

# 東北自動車道大森川橋におけるモニタリング技術の現場実証

藤野和雄・倉田直樹・葛西 茂・廣江亜紀子

## 1. はじめに

高速道路は、最初に供用が開始された名神高速道路の開通から半世紀が経過し、老朽化に対する対応が早急に求められている。

そのためNEXCOは、高速道路ネットワークの機能を永続的に健全な状態に保ち、安全安心な高速道路サービスを提供していくことを目指すため、平成27年度から高速道路本体の構造物について大規模な更新及び修繕を行う「高速道路リニューアルプロジェクト」に本格的に工事着手している。

特に橋梁では、大型車交通の増大や雪氷期の凍結防止剤の散布に起因したコンクリートの塩害とそれに伴う鉄筋の腐食などにより、床版に損傷をうけている事例が多い。床版は、通行車両の荷重を直接支持する重要な部位であるため、健全度を把握した上で、劣化の進行状況に応じて、床版の取替えや補修を行っている。

そのような中、NEXCOは、今後、想定される老朽化対策の増加やそれに対応する人手が不足する社会情勢などの諸課題に対応する方策の一つとして、民間会社10社及び土木研究所と協同してモニタリングシステムによりインフラをどう管理していくかを検討し、基準化・標準化を提案するモニタリングシステム技術研究組合（以下「RAIMS」という。）に参画している。

## 2. 高速道路におけるモニタリングのニーズ

高速道路では、前述のような理由で損傷が生じやすく、劣化が進行することで通行車両への被害も想定される床版にモニタリングシステムを活用することによる点検・診断の効率化を期待している。具体には、目視点検に画像撮影・画像解析技術を使用することによる5年に一度の定期点検の効率化と劣化が著しい床版にセンサを取り付け、変位・振動をモニタリングすることによる劣化進

行の把握である。前者は、点検者が目視の代わりに静止画像を撮影するとともに、その画像からひび割れ判読ができれば、近接目視や記録等の点検作業が効率化できる。また、定期的な点検結果から変状の変化をモニタリングすることにより劣化の進行状態を確認するとともに予防保全等の実施にも対応できるものである。また、後者は、取替が必要と判断された床版について、取替工事までの間、変位を監視することにより劣化の兆候をとらえ、振動を監視することにより健全性を評価診断できる。これにより、床版の抜落ち等の第三者被害が想定される事象を未然に防ぐことを期待している。

そのほか、変状原因で一番多い塩害についても、塩害補修後の効果確認や塩分の浸透量などをモニタリングすることにより、補修工法の評価及びフィードバック、劣化兆候を未然に把握することによる予防保全の実施へも対応できると考える。

今回、モニタリングシステムを基準化・標準化するために、室内実験での適用性検証を行い、実験室レベルで適用可能な技術を高速道路の実橋に適用し、各モニタリングセンサの取付けからデータ収集、伝送技術、データの蓄積・分析等を実証実験により確認し適用性の検証を行っている。

本稿では、それらのうち、RC床版でモニタリングシステムを検証した東北自動車道大森川橋での現場実証実験の結果について報告する。

## 3. RC床版のモニタリング現場実証実験

### 3.1 現場実証実験の概要

RC床版の疲労劣化に関する損傷程度と各種モニタリングデータの相関性については、室内で実施した輪荷重走行試験によって把握することができた<sup>1),2),3),4)</sup>。現場実証実験では、外乱（活荷重等による常時微動、気象・日照の影響等）がある環境下におけるモニタリング技術の適用性を検証した。大森川橋の概要を図-1及び表-1に示す。



図-1 大森川橋の外観

表-1 大森川橋の概要

橋梁名	東北自動車道 大森川橋
構造形式	鋼単純合成鉄桁橋
橋長	36.30m (上下線とも)
幅員	10.75m (上下線とも)
床版形式	RC床版 (補強なし)

本稿では、大森川橋で現場実証を行ったモニタリング技術のうち、前述の高速道路におけるモニタリングのニーズに対応する技術として、ひび割れを静止画像で撮影・判読する「ひび割れ撮影・画像解析システム」及び劣化した床版の振動特性を監視する「振動可視化分析」について報告する。

