

OSMOS システムによる実橋モニタリング報告

Bridge Monitoring with the OSMOS System

岩下 宏*¹ 山下 久生*² 能登 宥 愿*³
 Hiroshi IWASHITA Hisao YAMASHITA Hiroyoshi NOTO

Summary

By installing OSMOS sensors connected with optical fiber cables on an actual bridge, how the bridge members are affected by live loads, natural phenomenon including earthquakes, typhoons, and temperature variations were monitored. The monitored data should be analyzed to corresponding loads. By examining the validity and usefulness of the data, the authors hope that the monitoring method becomes widely used.

キーワード：維持管理、OSMOS、モニタリング

1. まえがき

交通供用下における橋梁の維持管理は必要不可欠である。維持管理は自治体により異なるが、概ね日常点検・定期点検・臨時点検に分類され、必要に応じて実施される。

しかし我が国では、高齢化・少子化が進行しており、市街地のみならず山間部・高所での点検作業には、労働力の不足が懸念されている。また近い将来、高度成長期に架設された橋梁が半世紀を迎える。

そこで、橋梁に必要な維持管理を省力化し、かつ効率良く実施できるモニタリングシステムを構築することが、我が国の時代背景に適合していると思われ、利用の拡大が期待されている。

ここで取り上げるモニタリングシステムとは、一般的に交通供用下にある橋梁部材にセンサーを取り付け、橋梁部材に影響を及ぼす挙動を、時系列に監視し記録するシステムである。

その結果を受け、システム担当者や保全技術者は、部材がいかなる挙動をしているのか、橋梁のそばにいないとも、遠隔地から知ることができる。

本稿では、宮地技報第16号¹⁾、第17号²⁾にて報告した、光学ストランドセンサーによるモニタリングシステム“OSMOS (Optical Strand Monitoring System)”を実橋に設置し、そこで採取したデータの有効性について検証する。また、設置における課題とその対策について述べ、さらに、データの妥当性について、解析による検証を試みる。

具体的には、次のように報告する。

- ①橋梁のモニタリング項目
- ②OSMOS の設置における種々の課題
- ③モニタリングデータの採取状況
- ④採取したモニタリングデータの妥当性確認

2. 橋梁のモニタリング項目

OSMOS を設置するにあたり、事前に荷重等により、どのようなデータが得られるのか、またその妥当性がどの程度なのかを確かめることは、重要な項目である。

橋梁のモニタリングでは、交通供用下において橋梁の部材に影響を及ぼす荷重に関し、時系列の挙動を得るのが目標だと考える。

上部工に限ると、それらの荷重は表-1のように、自然の現象と人為的な荷重に分類できる。

表-1 部材に影響を及ぼす荷重

	荷 重
自然現象	風、温度変化、地震、雪
人為的な荷重	活荷重、衝突荷重 補修・補強工事の際に生じる部材の交換

自然現象、例えば地震が発生した場合、目視による点検をするかしないかの判断を必要とする時に、その抛り所とするためのデータは有効性が高いと思われる。

*¹技術本部技術研究所技術開発課

*²技術本部技術研究所技術開発課課長代理

*³技術本部技術研究所長

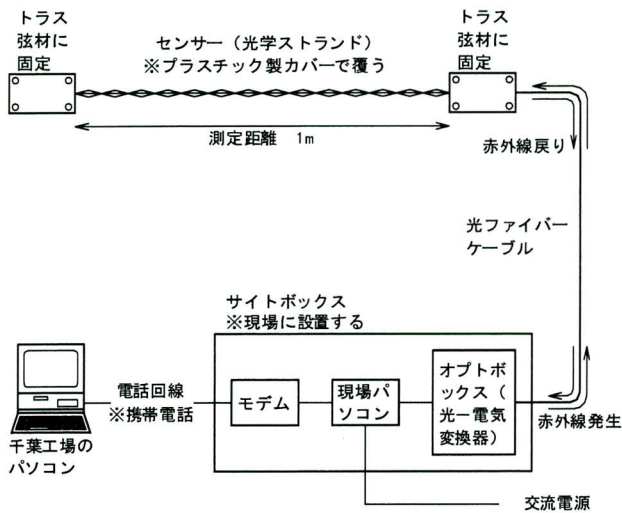


図-1 OSMOSシステムの設置概要図

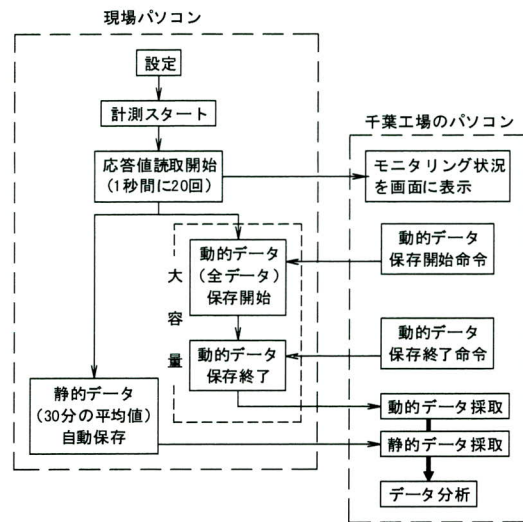


図-2 データ採取状況

人為的な荷重、例えば車両どうしの衝突による変位挙動、火災による異常な温度上昇、さらに疲労損傷に伴う大きな変位挙動などが、遠隔地でも瞬時に分かることは、交通止めのタイミングを決めたり、2次被害の発生を防いだりする利点がある。

3. OSMOSの設置における種々の課題

2項で記述した目標に対し、実際の交通供用下におけるデータを採取するために、今回、片側1車線のトラス橋にOSMOSセンサー（以下、OSMOSとする）を設置することとした。その背景として、この橋梁の特徴を以下に示す。

- ① 供用してから40年以上経過している。
 - ② 海に近いため、常に海風にさらされる。
 - ③ 通行車両としては、大型車両が頻繁に通過する。
- まず設置作業にあたって留意したのは以下の項目である。
- ① 光学ストランドセンサー部は、プラスチック製のカバーで覆い保護する。
 - ② 光ファイバーケーブルの曲率を規定値以下とする。
 - ③ 配線は、道路交通の邪魔にならないよう固定する。
 - ④ オプトボックス（光-電気の変換機）の設置は、振動によって位置がずれないように慎重に行う。

