

# 光通信網を使用した鋼橋梁の 健全度評価モニタリングシステムの開発

三木千壽<sup>1</sup>・水ノ上俊雄<sup>2</sup>・小林裕介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 工博 東京工業大学大学院教授 理工学研究科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

<sup>2</sup>学生会員 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

<sup>3</sup>学生会員 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

年数を経た社会資本施設が急増する中、鋼橋においても安全性や機能の確保が重大な課題になりつつある。鋼橋のメンテナンスにおいてセンサによるモニタリングを行い、大量の測定データを瞬時に専門家へ転送し、専門家が判断を下すシステムが有効とされている。本研究では光通信網を使用した鋼橋の健全度モニタリングシステムの構築を試みた。国道 246 号の大坂橋を選定し、現場にセンサ、測定器、制御・通信用 P C、光通信機器を、通信には光通信網を使用し、研究室ではデータ処理用、解析用ワークステーションを設置し全体のシステムを構築した。ひずみゲージによる活荷重のモニタリング、ピーク記憶型ひずみセンサによる地震や車両衝突時の最大ひずみのモニタリング、物体温度計とひずみゲージによる温度変化とひずみのモニタリングを行った。

**Key Words:** fiber-optic communications net, monitoring, monitoring system, real-time

## 1. はじめに

近年、既存公共構造物の維持管理の社会的重要性が高まっている中、鋼橋の分野においても既存鋼橋の安全性確保、延命化が重大なテーマとなっている。しかし、今後年数を経た橋梁が急増していく中で<sup>1)</sup>、従来の人力に頼った検査システムで必要な検査レベルを維持していくことは、大変困難になると想定される。また、現在の検査方法では多くの手間がかかる上、目視で検査できない箇所があり、事故につながるような重要な損傷を見逃してしまう事態も考えられる。

現場にセンサを取り付け、測定データを遠隔地の専門家のもとへ転送してその評価を行うようなモニタリングシステムは、損傷の早期検出や損傷の見落とし防止あるいは検査しにくい個所の点検などに有効であり、また省力化を図ることもつながる。現在、鋼橋の点検は機関によっても異なるが 5 年に 1 度程度の周期で実施されているのが平均的である。ここで提案するモニタリングシステムを導入することによりその点検の間の外力あるいは構造物の挙動

の変化や異常を検出できることに加えて、モニタリングと点検との実施項目を整理することにより、より合理的なメンテナンスが可能となる。この分野についてはすでに ISDN、PHS や携帯電話等の電話回線を利用したデータ転送による遠隔モニタリングなどが試みられている<sup>2), 3), 4), 5)</sup>。しかしこれらのデータ転送手段では通信容量の制限により、活荷重測定や地震時挙動などの動態観測を行う際に、サンプリング周波数、測定項目および測定個所数に限りがあり、十分なモニタリングを行うことは容易なことではない。

本研究では大量の測定データを遠隔地へリアルタイムに転送できるシステムの構築を目的とし、平成 11 年度末までに全国の一般国道に約 10,000 km 整備されている道路管理用光通信網<sup>6)</sup>を利用した遠隔モニタリングを試みた。この光通信網は教育や医療分野など社会のあらゆる分野で高度なサービス提供が実現可能ということから、2010 年までに約 30 万 km を整備することを目標としており、その一部を橋梁等の構造物の遠隔モニタリングに活用することが可能である。光通信は従来の電話回線を使用したデー

表-1 通信容量の比較

通信形態		現在	将来
モデム		57.6Kbps	57.6Kbps
ISDN	INSネット64	64Kbps	64Kbps
	INSネット1500	1.5Mbps	1.5Mbps
PHS		64Kbps	64Kbps
デジタル携帯電話	回線交換型	9.6Kbps	9.6Kbps
	パケット通信型	28Kbps	28Kbps
	cdmaOne	14.4Kbps	64Kbps
	W-CDMA方式	—	384Kbps
衛星携帯電話	イリジウム	2.4Kbps	
光ファイバ通信 (ATM方式)	ATM	156Mbps	156Mbps
	ATM25	25Mbps	25Mbps

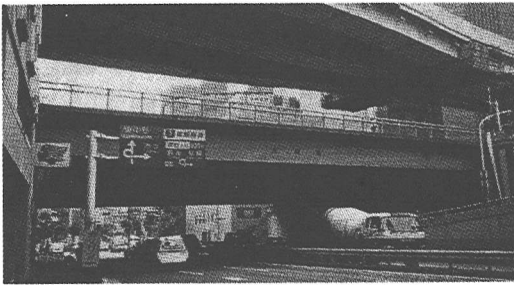


図-1 大坂橋の外観

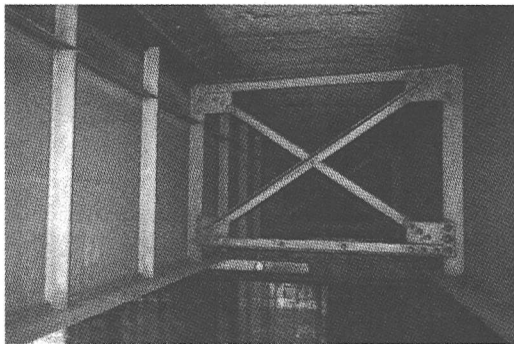


図-2 大坂橋の詳細

データ転送手段と比べて、表-1 に示すように大容量のデータ通信が可能で、動態観測においても十分な遠隔モニタリングの実現が可能である。例えば従来のデータ転送では 8ch で動態観測を行うとサンプリング周波数が 5Hz に制限されるのに対し、光通信網ではサンプリング周波数を 1000Hz としても十分余裕がある。なお、本研究で構築したモニタリングシステムでは通信容量が 6.2Mbps である。

