

論文 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

佐々木 智¹・安藤 洋介²・久保 崇紀³

^{1, 2, 3}正会員 東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター テクニカルセンター

(〒331-8513 埼玉県さいたま市 北区日進町 2丁目479番地)

¹E-mail: sat-sasaki@jreast.co.jp

²E-mail: andou-yousuke@jreast.co.jp

³E-mail: t-kubo@jreast.co.jp

近年では、保線の管理体系がCBMに変わりつつあるが、人間系による検査がまだ多く存在する。ロングレール検査に関しても同様であり、人間系による検査が主体となっている。本研究はロングレール検査の精度向上・CBM化を目的として、これまでにレール軸力センサによる長期モニタリングを実施している。

加えて、データ伝送手段と電力供給方法を見直した振動発電型レール軸力センサを開発し、試験運用をしている。後者の装置は、振動発電による省電力化の効果があり、省メンテナンスかつ長期的運用を目的に開発したものである。

本論文では、新たに開発した振動発電型レール軸力センサの機能と性能について、調査結果を踏まえて報告する。ならびに、これまでに得た長期モニタリングのデータを分析し、ひずみセンサを用いた軸力管理範囲や現行検査による安全度との比較を行う。それらの結果をもとに、ロングレール検査の省力化や糸張り検査脱却の可能性について考察する。

Key Words: track buckle, rail stress, strain sensors, rail axial force management methods

1. はじめに

(1) 背景

ロングレールは長い区間に亘ってマクラギに拘束されるため、伸縮レール近傍以外では外気温の影響を受けて大きなレール軸力が発生する。レールに圧縮力や引張力といった軸力が作用し、結果、軌道座屈やレール折損に至る。これを防止するため、レール軸力管理は軌道保守上、非常に重要である。

一般的なレール軸力管理では、軌道の両脇に設けた基準杭を用いる。基準杭は100～200m程度の間隔で設置されている。基準杭に張られた糸と、レールにあるポンチマークとの差分がレールの相対移動量となる(図-1参照)。この相対移動量からレール伸縮量を推定し、レール軸力に換算する事で軌道保守上の安全性を管理している。

この測定は、主に人間系によるものである。当社管内のロングレール管理対象はレール延長約9,130km(杭間数56,636箇所)であり、管理箇所数が膨大であるため労力面で大きな負担となっている。また、このロングレール管理(糸張り検査)の測定は目視による計測であるため、測定ミスや個人差が生じやすい。

(2) 目的

前述したような問題点を克服するため、当研究では、ロングレール検査の省力化および糸張り検査の脱却を目的としてひずみゲージを用いたレール軸力管理手法について検討を行う。

現行検査(糸張り検測)の様にレールと基準杭の相対移動量からレール軸力を推定するのではなく、ひずみセンサによって測定した直接弾性ひずみをレール軸力に変換する手法となる。レール軸力に変換した以降の処理(安全度判定など)は現行検査と同様とする。



図-1 糸張り検測の様子

(3) 研究の概要

ひずみゲージを用いたロングレール検査の省力化を図るためには、測定データの送信が自動で行える測定装置が必要となる。そこで本研究では、装置開発から着手した。レール腹部に接着したセンサ(ひずみゲージ、レール温度計)で得られたデータをマクラギ端部に設置した筐体内(図-3)に保存し、データデポ通信によりデータを回収する。まずは、この装置の詳細について述べる。

次に、ひずみゲージを用いたロングレール管理の可能性について、過去に得た測定データを踏まえて論述する。

2. レール軸力測定用のハードウェアについて

ひずみゲージを用いたレール軸力の常時把握には、地上装置が必要となる。

過去に使用した軸力センサの電源には一次電池が用いられており、かつ、常時測定していたため、稼働時間に問題があった。今回は、二次電池と圧電素子を用いて、走行車両の振動作用により蓄電できるようにすると共に、列車検知機能を持たせることで測定データの信頼性の向上を図っている。

(1) 過去に使用したレール軸力センサについて

本研究ではこれまでに米国製レール軸力センサ(米国 L.B.Foster 社製 Rail Stress Monitor, 図-2)を用いた長期モニタリングを過去に実施した¹⁾²⁾。当装置は、ひずみゲージ、レール温度計、データ送信装置、電池が一体となっている。測定間隔は10分であり、高頻度なデータをリアルタイムで取得できる利点がある。

データの回収には、Wi-Fiを用いた無線通信方式を使用しており、データ受信器を持って建築限界外から取得する方法や、スポット的に設置した中継器からインターネットを経由して指定サーバに送るといった方法がある。