またモニタリングの実施にあたって、留意したのは以下の項目である。

- ① いつ地震が発生するか予測できないので、できる限り動的データを保存しつづける。
- ② 動的データの連続保存は、パソコンの内部記憶容量を大

量に使うので、月に一度現地にデータを吸い上げに行く。なお部材温度は、同じ部材に熱電対を取りつけて計測した。

OSMOSをはじめとした測定機器、および周辺機器の設置状況を図-1に示す。

4. モニタリングデータの採取状況

モニタリングのデータ採取状況を図-2に示す。

OSMOSのデータ採取を制御するパソコンは、現地に設置する。このパソコンは、次の2種類のデータを記録・保存することができる。

- ① 1秒間に20個のデータ（以下、動的データとする）
- ② 30分間で平均したデータ（同、静的データとする）

モニタリングは、平成15年3月から開始した。そして、月1回の報告を行い、8月末にモニタリングを終了、その後撤去作業を行った。設置から撤去までのモニタリング期間中に発生した、強風・地震の発生状況を表-2に示す。

採取するデータ形式は、OSMOSが変位で、熱電対が温度である。OSMOSで得た変位の動的データおよび静的データを次項で紹介するとともに、妥当性について論じるものとする。

5. 採取したモニタリングデータの妥当性確認

採取した変位に関するモニタリングデータを、以下の5種類に分類して報告する。

- ① 長期的な挙動に関するデータ

モニタリング期間である平成15年3月から同年8月末までの静的データを、時系列にしたものである。

②夜間工事の影響に関するデータ

本橋梁はモニタリング期間中、夜間に片側車線を通行止めにし、工事を実施した。この工事による、部材への影響を検証する。

③活荷重に関するデータ

本橋は時刻を問わず大型車両が頻繁に通過する。これに朝夕の通勤ラッシュが重なった時に、部材がどういった挙動を示すのか検証する。

④地震に関するデータ

モニタリング期間中の3月～8月に、震度2の地震を6回観測した。地震荷重によってどういった影響が及んだのか検証する。

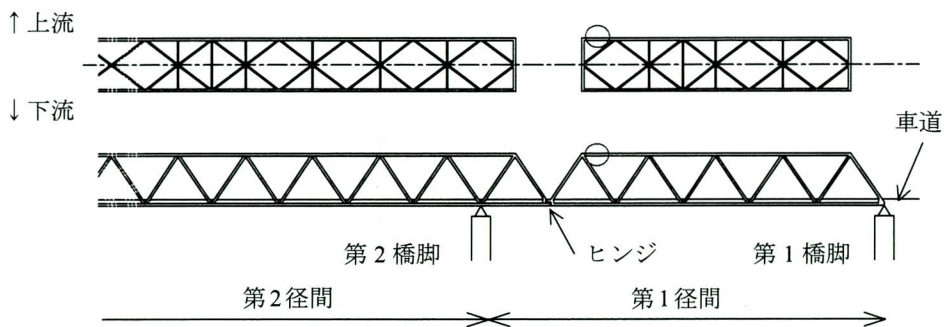
⑤台風に関するデータ

モニタリング期間中に、大きな勢力の台風が本橋付近を通過した。風荷重によってどういった影響が及んだのか検証する。

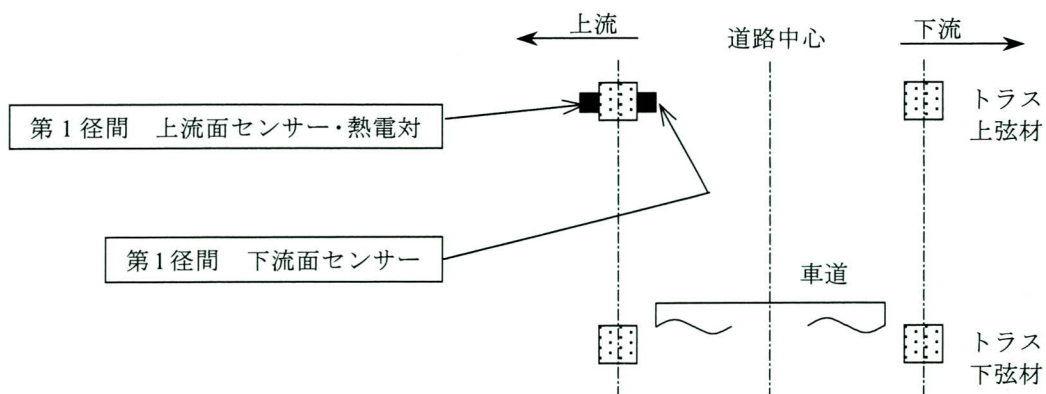
センサーを設置したトラス橋の概略図と、OSMOSの設置箇所を、図-3に示す。

表-2 モニタリング期間中に発生した強風・地震

月/日	現象	備考
4/5	強風	最大瞬間風速30.8m/sec
4/8	地震	震度2
4/25	地震	震度1
5/7	強風	最大瞬間風速20.1m/sec
5/8	強風	最大瞬間風速24.7m/sec
5/9	強風	最大瞬間風速22.4m/sec
5/12	地震	震度1
5/17	地震	震度2
5/26	地震	震度2
5/31	強風	最大瞬間風速21.6m/sec
6/6	地震	震度2
6/16	地震	震度1
6/20	強風	最大瞬間風速22.9m/sec
7/4	強風	最大瞬間風速22.8m/sec
7/17	地震	震度2
7/26	地震	震度1
7/26	強風	最大瞬間風速20.0m/sec
7/27	強風	最大瞬間風速20.7m/sec
8/4	地震	震度2
8/9	強風	最大瞬間風速25.9m/sec

