

変位センサーによるゴム支承の地震後損傷検知手法の開発

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○小野寺 周 豊岡 亮洋
株式会社ミライト 非会員 林 吾介 高橋 宏寿

1. はじめに

地震により列車の運行が停止し、揺れの大きさが各鉄道事業者の定める規制値を超過した場合、運転を再開するためには軌道や設備等の目視点検を実施し、列車が走行可能な状態であることを確認する必要がある。しかしながら、高所・狭い支承部の目視点検には現状で多大な労力と時間が必要であり、早期の運転再開のためには、より効率的な点検手法を構築することが望ましい。そこで本研究では、支承部の地震時の損傷限界について解析的な検討を行った。また、支承部の損傷を遠隔から把握可能な変位センサーを開発した。

2. ゴム支承の抜け出し限界値の算定

本研究で対象とする支承は、新幹線高架橋に多数使用されているゴム支承とした。ゴムと桁受、桁は結合されておらず、2016年熊本地震では多数のゴムの抜け出しが確認された¹⁾。ゴムが抜け出すと支圧面積が減少し、支持剛性の低下に伴う支承本体の損傷、軌道の鉛直目違い等による走行安全性の低下が生じる可能性がある。熊本地震では一部箇所では支圧面積の25%以上の抜け出しが生じ、据え直し等の大規模な補修が行われた¹⁾。

そこで、ゴム支承の抜け出し挙動を対象として、支承の復旧性や走行安全性の制限値を支障する抜け出し量の限界値を数値解析により算定する。まず、図1に示す新幹線高架橋2ブロックと調整桁、ゴム支承から成る3次元の線形フレームモデルを構築した。ゴム支承はコンクリート標準²⁾に従い、支圧面積とゴムの材料特性から算定される鉛直剛性 K_v を持つバネ要素でモデル化した(図2)。

解析ケースは、ゴムの抜け出し率 α と列車速度 V をパラメータとした全50ケースである(表1)。抜け出し率 α とは、ゴムの幅 L に対する抜け出し量 αL の割合(%)である。 α に応じてゴム支承の支圧面積が減少し、抜け出しによる鉛直剛性の低下が表現できる。また、列車荷重はH-22³⁾(350%乗車)

とし、列車速度に応じた衝撃荷重を算定することで走行速度の影響を考慮した。そして、各ケースで自重状態における列車荷重を連行載荷し、ゴムの最大圧縮応力度、圧縮変形量、桁のたわみ、鉛直目違いを算定した。この応答値から、支承本体の損傷に関する復旧性²⁾、走行安全性³⁾、乗り心地³⁾、軌道の復旧性の照査³⁾を行った。

抜け出し率 α に対する照査値が最も厳しくなったゴムの最大圧縮応力度に対する照査について、列車速度 V に応じた抜け出し率 α と照査値の関係を図3に示す。 $V=80\text{km/h}$ の場合、 α が30%で照査限界値となるが、 $V=300\text{km/h}$ の場合、 α はより小さい15%で照査限界値となる。これは、列車速度の増加に伴って衝撃荷重が大きくなるためである。算定した照査値と α および V の関係から、地震後のゴムの抜け出し量が把握できた場合に支承の応急復旧が必要か、どの程度の列車速度で運転再開が可能かを判断することができる。なお、本照査はゴム支承本体の損傷に関

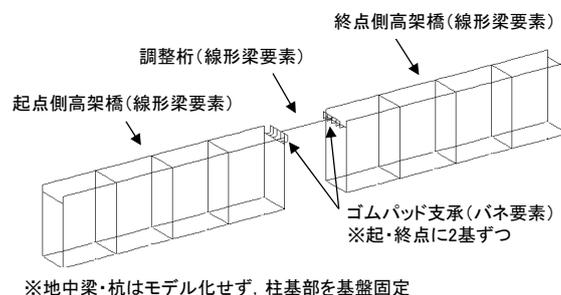


図1 解析モデル

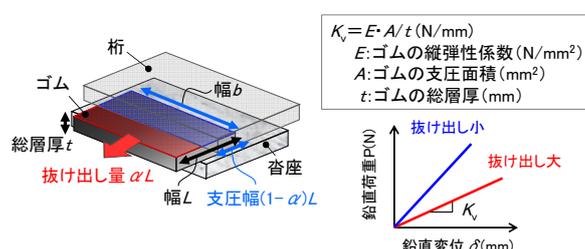
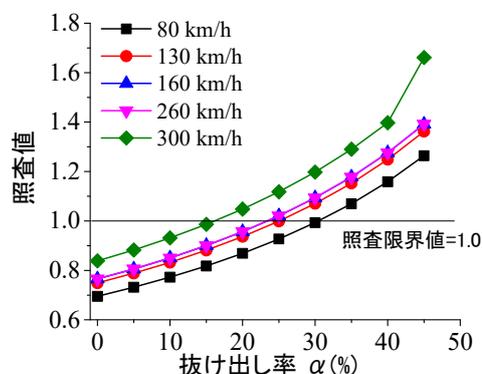


