

特集報文：我が国の生産性向上に資する建設技術

モニタリング技術の活用による橋梁維持管理の高度化・効率化

石田雅博・山口岳思・松尾健二・廣江亜紀子

1. はじめに

我が国は社会インフラの急速な老朽化に伴う維持管理・更新費用の増大に加え、将来的な担い手不足が懸念されている中、新技術などの活用により維持管理のトータルコストの縮減・平準化や作業の省力化・効率化などのメンテナンス産業の生産性向上が求められている。これらの課題解決に対し、橋梁分野におけるモニタリング技術を活用した維持管理の実装を目的にモニタリングシステム技術研究組合（以下「RAIMS」という。）が平成26年10月22日に設立され、戦略的イノベーション創造プログラム（以下「SIP」という。）の受託研究を進めている¹⁾。

本報文では、RAIMSで取り組むモニタリング技術に関する研究計画と実験結果の一部について報告するとともに、地方公共団体における維持管理業務の高度化・効率化を目的に富山市と土木研究所で締結されている研究協力協定について紹介する。

2. RAIMSの研究

インフラ構造物においてひずみや振動などを計測機器で常時・定期的に計測行える技術がモニタリング技術であり、加速度計や画像などの計測機器だけでなく、様々な分析手法の開発が行われている。

RAIMSでは、管理者ニーズとモニタリング技術の現状と実証実験結果を踏まえ、管理者の目的にマッチしたモニタリングシステム（モニタリング技術、伝送技術、分析技術、蓄積技術）の提案により、維持管理の高度化・効率化を目指している。

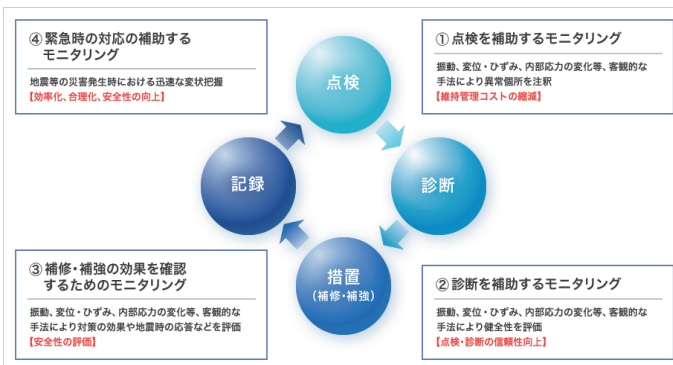


図-1 維持管理サイクルにおけるモニタリング

Improvement for More Advanced and Efficient Bridge Maintenance using Monitoring Technology

表-1 モニタリング技術の適応場面

区分	管理者の目的	維持管理ニーズ	モニタリングの目的
点検を補助するモニタリング	日常点検時の変状の見逃しを低減する（スクリーニング）	効率化	何らかの異常があった箇所を把握する（事象は特定できなくてよい）
	定期点検の範囲を絞り込み、点検時間・費用を削減する	効率化	健全性が把握されている（点検不要とみなせる）範囲を把握する
診断を補助するモニタリング	予防保全対策の実施により劣化損傷の重症化を防ぐ	高度化	予防保全対策をとるべき状態に達したことを把握する
	措置の優先順位づけを行う	効率化	客観的評価を行うための定量的データを取得する
	供用状態を維持する	効率化	通行制限あるいは通行止めすべき状態に達したことを確認する
補修・補強の効果を確認するモニタリング	対策の妥当性を確認する	高度化	対策の効果、持続性を確認する
緊急時の対応を補助するモニタリング	交通開放するまでの時間を短縮する（高速道路）	効率化	落橋の危険が予測される箇所を把握する
	通行危険箇所を放置する時間を短縮する（一般道）		

2.1 モニタリング技術の適応場面と管理者ニーズ

図-1に示す維持管理サイクルの各段階におけるモニタリング技術の活用シーンを①点検の補助、②診断の補助、③補修・補強の効果確認、④緊急時の対応の補助として整理し、モニタリング技術の適応場面を表-1のようにまとめた。

これに基づき、8地方公共団体に対して道路構造物の維持管理サイクルにおけるモニタリングの適応場面に関するニーズ調査をした結果、管理者ニーズと概ね合致していることが確認できた。また、点検業務の効率化や劣化損傷評価の高度化が特に需要が高いことが判明した。

