

# 橋梁遠隔監視用インフラモニタリングシステムの開発

石山 宏二\*

Koji Ishiyama

盛重 知也\*\*

Tomoya Morishige

原田 耕司\*

Koji Harada

手塚 裕紀\*\*

Yuki Tezuka

## 1. はじめに

5年に一度行われる近接目視点検により、レベルⅢ以上と評価された道路橋を対象に、補修までの期間、言い換えれば次の点検が行われるまでの最長5年間、目視点検作業の補完ツールとして道路橋の状態変化（劣化、損傷）を常時モニタリング可能な「安価で長持ち設置が容易な橋梁遠隔モニタリングシステム」を開発し、実証を行った。図-1にシステムの基本構成を示す。

本システムの大きな特長は、画像と振動等の物理量を同時に検知することにある。このような計測データに基づきクラウド上にある「見える化アプリ」を適用することで供用中の橋梁の状態が見える化し、誰もが簡便に安全性（システム設置からの状態変化・異常の発生）を観察・評価可能なシステムの開発を目指した。また、地震や台風といった災害による非常時にもカメラ装置を遠隔操作することで現場の状況をリアルタイムに目視確認することができ、橋梁管理者の維持管理に伴う負担軽減および補修・更新業務に至るまで継続して橋梁の安全性を確認しうるシステムを開発した。

本システムの全体概要と供用中の久留米市・長門石橋で行っている実証実験について報告する。

## 2. システムおよび実証実験の概要

長門石橋は、写真-1に示すように、福岡県久留米市内を流れる筑後川にまたがる昭和49年3月に完成された橋で、橋長377.0m、総幅員12.8mの5径間連続有ヒンジラーメンPC箱桁橋である。

実証実験は、管理者である久留米市の許可の下、長門石橋の右岸側から2径間目の右岸側41m区間をモニタリング対象領域として、上・下流側の地覆に各2基、計4基の3軸加速度計をベースとしたセンサユニット、および照明柱にカメラ装置、測域センサ、無線伝送親機を各1基設置し、開発システムの耐久性・動作安定性、妥当性等の評価・検証を実施した。図-2に長門石橋における本システム設置状況を、表-1にシステム仕様を示す。

\* 技術研究所

\*\* 土木部

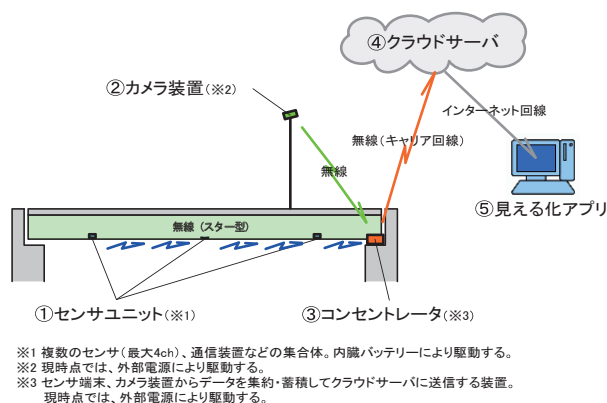


図-1 インフラモニタリングシステムの基本構成



写真-1 長門石橋実証実験エリア(装置配置)

