

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

橋りょう支承部の地震被害を素早く検知する

比較的大きな地震が発生して列車が停止した場合、運転再開をするためには目視点検などによって設備に異常がないことを確認しなければなりません。しかしながら、橋りょう支承部のような高所・狭あいで見視困難な箇所の点検には多大な労力や時間が必要となります。そこで、支承部の地震被害をセンサーによって素早く検知することで、迅速な点検と早期運転再開を支援するシステムを開発しました。ここでは、開発したシステムの概要について紹介します。

はじめに

地震による揺れの大きさが規制値を超過した場合、運転を再開するためには目視点検によって軌道や設備などの損傷の有無と程度を調査し、安全を確認する必要があります。しかしながら、多数ある設備の目視点検には時間と労力を必要とすることから、早期運転再開のためには目視点検をサポートするより効率的な設備点検手法が求められています。とくに、橋りょうの桁下に設置されている支承部は、**図1**に示すように高所・狭あいで見視が難しく、かつ路線内に多数存在するため非

常に多大な時間と労力を要することになります。例えば2016年熊本地震では、九州新幹線の計2,100箇所程度の支承部を点検しなければなりません¹⁾。こうした目視困難な支承部の地震被害を素早く把握することができれば、詳細点検やその後の復旧対応の迅速化につながり、より早期に運転再開が可能になると考えられます。

