

橋梁および高架橋の状態監視システムの開発

構造物技術研究部 基礎・土構造研究室
副主任研究員 阿部 慶太

1. はじめに

橋梁および高架橋は老朽化が進んだものも多く、維持管理の重点化が求められている。一方、橋梁および高架橋の健全度は衝撃振動試験¹⁾等の現地調査や目視により評価されてきたが、状態監視の考え方を導入することで、検査の省力化や異常の早期検知による補修コストの削減が期待できる。本研究では、これらのメリットを生かした維持管理の低コスト化を目的に、橋梁および高架橋の状態監視システムを開発した。

2. 状態監視の対象

状態監視の対象としては、橋梁および高架橋の維持管理において特に重要で、全般検査での目視による健全度評価が困難な箇所として、橋脚・基礎、支承およびスラブひび割れの三項目を対象とした。橋脚・基礎では河床低下等で土被り厚の減少が生じ、目視では確認困難な橋脚の安定性に係る健全度評価が必要となる。この健全度は、従来、衝撃振動試験で得られる固有振動数で評価されてきた。図1に示すように固有振動数または固有振動数と等価な指標を用いて状態監視することで検査の省力化が期待できる。支承では、図2に示すように目視では確認困難な支承変位の進行性を把握し、対策の優先度を考慮して維持管理コストの低減が図れる。このメリットはスラブひび割れでも同様であり、かぶり剥落につながるコンクリート表面の腐食ひび割れを早期に検知し対策を実施することで維持管理コストの低減が図れる。以上のメリットを考慮し状態監視システムの開発を行った。

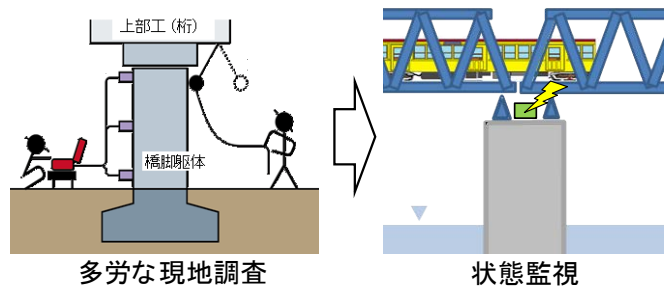


図1 検査の省力化のイメージ

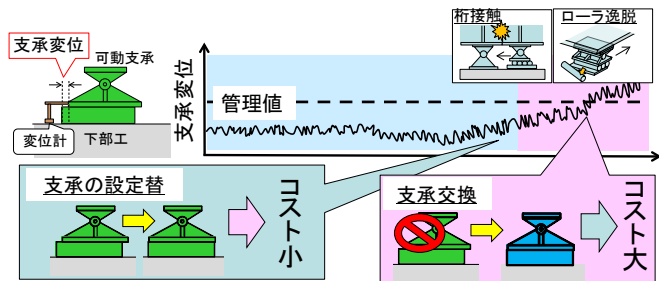


図2 対策コストの削減のイメージ



図3 パワースペクトル面積比

3. 橋脚・基礎の状態監視システム

前章で示した検査の省力化を目的として、衝撃振動試験から得られる固有振動数の代替となり加速度センサ単独で常時計測可能な指標として、列車通過時加速度振幅比（橋軸直角方向加速度の最大振幅と橋軸方向加速度の最大振幅の比）

と常時微動のパワースペクトル面積比(図3)の二つの健全度診断指標を提案した。これらの指標の有効性を確認するため、図4に示すような1/40スケールの橋脚模型を用いた土被り掘削試験と実橋梁での実証試験を行った。図5に図6に示す橋梁で実施した実証試験で得られた固有振動数と健全度診断指標の関係を示す。両者に相関関係があることが分かった。この関係は模型実験結果からも得られており、提案した指標は固有振動数の代替指標として有効であることが分かった。