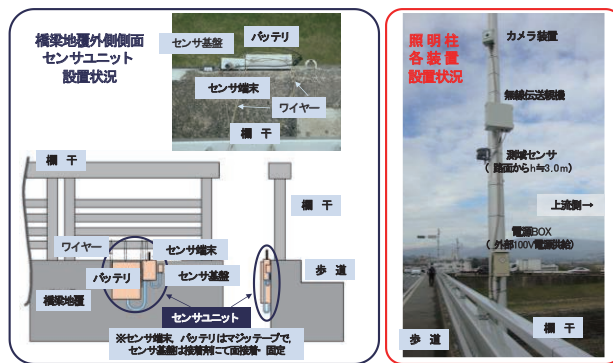


図-2 長門石橋におけるシステム装置設置状況

表-1 モニタリングシステム(Phase3.5)の仕様

| 装置      | サイズ(m)               | 型式                    | 役割                                                            | 仕様                                                                                                                                                                                                                  | 備考                                                                                                                              |
|---------|----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| センサユニット | 3軸加速度計               | 0.04 × 0.032 × 0.02   | ADXL355                                                       | ・橋梁の振動波形検知<br>・計測可能最大振幅: ±2G<br>・サンプリング周波数: 250Hz<br>・無線: 920MHz特小<br>・時刻同期: GPS信号(2回/日、3時~15時)<br>・時間分解能: msec<br>・3つの計測モード(スイッチ切替可)<br>【常時監視(標準)モード】: 震害による初期検知※<br>【連続計測モード】: 地形取得(SDカード保存)<br>【デバッグモード】: デバッグ対応 | ・設置場所: 地覆外側コンクリート面にマジックテープで固定(写真-1、図-2参照)<br>・見える化アプリにて計測データ(トレンドグラフ)を表示<br>※特徴(ラメータ(初期時刻、最大振幅値、最大振幅時刻、継続時間)を抽出(クラウドへ送信(図-3参照)) |
|         | センサ基盤                | 0.125 × 0.075 × 0.035 | —                                                             | ・センサ基盤の計測データをオンラインで集約し無線伝送親機に無線送信(スター型)                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                 |
|         | センサバッテリー             | 0.2 × 0.15 × 0.046    | BK-SMILE                                                      | ・センサ端末・基盤に連続して約3ヶ月間電源を供給                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                 |
|         | 無線伝送親機(コンセントレータ)     | 0.35 × 0.35 × 0.152   | —                                                             | ・各装置からデータを集約・蓄積しクラウドサーバに無線送信<br>・無線: LTE回線(クラウドへ送信)                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 |
| カメラ装置   | 0.22 × 0.17 × 0.112  | BB-SW175A             | ・橋梁上の走行車両等画像(静止画・動画)データ撮影<br>・見える化アプリ(クラウド)の設定によりリアルタイム動画に実写可 | ・静止画(標準): 測域センサのトリガ信号による自動連続撮影(0.8秒×5枚)<br>・計測方法: 半導体レーザー光(λ: 980nm、FDAL-1)安全クラス1)の反射率等を利用<br>・1回/30分、上・下線毎に大型車走行台数をまとめて伝送                                                                                          |                                                                                                                                 |
| 測域センサ   | 0.15 × 0.124 × 0.126 | UXM-30LXH-EWA         | ・上・下線毎の車両3m超の車両台数カウント                                         |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                 |

※※毎日再起動してIPアドレスを変更するセキュリティ対策のため、AM3.00は計測不能

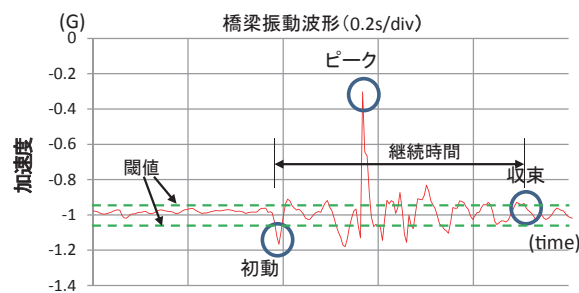


図-3 常時監視モードで計測・記録される波形パラメータ

数回の改良をした後、最終形の Phase3.5 システム (表一1) は、平成 30 年 9 月に設置して現在計測中であり、平成 31 年度末まで計測・検証を継続する予定である。

なお、通常の計測はセンサ端末を常時監視モードに設定し、図一3 に示す微小破壊に伴い発生する AE 波形と同様に、主要な特徴パラメータのみを抽出しクラウド上の見える化アプリでその経時変化・異常を監視している。また、センサのバッテリー交換時にモードを連続計測 (センサ端末内の SD カードにデータ保存) に切り替えることで、連続波形を取得し FFT 等の波形解析を実施した。

### 3. 計測データの妥当性評価・検証

#### (1) LDV 計測結果に基づく計測データの妥当性評価

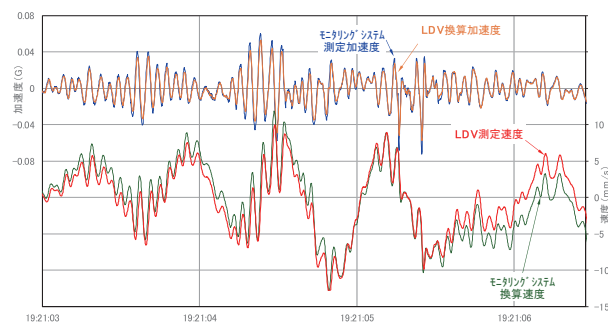
本システムで計測された加速度波形が橋梁の挙動を捉えているのか、その妥当性を検証・評価するために、別途、LDV (レーザドップラ速度計) 計測機を使用し、センサユニットを設置した地覆近傍の橋桁 (張出し床版) 下面の上下動を非接触、同じ周波数 (500 Hz) で大型車走行時に同時計測を行った。図一4 に上流側の No.2 センサで計測された加速度波形とこれを 1 回積分した換算速度波形、およびその近傍で LDV により計測された速度波形とこれを 1 回微分した換算加速度波形の比較結果を示す。図から、加速度、速度波形を各々比較検討すると、その振幅・位相はいずれも LDV データと同様であり、橋梁の同じ挙動・事象を捉えられることが示された。