そこで、支承部の地震被害をセンサーによって素早く検知し、遠隔地に伝達するシステムを開発しました。ここでは、開発したシステムの概要について紹介します。



小野寺 周
Meguru Onodera
鉄道地震工学研究センター
地震応答制御研究室
研究員



豊岡 亮洋
Akihiro Toyooka
鉄道地震工学研究センター
地震応答制御研究室長



吉田 善紀
Yoshinori Yoshida
構造物技術研究部
鋼・複合構造研究室
副主任研究員

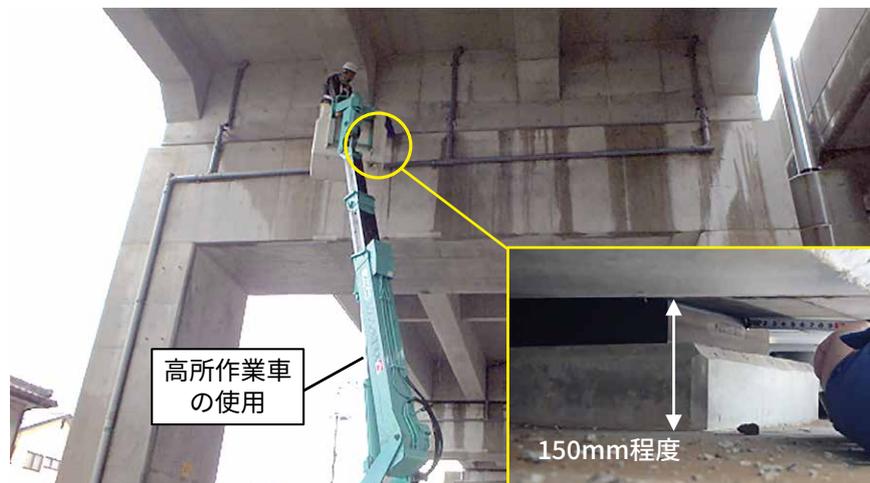


図1 地震後の支承部の点検状況

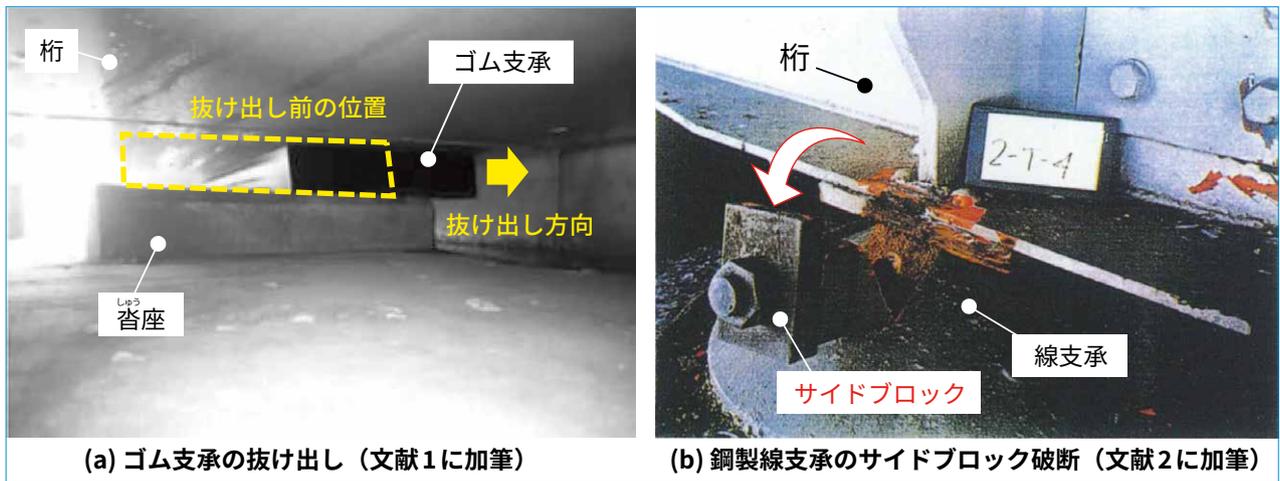


図2 支承部の地震被害事例

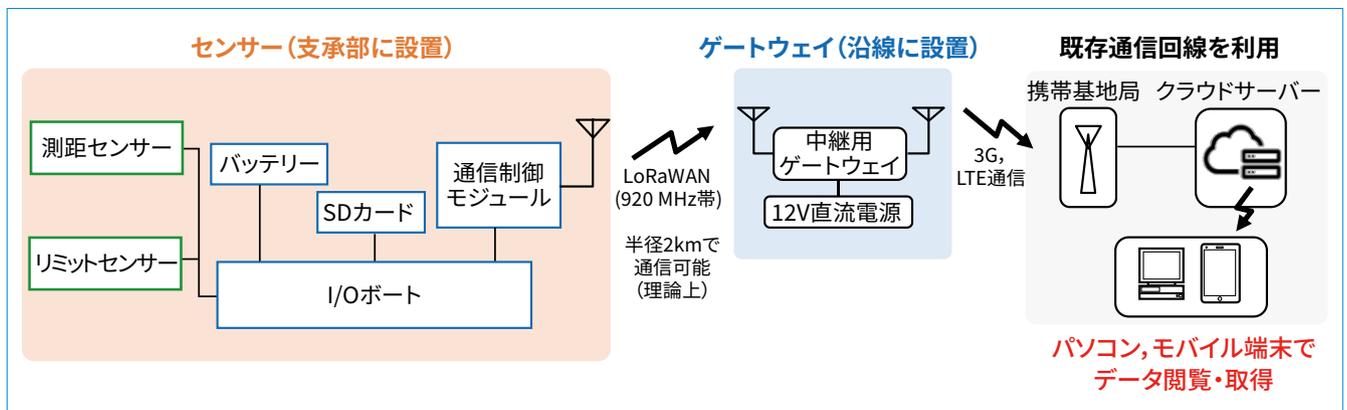


図3 システムの構成

検知対象とする支承部とその被害

橋りょうの形式によって、設置される支承部にはさまざまな種類があり、構成部材や地震による壊れ方（損傷パターン）もそれぞれ異なります。そこで、まずは過去の地震被害事例をもとに、センサーで検知対象とする支承部の種類とその損傷パターンを選定しました。

これまでの地震による支承部の主な被害事例を図2に示します。図2(a)は調整桁式のラーメン高架橋におけるゴム支承の抜け出しの事例です。これは2016年熊本地震で多数確認され¹⁾、点検箇所も膨大であったことから、支承部の効率的な点検手法を開発する契機となった事例でもあります。抜け出

しによって桁を支えるゴムの面積が減少するため、抜け出し量が多い場合にはゴムの損傷や軌道変位の増大による列車の走行安全性の低下が生じる可能性があります。

一方、鋼橋に設置されることが多い鋼製線支承では、図2(b)に示すように、桁の変位を抑えるためのサイドブロックが破断する事例が報告されています²⁾。サイドブロックが破断すると桁の橋軸直角方向の変位を抑える機能が消失するため、走行安全性が大きく低下する可能性があります。