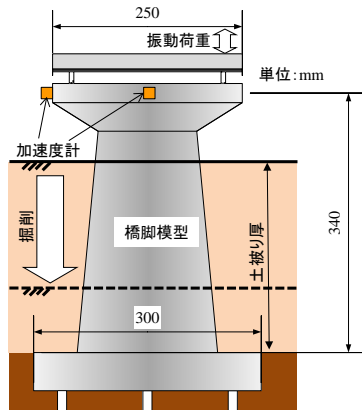


図4 模型実験の概要

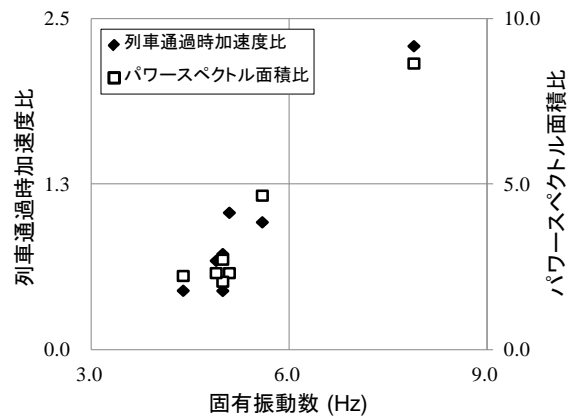


図5 実証試験結果

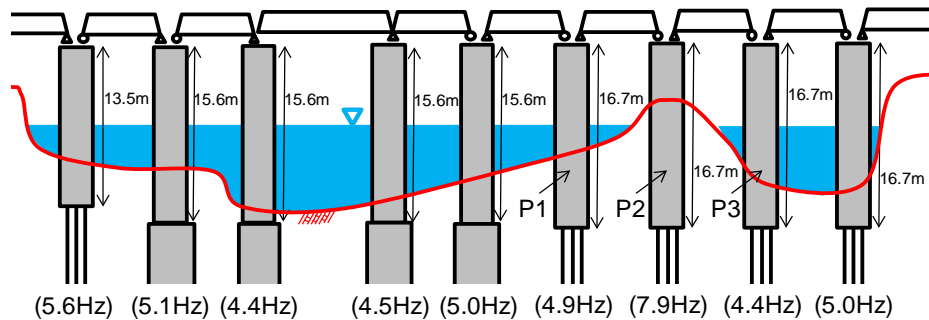


図6 実証試験に用いた橋梁の側面図(括弧内は固有振動数(Hz))

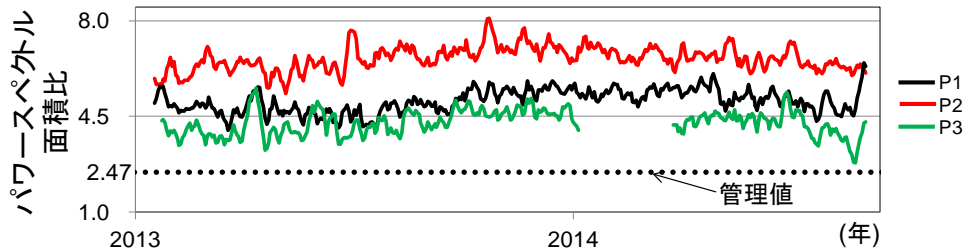


図7 P1, P2, P3橋脚における長期計測結果

この指標を用いて、約2年間、図6に示す橋梁で長期計測した。図7に土被り厚が顕著に異なる3橋脚(図6中のP1, P2, P3)での計測結果を示す。提案した健全度診断指標(パワースペクトル面積比)を用いて、3橋脚の固有振動数の大きさの違い($P2 > P1 \approx P3$)を長期的に状態監視できることを確認した。また、健全度診断指標として用いられている常時微動の卓越振動数の長期計測結果と比べ、提案指標はばらつきが小さく、固有振動数の違いをより明確に表現でき、橋脚・基礎の健全度診断指標として有効であることも把握している。図7には健全度診断指標の管理値も示した。この管理値は、各加速度計で長期計測した9橋脚の健全度診断指標の下限値と固有振動数の関係から、衝撃振動試験の標準値に0.85倍した値に対応する指標の値として求めたものである。このように管理値を設定することで、長期計測におけるばらつきを考慮しつつ衝撃振動試験の標準値をベースに橋脚・基礎を状態管理できるシステムを構築した。

4. 支承の状態監視システム

支承の変状は、支点の移動、支承の可動不良、支承のあおり等があり、いずれも進行した場合

は支承変位に変化が表れる。開発した状態監視システム²⁾は、これらの変状の進行を捉えることを目的として、数分～数十分間隔で温度変化に対する支承変位を静的に測定したり、数日ごとに列車通過時の数秒～数十秒間の支承変位を動的に測定することで、経年による支承の状態変化を確認するものである。本システムの特徴は、列車通過時の鋼桁部材の振動による発電で測定に要する全ての電力を賄うことにある。これにより、従来一般的なシステムで課題となっていた電池交換に要するコストや労力を解消し、メンテナンスレスで支承の状態を長期間監視することを可能にした。