この装置に組み込まれている一次電池で数年間は連続使用ができるが、電力がなくなれば交換が必要である。加えて、装置価格が高価であるため、ロングレール検査の置き換えとして投資効果が得られない事が懸念される。なお、当装置は現在、製造会社の都合により使用不可となっている。

(2) 振動発電型レール軸力センサについて

本研究では、電源とデータ通信手段を見直し、新たに振動発電型レール軸力センサを開発した。特徴として、電源供給に振動発電技術を使用したこと、データ通信手段にデータデポ通信技術を使用したことがあげられる(図-3)。ひずみゲージは4ブリッジ型ひずみゲージを

使用している。このゲージはレールの中立軸に接着剤にて固定する。

a) 振動発電および列車検知について

最も簡単な電源として電池が考えられるが、今回の装置に関しては長期モニタリングが前提となっているため、一次電池では長期的な運用は難しいと判断した。

一方、軌道周辺における特徴的なエネルギー源として列車通過時の振動が挙げられる。この振動を利用して発電することで、地上装置の無電源化・省電力化が可能となる。

今回は、二次電池と振動発電により、装置を運用している。二次電池は十分な振動発電量が確保できるまでの初期駆動の電力を担い、振動発電量が十分な量に達した時点で振動発電の電力で駆動するように切り替わる。仮に、振動発電量が少ない場合には、二次電池のみの電力で駆動する。

二次電池の容量は2400mAhである。消費電力は計算値 28.2mAh/年(マイコン駆動+タイムスタンプ+測定+データデポ駆動の合計、通過列車本数250本/1日と過程した場合)である。

振動発電は電力供給のみならず、列車検知にも応用している。発電量の変化で列車の進入・通過が検知できる



図-2 米国製レール軸力センサ



図-3 振動発電型レール軸力センサ

ため、列車通過直後にひずみ量・レール温度を測定する仕組みになっている。これにより列車がセンサ直上を通過する際に生じるひずみが測定されることを回避している。なお、列車検知および通過の基準については、振動発電の波形が閾値（0.8V）を超えた場合を列車検知とし、その後500msec間隔で発電波形を判定して閾値を下回った時点を列車通過としている。

b) データ伝送手段について

測定したデータを回収する方法としてインターネットを使った通信回線が挙げられるが、地上装置本体に通信回線を設けると多くの電力を消費するため、長期的な運用は難しいと言える。

そこで本装置では測定データの回収方法として、キロ程検知で使われているデータデポ通信システムを応用することとした。本装置を地上子とし、地上子ー車上子間の通信により測定データを回収し、車上側に設けた通信回線を使って指定サーバに保存される（図-4）。

c) その他の機能について

前述した機能以外に、測定データを一時的に保存する記録媒体（1Mbit）と簡易な演算機能がある。車上子ー地上子間の通信量には限りがあり、1回の通信で取得できる情報量は1回分の測定データ（ひずみ量、レール温度、それらを観測した日付・日時）のみである。したがって、データ回収車両が通過した時点から次に回収される時点までの期間に測定したデータの中から、演算機能を用いてロングレール管理上最も安全側に判定される値を選定し、その測定データ1回分を車上に伝送する仕組みを構築した。演算機能については第3章で後述する。なお、専用のハンディ端末を使えば、記録媒体に保存されている測定データを全て取得することが可能である（現地に赴く必要がある）。測定データ数は列車走行本数に依存するが、数か月分は収録可能である。

d) レール軸力データの回収フローについて

前述した振動発電による電源供給および列車検知、データデポ通信によるデータ回収の方式に則ると、図-5のようなフローでデータが回収される。

列車が走行することで軌道が振動し、軸力センサが起動する。その後、列車が通過したことを検知し、ひずみ量・レール温度を測定し、同装置内の記録媒体に保存される。データ回収車両が通過するまでは、以上のフローが反復される。データ回収車両が通過すると、それまでに測定したデータの中から事前に設定した演算（第3章で後述）に基づいて測定データが車上に回収される。その後、車上から通信回線を使って指定のサーバにデータが保存される。上記のような工程を経て、データが回収される。

3. 取得方法の違いについて

当装置は、前述した方法で回収する以外に、専用端末を使って現地で直接回収する方法も存在する。現地で直接回収する場合、記録媒体に保存されているデータを全て回収できるため、通信回線で回収する方法よりも多くのデータを回収できる利点がある。