橋梁の健全度評価を目的としたモニタリングシステム自体は半永久的にメンテナンスフリーであることが望ましいが、そのような使用を保証できるセンサおよび測定器類が現時点では無いため、本システ

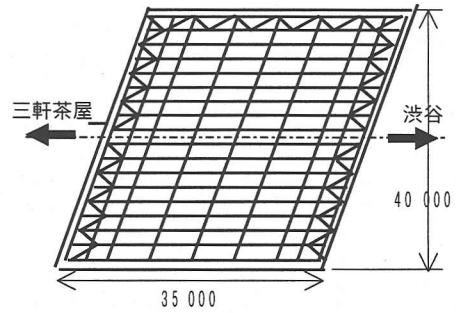


図-3 大坂橋の平面図

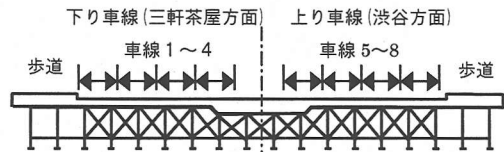


図-4 大坂橋の断面図

ムでは橋梁の平均的な点検期間である 5 年間でメンテナンスフリーで使用できることを目標として、センサおよび測定器類の選択・構築を行なった。このシステムの耐久性については今後報告していく。

モニタリング項目としては、①活荷重(動態観測)、②最大ひずみ、③温度とひずみの変化の 3 項目とした。

## 2. モニタリング対象橋梁

モニタリング対象橋梁の選定は、①道路管理用光通信網が整備されていること②疲労の原因となり易い大型車混入率の多い路線に位置し、初期の溶接構造鋼桁であること③スパンが短いことを条件とし、一般国道 246 号が渋谷区大橋近くで山手通りをこえる大坂橋を選定した。本橋は、昭和 39 年に完成した、橋長 36m (スパン 35m)、幅 40m、桁数 18 本、片側 4 車線のプレートガーダー橋である。図-1 に全体の外観、図-2 に詳細、図-3 に平面図、図-4 断面図を示す。

## 3. モニタリング項目

本研究では、以下の 3 項目についてモニタリングを行う。

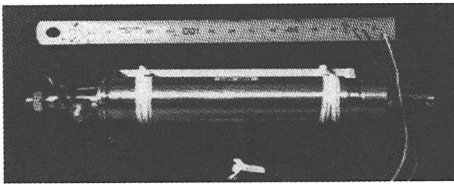


図-5 ピーク記憶型ひずみセンサ

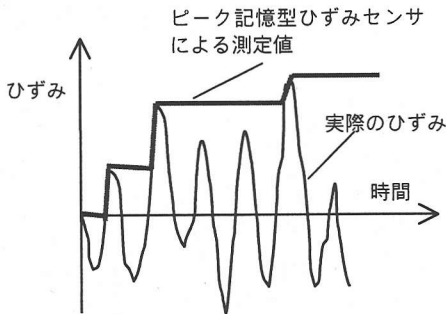


図-6 ピーク記憶型ひずみセンサの特性

#### (1) 活荷重のモニタリング

橋梁の疲労損傷度評価を目的として、動態観測をひずみゲージによって行い、橋梁上を通過する大型通行車両の重量と、測定個所における応力範囲の頻度分布を求める。

#### (2) 最大ひずみのモニタリング

ピーク記憶型ひずみセンサを使用しモニタリングを行う。図-5 にピーク記憶型ひずみセンサを示す。このセンサは、センサ部に生じた変形を材料の抵抗値の変化として保持する性質を有する特殊な金属を用いることで、図-6 のように過去に生じた最大の引張ひずみを記憶する事ができる。そのため、地震時や車両衝突時に発生した最大ひずみを記録することができる<sup>7), 8)</sup>。

#### (3) 温度変化とひずみの変化のモニタリング

橋梁の日向側(下り車線側)における主桁中央部に物体温度計、ひずみゲージを設置し、外乱である温度とそれによって生じるひずみとの相関をとらえる。

### 4. モニタリングシステムの構成

本モニタリングシステムは、(1)現場にセンサ、(2)計測機器、制御機器、通信機器を配置し、(3)通信網には光通信を使用し、(4)研究室ではデータ処理用ワークステーション、解析用ワークステーション

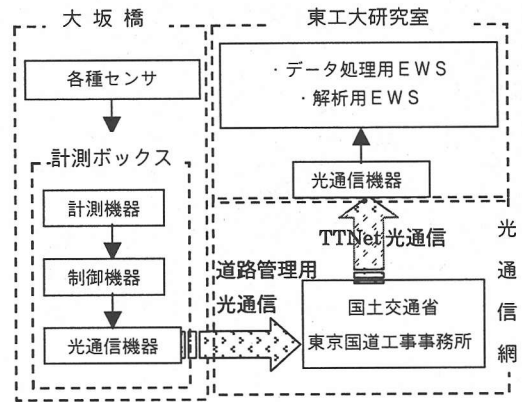
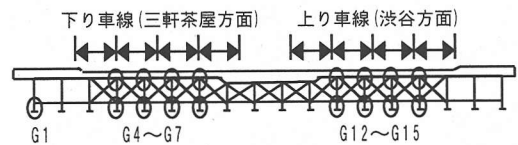


