

第14回

軌道検測技術

レールのゆがみを測る方法

当連載の第1回ではレールの歴史が紹介されました。しかし、これだけの改良を加えても、1両数十トンの車両を、最大でも1mあたり60kgにすぎない鋼材で支えるという、過酷な条件が変わったわけではありません。車両の通過のたび、レールはゆがみ、摩耗していきます。このように、レールは土木構造物の一部ですが、挙動は機械部品のように、検査も機械部品並みの回数と精度が求められます。

さて、そのレールのゆがみを測ることにしましょう。測定が必要なのは、図1の5項目、このうち高低と通りは左右レール分あるので、計7チャンネルです。ここで高低と通りの検査のとき、例えば新幹線の東京～鹿児島中

央間、約1325kmのレールのどこを基準にゼロ点を決めればよいでしょうか。実際、その正解は出せません。そこで、ある長さの弦を基準とし、この弦からの離れをゆがみ量と定義します。このゆがみ量が「軌道狂い」（英語で track irregularity）と呼ばれてきたものです。近年、これを「軌道変位」と呼ぶことが多くなっていますが、あくまで定義にしたがって求めた指標であり、物理用語の「変位」（displacement）と性格を異にすることには注意が必要です。

高低と通りの検測手法は、図2のような分類ができます。まず、車体などを弦の代わりに基準線として、そこからレール上のいくつかの点までの離れを同時に測定した値からゆがみ量を計算する「差分法」と、加速度の2回積分が変位となるという物理の基本法則を利用した「慣性測定法」があ