図-6に示すデータは現場から直接回収したデータである。ここで、図中の中立温度とはレール温度+ひずみ量／線膨張係数で表される計算値で、軸力がゼロとなる温度を意味する。本装置による測定頻度は走行列車の本数に依存する。当該箇所では、平均147データ/日であった。なお、2018/8～2018/10の期間でデータの欠損があるが、データ保存容量の限界を超え、古いデータが更新されたためである。



図4 データ伝送のイメージ

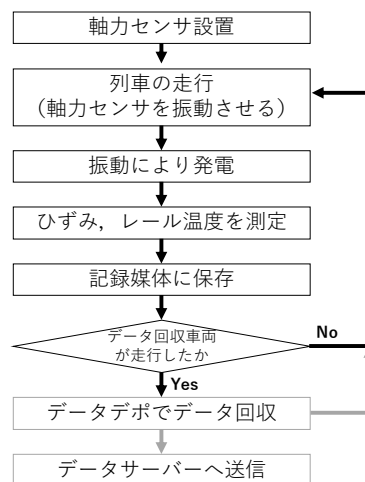


図5 データ回収フロー

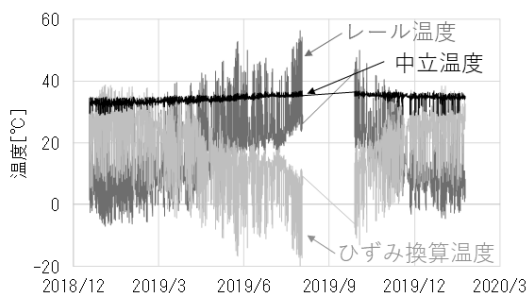


図6 現場で直接データを回収する場合

図-7は、通信回線でデータを回収する場合の図である。実際に得られるデータは図中の菱形で囲われたデータである。データ回収日はデータ回収車両の走行日に依存する。送信されるデータは、予め設定した演算に基づいて選定される。例えば、前回取得日～次回取得日の期間における最高レール温度や最低中立温度（「軸力がゼロになる温度」の最低値）など、筐体内で行える程度の演算であれば任意の演算を設定できる。

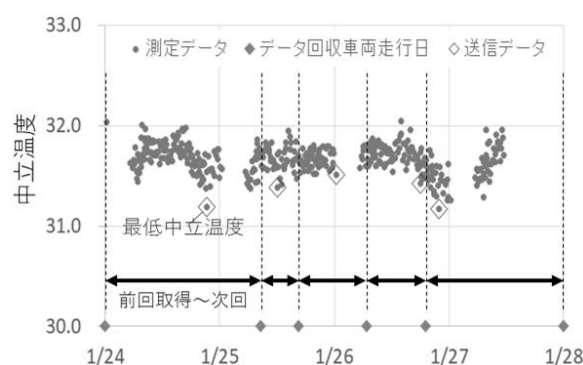


図-7 通信回線でのデータ回収の例
(前回取得から次回取得の期間における最低中立温度)

4. 振動発電による列車検知性能の評価

当装置は最も使用頻度が高いと予想されるバラスト軌道での使用を基本として設計した。図-8より、当社管内における道床種別の割合はバラスト軌道が大部分を占めていることがわかる（89.7%）。事前調査で測定した列車通過時のバラスト軌道の振動加速度（マクラギ端部上面で測定）を参考に、発電量が最も多くなるように振動発電機の振動帯域や固有振動数を調整して設計した。

ただし、事前調査ではバラスト軌道かつ列車走行速度が通常の営業速度である事を条件で調査している。したがって、バラスト軌道以外や、列車走行速度が遅い区間（ホームでの停車など）における調査は未実施であった。そこで、当装置の今後の水平展開を見据えて、列車による軌道の振動が比較的低いと思われる条件下で調査を実施した。軌道構造条件および列車速度条件に関しては、表-1、表-2の通りである。これらの条件下において列車検知の可否を調査した。

なお、列車検知の基準については、振動発電の波形が閾値を超えた場合に検知とみなしている。ここでは閾値を0.8Vと設定している。この閾値が低すぎる場合、隣接線の振動を検知することにつながる。それによって誤動作、もしくは、不要な稼働によって電力が消費されることにつながる。反対に、閾値が高すぎる場合は列車を検知できなくなる。この条件を鑑みて、0.8Vと設定した。