### 3.2 現場実証実験の結果

#### 3.2.1 ひび割れ撮影・画像解析システム

画像データ（静止画像）は、カメラの仕様や現場条件の制約などにより、分割撮影後に接合して1枚の成果画像にすることが一般的である。しかし、床版の有害なひび割れ幅0.2mmをモニタリングすることを想定し、ひび割れの分布や形状を細部にわたって把握するために、必要な検出精度を0.1mmと設定した場合、成果画像からひび割れ幅0.1mmまでを目視判読するためには、接合に極めて厳密な精度が要求される。本技術では、航空測量の幾何学原理を応用した「デジタルオルソモザイク（カメラ等の幾何学的特性や撮影時の傾きを補正し正射変換し連続写真を接合したもの）」の手法を用いて、分割撮影した画像データから床版パネル単位の成果画像を作成し、成果画像から目視判読によりひび割れ判読図を作成する。

現場実証実験では、床版パネルのサイズ（橋軸方向5400mm、橋軸直角方向3500mm）、撮影解

像度（0.25mm/pix）、撮影距離（約3m）の現場条件に対して、橋軸方向に1列で4分割として撮影を行った（図-2）。分割には、絶対標定計算を行う上で隣接する写真間で所定の重複部分が必要となることも考慮した。

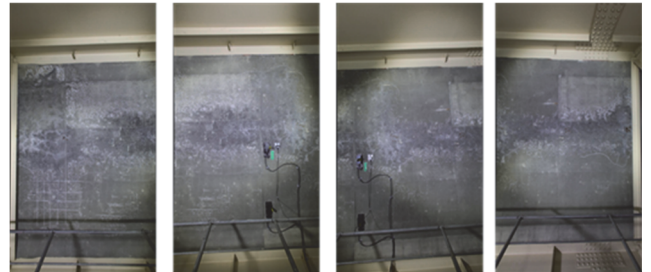


図-2 分割撮影の一例

分割画像のデジタルオルソモザイクでは、接合によって0.1mmのひびわれにずれを生じない程度の精度を確保するため、絶対標定（実体写真内の各点とそれに対応する地上点の座標をモデル縮尺の比で一致させること）に先立ち床版表面の3次元座標を求める必要がある。本実験では、レーザスキャナによる3次元座標データを用いて床版表面の3次元座標を求めた。

分割画像1枚1枚について、画像中の特徴点とレーザスキャナによる反射強度画像中の共通点を複数組選定し、これらを基準点として絶対標定計算を行った。絶対標定要素と床版表面の3次元座標データを用いることで、撮影された分割画像の1枚1枚のゆがみの補正を行った。

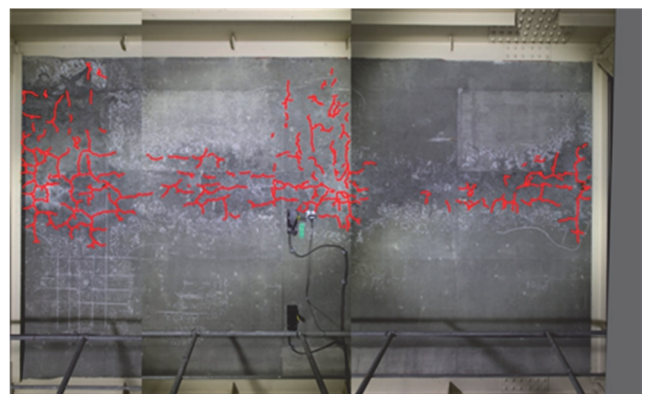


図-3 ひび割れの目視判読結果

補正された画像では、床版面に厳密に垂直方向の無限遠から撮影したような画像（正射投影画像）となり、航空測量においては正射写真あるいはデジタルオルソ画像とよばれている。デジタルオルソ画像は幾何学的な性格上、隣接画像同士をその

まま接合することができる（オルソモザイク）。

作成したデジタルオルソモザイク画像上での目視判読により、幅0.1mm以上のひび割れを画像上に描画した（図-3）。

オルソ画像上での描画位置データは、正確なひび割れの位置データである。従来の点検では、現地で目視判読したひび割れを「損傷図」に目分量（フリーハンド）で記録することが一般的であり、点検時期や点検者が変わることにより、ひび割れの同定（2つの記録にあるひび割れが同一かの判断）が困難になることも多い。これに対して、画像処理を用いた本手法を活用することにより、ひび割れ同定の精度向上を図ることができ、近接目視による点検の代替になる可能性が示された。