図-7 モニタリングシステムの概要



センサ	桁番号	設置位置
ひずみゲージ (活荷重モニタリング)	G4~G7 G12~G15	桁中央のスティフナ上端部 桁中央の下フランジ上面
加速度計	G6	桁中央の下フランジ上面
ピーク記憶型ひずみセンサ	G5	桁中央の下フランジ上面 桁端の可動査
物体温度計	G1	桁中央の下フランジ上面
ひずみゲージ (温度変化モニタリング)	G1	桁中央の下フランジ上面

図-8 センサの位置

を配置し構成した。システムの概要を図-7 に示す。次に各部の説明を行う。

#### (1) センサと設置位置

取付ける桁の番号を図-8 に示す。①活荷重のモニタリングを目的として、ひずみゲージを車線下の主桁 8 本 G4~G7, G12~G15 のスパン中央の垂直スティフナー上端部と下フランジ上面に設置した。十分なデータを得るため、サンプリング周波数を 1kHz とし測定した。②地震、車両衝突の時に発生した最大ひずみのモニタリングを目的に、ピーク記憶型ひずみセンサを主桁 G5 のスパン中央の下フランジと同主桁の沓に各 1 点配置した。また、加速度計を桁 G6 のスパン中央の下フランジに 1 点配置した。③温度変化によるひずみの変化をモニタリングするために、ひずみゲージと物体温度計を日向側(下り車線側)の歩道下の主桁 G1 のスパン中央部に設置した。なお、ひずみゲージの温度による誤差を取り除くため、ひずみゲージに平行してダミーゲージも設置した。センサの取付け位置を図-8 に示し、設置状況を図-9 に示す。

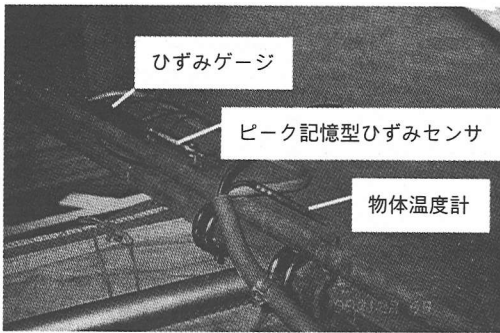


図-9 センサの設置状況



図-10 計測ボックスの設置状況



図-11 測定機器の設置状況

ひずみゲージには、耐久性を大幅に向上させた点溶接型防水ひずみゲージを使用した。また、鳥やねずみ、その他の侵害に耐えられるようにひずみゲージや他のセンサを金属製の箱で保護した。また、ケーブルも金属管内を通して保護し、大坂橋のたもとから計測ボックスまでは地中に敷設した。

## (2) 計測機器の設置

計測機器、制御機器、通信機器は大坂橋近くの道路脇の植樹帯に設置した計測ボックスに設置した。エアコンディショナーで室内温度を一定に保ち、計

測機器の出力を安定させた。図-10 に計測ボックスの設置状況を示す。

計測機器は各種シグナルコンディショナーと AD 変換器、制御機器からなる。制御機器は各計測器からのデータを取りまとめ、研究室のデータ収録用ワークステーションと通信し、データの転送及び研究室から計測機器を制御するためのパーソナルコンピュータである。通信には TCP/IP を使用した。計測機器の設置状況を図-11 に示す。

## (3) 光通信網への接続

制御機器から光通信網へ接続するには電気信号を光信号に変換し、光ケーブルに接続するための通信機器が必要である。制御機器から TA (ターミナルアダプター)、DSU の順で接続し、光ケーブルに接続した。光通信網は中央分離帯下の共同溝内にあり、道路を跨ぐ道路標示板を用いて、中央分離帯まで光ケーブルを引き、共同溝内の分岐ボックスで接続した。

今回通信網には、大坂橋から東京国道工事事務所を結ぶ道路管理用光通信と東京国道工事事務所から東京工業大学まで結ぶ TNet の光通信を使用した。なお、現在、TNet の商業用光通信が研究室まで敷設されていないため、途中から数kmの区間は専用回線を敷設した。本モニタリングで使用している光通信の転送量は 6.2Mbps である。

## (4) データ処理装置と解析装置の設置

研究室では、光通信機器を使用し、光信号から電気信号へ変換し、ワークステーションへ接続した。今回はデータを受信、処理し、測定波形を表示するワークステーションと、解析を行うワークステーションを設置した。

## 5. データ処理

### (1) データ転送

大坂橋ではひずみが 16ch、加速度が 1ch、各々サンプリング周波数 1kHz で計測されており、常時研究室の方へデータが転送されている。また、物体温度計による温度、温度変化モニタリング用のひずみ、ピーク記憶型ひずみセンサによるひずみが 4ch で 30 分に一度計測され、その都度研究室の方へデータ転送が行われている。

これらの転送されたデータはまずデータ処理用ワークステーションのモニターに表示される。その表示画面を図-12 に示す。図-12 で波形表示されているものがひずみのデータ 16ch であり、常時アニメーシ