次に両計測データをさらに積分し得た変位 (たわみ量) の比較検討結果を図一5 に示す。LDV より求めた変位を正とし、本システムで測定された加速度を 2 回単純積分した変位で評価、比較するとピークが過大に示された。そこでピークの補正方法を検討した結果、加速度を 1 回単純積分した後、4 秒の移動平均積分を行うことで比較的近い値に評価でき、たわみ量の推定が可能であることを示すことができた。

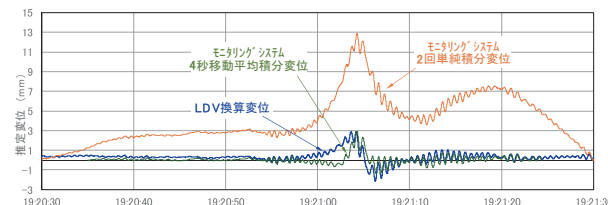
#### (2) 測域センサによる大型車両検出の妥当性評価

橋梁の経年劣化への影響が大きいと推察している大型車両 (車高約 3 m 以上と設定) の通行量把握を目的に測域センサを配備し、その計測データの妥当性を同時刻に得られたカメラ装置による画像データを基に比較検証した。2018 年 2 月に約 21 時間連続計測した際の大型車両の検出および誤検出率を表一2 に、見える化アプリによる 2 月の大型車両検出結果を図一6 に示す。

分析の結果、手前車線 (上流側) で多く見られた誤検出のほとんどは大型バスを複数台と検出したもので、複数ある窓の影響と評価し、評価ソフトを見直し改善を図った。また、逆光の影響による未検出事例が数%見られた他、図一6 中で奥車線に比べ手前車線の大型車両通行台数が明らかに多い異質な出力日が認められた。画像と天気予報を確認、検討した結果、降雪の影響が推察されたことから、降雪日の大型車両検出データは橋梁の状態



図一4 LDV による計測速度・加速度波形との比較

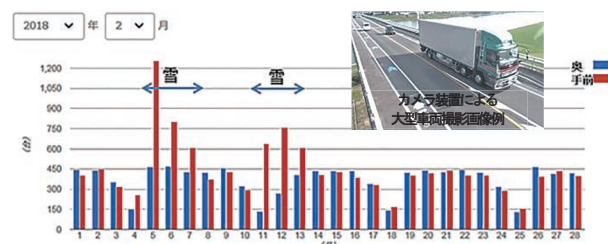


図一5 LDV による換算変位 (たわみ量) との比較

表一2 測域センサによる大型車両の検出/誤検出率

| 測定対象車線     | 測域センサ検出 | カメラ装置検出 | 測域センサ誤検出 (誤検出率) | 測域センサ未検出 (未検出率) |
|------------|---------|---------|-----------------|-----------------|
| 奥車線 (下流側)  | 123     | 122     | 6 (4.8%)        | 5 (4.0%)        |
| 手前車線 (上流側) | 145     | 114     | 37 (25.5%)      | 6 (5.2%)        |
| 合計         | 268     | 236     | 43 (16.0%)      | 11 (4.6%)       |

※用語説明：  
 測域センサ検出 … 測域センサが大型車両として検出した総数  
 カメラ装置検出 … 1秒1枚のカメラ画像から目視で大型車両と判断した総数  
 測域センサ誤検出 … カメラ画像と比較して測域センサのデータが誤検出したと判断した総数  
 測域センサ未検出 … カメラ画像と比較して測域センサにより大型車両を検出してないと判断した総数



図一6 測域センサで検出した大型車両通行台数

変化の評価から除外することにした。なお、降雨の影響は認められない。

以上を考慮し、測域センサの活用を妥当と評価した。

### 4. おわりに

開発したインフラモニタリングシステムにて橋梁の遠隔挙動監視は可能であることを確認した。今後は、常時監視モードで得られた特徴パラメータの値や大型車両の検出データを活用したビッグデータ解析エンジンによる橋梁の状態変化の予測評価手法の構築に取り組む予定である。

謝辞. 本システムは、大日本コンサルタント(株)らと企業コンソシアムを構築し、長崎大学、佐賀大学との共同研究として開発を行った。また、長門石橋での実証実験では、橋梁管理者である久留米市に多大なご協力を頂いた。ご指導、ご協力頂いた関係各位に深く感謝いたします。