### 3.2.2 振動可視化分析

輪荷重走行試験より、RC 床版の損傷が進行すると、各センサ計測点における加速度振幅や位相が不規則に変化し、固有モードが特異な形状となることを確認した<sup>2)</sup>。そこで、現場実証実験では、橋梁の固有モードに着目した振動可視化分析を用いて、損傷が生じている橋梁の固有モードがどのような形状となっているのかを調査した。調査は同時期に供用が開始された大森川橋の上下線で実施した。上り線と下り線では、構造や施工法などはほぼ類似しているものの損傷程度が異なる。

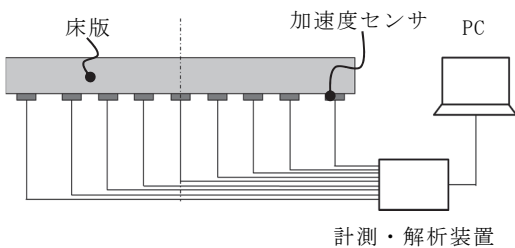


図-4 有線型解析システム

本調査の計測・解析システムを図-4 に示す。システムは複数個の加速度センサ、時刻歴波形解析や周波数解析などの機能を有した計測・解析装置、及び PC とで構成されており、同時刻における各計測点の加速度振幅と位相を測定できる。固有モードは、車両が橋梁を通行した後の時刻歴波形に対して、周波数解析させることで抽出した。

上り線の点検記録図及びセンサ設置位置を図-5 に、同様に下り線の点検記録図及びセンサ設置位

置を図-6 に示す。上下線ともに調査対象は走行車線の床版である。点検記録図のハッチング箇所はホップアップやスケーリングなどの損傷を示している。全般的に下り線の床版のほうが上り線よりも損傷が進行している。また下り線の床版は仙台側の一部に剥離が生じている。

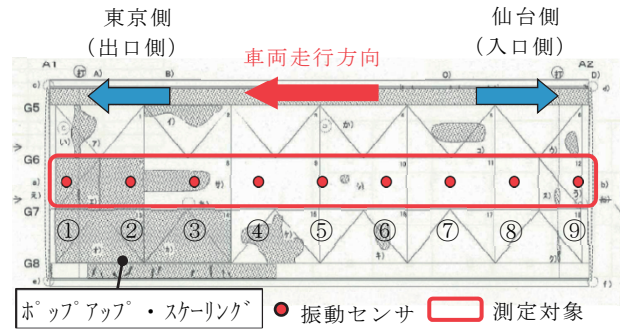


図-5 大森川橋上り線の点検記録図

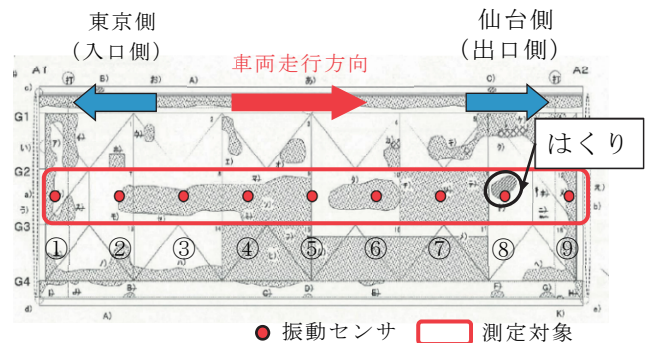


図-6 大森川橋下り線の点検記録図

上下線の固有モードを分析したところ、橋軸方向について鉛直たわみモードなど複数の固有モードを確認できた。このうち 19Hz には、鉛直たわみの 3 次モードが発生しており、その形状は上下線で異なっていた。上り線の鉛直たわみ 3 次モードの形状を図-7 に、下り線の鉛直たわみ 3 次モードの形状を図-8 に示す。上り線の鉛直たわみ 3 次モードは橋軸方向の中心に対して概ね対称な形状であった。一方、下り線の鉛直たわみ 3 次モードは、橋軸方向中心に対して非対称な形状であり、センサ No.⑧付近が特異的であった。センサ No.⑧付近の加速度振幅は鉛直たわみ 3 次モードであることから、上り線の形状のように、センサ No.②と同程度の加速度振幅でかつセンサ No.⑤と逆相で変化する。しかしながら、下り線のセンサ No.⑧付近の加速度振幅は、センサ No.

