

レールひずみの長期計測結果とロングレール管理への活用検討

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○須藤 雅人
東日本旅客鉄道株式会社 保坂 恭平

1. はじめに

JR 東日本管内には、200m 以上のレール（以下、ロングレール）がレール延長 9,130km 敷設されている。ロングレールは、夏場の高温時にレールに圧縮軸力が発生するため、この軸力を適切に管理できない場合、座屈現象である張り出しが発生する危険性がある。そこで、ロングレール検査においてレールの伸縮量（以下、ふく進量）を測定し、張り出しに対する安全性の評価を行っている。このふく進量は、100m～200m 間隔で軌道両脇に設置された基準杭に水系を張り、水系とレール頭部にあらかじめ付けられたマーカーとの距離を物差しで測定している。しかしこの方法は、大きな人的労力がかかることや読み間違えなどの課題があるため、レールに歪センサを取り付けて、その測定値からレールの軸力を換算する方法を検討してきた¹⁾。本稿では、既往の研究²⁾で開発した振動発電型レール軸力センサを長い延長に多数敷設し、約3年計測した結果とロングレール管理への活用について紹介する。

2. 振動発電型レール軸力センサの概要

図1に、振動発電型レール軸力センサ（以下、本センサ）の概要図を示す。本センサは、まず列車が通過する際の振動で列車を検知し、この振動による発電波形が閾値を下回った時点を列車通過と判定する。そして列車通過後に、レールの中立軸に接着された歪センサおよび温度センサでレールひずみおよびレール温度を測定する。なお、本センサは、振動発電と二次電池を併用しており、長期間外部電源が不要である。

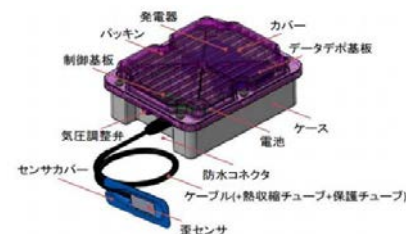


図.1 振動発電型レール軸力センサ

本センサで取得されたデータは、まず内部のメモリに一時保存される。その後、図2に示すように、データ回収車両（データ送信機能を有した線路設備モニタリング装置³⁾ 搭載車両や保守用車）が通過の都度、その間に蓄積されたデータのうちレールの中立温度（レール温度とひずみ量/線膨張係数で表すひずみ換算温度の和）が最低の1データが車両に送信され、さらに車上からクラウドに送信される。

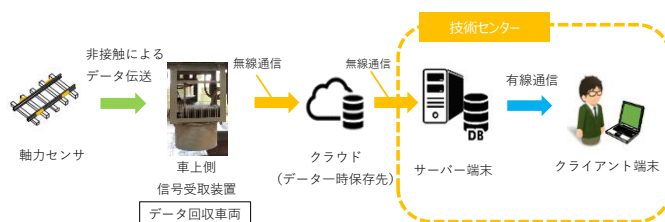


図.2 データ回収経路

3. 本センサの試験敷設概要

データ取得を含めた本センサの長期耐久試験のため、2020年3月までに総武本線の約6.8km（50Nレール、年間通トン1,550万トン）の区間に、本センサを80個設置した。既往の研究⁴⁾より、1つのセンサで代表できるレール延長は200m程度と現行の基準杭間隔と同じことから、基準杭間の中央のレールに本センサを設置し、基準杭間のロングレール安全度（以下、安全度）を代表するものとした。また、設置間隔を細かくした曲線内や、基準杭と同じ位置、トンネル内やその影響を受ける範囲、日向や日陰、踏切近傍など様々な箇所を設置した。その中で、今回は基準杭間の中央に設置し、計測期間中に工事の影響を受けなかった12箇所のデータについて検証した結果を記載する。なお、この12箇所の軌道線形はR600、R800、R1000および直線である。

4. 長期測定結果と手測定検査結果との比較

安全度 α の算出は、当社の検査に合わせて式(1)を用いた。ここで、 i は道床横抵抗比、 ΔT は換算付加温度、 Δt_{max}^N は予想最高レール温度からの限度値

$$\alpha = 1.2i^{0.535} \times \frac{1}{1 + \frac{\Delta T}{\Delta t_{max}^N}} \cdots \text{式(1)}$$

キーワード ロングレール、レールひずみ、レール温度、軸力、歪センサ、高頻度データ

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目479番地 東日本旅客鉄道(株) TEL 048-651-2389

である．センサのひずみから得られる安全度は，センサ設置時のふく進量から得られた ΔT に，センサ設置後に測定された中立温度と設置時の温度の差を加えることで算出する．

図3に，センサによる安全度とセンサ設置後約半年毎に実施した当該箇所の手測定の安全度の時系列を示す．同図より，手測定の安全度は，概ねセンサによる安全度のばらつきの範囲に収まっていることがわかる．センサによる安全度のばらつきは，理想的にレール温度変化分がレール軸力に完全に換算されていないことや，一日の中で日向・日陰が発生することなどが原因である．

