

# 営業列車で線路を検査する

矢澤 英治

軌道技術研究部  
(軌道管理 主任研究員)

松田 博之

東日本旅客鉄道株式会社  
(テクニカルセンター 線路システムG 課員)

森高 寛功

九州旅客鉄道株式会社  
(施設部保線課 課長代理)



やざわ えいじ



まつだ ひろゆき



もりたか ひろかず

## はじめに

線路は、多くの場合、いわば砂利の海の中に、レールとまくらぎで組んだ「はしご」が浮いている構造をしています。この「はしご」を、列車が円滑に通過できるように整備するのが、保線という仕事です。どこをどのように整備するかを決めるため、「はしご」がどのくらいゆがんでいるかの検査が欠かせません。検査は今まで手作業に頼るところが少なくありませんが、検査用の専用車両（以下、軌道検測車）に加え、近年、営業車両でどこまで線路の検査ができるのか、その現状と、近い将来の展望を紹介します。

## 加速度で検査する

### 車体振動加速度

軌道検測車による検査は、おおむね在来線では四半期に一度、新幹線では10日に一度行われています。その間の、主に乗り心地に影響するような長い波長の軌道のゆがみの変化を確認する方法として、以前から車体振動加速度の測定が行われています。その測定用として、比較的簡便な装置が数多く供給され、幅広く使用されてきました。図1はそのような装置の例ですが、ピーク値表示のみの機種、チャート紙に波形を印刷する機種、そして最近ではメモリが安価になりましたので、カードやUSBメモリにデジタル記録を行う機種などが提供されています。

測定は、在来線では月一回程度、新幹線では路線によって異なりますが、多い路線では一日数回行われています。また、速度による測定値の変化が大きいため、最高速度の列車で測定することを基本としています。

