

新しい状態監視保全技術



平栗 滋人
Shigeto Hiraguri
信号・情報技術研究部 部長
[専門分野] 鉄道信号, 安全性技術

鉄道には構造物、軌道、電車線など様々な設備があり、維持管理のために、定期的な検査が行われています。これに対して、設備状態を監視（モニタリング）し、その状態に応じて必要な対策を必要なタイミングで講じることで、より適切で効率のよい維持管理が期待されます。そこで、設備の維持管理上、重点となる箇所を対象として、状態監視の手法、監視情報を集約・管理する基盤となるセンサーネットワークの設計手法などを開発しました。

高架構造物の状態監視

橋りょうなど高架構造物の維持管理を行う上で、状態を把握することが重要であるとともに目視による健全度の評価困難な箇所である橋脚・基礎、支承、スラブひび割れを対象とした監視手法を開発しました(図1)。

橋脚・基礎の健全性は、従来、衝撃振動試験により固有振動数の計測を行っていましたが、多くの労力とコストを要しています。これに対して、橋脚に加速度センサーを設置し、列車通過時の加速度振幅と、常時計測される微弱な振動の振動数に対するパワースペクトルの分布から、健全度を評価する指標を提案しました。現地試験によって、固有振動数によるものと同じレベルの評価ができることを確認しています。

支承については、変状が進行した場合に列車走行の安全性を脅かすほか、橋桁本体の変状を誘発することも懸念されます。状態を早期に把握して、支承の交換に至る前に設定替えなどで

対応することで、コスト削減が期待されます。状態監視の手法として、温度変化や列車通過時にかかる活荷重に対する支承の水平方向の変位を計測し、支承の可動範囲を継続的に把握し、その変化を捉えることで変状の進行把握の有効な手段となります。なお、このために列車通過時の桁振動を利用した発電により、全ての電力を賄うことが

できるシステムを開発しました。

スラブひび割れを検知するために、線路方向にコの字形になるように導電塗料を塗布し、ひび割れ発生時に塗料が破断して、通電しなくなることを検出するシステムを開発しました。これを利用して破断した箇所数からスラブの健全性を推定する手法を提案しています。

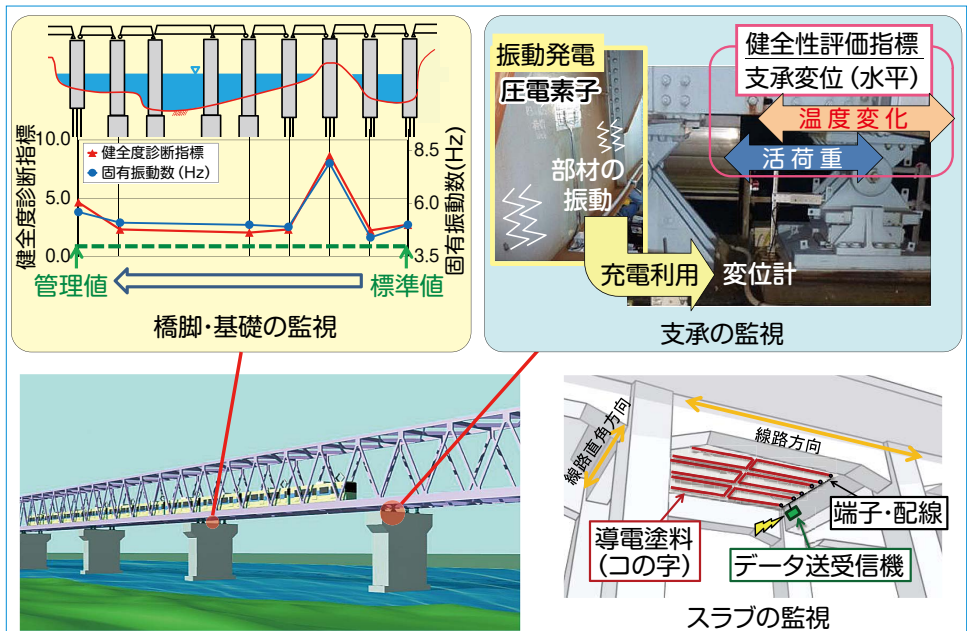


図1 高架構造物の状態監視

なお、これらの研究開発は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

軌道の状態監視

線路に近接して工事を行う箇所や、路盤の沈下の恐れがある箇所を重点的に把握するためには、軌道の状態を常時監視することが有効です。軌道の静的な変位を計測するために、水晶式傾斜角センサー