調査結果は表-3の通りである。表-3において、○：列車の検知可能、△：通過速度や車両数によって検知しない可能性あり、×：列車の検知は難しいを意味する。

RC鋼橋桁では軌道の振動が小さく、列車検知が出来なかった。また、ホーム区間のように列車走行速度が遅い条件や防振スラブの様に、軌道の振動が比較的小さい場合に関しては、列車を検知しない可能性がある。ただし、敷設線区の列車運行次第では、ホーム区間であっても旅客列車が通過する場合もあり、加えて貨物列車の様に車体重量の大きい車両かつ編成が長い列車が通過する場合も想定される。そのため、当装置の敷設する際の判断基準としては、軌道構造条件だけではなく、敷設予定箇所の列車走行速度・車両の編成数・車体重量に留意して設置をすれば運用は可能といえる。

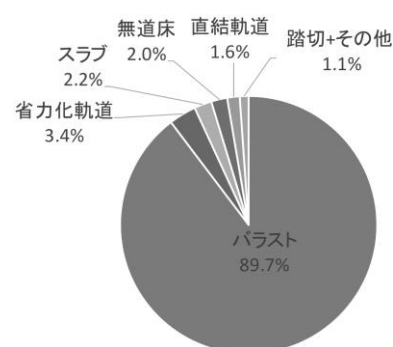


図-8 JR東日本管内 道床種別の割合

表-1 軌道構造条件ごとの振動調査箇所一覧（駅間）

軌道構造	線区	両数
弾性直結型軌道	埼京線	10両
防振スラブ	埼京線	10両
一般スラブ	武蔵野線	8両
TC省力化軌道	東北貨物線	15両
無道床橋梁（アバット部）	東北貨物線	15両
RC鋼橋桁	京浜東北線	10両

表-2 列車速度条件の振動調査箇所（駅構内）

軌道構造	線区	両数
ホーム区間（列車到着時）	京浜東北線	10両

表-3 軌道構造条件ごとの列車検知評価

軌道構造	主な発電波形の領域（V）	列車検知
弾性直結型軌道	2.4以上	○
橋梁（アバット部）	2.4以上	○
一般スラブ	1.8～2.3	○
TC省力化軌道	1.0～2.0	○
防振スラブ	0.6～1.1	△
ホーム区間（列車到着時）	0.6～1.5	△
RC鋼橋桁	0.5～0.8	×

※列車検知の閾値は0.8V

5. ひずみセンサを用いた軸力管理範囲の検討

以下の分析は前述した米国製レール軸力センサによる測定データである。振動発電型レール軸力センサによるデータはデータ収集期間が短く、また、設置台数も少ないため使用していない。ひずみゲージを使用している点は両者共通しているため、より長期的なデータを測定している米国製レール軸力センサのデータを用いてロングレール検査の置き換えについて検討した。³⁾

(1) 対象データおよび現場状況について

分析に用いたレールひずみ量およびレール温度のデータは、営業線で測定したデータである。対象とした箇所は、東京東部（A線、測定期間：2012/6/25～2018/1/18）、および、東京西部（B線、測定期間：2012/4/5～2017/3/28）とした。測定間隔は10分である。現場状況は図-9および図-10に示すとおりである。

それぞれの線形・特徴について述べる。A線は50Nレールで、センサは右レール（外軌）に設置した。曲線半径は800mである。図-9に示すように、センサ位置R7、R8は跨線橋によって日陰区間となっている。

B線は60kgレールで、センサは左右レールに設置した。曲線半径はR=2000～3000mの曲線と直線が含まれる。図-10に示すように、この区間には隣接する建造物の日陰が断続的に存在している。

また、センサの設置間隔は両線区とも50mとしている。

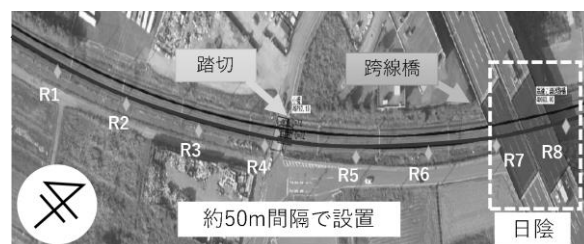
(2) 検討事項について

ひずみセンサを用いた保守管理を行う上で、設置間隔は保守面・費用面に関わる重要な要素である。費用の観点から、レールに設置するひずみセンサの設置間隔は長いほど望ましいと言える。一方で、ひずみセンサが示す値は局所的なレール軸力であるため、間隔が長いほど軸力の変動を捉えられない区間が発生してしまう。このことから、軌道の安全性を確保しつつ、必要最低限の設置台数で運用できるための適切な設置間隔の検討が必要である。