2.2 健全度レベルによる適用範囲と実証実験

橋梁の各部位の健全度レベルに応じたモニタリング技術の適用範囲を検証している。図-2にRC床版の適用範囲のイメージを示す。図-3に示すよう

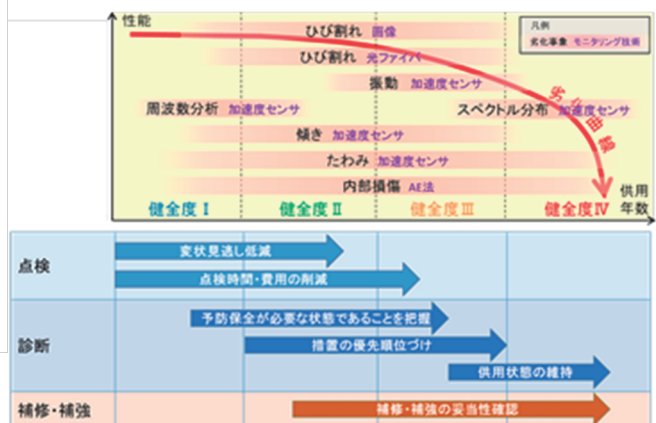


図-2 モニタリング技術の適用範囲イメージ（RC床版）

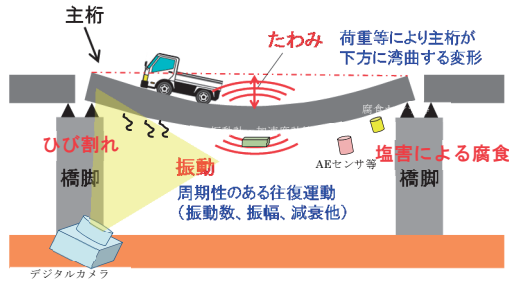


図-3 モニタリング技術の着目点

に、「たわみ」、「振動」、「ひび割れ」に加え「塩害による腐食」に着目し、これらの現象を加速度計などの各種センサを用いて計測する。これらの得られた計測データと構造物の劣化損傷の関係について、模型供試体等による室内実験、ならびに供用中の橋梁などでの現場実証実験により検討する。

実証実験については、下記の項目で計画し、モニタリング技術の選定と実証を行う。

- ① RC床版の疲労劣化モニタリグ
- ② RCT桁の劣化損傷モニタリグ
- ③ RC構造物の塩害モニタリグ

本報告では、主に①RC床版の疲労劣化モニタリグの室内実験（RC床版の輪荷重走行実験）に関する実験結果の一部を次章で紹介する。

2.3 ガイドライン案の作成

本研究の成果の一つとして、インフラ管理者がモニタリング技術を活用できるようにガイドライン案を作成する。2.2に記述した実証実験の成果に基づき、センサ仕様や設置方法、データの収集・分析などのモニタリングシステムの標準仕様を示す。このガイドライン案はインフラ管理者が制定している点検等の管理要領に引用されることが期待される。

3. モニタリグ技術の検証状況

3.1 RC床版の疲労劣化モニタリグ

① 室内実験の概要²⁾

RC床版の疲労劣化モニタリグの室内実験として道路橋示方書の旧基準（昭和39年版）を参考に

表-2 輪荷重走行試験における導入モニタリグ技術一覧

分類	振動	ひび割れ	その他	導入技術	備考
センサ設置型	○			固有振動数分析技術	電池駆動無線加速度センサ
	○			低周波加速度特徴解析	3軸加速度センサ
	○			振動可視化分析	高感度加速度センサ
		○		ひずみ分布計測システム	光ファイバセンサ
遠望測定型		○		アコースティックエミッション法	AEセンサ
	○	○		画像センシング	デジタルカメラ画像解析からひび割れ幅の計測
		○		ひび割れ撮影、画像解析システム	デジタルカメラ画像解析からひび割れ進展の記録

RC床版の供試体（幅2,200，長さ4,000，厚さ190mm）を設計し、輪荷重走行試験を行った（図-4）。載荷荷重は15,000移動往復回毎に段階的に値を大きくした（89，100，110kN）。この時の荷重と載荷回数の関係を図-5に示す。結果としては累積走行回数45,167回（載荷荷重110kN）の時に床版の抜落ちによって終了した。

② モニタリグ技術の概要

本実験で採用したモニタリグ技術の一覧を表-2に示す。また、これらのモニタリグ技術のセンサの設置状況を図-6に示す。供試体にセンサを設置する「センサ設置型」と供試体下方よりカメラでセンシングする「遠方測定型」を採用した。各種加速度センサや画像の振動計測から床版の剛性の推定、画像や光ファイバのひび割れ計測からひずみ量の推定、AEセンサによるAEエネルギーの計測から内部損傷の把握を行うことで床版の損傷との関係を分析した。