図2 ゴム支承のモデル化

表1 解析ケース

パラメータ	ケース数	ケース
α (%)	10	0%~45%まで5%刻み
V (km/h)	5	80, 130, 160, 260, 300

図3 抜け出し率 α と照査値の関係

キーワード ゴム支承、変位センサー、損傷検知、早期運転再開

連絡先 〒186-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター

する照査値であり、照査を満足しない場合でも直ちに走行安全性を脅かすものではない。

3. 抜け出し量を検知する変位センサーの開発

次に、ゴムの抜け出しを地震後早期に検知可能な変位センサーを開発した。変位センサーはセンサー部、通信制御部から構成され、無線通信によって遠隔でサーバー上の計測データを取得することができる(図4)。センサー部は3つの小型赤外線センサーを集約した測距センサー、物体の接触判定が可能なリミットセンサーで構成される(図5)。リミットセンサーとは、常時はHIGH(1)の値を返し、ピンに物体が接触して曲げ変形を受けるとLOW(0)の値を返すものである。図6に示すように、変位センサーをゴム支承の近傍に設置することで、測距センサーによって線路・線路直角方向のゴムの抜け出し量を詳細に計測し、リミットセンサーによって所定量以上の抜け出しの発生を簡易的に検知することができる。

変位センサーの性能を表1に示す。電源は耐久性に優れた塩化チオニルリチウム1次電池(3.6V 19Ah)を用い、測定寿命を確保するため10分間隔の間欠計測方式とした。10分ごとに計測・通信を行う場合、電池寿命は理論上7年と推定される。

取得したデータはゲートウェイ(GW)、通信キャリアネットワークを介してクラウドサーバーへ送信される。センサーとGW間の通信は、LPWA規格の1つであるLoRaWAN(920MHz帯)を採用した。GWには12VDC電源が必要になるが、理論上、1台のGWで半径2km以内にある100台以上のセンサーのデータを同時受信可能である。そのため、駅部等の既存施設に必要なだけGWを設置することを想定している。

開発した変位センサーを鉄道総研敷地内の支承部に設置することで、狭あい箇所でも十分設置可能な寸法であり、また、現時点で1年以上の連続駆動が可能であることを確認している(図6)。今後も長期計測を継続し、暴露環境下での耐久性、精度を検討する予定である。

4. おわりに

損傷限界値と変位センサーを活用することで、地震後のゴム支承の損傷状態が早期に把握可能となる。その結果、難視認箇所である支承部の点検を迅速化し、早期運転再開を支援することができる。なお、開発した変位センサーは在来線に多数使用される鋼製の線支承を対象とした損傷検知にも活用できると考えており、今後、より広範な支承形式、環境条件下での適用に向けた検討を進めていく。

参考文献

- 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, 2016. 2) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 2004. 3) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限, 2006.

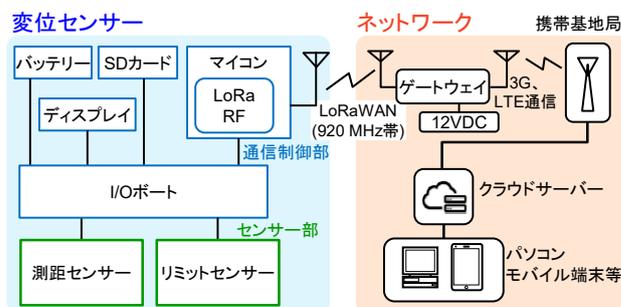


図4 変位センサーによる損傷検知システム

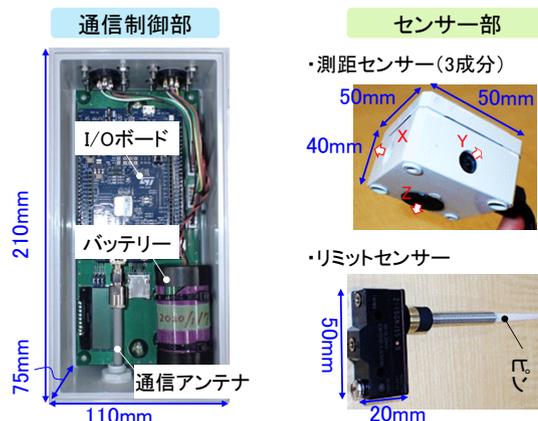


図5 変位センサーの構成

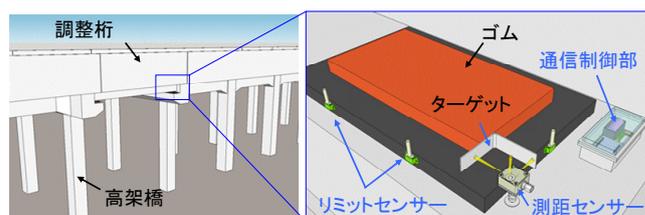


図6 変位センサーの高架橋への設置イメージ

表1 変位センサーの性能一覧

項目	性能
使用温度	-30~50℃
測定方式	測距/リミット, 間欠計測
測定範囲	40~150mm
精度	1mm以下
電源	一次電池で約7年(10分間隔で計測・通信)
防水性	IP44
通信	LoRaWAN, 3G
価格帯	約5万円/台(プロトタイプ)

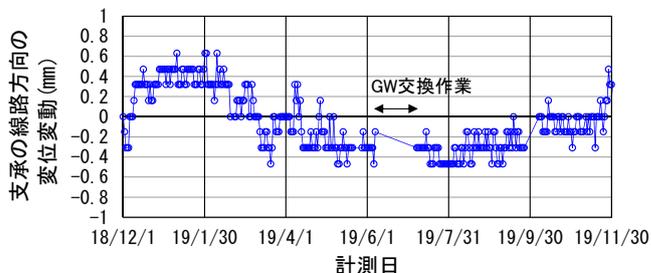


図6 長期計測結果