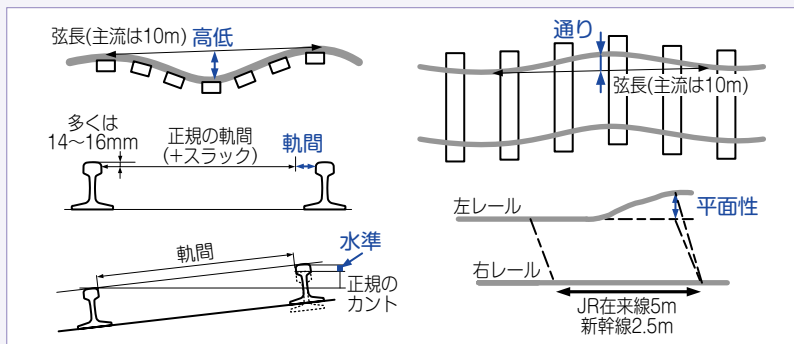


図1 レールのゆがみの検測項目

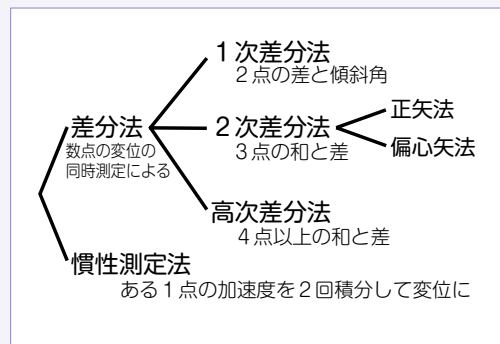


図2 レールのゆがみの検測手法

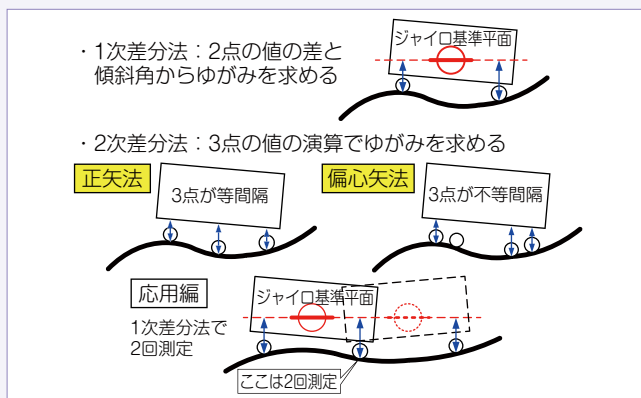


図3 差分法による検測

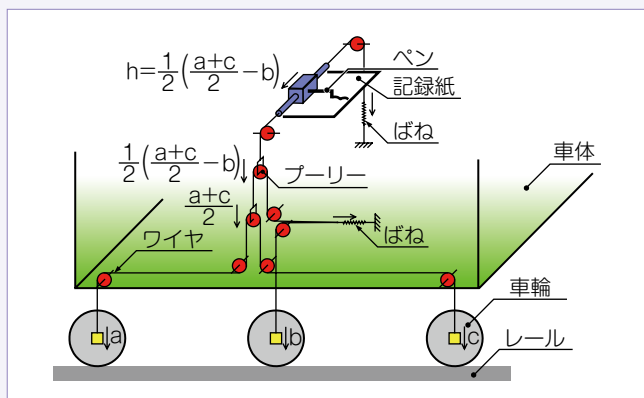


図4 ワイヤと滑車でレールのゆがみを測る

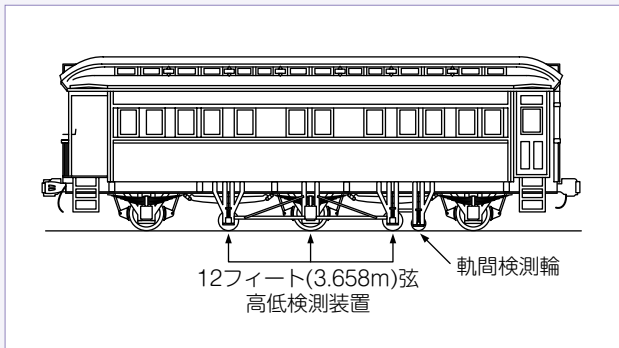


図5 ヤ9000形(部分図および写真からの推定図)

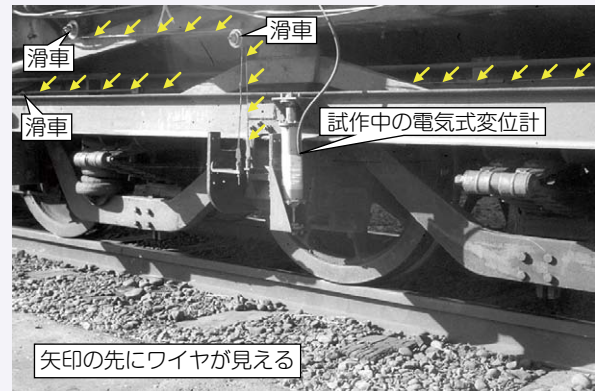


図7 オヤ19950の台車部拡大写真

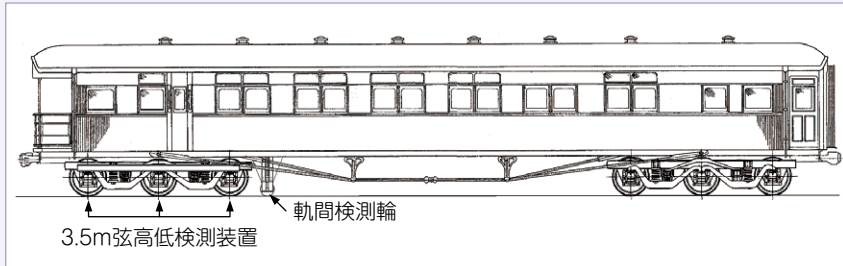


図6 オヤ19950形(1948年改造当初の状況の推定図)

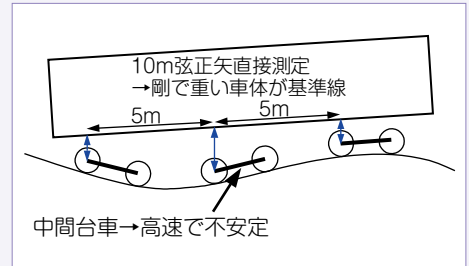


図8 3台車検測車の構造と得失

ります。差分法にも図3のように、2点と基準線の傾きから計算する1次差分法と、3点の値から計算する2次差分法があります。さらに2次差分法は、測定点が等間隔の正矢(せいや)法と、不等間隔の偏心矢法に分かれます。応用編として1次差分を2回測定して2次差分とする手法や、より多くの点で測定する高次差分法も、手法としては成立しますが、実施例は多くありません。

なお、弦長は、短ければ短いゆがみ、長ければ長いゆがみに敏感になります。その中で、弦長10mの正矢法は、得られる波形と在来線の速度の車両の振動などとの相関が高く、世界的なデファクトスタンダードになっています。

電気を使わずゆがみをはかる

2次以上の差分法による検測装置は、ワイヤと滑車、あるいはリンクによって、電氣的なしかけを使わずに作ることができます。図4はワイヤと滑車による高低の検測機構です。単純ですが、3つの検測輪の動きが演算され、そのまま記録台のペンの動きになるよう、巧妙に考え抜かれています。通りについても、検測輪がレール側面をなぞるようにすれば同じ考え方で作ることができます。