このような運転再開への影響が大きいと考えられるゴム支承の抜け出しと鋼製線支承のサイドブロック破断をセンサーによる検知対象としました。

被害を検知するセンサーの開発

そこで、対象としたゴム支承の抜け出しや鋼製線支承のサイドブロック破断をセンサーで検知して伝達するシステムを開発しました。

システムの構成を図3に示します。支承部にあらかじめ小型のセンサーを設置することで、地震後の抜け出し量やサイドブロック破断を検知します。そのデータは、中継用ゲートウェイを介して無線通信によって自動的にクラウドサーバーに転送されます。そのため、ウェブブラウザを利用してPCやモバイル端末などで閲覧・取得できます(図3)。具体的な構成を以降に述べます。

支承部に設置するセンサーの構成を図4に示します。センサーは2種類あ

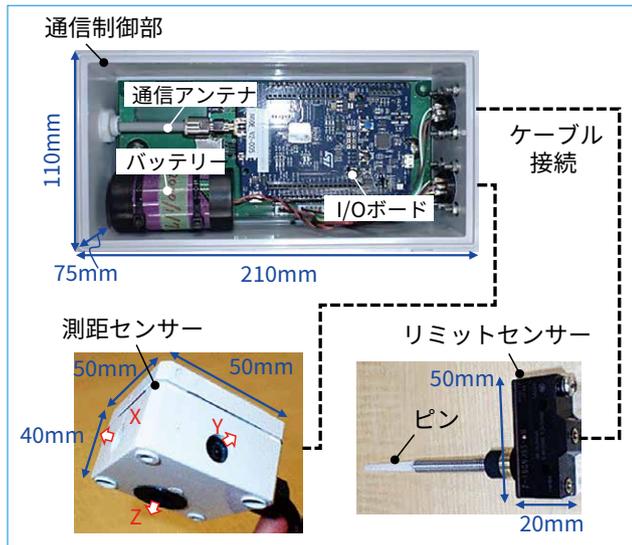


図4 センサーの構成

り、ゴム支承の抜け出し量を検知する場合は、非接触赤外線によって分解能0.16mmの精度で変位量を測定可能な「測距センサー」を用います。図5(a)に示すように、ゴム支承にターゲットを接着し、その移動量を測距センサーで計測することで、水平2方向の抜け出し量と抜け出しにともなう桁の沈下量を同時に検知することができます。

一方、鋼製線支承のサイドブロック破断を検知する場合は、サイドブロックが破断したかどうかを判断できればよいので、センサー先端にあるピンに物体が接触したことを検知可能な「リミットセンサー」を用います。図5(b)に示すように、サイドブロック頂部にリミットセンサーを設置することで、サイドブロックが破断してピンに接触したときに破断を検知できます。2種類のセンサーを使い分けることで、詳細点検の可否を判断するために必要な被害状況を迅速に把握することができます。

計測と通信の頻度は10分間隔としました。これは、地震による揺れが収まった後の抜け出しや破断を検知する目的では、揺れている最中の波形記録は必ずしも必要ないためです。これにより、小型バッテリーのみで理論上7年の電池寿命を確保しており、省電力・

省メンテナンス性を実現しています。なお、計測頻度はセンサー設置後も無線通信によって変更できるため、状況に応じて適切な時間を設定できます。また、センサーとゲートウェイ間のデータ通信には低消費電力・長距離通信が可能なLPWA (Low Power Wide Area) 通信規格であるLoRaWANを採用しています。周辺の見通しなどにも依存しますが、1台のゲートウェイから半径2km程度以内にある複数センサーのデータを受信可能なため、駅部や沿線に必要な分だけゲートウェイを設置することを想定しています。

このシステムによって、常時から支承部の状態を遠隔監視することが可能になります。そのため、地震発生時にはその前後の変化や被害程度を、現地へ移動することなく容易に確認することができます。

開発したシステムに対して複数の性能検証試験を実施しています。まず、気温変化に対しても測距センサーが精

度を維持して計測可能かを確認するために、恒温装置を用いた試験を実施しました。試験では、恒温装置内で測定値が50mmとなるように測距センサーと計測対象物を設置し、温度を-30℃～60℃まで変化させて計測値の変動を記録しました。その結果、図6に示すように、温度変化に対して計測値の変動は最大でも1分解能の±0.16mmであり、安定的な計測が可能であることを確認しました。