### 軸箱振動加速度

さらに、軌道検測車では把握しにくい短い波長の現象、例えば局所的なまくらぎの浮きや、沿線の騒音・振動に影響するレールの凹凸の把握には、軸箱での振動加速度測



図1 車体振動加速度測定装置の例

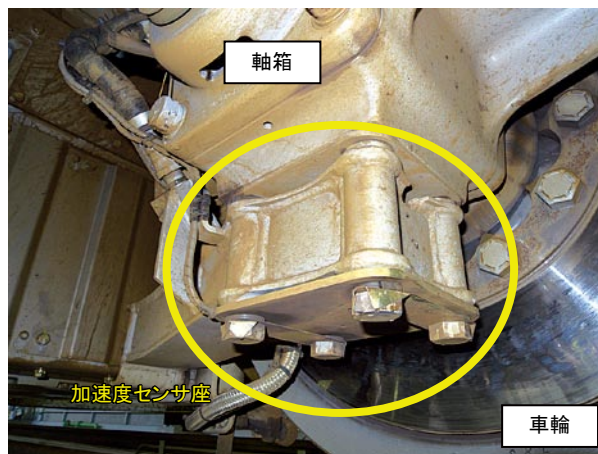


図2 軸箱振動加速度センサの例

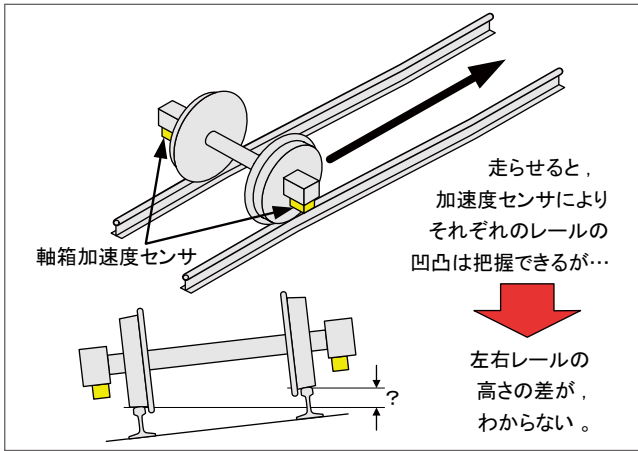


図3 加速度測定のみによる検査の限界

定が有効です。図2のようなセンサを用いて、九州新幹線800系U1編成をはじめ、東海道・山陽新幹線の一部編成で測定が行われています。

軸箱加速度の値も走行速度の影響を受けますが、その影響を受けない評価手法の検討も進められています。例えば、次項で述べる積分演算を行うと、速度の影響をキャンセルしながら、上下加速度をレールの高低に換算することが可能です。東海道新幹線N700系では、現在、このような演算を行う装置の試用を行っています<sup>1)</sup>。

### 慣性正矢軌道検測装置

さて、簡便に行える加速度測定ですが、それだけでは、図3のように、曲線で左右レールの高さの差(水準)を求めることが困難です。しかし、水準、あるいは、2点間の水準の差(平面性:線路のねじれ)は、曲線部の走行安全性に直結する項目ですので、なんと少しでも検査したいところです。ところが、既存の軌道検測車は、車体そのものを測定上の「ものさし」の一部として使う特殊な構造となっており、その測定機材をそのまま営業列車に取り付けて使うことはできません。そこで、鉄道総研では、加速度測定と変位計・ジャイロを組み合わせ、軌道検測車と同じ項目が測定可能で、営業列車に取り付け可能になる、小型の装置を開発しました。

線路のゆがみと列車の動揺には関係があります。ですから、線路を補修すれば列車の動揺が止まりますし、列車で動揺加速度測定をすれば、ある程度線路の良否の判断ができるのです。では、列車で測定した動揺加速度から、具体的に線路のゆがみ量を求めることはできないのか、と思われるでしょう。答えは「やってできないことはない」です。

ここで高校の数学で出てくる積分という計算を使います。加速度を2回積分すると変位になるという

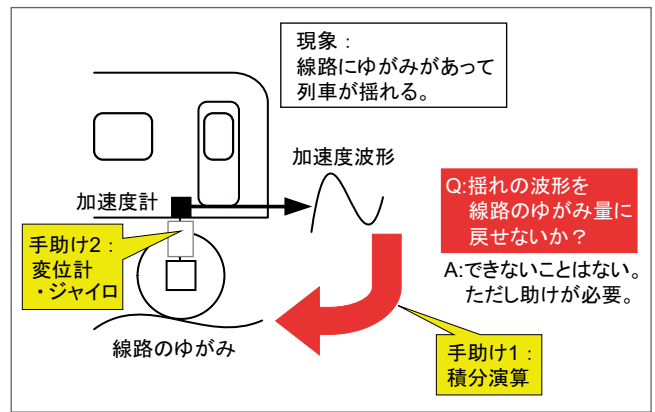


図4 慣性測定でやろうとしていること

物理学の基本法則があります。この法則を利用して、図4のように、車体か台車枠で加速度を測定し、レールとの間隔や装置の傾きを変位計やジャイロで測って足しあわせると、(理屈としては)答えが軌道のゆがみ量になります。しかし、実際に電気回路を作って計算させると、同じ物理学でも、今度は電気につながる数々の制約から、波形がひずんでしまう難点があります。

鉄道総研では、この波形がひずむことを逆手にとって、ひずみが保線関係で通常用いられている「正矢法」という測定方法による波形と同じ形になるまで徹底的に変形させ、実用的な測定結果が得られる方法を考案しました。この方法を「慣性正矢法」、これを利用した軌道検測装置を「慣性正矢軌道検測装置」と呼んでいます。

装置のパッケージとしては、台車装架形と車体装架形を提案しています。台車装架形の場合、レールを探る範囲が小さくて済むため、高速動作が可能で、高精度のデータが容易に得られます。この台車装架形軌道検測装置は、今夏、