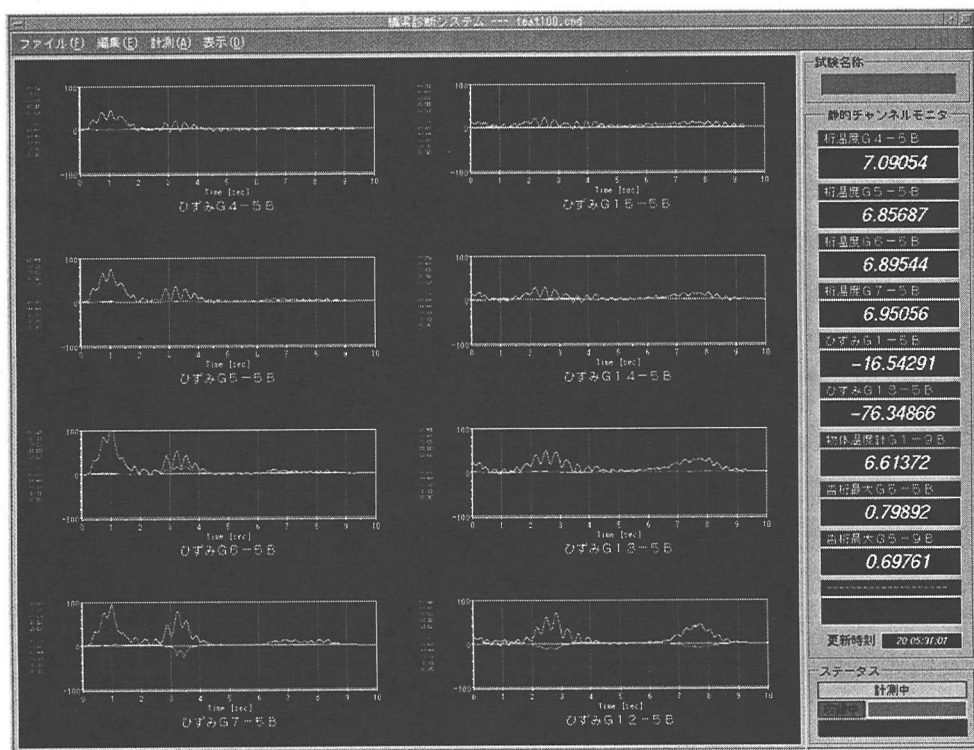


図-12 表示画面

オン表示されている。また、画面右端の縦に並んでいるのが物体温度計による温度、温度モニタリング用のひずみ、ピーク記憶型ひずみセンサのひずみで30分に一度更新される。

### (2) データ保存

温度、ピーク記憶型ひずみセンサのひずみ等は一日毎のファイルで、日付をファイル名として保存される。しかし、動態観測におけるひずみ、加速度のデータは非常に膨大であるため以下のように処理し保存を行っている。

今回のモニタリングで行う橋梁上を通過する車両の重量解析では大型車を対象としているため、橋梁上を大型車が通過した際に中央下フランジに設置したひずみゲージのひずみがある設定値を超えたときにのみひずみ、加速度のデータを保存するようトリガー機能を有するシステムとした。本システムでは、トリガーの設定値を70 $\mu$ としている。これはモニタリング対象橋梁である大坂橋上をおおよそ10tonの車両が通過した際のひずみである。データの保存は日付及び時刻をファイル名として、ひずみのいずれかのチャンネルがこのトリガーの設定値を超えた場合に、重量車の影響を網羅できる前後数秒間を全16chについて行う。本システムでは渋滞以外を測定

対象として、重量車両の走行速度が30km以上とした場合に、大坂橋の橋長が36mなので橋梁上を車両が通過するのに4.32秒以下ということから、データの保存は5秒間とした。

しかしながらこの様にしてデータを保存しても、一日あたり平均で約1ギガバイトもの依然として膨大なデータ量となってしまう。そこで本システムでは、車両の重量算定解析の結果のみを保存することとしている。解析結果は大型車両の重量、各チャンネルのひずみの最大値、車両の通過時刻、車両の通過車線である。このようにすることで、データ量は一日あたり平均で約55キロバイトまで減少させることが可能となった。

### (3) データの解析 (重量算定解析)

重量算定解析は解析用ワークステーション内の重量算定解析プログラムによって全自動で行うところに特徴がある。このプログラムはデータ処理用ワークステーション内のハードディスクを常時検索しており、ひずみのデータファイルが保存されたい、そのデータファイルを読み込み重量算定解析を行う。解析結果はモニターに表示するとともに、設定時間ごとにファイルに保存される。以上のデータ処理の流れを図-13に示す。

