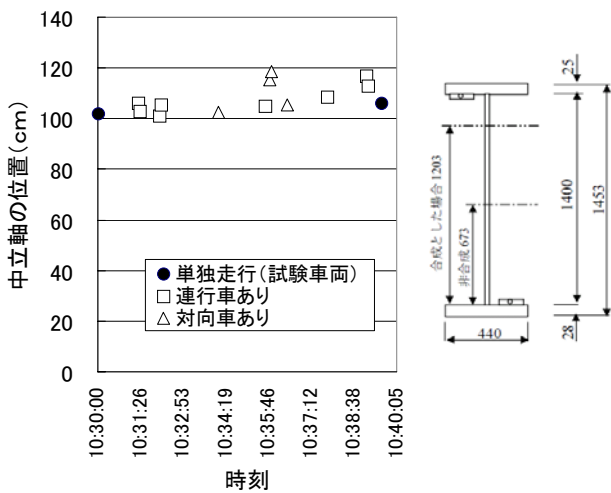


図-8 G1主桁での上下フランジ変形の関係

## 5. 監視方法の検討

### 5.1 モニタリング項目と監視指標

対象橋梁で懸念される劣化は通行車両の繰り返し载荷による疲労で、特にコンクリート床版の劣化が問題になると予想される。しかし、通行車両によるコンクリート床版の変形量は小さく測定限界に近いので、コンクリート床版の変形挙動は測定誤差の影響が大きいと考えた。一方、主桁の下フランジの変形量は比較的大きく、また、通行車両との相関性も高い。橋梁の挙動を利用して通行車両の重量を推定する方法にはいくつかの方法<sup>3)</sup>が提案されているが、対象橋梁でも推定精度は高くないものの、主桁の下フランジの変形量から通行する車両の重量と頻度を推定することは可能と考えられる。そのため、主桁の下フランジの変形モニタリングから【通行車両の重量と頻度】を算定し、通行車両の交通状況を概推するとともに、疲労による劣化を検討するための監視指標とした。対象橋梁のP5-P6径間はコンクリート床版と鋼主桁

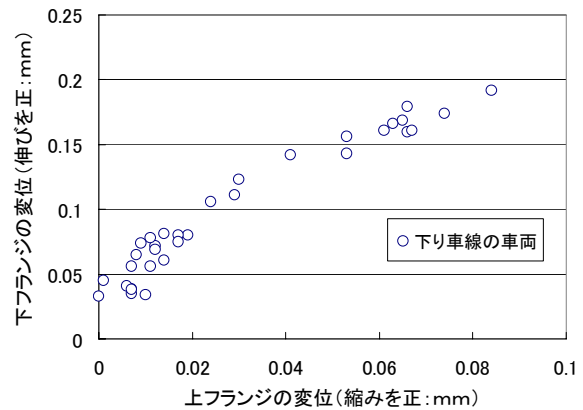


図-9 中立軸位置の推定結果

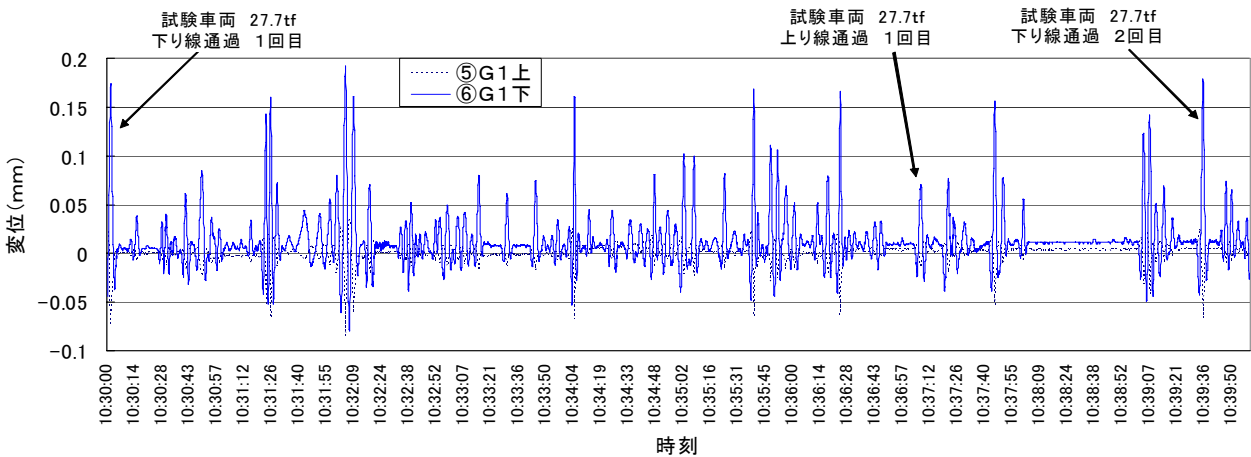


図-7 10分間のG1主桁の上下フランジの変形

が合成桁として挙動しており、その中立軸は床版と主桁の力学特性を反映し、力学特性が変化した場合には中立軸位置に変化が現れると考えられる。この中立軸の位置は通行車両による主桁の上フランジと下フランジの変形量から算定することができ、変形量が小さいケースより比較的大きいケースの方が中立軸の推定精度がよさそうである。そのため、主桁の上下フランジの変形モニタリングから【中立軸位置】を推定し、その変化を監視対象とした。