ここでは、隣接するセンサ同士のデータを比較することで、1個のひずみセンサが示す軸力が、1杭間（100～200m範囲のレール）の代表値として扱えるかを分析する。具体的には、センサ同士のひずみの相関関係を分析する。その相関関係がセンサ同士の離隔距離によってどのように変化するかを検証していく。

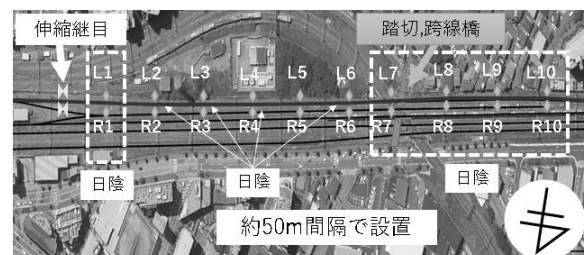
(3) 検討結果

A線のR1を基準に直接ひずみを比較したグラフを図-11上段に示す。なお、ひずみ換算温度はひずみ量/線膨張係数で求める。R1～R3（約100m間隔）、R1～R4（約



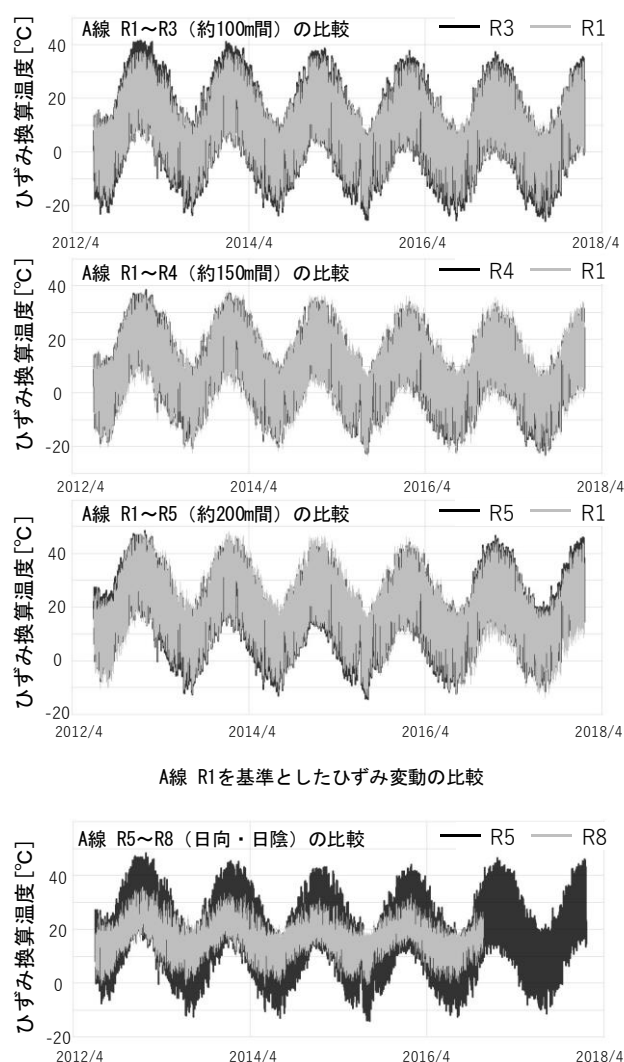
Copyright©NTT 空間情報 All Rights Reserved

図-9 A線 現場状況



Copyright©NTT 空間情報 All Rights Reserved

図-10 B線 現場状況



A線 R1を基準としたひずみ変動の比較

A線 日向・日陰におけるひずみ変動の比較

図-11 A線 ひずみ変動の比較

150m間隔), R1~R5(約200m間隔)において, ひずみの変動が一致している。

一方, A線における日陰・日向区間のひずみを比較したグラフを図-11下段に示す。日陰区間のひずみが比較的小さくなっている。この現場では, 日陰区間のピーク値がひずみ換算温度で9℃程度小さい結果となった。

次に, 隣接するセンサ同士において, 軸力(ひずみ量)の相関係数を計算した(例. A線のR1-R2, R2-R3, R3-R4, ...)。その結果を図-12に示す。対象データは約5年分あるが, 軌道状態が近い条件下で相関を分析するため, 1年の期間毎に相関係数を計算している。年毎の相関係数を平均化したものを図-12の実線として示す。点線は誤差幅を示す。特徴として, B線L1, R1側には伸縮レールが敷設されている(LR1~伸縮継目の離隔は53.5m)。