を使用する方式を開発しました。これは、レールに連続してセンサーを取り付け、特定の箇所の沈下などの変位を検出するものです(図2(a))。試験の結果、精度は±1mm程度と実用的なレベルにあることを確認しました。使用するセンサーは水晶発振を利用するもので、高い安定性を持っているほか、低コストにシステムを構成することができます。

また、まくらぎ上に取り付けた振動発電センサーを使用する手法も開発しました(図2(b))。この手法は、何らかの異常の発生による列車通過時の振動特性の変化を簡易に検出するものです。試験の結果、発電量の変化によ

って異常を検出できることを確認しています。この手法は収集するデータ量が少なく済むことや、センサーを駆動するための電源を別に用意する必要がないなどの長を持っています。

分岐器の劣化状態監視

分岐器のトングレールの摩耗は、走行安全性の点から重要な検査項目の1つですが、現状は人手に頼っています。そこで、車上から画像を利用して監視

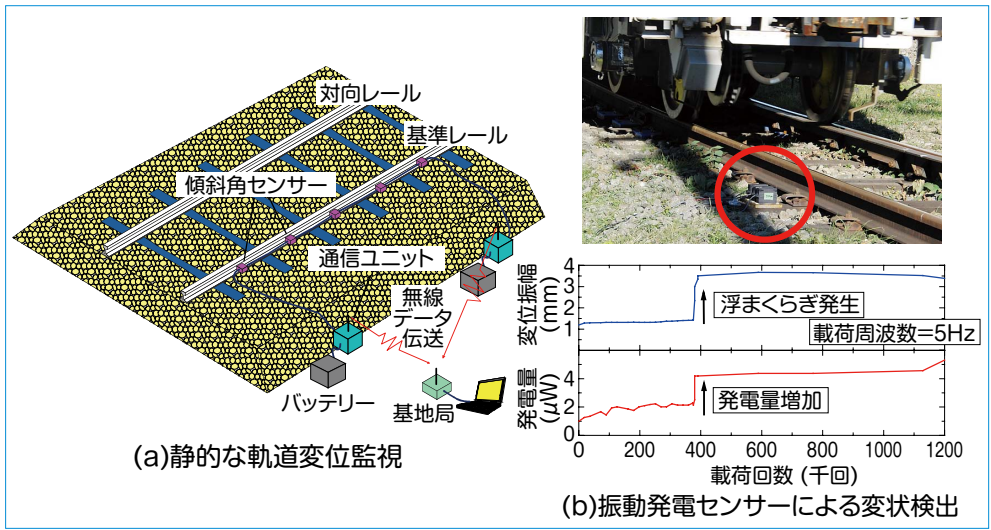


図2 軌道の状態監視

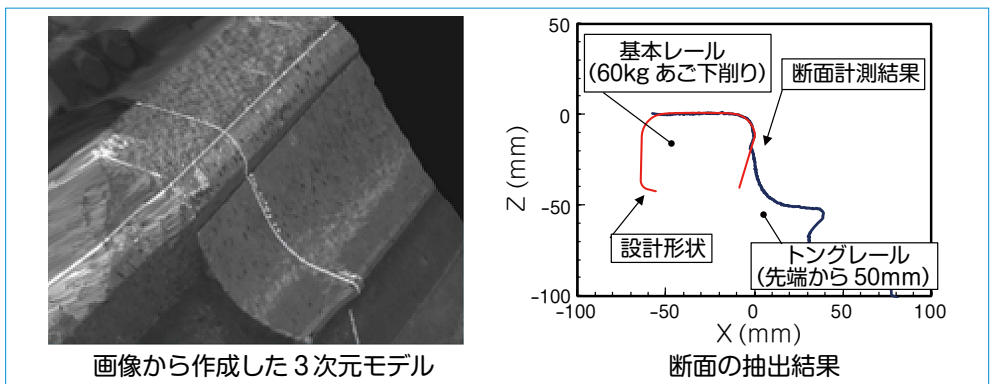


図3 分岐器の劣化監視

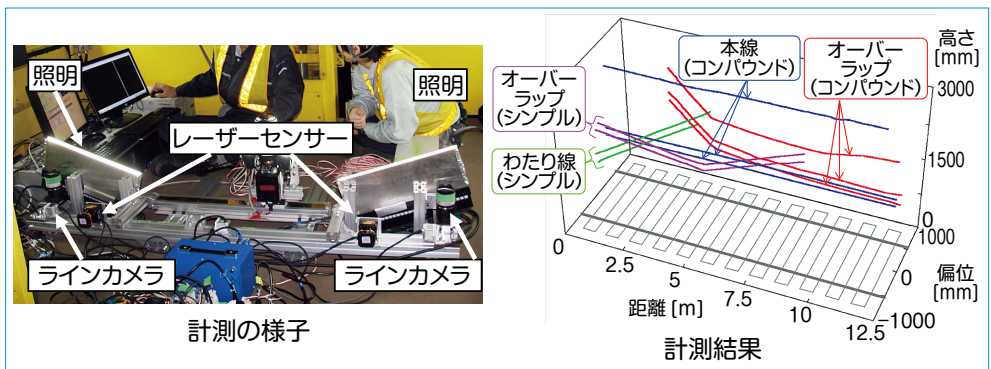


図4 画像とレーザー測距を利用した電車線の計測

する手法を開発しました。2台のカメラを使用して撮影したステレオ画像から3次元データを作成し、これからトングレールの断面形状を把握できることを確認しています(図3)。また、撮影した画像をエッジ検出処理することによって、トングレールの損傷の有無の検出が可能である見通しを得ています。