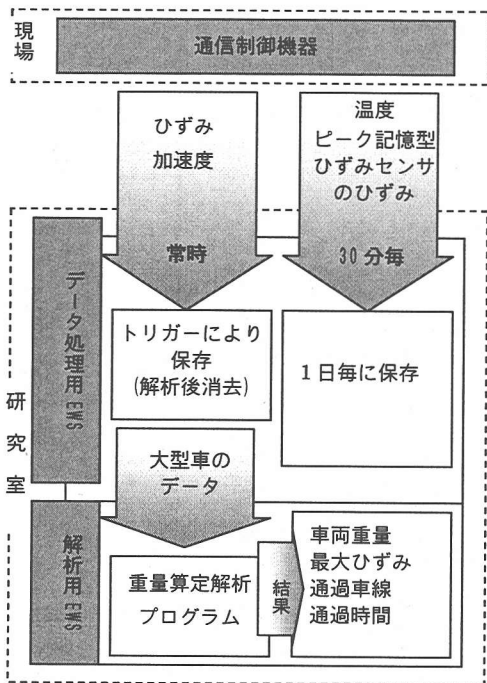


図-13 データ処理方法

データ処理用ワークステーションにおけるデータ処理プログラムと解析用ワークステーションにおける重量算定解析プログラムを別にしたことで、以下の利点が得られる。第一に、重量算定解析プログラムをアップグレードする際に、データ処理用プログラムによって一度生データが保存されているため、モニタリングを中断することなく行える。次に、大型車が連続して通過しデータが連続して転送されてきたときに、解析が追いつかずにタイムラグが生じたとしても、一度ハードディスクにデータがストックされるため、メモリー等に負荷をかけることなく、安定した解析を行うことができる。

## 6. 大型車両の重量算定解析

モニタリングされているデータからは様々な解析がなされるが、本稿ではひずみデータから車両重量の同時モニタリングについて記述する。重量算定の方法はウェイ・イン・モーション (WIM: Weigh-In-Motion) のコンセプト<sup>9),10)</sup>を用いた。

### (1) データの前処理

ひずみデータは 1kHz で測定され研究室まで転送されてくる。このデータにはかなり大きい高周波のノイズが含まれているため、解析用プログラムはデ

ータを読み込んだ後、ノイズ除去を目的としてローパスフィルターを通す。今回のシステムでは 20Hz 以上の成分を除去した。

### (2) 重量算定の解析方法 [WIM: ウェインモーション]

車両が橋梁を通過する際に、その重量によって橋梁部材にひずみが生じる。主桁  $i$  の下フランジに生じるひずみは、あらかじめ試験車の走行によって算出した影響線を用いて時間  $t$  の関数として表わすことができる。この試験車走行による影響線の算出は次項にて記す。主桁  $i$  の下フランジに生じるひずみ  $\varepsilon_i(t)$  は橋上を通過する車両の重量  $A_n$  の影響を考えて、次式で表わすことができる。

$$\varepsilon_i(t) = \sum_{n=1}^{N_a} A_n \cdot I_{ni}(t)$$

$N_a$  は橋上にある車両の数、 $I_{ni}(t)$  は時刻  $t$  における車両  $n$  の位置での測定位置  $i$  に対するひずみの影響線縦距を表わす。

ここで、ひずみの計算値  $\varepsilon_i(t)$  と実測値  $\varepsilon_i^*(t)$  との差の 2 乗和  $E$  は次式で表わすことができる。

$$E = \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_t} [\varepsilon_i(j\Delta t) - \varepsilon_i^*(j\Delta t)]^2$$

$N_t$  はひずみデータの総サンプリング数、 $\Delta t$  はデータのサンプリング時間間隔、 $N_g$  はひずみの測定位置の個所数を表わす。

この  $E$  を  $A_n$  で偏微分し、 $E$  が最小となるような  $A_n$  を求める。(最小二乗法)

### (3) 影響線の算出

#### a) 影響線の算出方法

解析に必要な影響線は試験車通過時のひずみの変動から求める。影響線の計算は対象とする橋梁の構造解析から求めることができるが、様々な計算上の仮定から実際の橋梁の影響線と必ずしも一致しない。さらに車両が通過することで、ひずみの変動に動的な効果が含まれてくる。

本解析では、影響線の形状を以下の多項式  $f(x)$  で近似した。また、その際のひずみの計算値  $\varepsilon(t)$  は以下の式で表わすことができる。

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m + \dots$$

$$\varepsilon(t) = P_1f(x+h_1) + P_2f(x+h_2)$$

$x$  は橋端を原点とした場合の時刻  $t$  における橋軸方向の位置、 $h_i$  は基準となる位置  $x$  に対する各車軸位置のずれ、 $P_i$  は試験車の軸荷重を表わす。なお、本

システムでは  $m=13$  とした。

このひずみの計算値  $\epsilon(t)$  と、試験車走行によるひずみの実測値  $\hat{\epsilon}(t)$  の差の二乗和を最小とするように影響線多項式の係数  $a_m$  を決定する。

b) 試験車走行試験

試験車として散水車のタンクを水で満たしたものを使用した。前輪軸重 3.10ton, 後輪軸重 9.25ton である。試験は交通量の少ない深夜に行い、交通規制等は行わなかった。他の車が通らない時を利用して、各車線を少なくとも 1 回は走行させ、各々下フランジに貼られたひずみゲージでひずみを測定した。サンプリング周波数は各チャンネル 1 kHz で、データは 20Hz のローパスフィルタを通してている。車線 7 を試験車が通行した際に桁 G14 中央の下フランジで計測されたひずみを図-14 示す。なお、支承条件の変化(可動沓が固着するなど)により影響線形状が変化することが考えられるため、システムのキャリブレーションを目的として試験車走行を 1 年に 1 程度程度実施することが好ましい。

c) 影響線の算出

影響線は表-2 に示すように各測定点に対して、大型車が通行した際にひずみの影響がある車線について求めた。図-15 に、図-14 で示したひずみから算出される、桁 G14 中央下フランジに対する車線 7 の影響線を示す。