## 5.2 監視方法

### (1) 計測位置

計測断面はP 5-P 6 径間の中央部の主桁とし、4本の主桁のうち各車線の外側の主桁（上り線ではG 4、下り線ではG 1）を測定対象とする。この両者は最も大きな変形挙動を起こし、測定値を比較することで上り車線、下り車線のいずれの車線を通過したかを区別することができる。また、中立軸位置を求めるためには、主桁の上下フランジの変形が必要であり、このことから測定はG 1主桁の上下フランジ、G 4主桁の上下フランジとした。図-10 に計測断面での測定位置を示すが、橋梁の監視に用いるセンサー（光学ストランド）は4本となる。

### (2) モニタリング対象

車両重量の判明している試験車両を単独で走行させ、それに対する変形挙動は橋梁の力学特性の変化を推定するうえで、最も信頼性があり正確でもあるが、試験車両を頻繁に走行させることはコスト的にも難しい。一方、常時通行している一般車両による変形挙動が監視に利用できれば、汎用性が高くなる。予備試験結果では課題点はあるものの、一般車両を利用した監視の可能性は高いと考えており、モニタリング対象は一般車両とした。

### (3) 監視指標

常時計測1時間ごとに、G 1とG 4主桁の下フランジの変形量から上り車線および下り車線を走行した各通行車両の車両総重量を図-6 で示した相関関係を用いて算出し、重量別にクラス分けした台数を監視指標とした。また、主桁変形量で最大となる通行車両に対して、上下

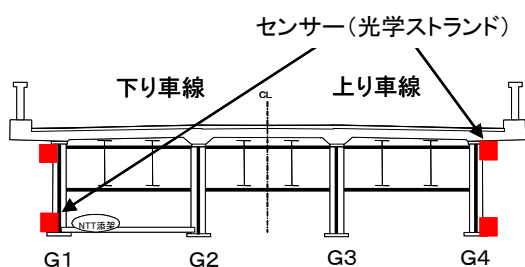


図-10 監視方法における計測位置

フランジの変形量から見かけ上の中立軸の位置を算定し、監視指標とした。したがって、監視のために得られる情報は①1時間間に上り車線および下り車線を通行した軽・中・重車両の通過台数、②その間のG 4主桁（上り車線）およびG 1主桁（下り車線）の中立軸の位置となる。

## 6. 結果と課題点

対象橋梁のモニタリングによる監視は平成19年5月から実施されており、現在も継続中である。図-11に6月のある1日間（木曜日）に上り車線を通過したと推定される車両台数の1時間ごとの経時変化を示すが、通行車両の増減状況が良く分かる。この経時変化には連行車両や対向車両あるいは渋滞の影響も含まれ、さらに、軽乗用車などの軽車両では主桁変形量が小さいため通行車両としてカウントされないケースもみられており、正確さという面は今後の課題である。しかし、橋梁が受ける繰り返し载荷という面では、十分な情報として利用できると思われる。

## 7. おわりに

本報告は既設橋梁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2ステップとして、第1ステップで得られた測定結果をもとに監視指標を得るまでの検討経緯をとりまとめたものである。橋梁には多様な形式があり、付属施設の追加により力学的な構造が変化するなど、監視対象とすべき挙動も様々である。しかし、橋梁は重量が明確な試験車両を通行させることにより、簡単に見かけ上の合成を得ることができるという特徴も有しており、力学的な分析のし易い構造物であるとも考えられる。今後は、監視指標を分析し健全性や安定性を評価するまでの道筋が必要であり、挙動監視を継続しながら評価に関する検討・改善を行う予定である。

なお、試験車両の走行および主桁のたわみ測定は共同

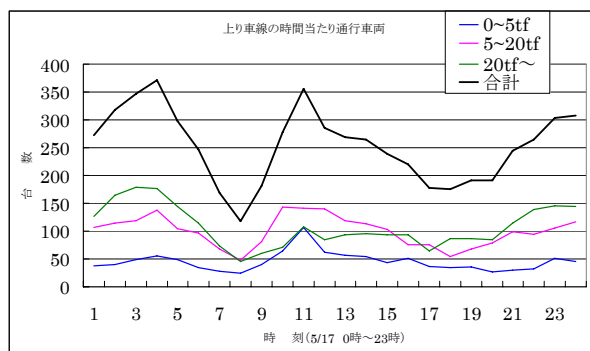


図-11 推定した通行車両の経時変化の例

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実施したものである。

#### 参 考 文 献

- 1) たとえば，土木学会コンクリート工学委員会：コンクリート構造物のヘルスマニタリングに関するシンポジウム，2007.4
- 2) 蓮井昭則：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－，ハザマ研究年報2006年版，2006.12
- 3) たとえば，小塩達也，森田俊樹，深田宰史，山田健太郎，梶川康男：自動車荷重と橋梁・地盤振動の同期モニタリング，構造工学論文集，Vol. 50A, 2004

---

---

#### A Study on a Maintenance Method of a Bridge in Operation -Part 2: The examination of the monitoring method of the bridge-

Akinori HASUI

In a joint research project, we carried out measurements of the transformation behavior of concrete floor slabs and principal beams of a bridge using the optical strand monitoring system. Taking the results into account, we examined the management method of the bridge with ①weight and the number of the traffic vehicles and ②the position of the neutral axis. We are carrying out the regular monitoring using these indexes for the bridge. The process of the examination of the monitoring method is reported.