図5 台車装架形慣性正矢軌道検測装置

九州新幹線800系1000番台で、初めて実用化されました。

この装置は、在来線の四半期に一度という測定頻度であれば、台車に必要なときだけ取り付けるという運用方法も考えられます。しかし新幹線路線を10日に一度測定するには、装置を営業列車に付けたままとする必要がありますので、本装置は実用化までに耐久性を十分に追求しました。また九州新幹線の場合、勾配対策で全電動車となっており、装置のすぐ隣で大きなノイズ発生源である走行用モーターが回転します。このためデータの送受信には光ファイバ等のデジタル伝送技術を最大限取り入れ、ノイズ対策を徹底しています。こうして電動台車での軌道検測が可能という、世界的に例を見ない装置に仕上げることができました。

しかしながら、なお寸法上の制約があり、残念ながら取り付け不可能な台車もないわけではありません。もう少し装置の高さを低くし、取付可能箇所を拡大する方策を、引き続き探っていきたいと考えています。

一方、車体装架形は、取付箇所の制約が非常に小さくなりますが、上下 $\pm 100\text{mm}$ 、左右 $\pm 150\text{mm}$ という広い範囲を測定するため、レール以外の物体を見抜いて測定対象から外すという処理が必要となります。結果として、分岐器通過時などに生じる一時的な測定不能区間が、どうしても台車形と比べて長くなりますが、その他の区間の測定精度は台車形とほぼ同等の、十分実用可能な段階に達しつつあります。この車体装架形検測装置は、現在、JR東日本の試験電車“MUE-Train”での耐久性確認試験が続いています。

さて、装置を営業列車に搭載しても、その操作を係員が添乗して逐一行うようでは、機動性を欠いてしまいます。そこで、本装置は地上の基地からの遠隔操作による測定も可能としています。現在はPHS回線による装置の起動・終了操作のみが実行でき、データの回収には人手を介する状況ですが、主要都市にモバイルWiMAXなどの超高速無線通信網が整備された暁には、拠点駅付近を走行中に、測定データのすべてを転送することが可能になるでしょう。そんな時代が、もう目前にきています。

### 画像で検査する

画像による線路の検査のさきがけと言えるのが、運転台からの前方展望画像の収録装置でしょう。これは車体振動



図6 車体装架形慣性正矢軌道検測装置

加速度と同時に展望画像を記録し、異常発生地点とその原因の特定に用いるもので、1991年から開発が始まり、その後特急列車への据付形の他に可搬形も作られ、1996年頃から「巡回ビデオ装置」の名称で広く用いられています(図7)。

この画像収録装置は加速度測定との組み合わせで成立するものですが、画像撮影単独で、線路のより細密な部分の検査を行う装置の開発も進められてきました。ここでは、その中で、営業列車搭載を目指した装置をふたつご紹介します。