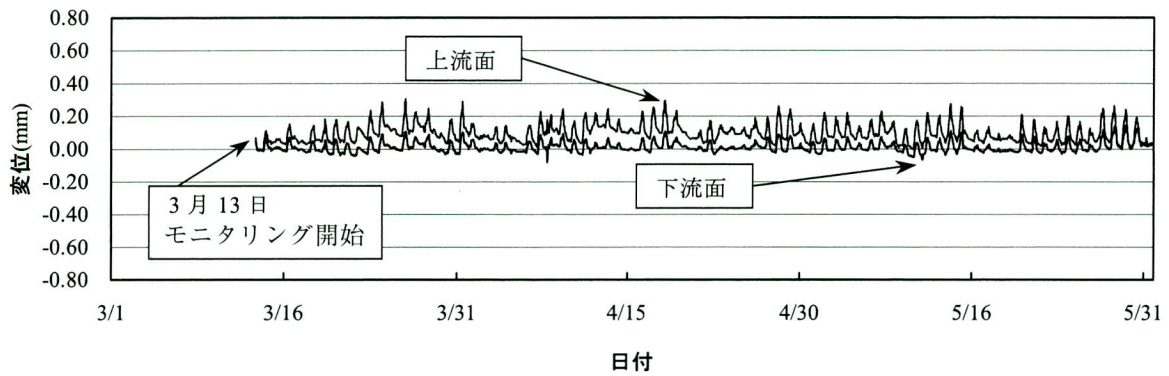


(a) 連続ゲルバートラス橋の概略図

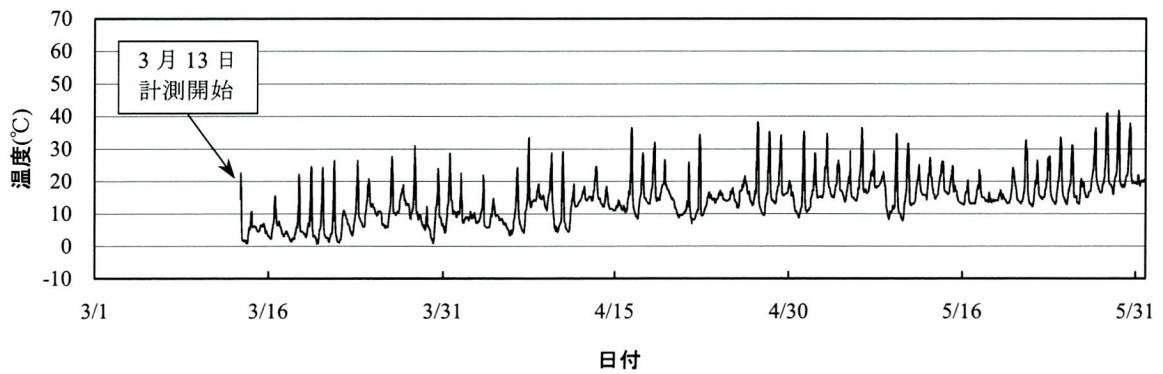


(b) 断面方向からの概略図

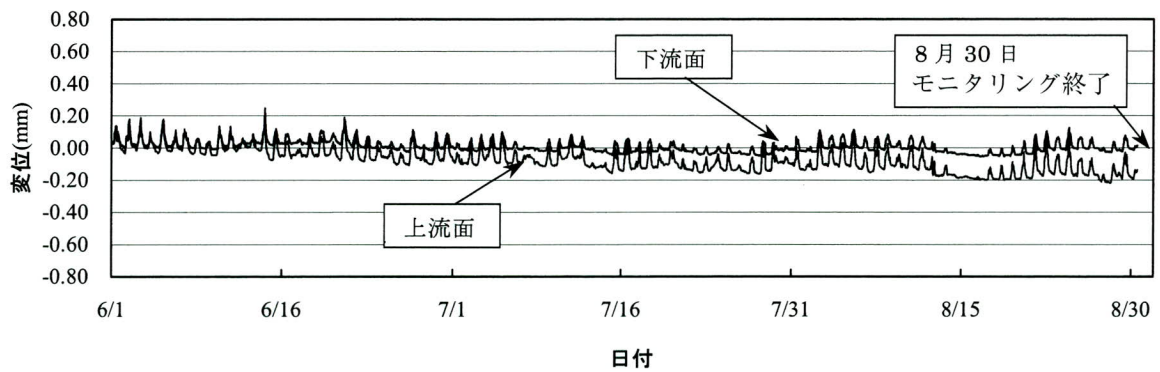
図-3 OSMOSセンサー位置図



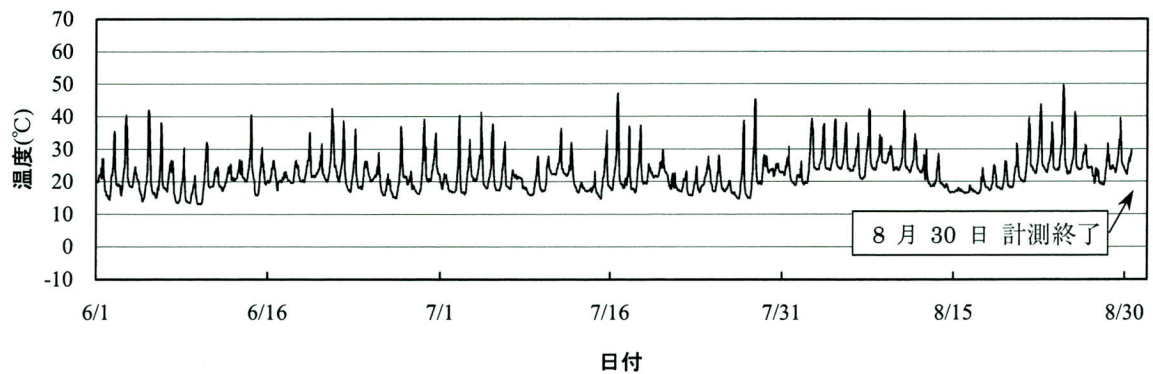
(a) 第1径間センサー設置部材の長期的挙動(その1)



(b) 上弦材の温度の長期的挙動(その1)