表-2 各測定点に対する影響線

測定点	影響線を作成した車線
G4	車線1 車線2
G5	車線1 車線2 車線3
G6	車線2 車線3 車線4
G7	車線3 車線4
G12	車線5 車線6
G13	車線5 車線6 車線7
G14	車線6 車線7 車線8
G15	車線7 車線8

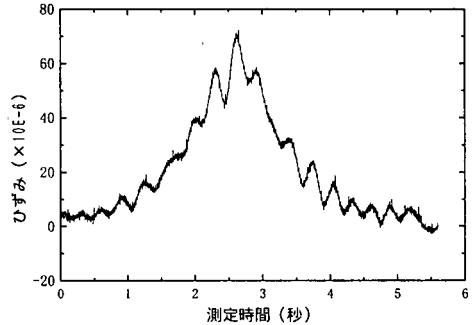


図-14 試験車走行の測定ひずみ

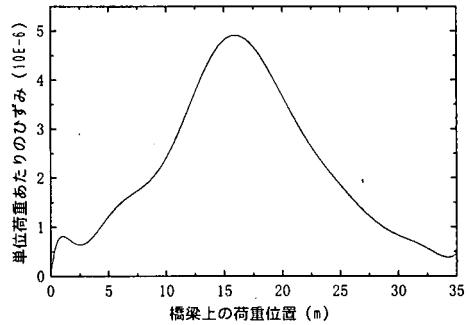


図-15 影響線の形状

7. モニタリング結果

2000年3月にシステムを構築し、現在に至るまで遠隔モニタリングを行なっている。

本章では(1)活荷重のモニタリング、(2)ピーク記憶型ひずみセンサによるモニタリング、(3)温度変化のモニタリングについての結果を記す。結果はいずれも2000年3月27日から4月16日までの3週間についてである。

(1) 活荷重のモニタリング

活荷重のモニタリングでは、おおよそ 10ton 以上の自動車計測されているが、ここでは 20ton 以上の大型重量車を対象に記録している。図-16 に曜日別通過台数、図-17 に重量別通過台数、図-18 に車線別通過台数を示す。

図-16 の曜日別通過台数では、いずれの週でも同様に、週の真中で通行量が多く週末にかけて通行量が少ないという傾向を示しており、曜日による大型車の通行分布が確認できた。また、図-18 から大型重量車が歩道側の車線(車線1, 車線8)をあまり通

行していないことが分かる。以上の様に大坂橋を通行する大型重量車の傾向が確認できた。

図-19 に大型車が通行した際に主桁(G4~G7, G12~G15)下フランジに生じる応力範囲の頻度分布を、今回の計測期間である3週間について示す。これにより疲労損傷度評価を行うことができる。主桁下フランジに溶接されている付属物の疲労強度を考慮して、強度等級は JSSC 疲労設計指針の E 等級とし応力範囲の打ち切り限界(29MPa)を設けた。結果は図-19 中に示す。主桁スパン中央部下フランジにおける疲労損傷度は非常に小さく、今後 50 年間、図-19 で示されるような応力が作用しても、線形被害則で評価した疲労損傷度は 0.01 程度であり、この部位において特に疲労損傷が問題にならないことが確認できた。