12 箇所のセンサ設置後 4 回の手測定の安全度の 52%は，ふく進測定前後 2 週間におけるセンサの安全度のばらつきの範囲に収まっていた．また 31%は，手測定の安全度よりもセンサの安全度の方が小さかった．これは手測定が線路閉鎖で実施する深夜帯の値であり，この時がかならずしも中立温度最低とは限らないためと考えられる．図4に，センサに蓄積されたデータを3か月分手回収して，月間中立温度最低・レール最低温度の値から安全度を算出した例を示す．レール最低温度は，初列車時の値であり，中立温度最低の条件よりも安全度は高くなり，測定条件に近い手測定の安全度に近づくことがわかる．

5. ロングレール安全度の将来予測検証

本センサは高頻度にデータを取得できることから，安全度の将来予測について検証した．既往の研究⁴⁾から，ひずみ換算温度は年間を通して周期的に変動することがわかっているため，予測モデルは中立温度 $f(x)$ を式(2)で数式化し，最小二乗法で係数 a, b, c, d を求め，時系列 x 時点での中立温度を算出することとした．

$$f(x) = a \sin\left(\frac{2\pi}{365}x + b\right) + cx + d \cdots \text{式(2)}$$

図5に予測結果の例を示す．データは2020年3月から2022年12月まで存在するが，年変動が一巡する最初の1年間のデータを用いて予測した値を同図中の赤線，全期間のデータを用いた回帰線を青線で示している．本例では，周期的な年変動と経時的に安全度が低下するトレンドが確認できる．表.1に，同様の条件で計算した上述本センサ12箇所の予測線と回帰線の差を示す．予測する期間が長くなるほど安全度の差の標準偏差は大きくなっていく．しかし，図5の予測結果のように，その杭間の安全度が落ち着いているか，悪化傾向にあるかは把握でき，また計測日数の増加と共にデータ数が増加し，予測に用いるデータの期間を長くすることで予測精度の向上も期待できるため，将来的な対策工事時期の予測等に利用できると考えられる．

6. おわりに

約3年の敷設を経過して，本センサおよびデータとも良好な状態を維持している．2022年からは常磐線一部区間に本センサを敷設し試行を開始した．今後は，施工による影響や曲線の影響を確認するとともに，ふく進量が比較的大きい区間での原因調査への活用や，適用拡大のためのセンサ低廉化などの検討を行う予定である．

参考文献 1) 小木曽,レール軸力センサを用いたロングレール管理手法の研究状況,鉄道施設協会誌 2016 年 7 月号,2016
2) 佐々木他,振動発電型レール軸力センサを用いたロングレール管理の検討,第 24 回鉄道工学シンポジウム論文集,2020
3) 吉田他,線路設備モニタリング装置の更なる活用に向けた研究,JR 東日本テクニカルレビュー,2019
4) 佐々木他,ひずみセンサを用いたロングレール管理の検討,土木学会全国大会第 75 回年次講演会,2020

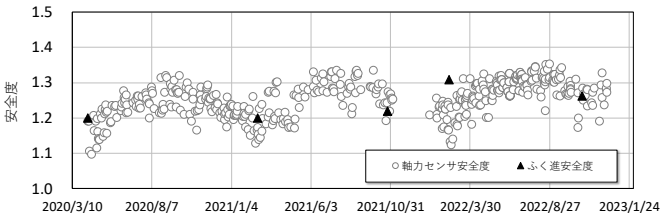


図.3 本センサ・手測定の安全度の時系列

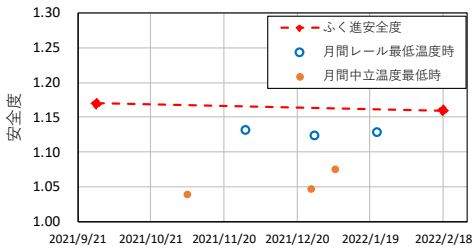


図.4 データ取得条件による安全度の違い

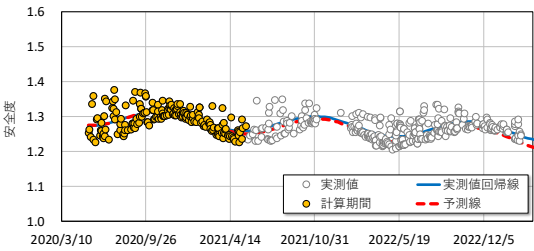


図.5 軸力センサによる安全度の将来予測例

表.1 安全度予測の差

	安全度の差 (=予測値-回帰線)		
	0.5年後	1.0年後	1.5年後
最大	0.065	0.112	0.060
最小	-0.221	-0.260	-0.273
平均	-0.062	-0.041	-0.102
標準偏差	0.074	0.087	0.123