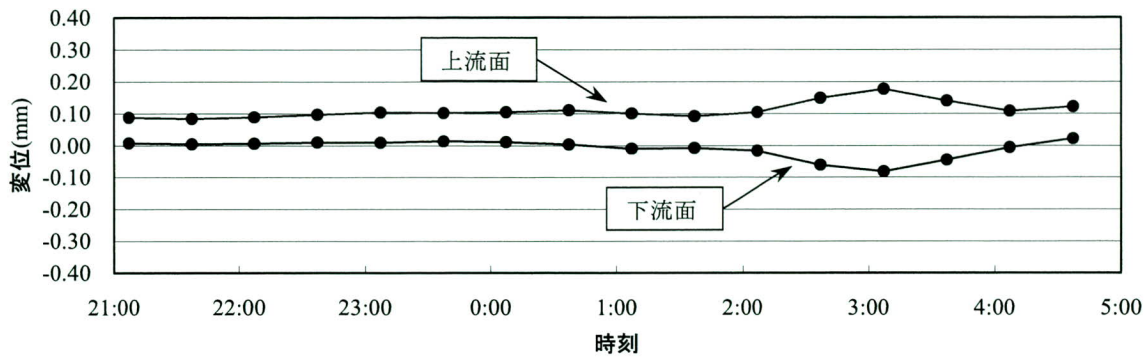


(c) 第1径間センサー設置部材の長期的挙動(その2)

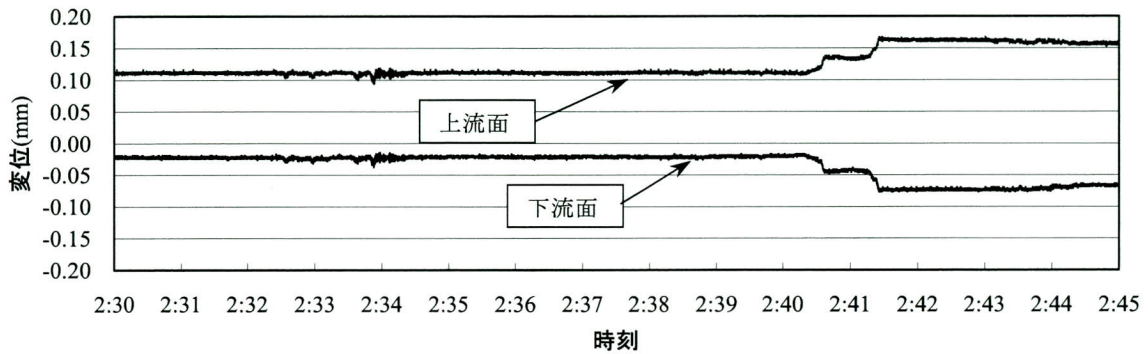


(d) 上弦材の温度の長期的挙動(その2)

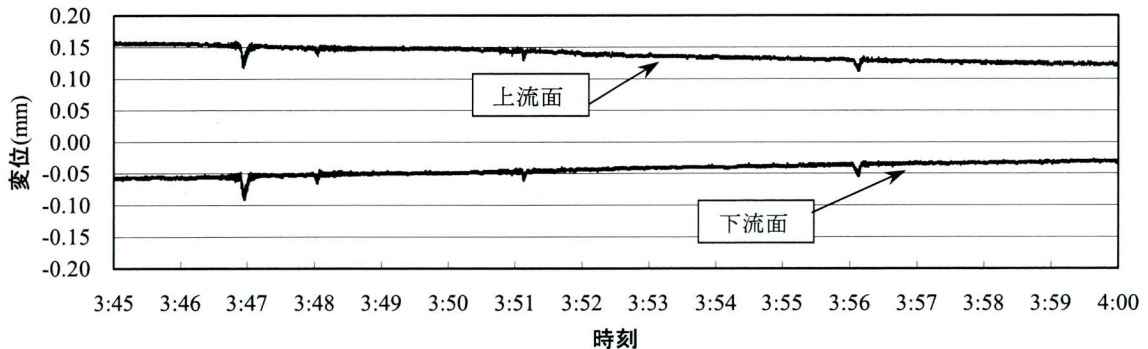
図-4 長期的なモニタリング結果



(a) 夜間工事における変位挙動の事例



(b) 拡大図(変位が急増する事例)



(c) 拡大図(変位が元の状態に戻る事例)

図-5 夜間工事中のモニタリング事例

(1) 変位挙動の長期的な推移

5ヶ月半のモニタリング期間における、変位と温度の経時挙動を図-4に示す。

図-4(a)と図-4(c)は、第1径間において、上弦材の上流面および下流面にそれぞれ設置したセンサーによる変位のモニタリング結果である。また図-4(b)と図-4(d)は、上弦材に設置した熱電対による温度挙動である。

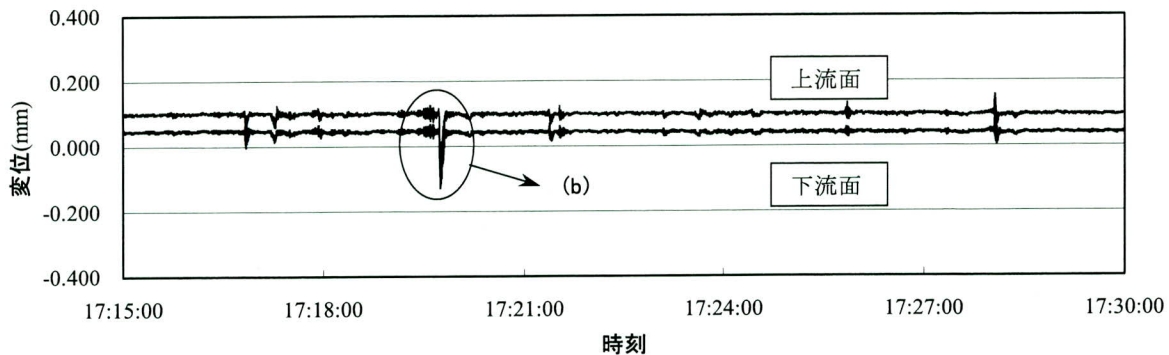
OSMOSセンサーが採取したデータは、主に温度変化に対応した挙動であった。これは、温度によって上弦材