A線ではR7-R8(日陰区間)を除く区間においてレール軸力の相関が高い。一方, B線は伸縮レール箇所隣接するL1-L2およびR1-R2と日陰の影響を受けている箇所を除いて軸力の相関係数の平均値は概ね高いが, 誤差幅が大きくなっている箇所が存在する。

次に, A線R1, B線L3およびR3を基準として, 遠方にある軸力センサとの相関係数を計算した(例. A線R1-R3, R1-R4, R1-R5, ...)。その結果を図-13に示す。補足として, B線LR1, LR2は, 理論上の不動区間ではないため基準としなかった(可動区間長 $L=128.3\text{m}>$ 伸縮継目からLR2の距離103.5m)。

基準としたセンサ位置から遠くなるほど緩やかに相関が低くなっている。また, 1杭間の範囲で考えた場合, 200m先(A線R1~R6, B線LR3~LR8)で相関係数が0.98以上となっている。

(4) 考察

隣接する軸力センサが示す値は, 日陰の影響がない限り相関関係が高く, 1杭間程度(100m~200m)であれば, 1つの軸力センサで代表させることが可能である。

一方, 日陰が影響する箇所では, 相関関係が0.04程低くなった。ひずみ換算温度では日向に比べて日陰区間のピーク値が9℃程度小さい結果となっている。この温度差は, A線の条件かつ設定温度が33℃として, 安全度換算0.67程度の過小評価に相当する。安全度については6章で後述する。

また, B線は断続的に日陰区間が存在していることから, 相関係数が微小に変動していることが見受けられた。これは, 日陰区間の軸力と隣接箇所の軸力の相対的な軸力差によって, 理論上の不動区間であっても微小なふく進をしている可能性があると言える。

日陰にセンサを設置すると, 軸力が1杭間の代表値としては過小評価されることが想定される。故に, 軸力センサの管理範囲内で最大軸力を把握するためには, 日陰区間とその隣接位置から十分な離隔をとる必要がある。

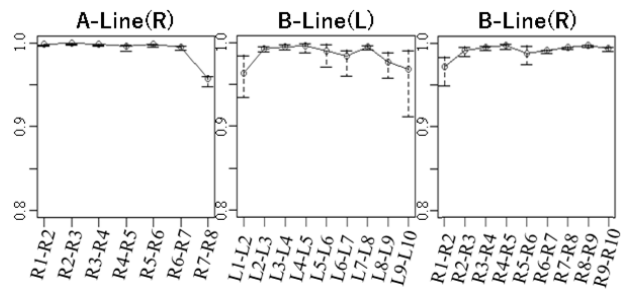


図-12 A線およびB線の相関係数(隣接位置)

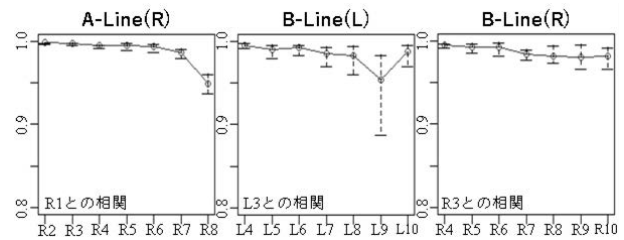


図-13 A線およびB線の相関関係(遠方位置)

表-4 レール種別と係数の値

係数	レール種別		
	37Kg, 40KgN	50KgN, 50KgPS, 50T	60Kg
a	4.92×10^{-3}	5.70×10^{-3}	4.91×10^{-3}
b	1.04		
c	-0.189	-0.266	-0.186

6. 安全度の判定について

(1) 安全度判定式について

軌道の座屈発生に対する安全度の判定は最低座屈強度と最大発生軸力の比で算出され, 安全率1.2以上を確保する様に管理されている。計算式を(1a)~(1d)式および表-4に示す。

$$\alpha = \frac{P_{tmin}}{P_{max}} \quad (1a)$$

$$P_{max} = EA\beta(T_{max} - T_{sft}) \quad (1b)$$

$$P_{tmin} = \begin{cases} 0.987J^{0.388}g^{0.521} & (R \geq R_0) \\ 1.266J^{0.374}g^{0.534} - aj^bg^c/R & (R < R_0) \end{cases} \quad (1c)$$

$$R_0 = \frac{aj^bg^c}{1.266J^{0.374}g^{0.534} - 0.987J^{0.388}g^{0.521}} \quad (1d)$$

ここで, P_{tmin} : 最低座屈強度[kN], P_{max} : 最大発生軸力[kN], α : 安全度[-], E : ヤング率[kN/cm²], A : 断面積[cm²], β : 線膨張係数[°C], T_{max} : 予想最高レール温度[°C], T_{sft} : 中立温度[°C], J : レール横剛性[mm⁴], g : 道床横抵抗力[kN/m], R : 曲線半径[m]である。