今後は保守用車に搭載して、走行しながら撮影できる実用システムの開発に取り組んでいきます。

電車線の診断

電車線の状態を判断するための設置基準は、列車が走行していない時の静的な状態を対象として定められています。保守の省力化のための手法として、検測車の屋根上に設置したラインカメラとレーザー測域センサーを組み合わせ、電車線の位置を計測する手法を開発しました(図4)。模擬架線を使用した試験の結果、多数の電車線の位置を正しく検出できることを確認しています。

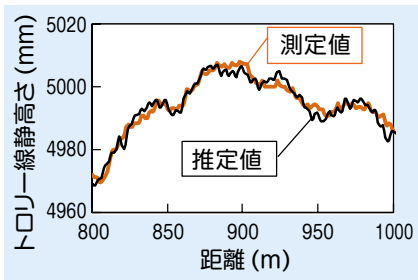


図5 パンタグラフ接触力からのトロリー線静高さの推定結果

また、検測車で得ることが可能なデータを活用する手法として、パンタグラフの接触力からトロリー線の静的な高さを推定する手法を開発しました。この手法では、トロリー線の運動特性をあらかじめシミュレーションし、パンタグラフがトロリー線を押す際に発生する接触力から押し上げ量を求める関数を用意しておきます。これを用いて、実際に計測された接触力からトロリー線の静高さを推定します。新幹線で計測したデータで検証した結果、±10mm程度の精度で推定できる見通しを得ています(図5)。

今後は、様々な条件での適用性の検証や得られたデータの保守への活用手法の確立など、実用化を目指した開発に取り組んでいきます。

電気転てつ機のロック位置予測

電気転てつ機は、列車が分岐を安全に通過できるように、トングレーを固定するためのロック機構を持っています。ロック位置の不良により転換不能に至ると、列車運行に大きく影響する可能性があります。このような状況にならないよう、ロック位置を調整する必要がありますが、状態を監視することで、調整作業の効率化や不良の発生の防止が期待できます。