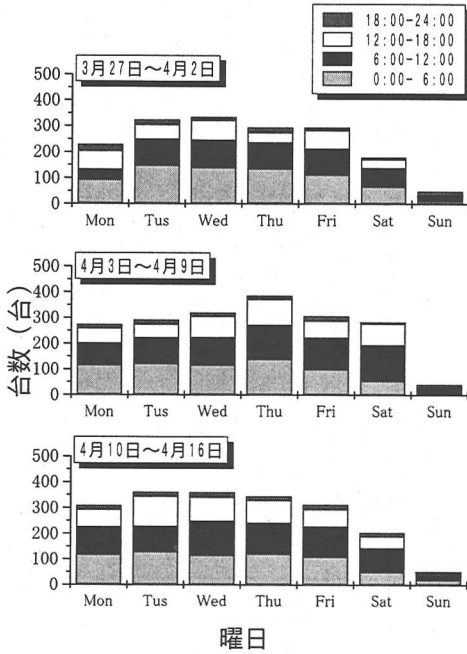


図-16 曜日別通過台数

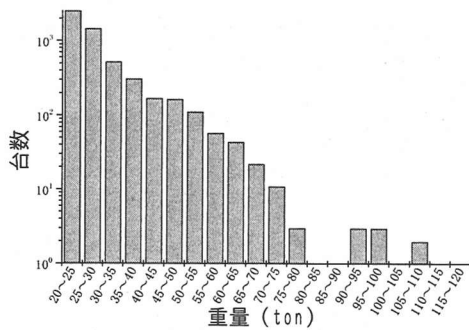


図-17 重量別通過台数

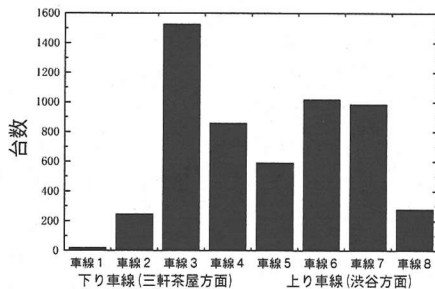


図-18 車線別通過台数

(2) ピーク記憶型ひずみセンサ

図-20 にピーク記憶型ひずみセンサによる主桁 G5

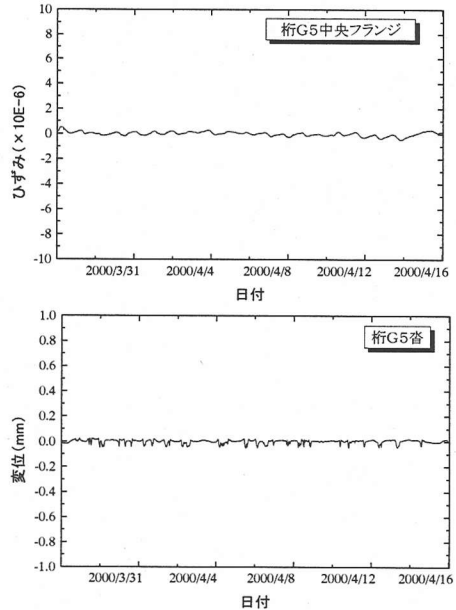


図-20 ピーク記憶型ひずみセンサ

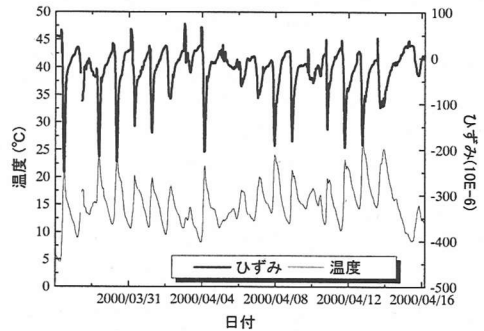


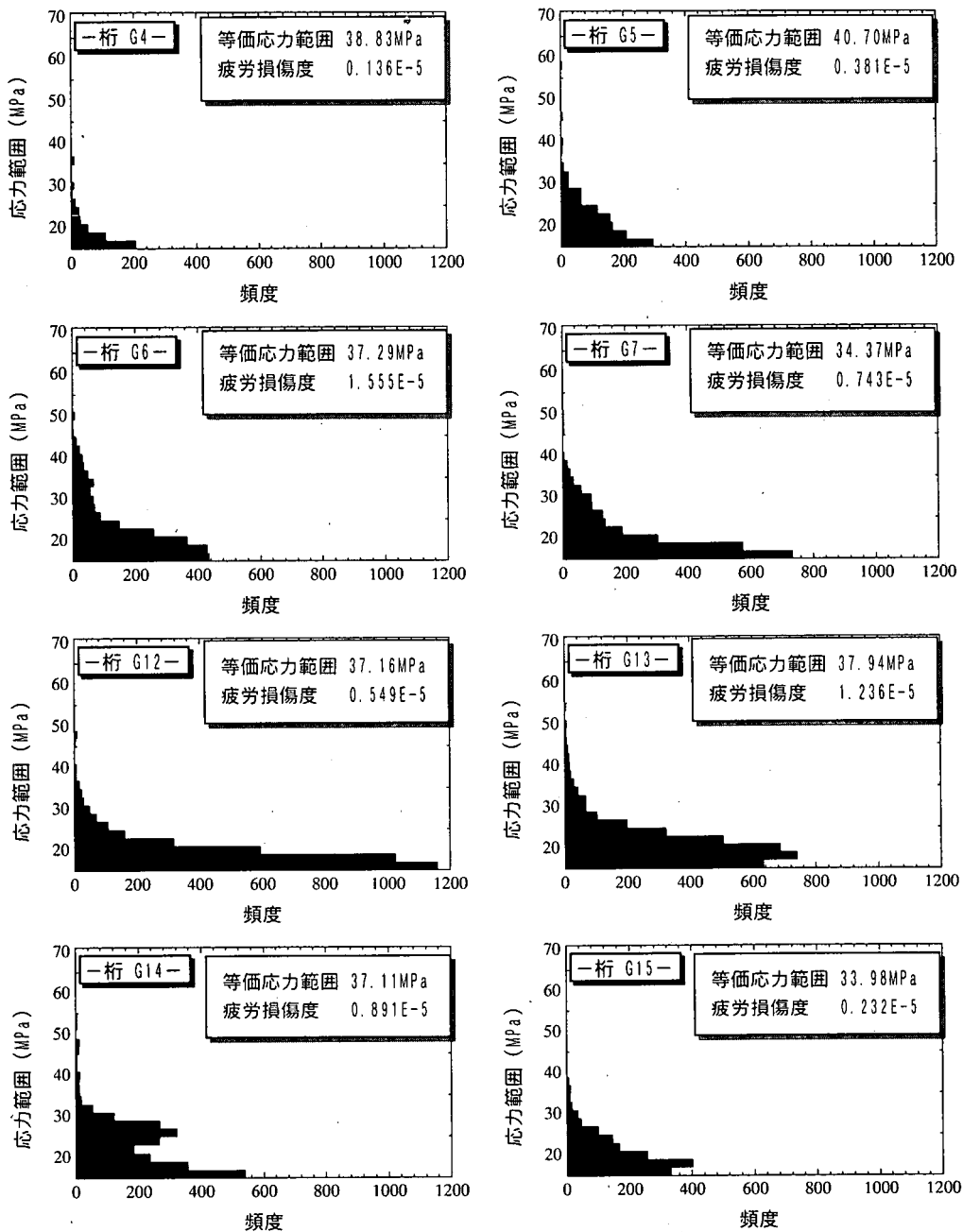
図-21 温度とひずみの関係

中央下フランジにおけるひずみおよび同主桁端部における可動沓の変位を示す。ひずみおよび変位のピーク値に変動は無くグラフは平滑なものとなり、今回の計測期間内に大きな地震、その他の大きな外力の作用が無かったことが確認できた。