③ 「センサ設置型」の結果例

本実験結果の一例として、低周波域に着目した低周波加速度特徴解析の解析結果を図-7に示す。



図-4 輪荷重走行試験状況

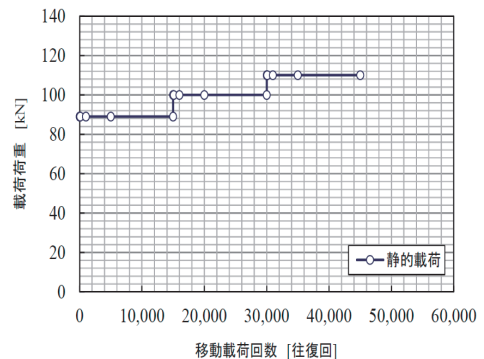


図-5 荷重と載荷回数の関係



図-6 各種センサの設置状況

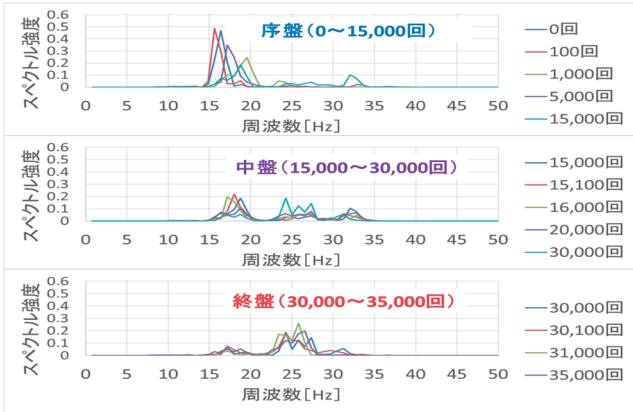


図-7 低周波加速度特徴解析の解析結果

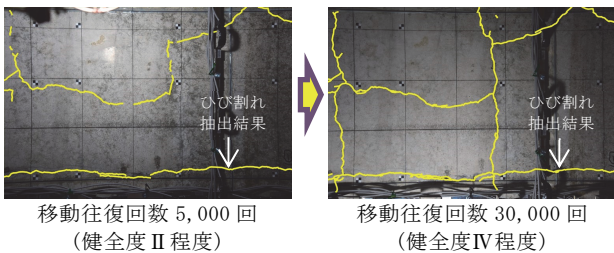


図-8 ひび割れ撮影、画像解析システムの解析結果

輪荷重試験の走行回数において、0～15,000回を試験の序盤として着目すると、高いスペクトル強度が15～20Hz帯に集中していた。15,000～30,000回を中盤として着目すると、15～20Hz帯のスペクトル強度が低下し、25Hz付近が増大した。30,000～35,000回を終盤として着目すると25Hzを中心としてスペクトル強度が分布している。

このように、輪荷重走行試験でRC床版の劣化損傷の進行に対して振動特性に変化が生じることを確認できた。その他においても、RC床版の劣化損傷の進行による振動特性の変化をとらえており、固有振動数分析技術などは床版の抜落ち直前に顕著な変化をとらえていることなどから、各センサと分析手法の組み合わせによって取得できる健全度が確認できた。

④ 「遠方測定型」の結果例

本実験結果の一例として、ひび割れ撮影、画像解析システムの解析結果を図-8に示す。

室内実験環境下で、画像より0.1mmのひび割れを抽出し、ひび割れ図の描画が可能であった。載荷の進行に応じて定期的に画像を取得することで、ひび割れの進展を捉えることができた。

⑤ 現場実証実験の予定

福島県の高速度道路の橋梁において、室内実験で確認したセンサの実環境下で実証実験を行う。

3.2 RC桁の劣化損傷モニタリング

RC桁の劣化損傷に関しては富山県富山市の五福4号橋(表-3)で現場実証実験を完了し、結果の分析中である。表-2の振動計測を行うモニタリング技術をRC桁に設置し、10tダンプトラックに碎石を積載した状態で走行実験を行った(図-9)。

表-3 現場実証実験橋梁の諸元

橋梁名	五福4号橋(富山市)
形式・寸法	RCT桁橋、橋長:12.7m、幅員:6.1m
施工年	1927年(供用89年)



図-9 現場走行試験状況

3.3 RC構造物の塩害化モニタリング

塩害に関しても室内試験^{3),4)}が進んでおり、コンクリート内部の塩分浸透を検知するセンサ等を選定し、実橋梁による実証実験を予定している。

4. 富山市との研究協力協定

土木研究所は富山市と平成28年6月16日に橋梁の維持管理に関する研究協力協定を締結した(図-10)。管理者の富山市と研究機関の土木研究所が富山市内の大小約2,200橋を対象に劣化の体系化や効率的な維持管理方法の検討、試行を行うものである。