最低座屈強度 P_{tmin} は(1c)(1d)式のように鉄道構造物等設計標準(軌道構造編)より求める。

また、中立温度 T_{sft} は下記の(2a)(2b)式で表される。

$$T_{sft} = T_{rail} + T_{strain} \quad (2a)$$

$$T_{strain} = \varepsilon / \beta \quad (2b)$$

ここで、 T_{rail} ：レール温度[°C]、 T_{strain} ：ひずみ換算温度[°C]、 ε ：レールの長手方向の弾性ひずみ量[-]である。弾性ひずみ量 ε はひずみゲージによる測定値で、長手方向のゲージ抵抗値変化から測定される(温度補償あり)。

中立温度 T_{sft} は軸力センサより得られるレール温度 T_{rail} および、ひずみ量 ε で計算される値である。その他の(1a)～(1d)で用いる値はレール種別や道床形状等の軌道条件によって決定される値であり、軌道条件によって決まる値である。例として、軌道条件が50Nレール、直線、道床肩に十分な余盛があるとした条件の安全度 α と中立温度 T_{sft} の相関は図-14の様になる。中立温度 T_{sft} が低いほど最高レール温度に対しての余裕度が低くなるため、安全度は低下する。

(2) ひずみのオフセット処理について

ひずみゲージは、張り付けた時点からの相対的な変位量であり、レール内に溜まっているひずみを直接測定しているわけではない。したがって、張り付けた時点のレール内ひずみを測定・計算して補正する必要がある(オフセット処理)。

レール内ひずみの測定・計算方法はいくつか存在し、吊り上げ式レール軸力測定法⁴⁾など手法は問わないが、現行のロングレール検査に則ったレール軸力推定が労力面において最も容易である。または、明らかにレールにひずみが溜まっていない状態のレール(交換前の新レール)にあらかじめひずみゲージを接着する事や設定替え作業に付帯して張り付けるといった方法も考えられる(その場合は、ひずみ量が0となる)。

上記のような方法より求めたひずみを ε' ：内在ひずみ[-]とする。ひずみゲージを張り付けた時点のひずみを ε_0 ：初期ひずみ[-]とする。

これら両者の差分から、ひずみオフセット量 $\Delta\varepsilon$ を計算し、実測ひずみ ε から差し引くことで、オフセット後のひずみ ε_{offset} が得られる。

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_0 - \varepsilon' \quad (3a)$$

$$\varepsilon_{offset} = \varepsilon - \Delta\varepsilon \quad (3b)$$

7. 現行検査との安全度比較

軸力センサによる安全度判定の検証のため、図-9におけるA線-R3において、現行のロングレール検査との比較を行った。その結果を図-15に示す。なお、軸力センサによる安全度は最も安全側の値が判定値となるように、過去1年間における最低中立温度を用いて安全度の代表値とした。

図-15において、両者の判定手法の変化はよく一致している。軸力センサでの判定で安全度1.19となり、安全度閾値(1.20)に抵触したものの、現行検査の判定であっても安全度1.20であることから両者に差はほとんど無かった(差は0.01)。

図-15は代表1測点のみのデータである。図-9におけるA線の日向区間においては同様の結果ではあるが、B線では現行検査判定よりもセンサ判定の方が安全度値で0.7程度高く判定されることがあった。これについて、現行検査では低温時作業や基準杭毎のふく進の差を考慮した付加的な軸力を補正しているため、その差分と考察する。

現行検査の判定は糸張り検測をした時点での値を代表値としている判定に過ぎず、検測時以外で安全度が抵触しているかは不明となっている。その点に対して軸力センサによる判定であれば、軸力を常時監視することができると安全度が抵触する時点を漏れなく判定することができるため、現行検査よりも利点がある。