が伸縮する様子を、センサーが的確に計測していると思われる。

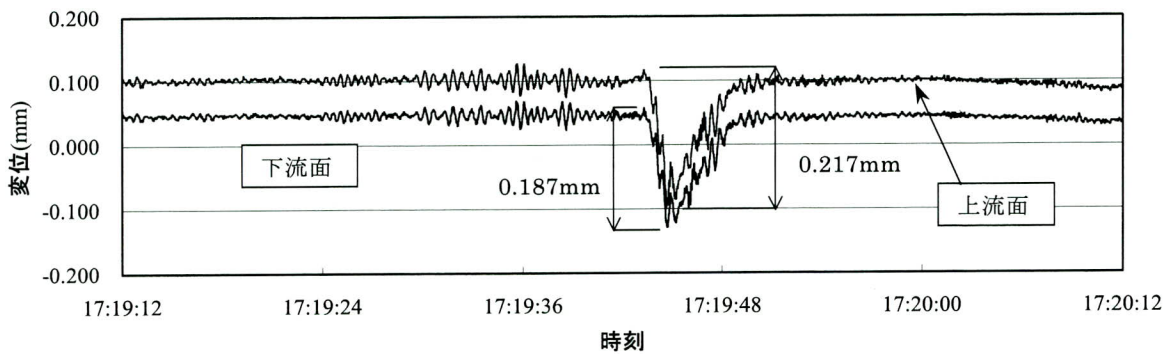
この年の7月～8月は気温が上昇せず、冷夏を象徴する期間であったが、その様子も表れている。このことから、温度と構造部材の傾向をつかんでおき、データの蓄積をしておく、仮に異常な挙動を示した時に、発見が容易になると考えられる。

(2) 夜間工事に伴う変位の挙動状況

図-5は、交通量が少なく、かつ温度が比較的安定し



(a) 大型車両通行時における変位の挙動事動



(b) 拡大図

図一6 大型車両通過時のモニタリング事例

ている夜の時間帯において、夜間工事と静的データおよび動的データの関連を表したものである。

図一5(a)に示した事例からは、午前2時から午前4時までの間に、上弦材に力が働いて、変位が一時的に変化したことがわかる。図一5(b)によると、曲げの発生は午前2時40分頃と判断できる。その大きさは上流面・下流面ともに約0.05mmであった。上流面が引張で、下流面が圧縮であったから、上弦材に曲げが発生したと思われる。しかし図一5(c)のように、午前4時頃には、曲げ発生以前の変位の水準まで回復しているのがわかる。

今回の場合、変位の水準が回復したことから、工事前後における大きな応力変動が無く、現状に戻ったのが確認された。

(3) 活荷重による影響について

図一6(a)と図一6(b)は平成15年5月27日の17時台におけるモニタリング事例である。筆者らは現地に常駐していなかったが、夕方の帰宅ラッシュ時間帯に積載重量の大きい車両が通過して、大きな変位挙動が生じた

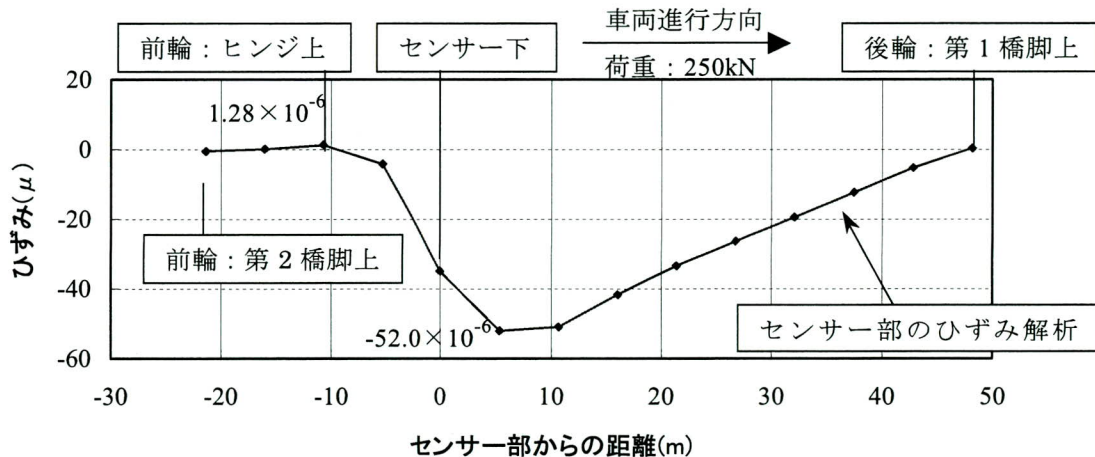
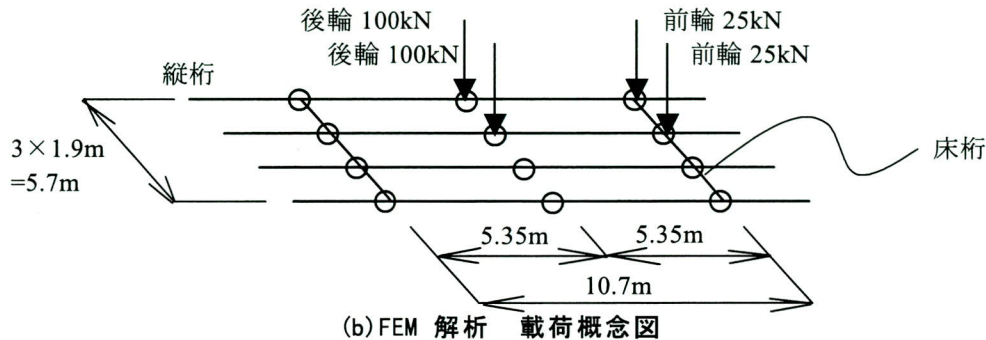
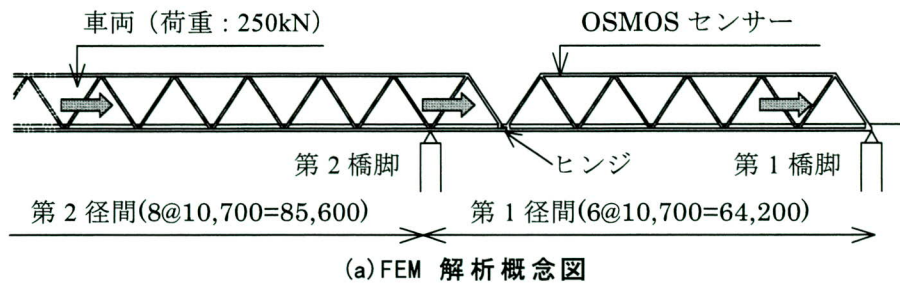
考えられる。