日本での軌道検測車も、1918(大正7)年にこのような機械式での開発の提案がなされ¹⁾、1925(大正14)年から翌年にかけて図5のようなヤ9000という3軸客車からの改造車が製作されています。さらに1941(昭和16)年には3軸

ボギーの木造寝台車を軌道検測車に改造する試みが始まり、戦争で一時中断しながらも、1948(昭和23)年、図6のオヤ19950(後に改番してオヤ19820)形が登場しました²⁾(注釈①)。図7はその台車の拡大写真です。測定用ワイヤが縦横に張り巡らされ、滑車で車内に引き上げられています。残念ながらこの方法は、ワイヤが長くなり、速度が高くなると、走行中に震えてしまい精度が低下します。このため、この台車の軸配置に合わせた3.5mという短い弦にしても、90km/hでの測定が限界でした。

このように機械式の装置は性能の限界があり、日本国内ではほぼ役目を終えましたが、途上国の鉄道のレベルアップという観点からは、いま一度、見直してよい方法かもしれません。

電気式センサーで10m弦正矢を測る

さらに高速走行を目指しながら、しかも直接10m弦正矢の測定ができるようにしましょう。すると、図8に示したように、5mおきに3つの台車を持つ、少々特殊な車両ができあがります。実際、このような構成の軌道検測車が1959(昭和34)年のマヤ34形(図9)以降広く使われ、新幹

注釈① この車両は「日本国有鉄道百年史」第9巻はじめ、いくつかの資料に1928(昭和3)年製作という記述が見られますが、実際には、この時期、出窓を設ける改修だけがなされ、検測装置の搭載は何らかの理由で見送られそのままにされています。その後、検測装置搭載の改造図面が作図されたのが1941年です。

線でも1962(昭和37)年、鴨宮試験線に導入した921形1号車(図10)以来、この構造の車両を用いて検測が行われました。これらの車両では、レールの上下変位を図11のように走行用の車輪を用いて、左右変位を図12のような小さな車輪をレールに押し当てる装置で測っています。そして、いずれの車輪からも、電気式のセンサーまで、ワイヤではなくリンクで結ばれています(注釈②)。

そして、1975(昭和50)年に製造された、レール左右変位の測定を非接触とし、当時の「ひかり号」と同じ速度で走行可能となった921形11号車(図13)を組み込んだ編成が、後に「ドクターイエロー」と呼ばれるようになります。図14はその非接触検出装置の仕組み、図15がその取付方法です。検出装置は台車中央部を占める大きなものです。これが、3つの台車すべてに搭載されていました。

注釈② ただしマヤ34形も1号車だけは、長さを非常に短くしながら、リンクではなくワイヤを使った箇所がありました。

3台車から2台車へ

その後「のぞみ号」の登場により、新幹線の最高速度は270km/h以上になりましたが、当時のドクターイエローは最高速度210km/hのまま残りました。中間台車は曲線通過のため左右に移動可能にする必要がありますが、これをスムーズにすると走行安定性が低くなり、走行安定性を確保すると線路にかかる荷重が大きくなります。3台車のままでの解決策は見いだせませんでした。また、当時建設中だった整備新幹線区間に対して、3台車検測車の構造では車両の重量が大きすぎるという問題も出てきました。

そこで、営業列車と同じ速度で整備新幹線区間も走れる車両を実現させるため、図16のような偏心矢法による2台車検測車が開発されました。もちろん、正矢法による波形とは大きく異なりますから、車上でのリアルタイム処理により正矢法の波形に変換します。この処理が可能となるに至ったコンピューターの性能向上が、この方式の実現の鍵のひとつでした。そしてもうひとつの鍵は、図14中に囲みで示したように、装置が半導体式になったことで大幅に小型化し、図17のように台車端に搭載可能になったことです。この方