この一環として、3.2で示した五福4号橋における現場実証実験が位置付けられ、実験終了後は撤

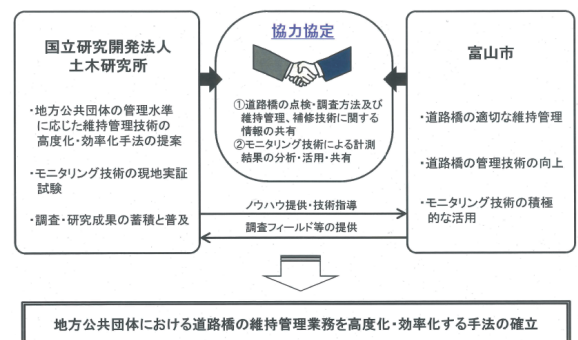


図-10 富山市との研究協力協定

去・運搬し、土木研究所で室内実験を予定している。現場実験の分析結果の照合や残存耐力の分析のために疲労実験などを予定している。

また、検証されたモニタリング技術を地方公共団体に活用するにあたっての運用上の課題について、今後議論していくことでRAIMSにて作成するガイドライン案に反映させていく予定である。

5. 今後の課題

検証を進めているモニタリング技術は、実運用には下記に示す課題があり、今後検証を行っていく。

① 計測データの伝送

計測データを計測機器に取り貯めるのではなく、管理者へ伝送し、結果をリアルタイムに把握できるように、図-11で示すような走行車からセンサと通信する巡回収集などの検証を行っていく。

② ビッグデータの分析

伝送技術によって集められていく計測データはセンサ設置数と計測時間に比例して莫大な情報量になることが予想される。データを一元管理できる基盤とビッグデータ分析の検証を行っていく。

6. おわりに

本稿では、SIP研究プログラムの一環として実施しているモニタリングシステムの研究開発動向について紹介した。また、社会実装へ向けて現場で使いやすい技術開発を行っていくために、平成28年8月31日に「平成28年度RAIMS活動報告会」を開催することで研究成果の公表と意見収集に努めている。

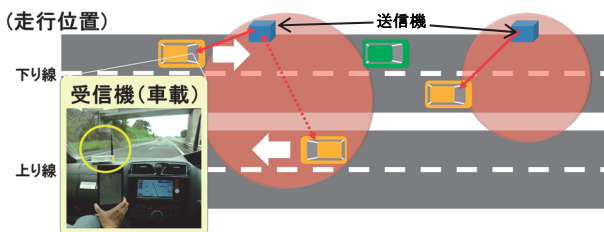


図-11 伝送システムの検証例

モニタリング技術は、構造物の変状や性状を電氣的に取得する技術ではあるが、現状の維持管理で用いている管理項目そのものを取得できる技術は少なく、得られたデータの解析によって初めて技術的判断の材料として用いることができる。そのため、最終的にはモニタリング技術により取得したビッグデータを管理者間でも共有し、分析することでより確かな判断へとつながって行く可能性がある。

以上より、本研究で得られた知見が現場で活用・普及されていくことで、維持管理業務の高度化・効率化が推進していくことを期待している。

謝 辞

本研究はモニタリングシステム技術研究組合(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」委託事業研究の内容を含む。

また、富山市には管理者としての貴重なご意見や撤去桁提供など、研究・実験においてご協力をいただきました。ここに、記して謝辞を申し上げます。

参考文献

- 1) 中谷他：橋梁の維持管理のための調査・監視技術の開発、土木技術資料、第58巻、第1号、pp.26～29、2016
- 2) 古市他：輪荷重走行試験によるRCの疲労劣化試験に関するモニタリング技術の検討(その1)～(その5)、土木学会第71回年次講演会、pp.71～80
- 3) 高地他：コンクリートの塩害モニタリングに資する鉄筋腐食促進試験、土木学会第71回年次講演会、pp.1～2
- 4) 末崎他：RC梁供試体の鉄筋腐食促進試験における塩害モニタリング、土木学会第71回年次講演会、pp.3～4

石田雅博



土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員
Masahiro ISHIDA

山口岳思



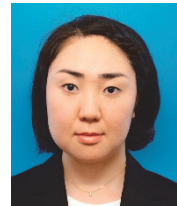
土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 研究員
Takeshi YAMAGUCHI

松尾健二



土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 交流研究員
Kenji MATSUO

廣江亜紀子



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
Akiko HIROE