図7 巡回ビデオ装置

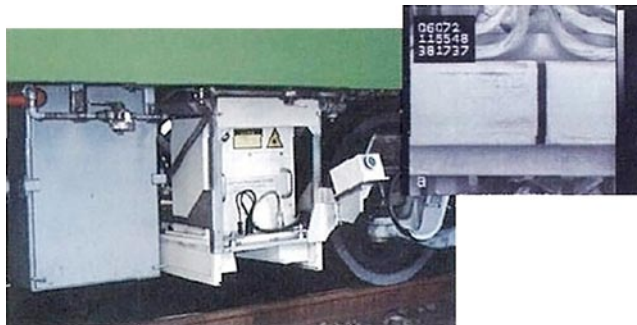


図8 自動継目遊間測定装置



図9 軌道材料モニタリング装置

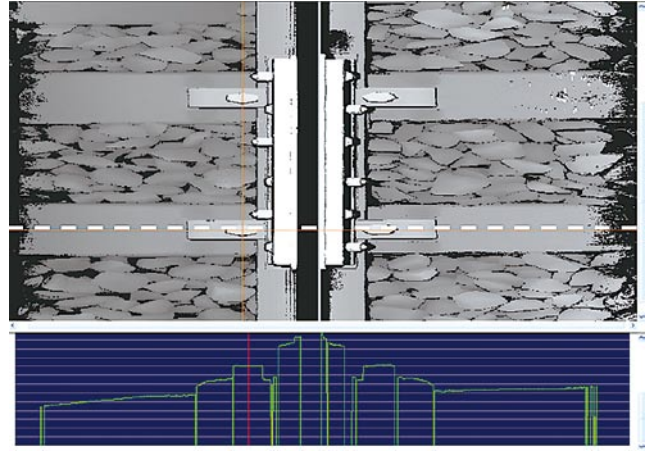


図10 軌道材料の3次元画像化

### 自動継目遊間測定装置

レールの継目の隙間を「遊間」と言います。レールの温度伸縮を吸収するため、設計値を決めて確保している、重要な隙間です。炎天下でレールが曲がらないよう、夏が来る前にその大きさを検査し、隙間が小さければ所定の値に直すという作業が行われます。この検査は、隙間ゲージを用いて徒歩巡回で行われてきました。

これを短時間に、かつ正確に測定するため、営業列車搭載のハイスピードカメラによる遊間部の撮影画像から、コンピュータ処理で遊間の幅を求めるといった開発が行われました。これはかなり難易度の高い課題で、例えば市販の高級カメラ最速のシャッタースピードである1/8000秒でも、その間に列車は数ミリ移動してしまいますので、撮影されたレール画像は被写体ぶれを起こします。このため可能な限り高速のシャッターと、ストロボ発光を組み合わせながら、レールをぶれなく写すことが、この装置の実現の鍵となったわけです。

この開発は成功し、1992年から図8の装置により営業車両での測定が行われましたが、その先鋒となったJR東日本では装置の老朽化のため、現在、その使用を中断しています。しかし、ハイスピードカメラの応用技術が、この域にまで達していたことは記録に値するでしょう。

### 軌道材料モニタリング装置

軌道は多くの部品から構成されています。継目板とレール、あるいはレールとまくらぎの固定のために使われているボルトのゆるみの検査、さらにレールとまくらぎの間の緩衝材（軌道パッド）の脱落、ロングレールの伸縮継目のストローク検査など、現場を徒歩巡回して行われている検査が数多くあります。こうした検査を自動化することを目的にした上方からの画像、あるいは軌道の断面画像を2次的に撮影する装置は、軌道検測車搭載用としては既に国内外で実用化段階にあります。

しかし、その異常状態を自動判定する機能については、画像処理に膨大な演算を必要とするためか、あまり多くの例を見ません。そこで、JR東日本テクニカルセンターでは、断面画像の連続撮影による3次元情報を活用するのが自動判定に効果的ではないかとの考え方に基づき、図9のように在来線の営業列車速度で、高精度に3次元情報を収録できる装置のプロトタイプ機を製作し、こちらも“MUE-Train”に搭載され試験走行が続けられています。

この装置も営業列車への搭載を目指しています。現状でも既に床下装置は現実的な大きさにまとめられており、図10のような3次元画像の収録が110km/hまでの速度域で可能なことも確認できました。今後は収録画像による不良箇所の自動判定機能の開発と、車上データ収録装置の小型化が課題となります。

### おわりに

それにしても、このような装置の開発を進めるとき、改めて痛感するのが、人間の目のすばらしさです。センサでは及ばない解像度とダイナミックレンジでの撮像、コンピュータでは及ばない画像処理を常に行っています。この点で、人の眼による検査を100%機械に任せることは、非常に遠い道なりに思えます。しかし一方で、人の眼の苦手な、速い動きを捉える手法で、今回ご紹介した検査の実現が視野に入ってきています。これからも、その時々技術によって、人の眼を補う検査手法を開発していきたいと思えます。**RRR**

### 文献

- 1) 高見沢実, 新幹線自動動揺測定装置のN700系車両への搭載, 新線路2009年8月号, p17-19