次に、支承部に設置したセンサーが大きな地震を受けた後も故障せず動作することを確認するために、加振試験を実施しました。耐震設計で考慮されるL2地震動の波形を用いて複数回連続してセンサーを加振した後、計測対象物までの位置を変化させて計測を行い、高精度レーザー変位計の値を正解値として測距センサーの測定値を比較しました。その結果、図7に示すように、測距センサーの測定値はレーザー変位計とほぼ等しく、地震後も故障す

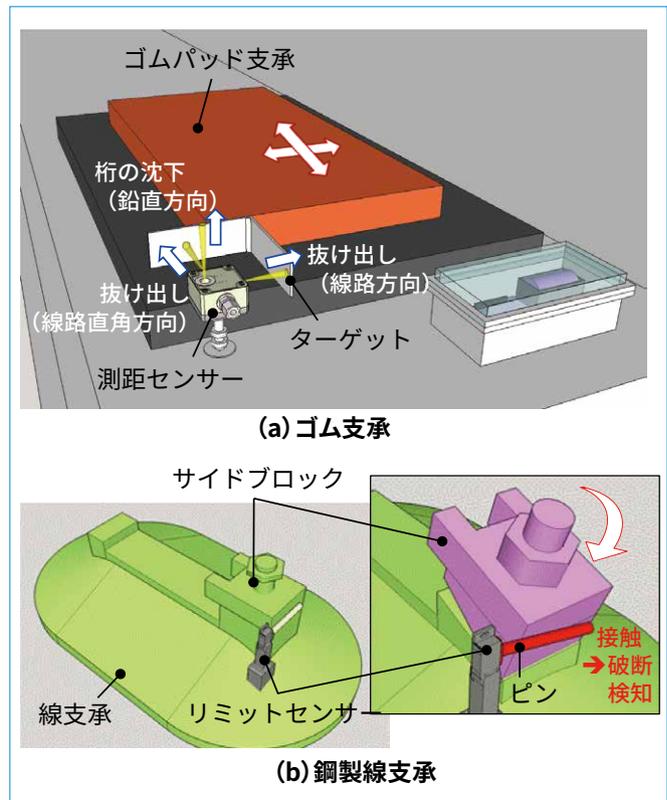


図5 センサーの設置イメージ

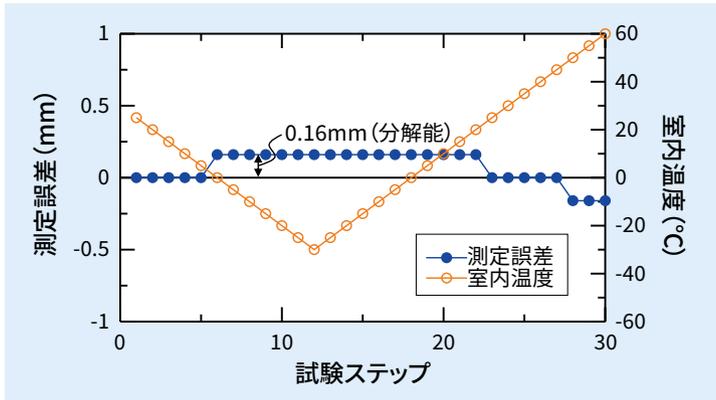


図6 気温変化に対する安定性の検証結果

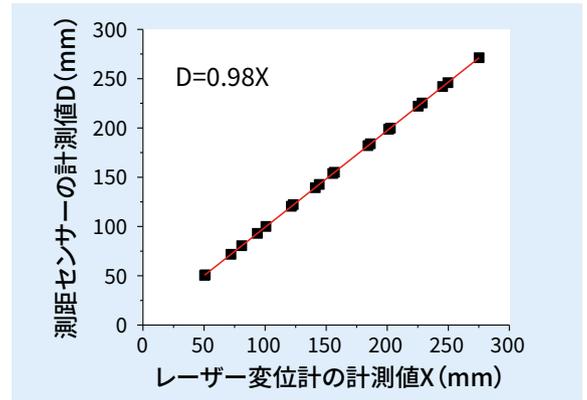


図7 地震の揺れに対する安定性の検証結果

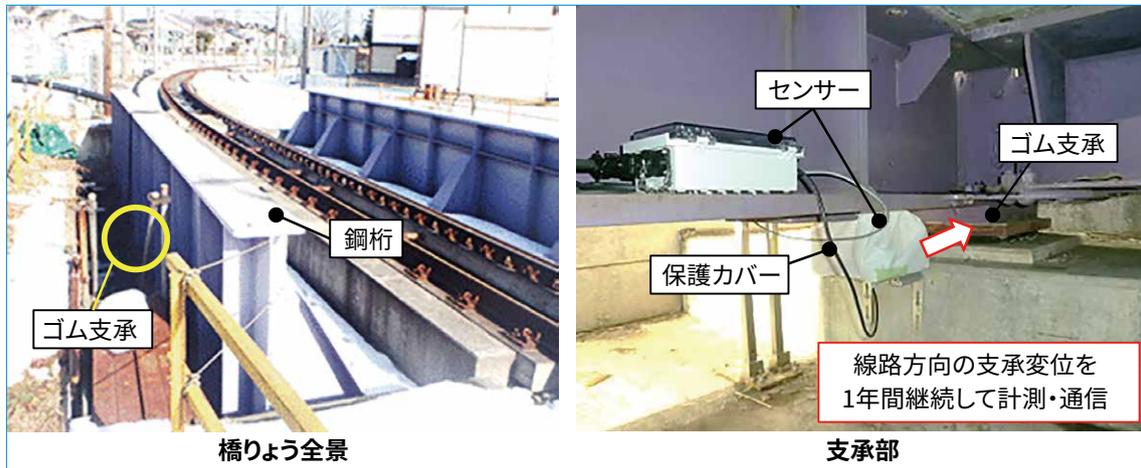


図8 長期耐久試験におけるセンサーの設置状況

ることなく測定可能であることを確認しました。

最後に、鉄道総研内の試験線にある鋼桁のゴム支承に測距センサーを1年間設置し、暴露環境下での長期耐久試験も実施しました(図8)。このとき、センサーに水滴や埃が付着しないよう防護カバーを取り付けることで、1年間にわたり安定して計測・通信が可能なることを確認しました。

なお、開発したシステムは1台数万円程度ですが、限られた予算やリソースで路線内の支承部の被害状況を効率的に把握するためには、設置による点検時間の短縮効果がより大きい箇所には、優先的にセンサーを設置することが現実的であると考えられます。具体的には、山岳部や長大河川橋りょうなど、点検作業員が支承部まで接近するまでに時間がかかる箇所や、遮音板な