これはモニタリング期間中に、最も大きな変位の応答値を示した走行車両であり、その範囲は0.217mmであった。この値はひずみ換算で 217×10^{-6} ($0.217 / 1000 = 217 \times 10^{-6}$ 、1000mmはセンサーの元の長さ)、応力度換算で 43.4MPa ($\sigma = E \times \varepsilon = 2.0 \times 10^5 \times 217 \times 10^{-6} = 43.4 \text{N/mm}^2 \approx 434 \text{kgf/cm}^2$) であった。

この過積載車両の重量を推定するため、第1径間に25tf ($\approx 250 \text{kN}$)の車両1台が通過することを想定した解析計算を実施している(図一7)。

第1径間のヒンジ通過後に圧縮ひずみが増加し、センサー直下を通過後ピークに達した。その後第1橋脚到達まで漸減するのが確認された。解析計算で得られた波形は、過積載車両が通過したときのモニタリング結果と同じ傾向であった(図一6(b)と図一6(c))。

解析計算によるひずみ範囲は 53.3×10^{-6} であり、換算すると 10.7MPa ($\approx 107 \text{kgf/cm}^2$) であった。これはOSMOSセンサーによる計測結果の4分の1程度であった。したがって過積載車両は100tf ($\approx 1000 \text{kN}$)級の重量だと予測される。ただし実際は、大型車両の連行や対面通行、



(c) ひずみ解析結果

図-7 FEMによるひずみ解析

あるいは一般車両で満載になっていた可能性もあり、算出した重量は概略重量である。

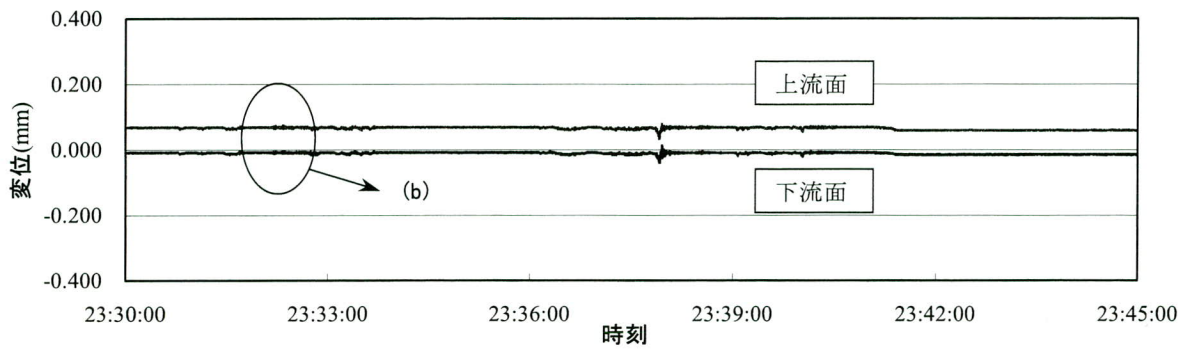
(4) 地震による影響について

モニタリング期間中、震度2の地震を6回受けた。その中から2つの事例を選び、図-8(a)~(d)に示す。同じ震度2と発表された地震でも、変位の応答は2倍以上違っていた。これは、震源地や震源の深さがそれぞれ異なっていたからであり、応答値は地震の入力方向、および地盤の硬さなどにより、影響の度合いが変わるものと考えられる。

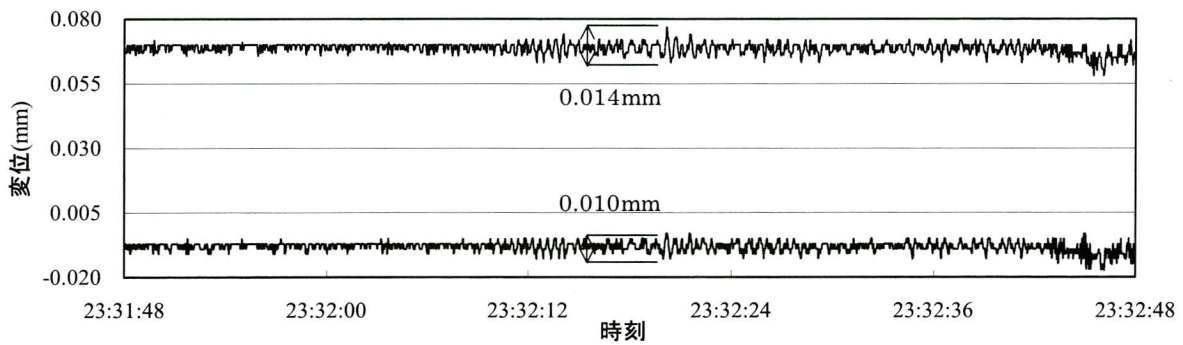
このように、気象台より発表される震度だけでは分からない、部材が直接受ける影響が分かるという有効性が確認された。