②よりも加速度振幅が大きくかつセンサ No.⑤に対して位相が不規則にずれていた。下り線のセンサ No.⑧付近には剥離が生じていることから、下り線の鉛直たわみ 3 次形状が特異的である理由の一つとして、床版の損傷に起因していることが考えられる。

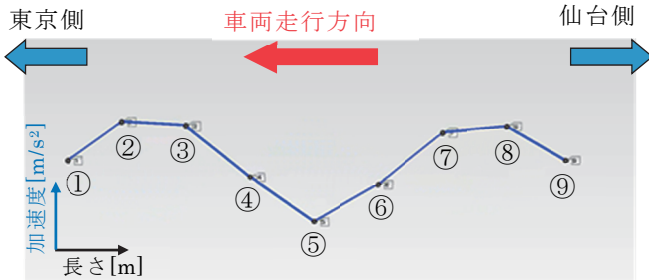


図-7 上り線のたわみ 3 次モード形状 (橋軸方向)

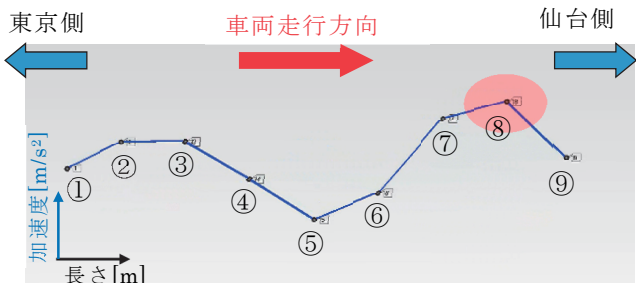


図-8 下り線のたわみ 3 次モード形状 (橋軸方向)

以上の調査から、橋梁の固有モードに着目した振動可視化分析によって床版の損傷を検知できる可能性を示すことができた。

#### 4. おわりに

東北自動車道大森川橋のRC床版を対象に、各種モニタリング技術の現場実証実験を行い、ひび割れに対して近接目視の代替となる「ひび割れ撮影・画像解析システム」及び劣化が進行した床版の健全性を監視する「振動可視化分析」について、現場環境においても適用できる可能性を示した。

今後RAIMSでは、本稿で紹介した技術を含め、モニタリング技術をインフラ構造物の維持管理の現場に実装するために、ガイドラインの作成を行う予定である。

#### 謝 辞

本稿執筆にあたり、RAIMSの大森川橋実証実験リーダーである鹿島建設(株)の岩井様にご協力いただいた。本研究は、RAIMSが実施した研究であり、内閣府の「SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果の一部である。

#### 参考文献

- 1) 遠藤義英、皆川翔輝、山本康弘、山岸貴俊：輪荷重走行試験によるRC床版の疲労劣化に関するモニタリング技術開発の検討(その2)低周波3軸加速度センサによるRC床版の疲労損傷解析、土木学会第71回年次学術講演会講演概要集、pp.73~74、2016
- 2) 葛西茂、木下翔平、小原孝之、新井崇裕：輪荷重走行試験によるRC床版の疲労劣化に関するモニタリング技術開発の検討(その3)実験モード解析法による疲労損傷評価、土木学会第71回年次学術講演会講演概要集、pp.75~76、2016
- 3) 今井道男、新井崇裕、岩井稔、古市耕輔：輪荷重走行試験によるRC床版の疲労劣化に関するモニタリング技術開発の検討(その4)光ファイバーセンサによるひび割れ検知、土木学会第71回年次学術講演会講演概要集、pp.77~78、2016
- 4) 新井崇裕、岩井稔、古市耕輔、湯山茂徳、李正旺：輪荷重走行試験によるRC床版の疲労劣化に関するモニタリング技術開発の検討(その5)アコースティックエミッション法による疲労損傷の評価、土木学会第71回年次学術講演会講演概要集、pp.79~80、2016

藤野和雄



東日本高速道路(株)建設・技術本部技術・環境部構造技術課 課長代理  
Kazuo FUJINO

倉田直樹



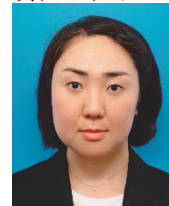
国際航業(株)技術サービス本部社会インフラ部橋梁マネジメントグループグループ長  
Naoki KURATA

葛西 茂



日本電気(株)中央研究所価値共創センター 主任研究員  
Shigeru KASAI

廣江亜紀子



研究当時 モニタリングシステム技術研究組合研究コーディネーター、現 土木研究所構造物メンテナンス研究センター 研究員  
Akiko HIROE