ロック位置は気温や湿度などに応じて変動することが、経験的に知られていました。そこで、ロック位置の実績データと気象データに基づいて、両者

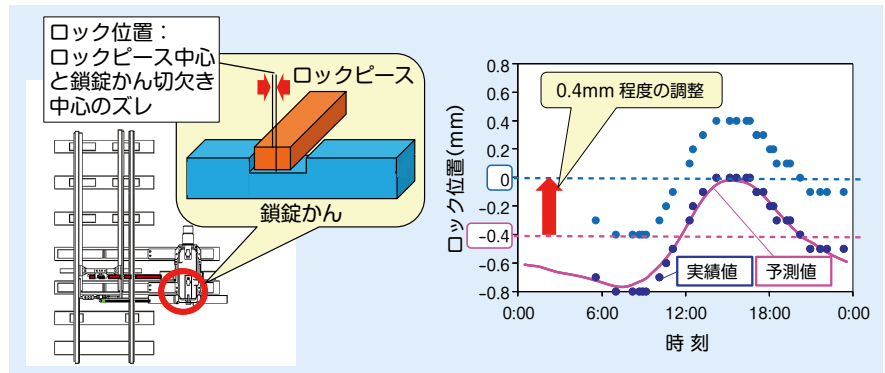


図6 電気転てつ機のロック位置予測

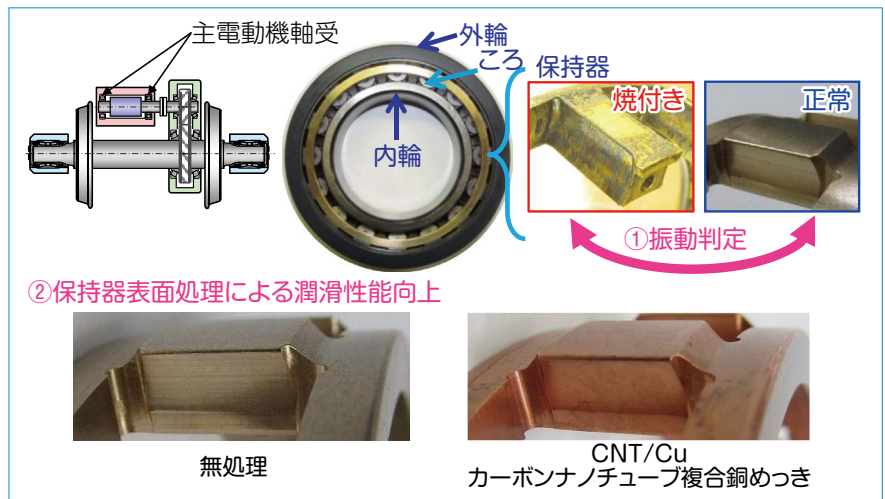


図7 転がり軸受の潤滑性能向上

の関係を表す時系列モデルを作成しました。これを使用して、翌日のロック位置を推定できる手法を開発し、試験によって実用可能なレベルにあることを確認しました(図6)。これによって、ロック位置の大きな変動が予想される転てつ機を対象として事前に調整を行うことによる転換不能の予防や、実績データの中長期的な傾向把握によって、計画的な調整作業の実施などへ活用できます。

転がり軸受の潤滑性能

転がり軸受は、車両の走行に関する装置の中で重要な部品の1つで、高い信頼性が要求されます。転がり軸受には、固定される外輪と回転する内輪、両者の間で転がりながら荷重を受ける転動体、転動体同士が接触しないよう

にするための保持器があります。転動体と保持器との間に潤滑不良が発生すると、軸受が回転できなくなる事象に至る場合があります。実際の使用条件を反映できる試験機を試作して、試験を行った結果、軸受に焼付きが発生するときに振動加速度が急激に増加することが分かりました。また、保持器への表面処理による潤滑性能の向上効果を検証した結果、カーボンナノチューブ複合銅めっき膜を使用した場合に、効果が期待できることが分かりました(図7)。