(5) 台風通過時の変位挙動

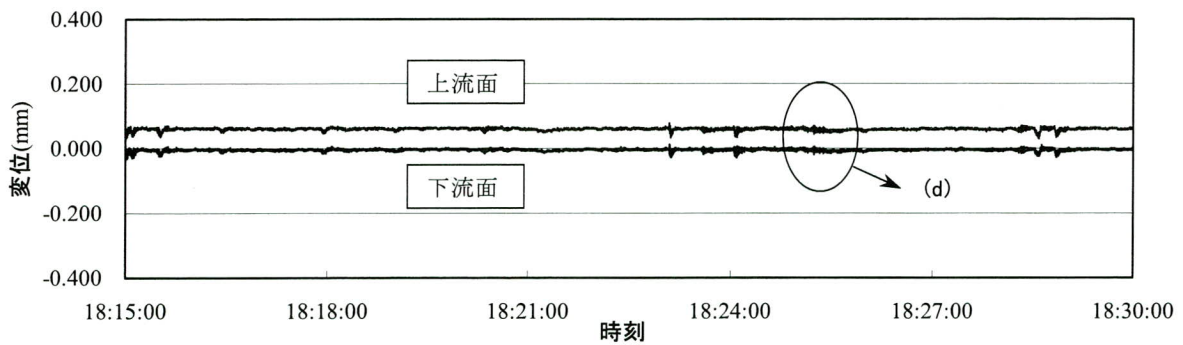
平成15年8月9日、台風10号が本橋を通過した。図-9(a)に当日を含む3日間の、日照量と風速の推移を示す。当日は日照が少なく、日中よりも夜の風速が大きかった。8日と10日は日照が多く穏やかな天気だった。ここでは静的データと動的データを用いて、台風がセンサー設置部材に及ぼした影響を検証する。



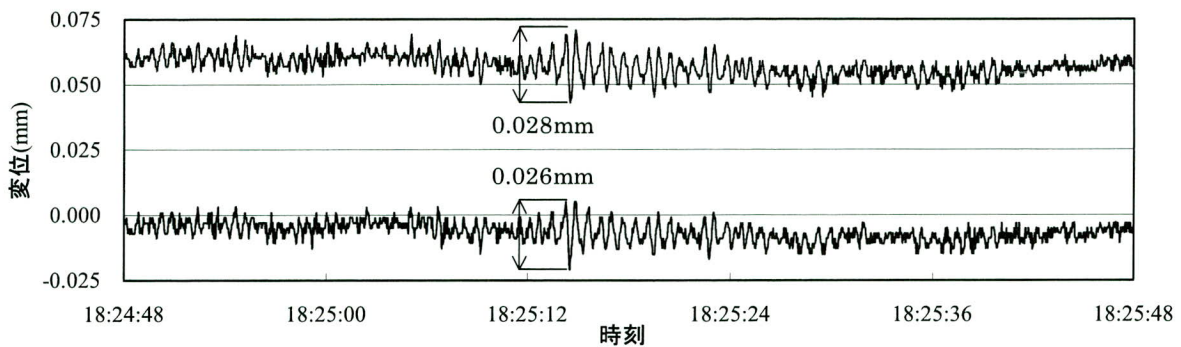
(a) 平成 15 年 5 月 17 日における地震発生前後の変位挙動



(b) (a) の拡大図



(c) 平成 15 年 5 月 26 日における地震発生前後の変位挙動



(d) (c) の拡大図

図-8 震度2の地震発生時のモニタリング事例

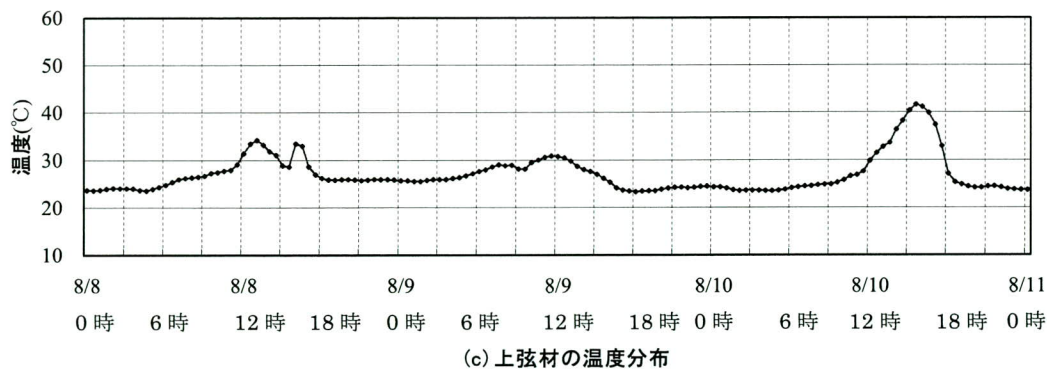
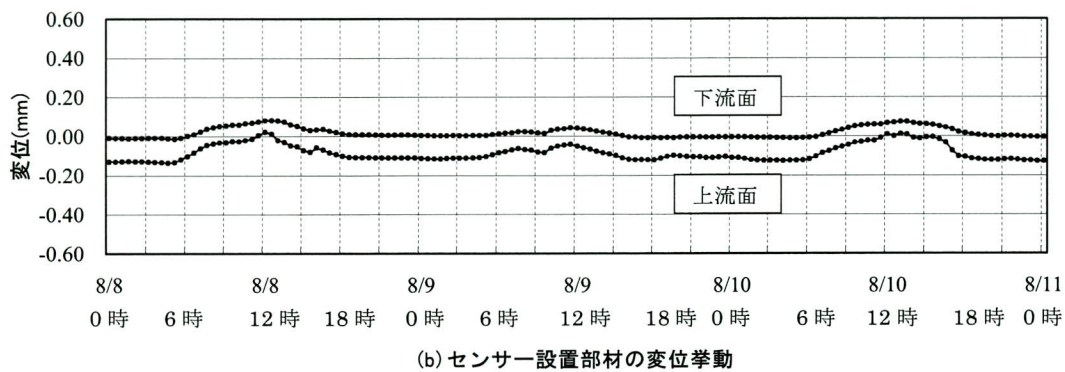
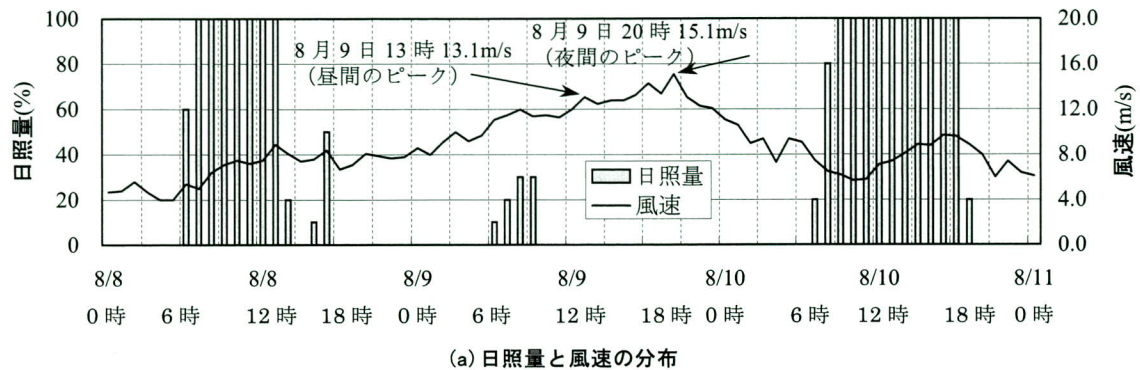
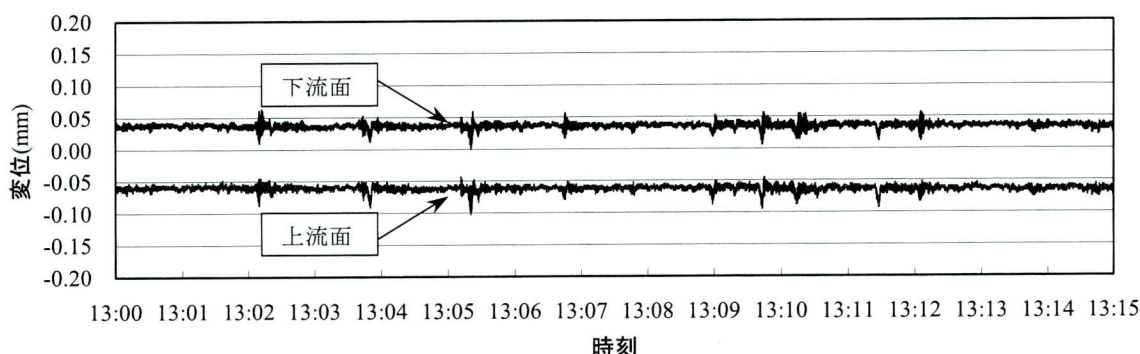