どで支承部周辺が覆われて目視がより困難な箇所などへの設置が効果的であると考えられます。また、損傷が生じやすいと想定される弱点箇所に設置することも、被害状況を迅速に把握する上で有効であると考えられます。なお、路線全線から弱点箇所を抽出するには、鉄道総研が開発した鉄道地震災害シミュレーター³⁾を活用できます。

おわりに

橋りょう支承部の地震被害を素早く検知し、迅速な点検と早期運転再開を支援するシステムについて紹介しました。将来的には、鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)⁴⁾と連携し、DISERによる揺れや構造被害の推定情報とセンサーによる実測情報を一元的に表示させることで、早期運転再開に向けた即時対応の支援を目指します。

なお、本システムは地震時だけではなく常時の挙動・変状監視にも利用することができるため、鉄道事業者のニーズに応じた活用が可能です。

本研究開発は株式会社ミライトとの共同研究により実施しています。[RRR]

文献

- 1) 中島英明：「平成28年熊本地震」における九州新幹線の土木構造物の被災状況，JREA，Vol.59，No.11，pp.48-51，2016
- 2) 鉄道総合技術研究所：兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書，鉄道総研報告，特別第4号，1996
- 3) 小野寺周，和田一範，坂井公俊，室野剛隆：構造物データベースで地震リスクを求める，RRR，Vol.76，No.3，pp.24-27，2019
- 4) 岩田直泰，坂井公俊，山本俊六，室野剛隆，青井真：鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)を利用して素早く運転を再開する，RRR，Vol.77，No.2，pp.12-15，2020