本システムを下路トラス形式（支間 80m）の橋梁に設置し、実環境での

運用を試みた（図 8）。計測結果の一例として、10 分間隔で測定した桁温度と支承変位を図 9 に示す。この結果より、振動発電による電力のみで約 2 年以上測定が継続して行われることを実証した。測定で得られた桁温度と支承変位の相関（図 10）から、年間を通して支承の状態を確認することができ、支点の移動や支承の可動不良等の変状の進行は、これらの相関の変化から把握し得ると考えられる。

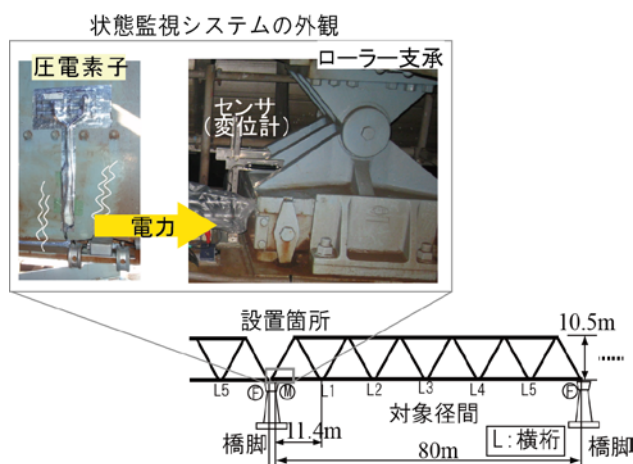


図 8 支承の状態監視システム

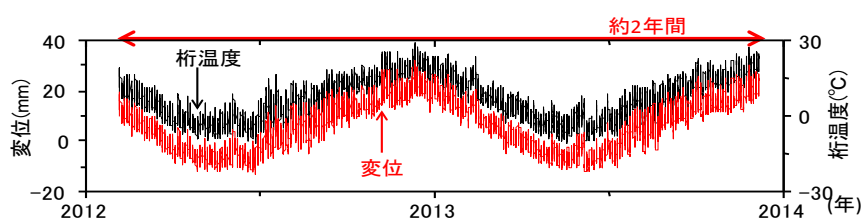


図 9 支承変位と桁温度の長期計測結果

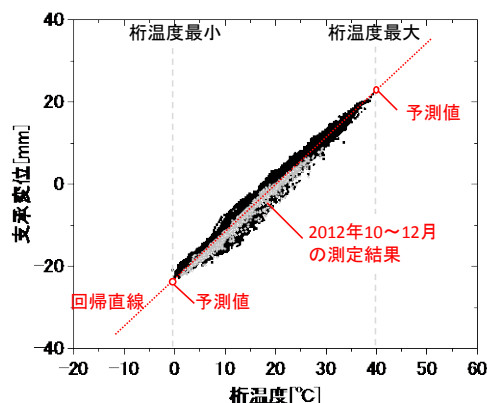


図 10 支承変位の計測結果

5. スラブひび割れの状態監視システム

かぶり剥落につながる腐食ひび割れの変状を予防保全的に検知することを目的に、導電塗料を用いた腐食ひび割れの状態監視システム³⁾を開発した（図 11）。導電塗料をスプレーガンで塗布することで、これまで 0.5mm 程度であったひび割れ幅の検知性能を鉄道 RC 構造物の要求性能である、使用性（外観）のひび割れ幅の制限値、0.3mm 程度まで向上させた。また、スラブ面に 6 ライン程度、コの字に塗布することで、塗布箇所の腐食ひび割れを検知するだけでなく、他箇所の変状状態も推測することを可能にした。現在、図 12 に示すようなシステムのプロトタイプを構築し、耐久性試験を実施している。温度変化の影響に伴うひび割れの開閉により測定値に変化が見られるが、概ね良好に推移している。

6. 状態監視システムの運用方法

以上のシステムからのデータ取得法として、図 13 に示す無線伝送ネットワークによる方法と、センサ付属のメモリカードから取得する方法を提案した。無線伝送ネットワークによる方法は、