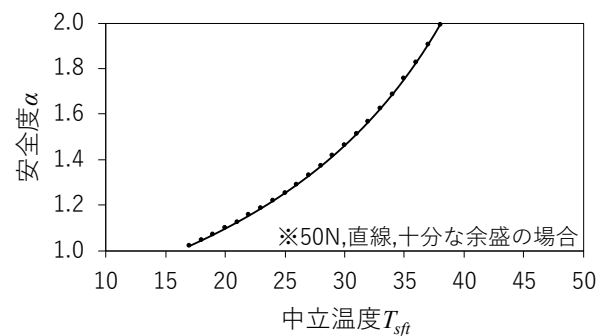


図-14 安全度 α と中立温度 T_{sft} の相関

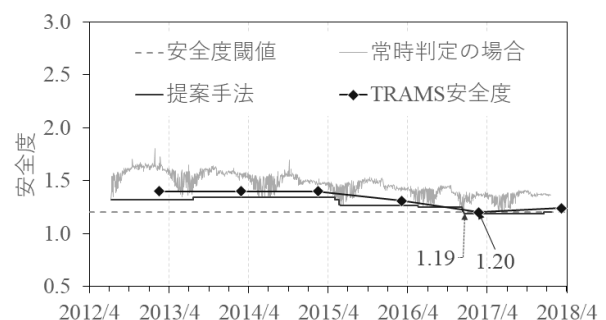


図-15 A線 R3における安全度比較

今回検証で使用したデータサンプリング間隔は10分／1データであり、前述した振動発電型レール軸力センサは1回の列車通過／1データがサンプリング間隔となる。線区や時間帯にもよるが、首都圏では概ね5～20分／1データは取得できるため、測定装置の差はないと考察する。

8. まとめ

(1) 振動発電型レール軸力センサについて

レール軸力の長期的なモニタリングを行うため、新たなレール軸力センサを開発した。この装置は列車振動による電力供給と省電力なデータ回収方法を採用したことによって、長期的な運用が期待できる。

また、軌道構造種別ごとの適用性について検討し、列車検知の可否ならびに敷設箇所の条件に付いて考察した。敷設予定箇所の列車走行速度・車両の編成数・重量に留意して設置をすれば運用は可能といえる。

(2) ひずみセンサを用いた保守管理について

過去の測定データをもとに、ひずみセンサを用いた保守管理について検討した。結果、100～200m範囲で隣接する軸力センサが示す値は、相関関係が高いことから、現行検査で使用している基準杭間1箇所に対して1つの軸力センサで代表性を取れる可能性がある。

その際、日陰やその隣接箇所では軸力が過小評価される懸念があるため、これらの箇所から十分に距離をとる必要がある。また、構造物の近傍ではレール軸力に影響を及ぼす可能性があるため今後の現地試験をもとに検討を行う。

(3) 軸力センサを用いた座屈に対する安全度について

軸力センサを用いる際の安全度判定式について検討した。ならびに、現行検査との比較を行い、両者に明らかな乖離がないことを確認した。現行検査では年1回程度判定であるのに対し、ひずみセンサであれば常時検査が可能であるため、現行検査よりも高頻度な判定が可能である。今後は、軌道条件の違いや日陰・日向の影響、サンプリング間隔が大きくなった場合など、多様な状況を踏まえた検証を行っていく。

(4) 今後の展望

今回の検討に用いた区間の延長は、A線350m、B線500mであった。本来、ロングレール検査であれば数kmの延長に及ぶため、今後は開発した振動発電型レール軸力センサを増産し、より長い延長で現地試験を行う計画である。それにより、曲線半径の違いや構造物ならびに日陰区間の影響など多様な軌道条件下での分析を行い、軸力センサによるロングレール管理の検証を進めていく。

参考文献

- 1) 小木曾清高：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，協会誌 2016 年 7 月号，2016.
- 2) 小木曾清高，矢作秀之，高橋克之：レール軸力センサを用いたロングレール管理の検討，第 18 回鉄道工学シンポジウム論文集，2014.
- 3) 阿部和久，桑山卓也，元好茂：空間的・時間的な温度変化を受けるロングレールの軸力分布解析，鉄道工学シンポジウム論文集，2012.
- 4) 田中洋介，阿部和久，元好茂：吊上げ式レール軸力測定法に関する解析的検討，鉄道工学シンポジウム論文集，2011.

(2020. 4. 3 受付)

STUDY OF RAIL AXIAL FORCE MANAGEMENT METHOD

USING BY RAIL STRAIN SENSOR GENERATED VIBRATION POWER.

Satoru SASAKI, Yosuke ANDO and Takaki KUBO

Continuous welded rail are fastened to sleepers, causing high level of rail stress, with the exception of the area around the expansion joint rail. Therefore, in this study, we analyzed the data of gauged rail strain and temperature. We have hopes for control methods using strain sensors to replace the existing ones. Based on the analysis results, we examined whether or not the safeness of the tracks could be confirmed using strain sensors. In addition, because we have developed rail strain sensor generated vibration power, the newly developed equipment will be described. We will explain the applicability of strain sensors in rail axial force management methods.