(3) 温度変化による影響

図-21 に桁 G1 における温度とひずみの変化の結果を示す。温度が上昇すると圧縮ひずみを生じており、温度とひずみの間に大きな相関がみられる。これは①可動沓の固着、②中桁の拘束など橋梁の構造による拘束、③断面内の温度分布による主桁の曲げ変形などの理由で、圧縮ひずみが計測されたのではないかと考えられる。





図・19 応力範囲頻度分布と疲労損傷度評価 (3週間)

## 8. まとめ

(1) 全国の一般国道に約 10,000 km整備されている道路管理用光通信網を利用し、鋼橋の健全度評価を目的とした動態観測データをリアルタイムに専門家のいる遠隔地へ転送できるシステム

(通信容量 6.2Mbps) を構築した。

(2) 橋梁上を通過する大型車の重量をウェイ・イン・モーションのコンセプトを用いてリアルタイムに算定するとともに、疲労損傷度評価を行うシステムを構築した。

(3) 2000年3月に長期遠隔モニタリングを開始した。

その結果、

- ・ 動態観測により大型重量車の大坂橋における通行特性(曜日別・重量別・車線別通過台数など)、主桁の大型重量車による疲労損傷度を確認できた。
  - ・ ピーク記憶型ひずみセンサにより、今回の計測中に橋梁に地震等の大きな外力の作用がなかったことが確認できた。
  - ・ ひずみゲージおよび物体温度計によるモニタリングでは、温度上昇にともなって主桁が橋軸方向に圧縮力を受けていることが確認できた。
- (4) 遠隔モニタリングシステムの全体として、5年間のメンテナンスフリーを目標に構築を行った。このセンサ、機器、システムのメンテナンスについては今後の計測の中で明らかにしていく。

謝辞：本研究は、科学技術研究費助成金(課題番号10355019)からの援助を受けて行なった。また、国土交通省関東地方整備局東京国道工事事務所、(財)道路保全技術センターの皆様には、システム計画から全般に渡って御協力を戴いた。ここに記して謝意を表わします。

#### 参考文献

- 1) 西川和廣：ライフサイクルコストを最小にするミニマムメンテナンス橋の提案，橋梁と基礎，Vol. 31, No. 8 (97-8)，pp. 64-72，1997。
- 2) 阿部允，小芝明弘，杉館政雄：鋼橋の点検・診断用システムと機器，橋梁と基礎，Vol. 31, No. 8 (97-8)，

pp. 173-179，1997。

- 3) 岡林隆敏：道路橋振動の遠隔モニタリング，構造工学技術シリーズ，No. 12，pp. 23-32，1999。
- 4) 三上修一，大島俊之，ムハンマド S ラーマン，山崎智之：構造物維持管理のためのワイヤレスモニタリングシステムの開発，第 54 回土木学会年次学術講演会概要集，I-A205 pp. 410-411，1999。
- 5) Christopher M. Ballard and Stuart S. Chen：Automated Remote Monitoring of Structural Behavior via the Internet，*SPIE*，Vol. 2719，pp. 102-111，1996。
- 6) 鈴木克宗：情報ボックスと道路管理用光ファイバ整備，その背景と今後，道路 No. 704，pp. 45-51，1999. 10。
- 7) Bruce D. Westermo and Larry D. Thompson：Design and evaluation of passive and active structural health monitoring systems for bridges and buildings，*SPIE*，Vol. 2446，pp. 37-46，1995。
- 8) Paul E. Grayson，William Law and Larry D. Thompson：Not Your Father's strain gauge，*ASCE* Vol. 58，No. 7，pp. 68-71，1998。
- 9) Fred Moses：Weigh-In-Motion System Using Instrumented Bridges，*ASCE* Vol. 105，No. TE3，pp. 233-249，1979。
- 10) 三木千壽，村越潤，米田利博，吉村洋司：走行車両の重量測定，橋梁と基礎，Vol. 21, No. 4 (87-4)，pp. 41-45，1987。

(2000. 6. 15 受付)

## MONITORING SYSTEM OF BRIDGE PERFORMANCE WITH FIBER-OPTIC COMMUNICATIONS NET

Chitoshi MIKI, Toshio MIZUNOUE and Yusuke KOBAYASHI

This paper presents a new monitoring system with fiber-optic communications net. Fiber-optic communications net is under construction speedily in Japan and use of that is very effective for the bridge management. This monitoring system consists some kind of sensors (strain-gage, peak strain memory sensor, temperature sensor), amplifier, analog-to-digital converter, control system, electric-to-optic converter at the Osaka-bridge, fiber-optic communications net and optic-to-electric converter, work station at Tokyo Institute of Technology. With this system, it will be possible to measure strain, peak strain, and temperature with various kinds of sensor. Moreover, gross weight of truck can be calculated by means of the obtained data immediately as in field measurement.