図-9 8月8日～8月10日の気象とモニタリング結果

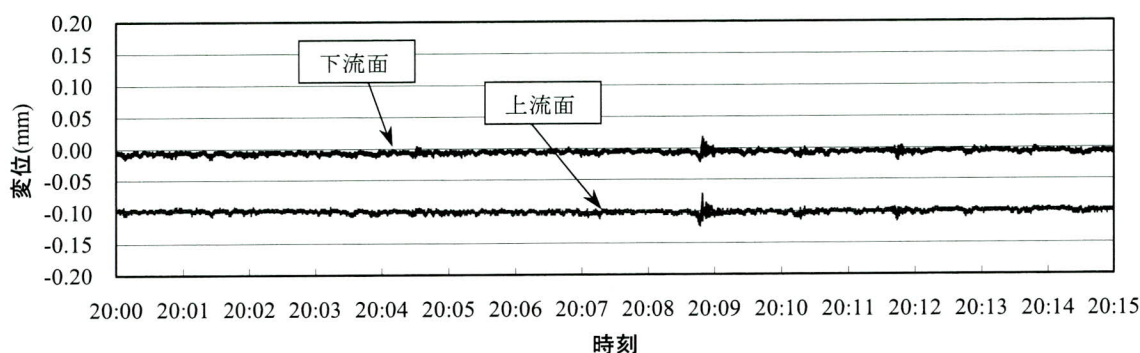
図-9(b)が、静的データを用いて、3日間の変位挙動を表したものであり、図-9(c)が温度変化である。日照がある時間帯には、上弦材の温度が著しく上昇しているのがわかる。図-9(b)と図-9(c)により、温度の上昇に合わせて引張の変位が生じるのがわかるが、台風通過中である9日の午後は、風速が大きくない他の時間帯と大きな変化はなかった。

図-10は、台風通過時の風速が大きい時間帯を選んで、動的データをまとめたものである。図-10(a)が昼

間のピークである13時すぎ、図-10(b)が夜間のピークである20時すぎであり、どちらも適度の交通流があったと思われる。台風通過時の変位挙動は、微小の増減を見せているが、大きな変位が生じるような挙動はなかった。台風前後における平穏状態の記録と照合した結果、風荷重の影響は確認できなかった。これは本橋がトラス形式で風が吹きぬけやすかったこと、台風の進路とセンサー取付方向がともに橋軸方向であったことが理由だと考えられる。



(a) 平成 15 年 8 月 9 日 13 時頃の変位挙動



(b) 平成 15 年 8 月 9 日 20 時頃の変位挙動

図一 10 台風通過時のモニタリング結果

6. あとがき

今回、実橋のモニタリングで取得したデータに関し、以下の知見を得ることができた。

- ①気温の上下に伴う部材の熱伸縮に対して、OSMOS のモニタリングデータは、温度に追従した挙動を示しており、的確に計測していた。
- ②工事に伴う部材の応力変化に対して、実用的な変位の応答を得ることができた。
- ③活荷重挙動に対して、実用的な変位の応答を得ることができた。また解析結果との照合により、走行車両の荷重が推測できることが分かった。
- ④同じ震度で比較して、2倍以上変位の応答が異なっていたように、発表される震度だけでは分からない、直接部材が受ける影響を知ることができた。
- ⑤風荷重による影響は見られなかった。理由は、この橋梁がトラス橋だったこと、および橋軸直角方向に吹かなかったことが考えられる。
これからの 10 年位は、東京オリンピック前後の高度

成長期に建設された橋梁が供用後半世紀を迎える。そのため、このような橋梁の管理者にとって、維持補修で供用を続けていくか、架け替えをするか、選択が必要になると思われる。OSMOS によるモニタリングシステムをより利用しやすいものとし、こうした需要に対応できるよう、改善していきたい。

最後に、関係各位には大変お世話になりました。誌面を借りて厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 能登宥愿・中島一浩・澁谷敦：光センサーによるモニタリングシステム(OSMOS)の特徴と有効性、宮地技報No.16、pp.80-82、2000
- 2) 能登宥愿：OSMOS の使用方法と特徴、宮地技報No.17、pp.127-130、2001

2004.10.12 受付