直接現場に行かずともデータを取得できるというメリットがあるが、無線伝送ネットワークの導入コストがかかる。メモリカードによる方法は、データ取得のために直接現場に行かなければならないというデメリットがあるが、無線伝送ネットワークの導入・運用コストを抑えられる。よって、前者は災害直後や近接施工時の橋梁や高架橋等リアルタイム性が求められる場合に、後者は平時の橋梁や高架橋等に適用することで、本システムのメリットを最大に生かせる運用方法を提案した。

7. おわりに

状態監視の導入による低コスト化を主な目的に、橋梁および高架橋の状態監視システムの開発を行った。また、無線伝送ネットワークを導入することでリアルタイム性が求められる場合にも対応した状態監視システムを提示した。今後はさらなる実用化に向け検討していく予定である。

謝辞

本研究の一部は、国土交通省の技術開発費補助金を受けて実施致しました。

参考文献

- 1) 西村昭彦, 棚村史郎: 既設橋梁橋脚の健全度判定法に関する研究, 鉄道総研報告, Vol.3, No.8, pp.41-49, 1989.8.
- 2) 吉田善紀, 小林裕介, 和田一範: 鋼鉄道橋の振動発電を利用した充電手法の動態観測モニタリングへの適用, 構造工学論文集 Vol.61A, pp.532-543, 2015
- 3) 仁平達也, 田中寿志, 曾我部正道, 岡本大, 羽田明生, 野末道子: 導電塗料を用いた RC 構造物の変状検知モニタリングシステムの開発, 第 21 回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2014), S2-13-2, 2014.

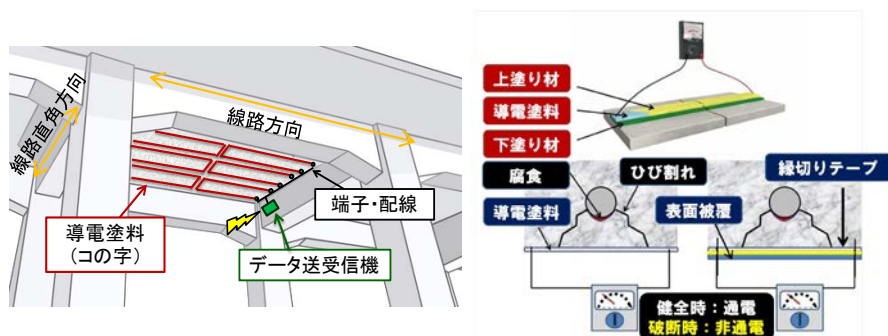


図 1 1 ひび割れ検知システム

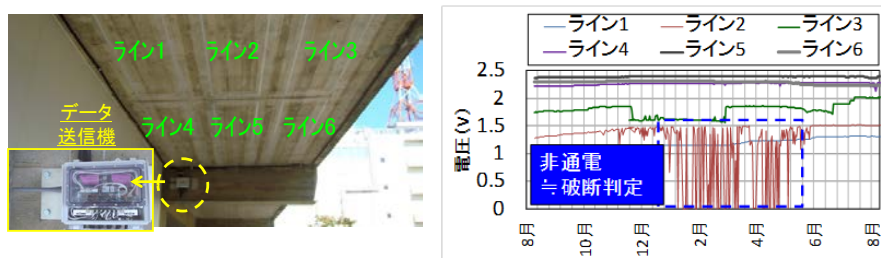


図 1 2 ひび割れ検知システムのプロトタイプと計測結果

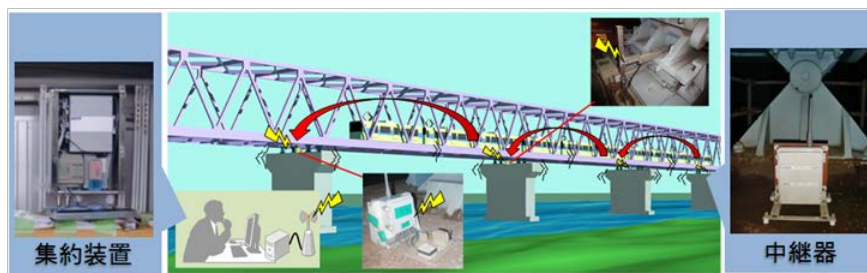


図 1 3 無線伝送ネットワークによるデータ取得法