今後、表面処理の耐久性の検証や、より効果の高い表面処理の探索に取り組む予定です。

状態監視の基盤技術

地上に設置した多数のセンサーで取

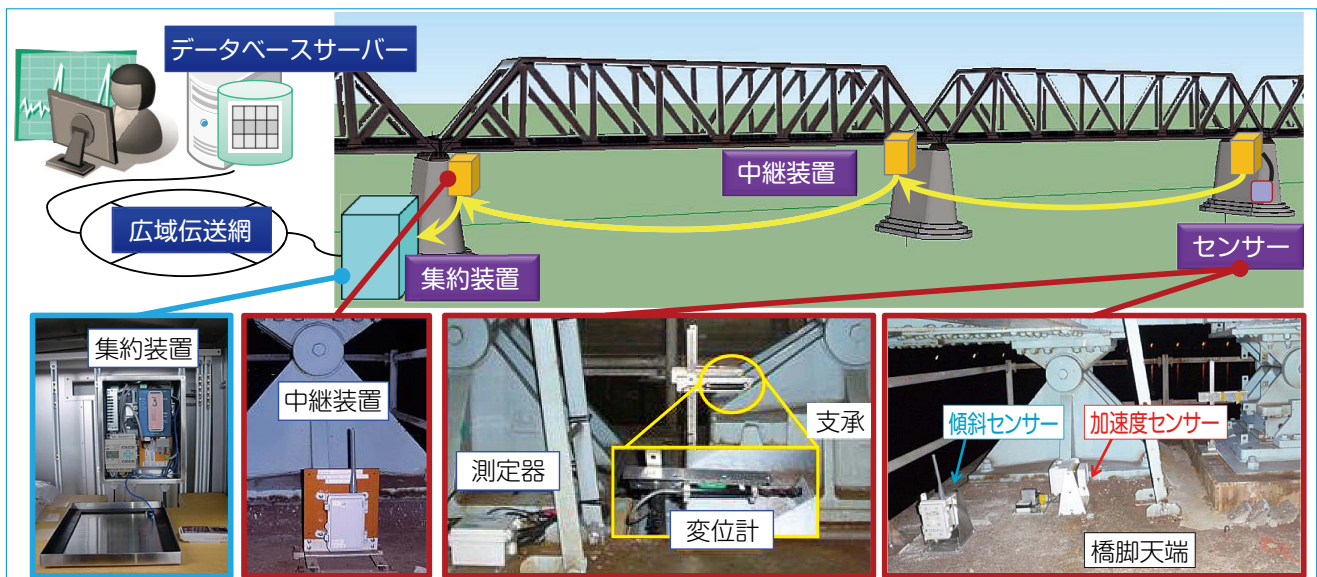


図8 無線センサーネットワークによる橋りょうの状態監視

得したデータを毎日～毎時間程度の頻度で監視する必要がある場合には、無線通信ネットワークを利用して、データ管理サーバーまで伝送するセンサーネットワークを構築することが考えられます。

先に述べた高架構造物の状態監視のうち、橋脚・基礎と支承の状態監視システムを実際の長大橋りょうに仮設し、無線ネットワークを使用して鉄道総研内に設けたサーバーに伝送する試験を行いました(図8)。約1年間にわたる運用の結果、安定して稼働することを確認しています。

一方、無線センサーネットワークを構築する場合、センサーや中継装置などの電源にはバッテリーを使用する場合が多く、特定の中継装置の消費電力量が多いとバッテリーの交換頻度が高くなり、運用コストの増加につながってしまいます。そのため、伝送にかかる負荷を平準化するような中継装置の配置、伝送路の設計が重要になります。そこで、伝送に必要な電力量などを入力として、導入ならびに運用時の費用を最小にするような設計を数理最適化技術に基づいて行う手法を提案しました(図9)。上で述べた実橋りょうでの

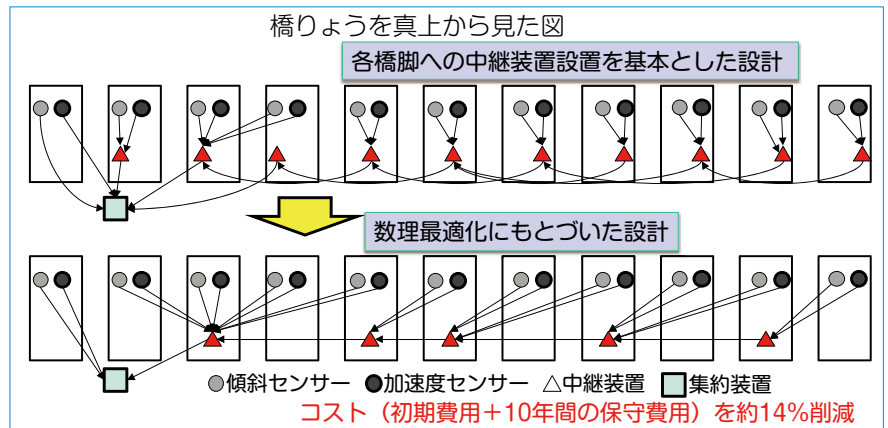


図9 無線センサーネットワークの最適設計

試験において、提案した手法による最適化を行った場合には、10年間の想定運用コストが中継器を全ての橋脚に設置する場合の約86%となる結果を得ています。

なお、このうち、橋りょうの状態監視システムの実橋りょうでの試験については、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

成果の活用

ここで、紹介した成果の中で高架構造物、軌道については、近接施工が行われる箇所や要注意箇所などで活用でき、実用に向けた開発に着手しています。また、転てつ機のロック位置予測

については、短期予測であれば活用できます。分岐器、電車線の各手法については、実用に向けて機能の拡張や、様々な条件下での検証などの取り組みを行っていきます。転がり軸受については、表面処理による性能向上の可能性を見出した段階ですが、今後、耐久性の検証などに取り組んでいきます。無線センサーネットワークについては、常時のデータ監視が必要な場合、多量のデータを扱う場合、現地へ赴くことが困難な場合などに有効であると考えられます。設計指針を作成していますが、実際の使用環境での検証も引き続き行う予定です。[RRR]