図9 マヤ34形1号車



図10 921形1号車

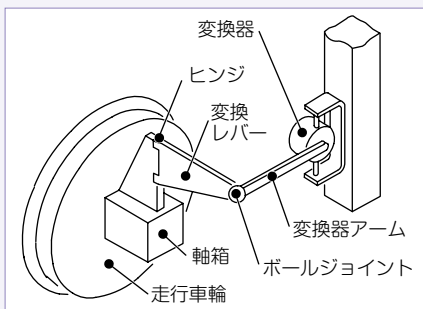


図11 レール上下変位測定機構



図13 921形11号車

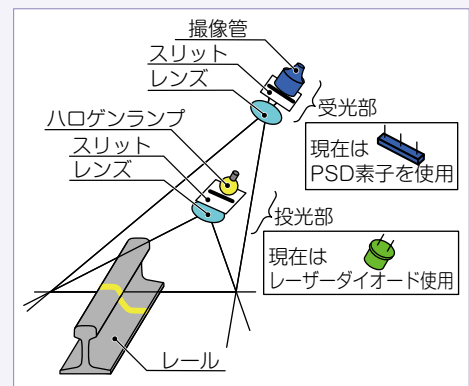


図14 光学式レール左右変位検出装置

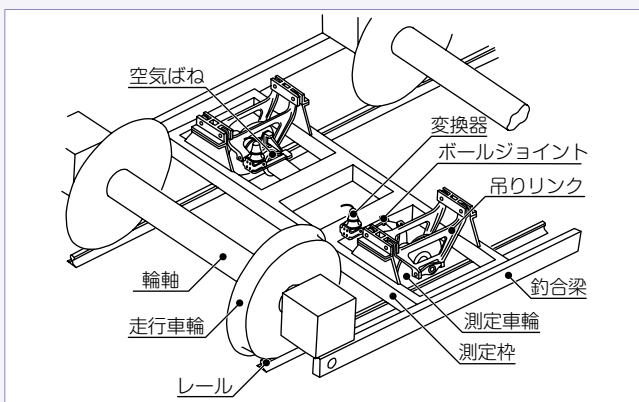


図12 車輪式レール左右変位検出装置

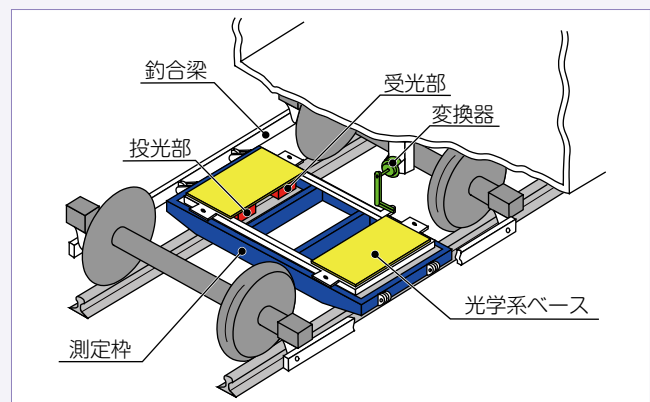


図15 3台車検測車での変位検出装置の取付

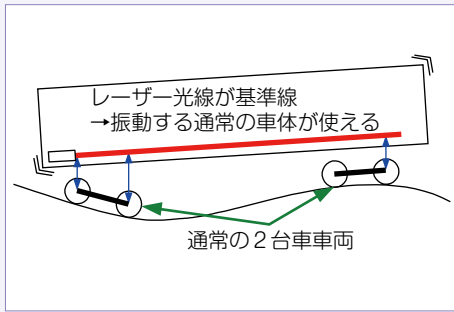


図16 2台車検測車

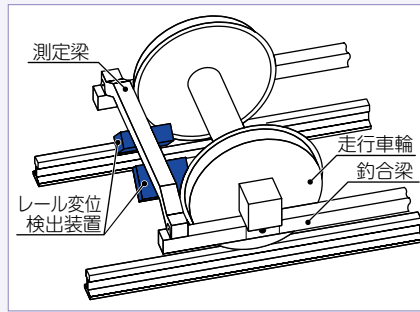


図17 2台車検測車での変位検出装置の取付



図18 923形「ドクターイエロー」

式は1997(平成9)年の921形32号車に採用されて以来、現在の国産軌道検測車の主流となっています。この方式の軌道検測車を含む、世界で最も有名な事業用車両が、図18の、現在のドクターイエローでしょう。

このように、ここまでの軌道検測技術のあゆみは、新幹線のスピードアップとともにあったのです。

【 2台車から1断面へ 】

一方、慣性測定法による測定装置の開発も1960年代半ばから40年以上続けられてきました。しかし、加速度の積分の演算をアナログ回路で行うと波形がゆがんでしまいます。もちろん、偏心矢法の検測車同様、コンピューターで変換すれば良いわけですが、それが可能になってから、いま、ようやく10年という段階です。

その最初の量産機は、九州新幹線で採用されました³⁾。図15や図17からわかるように、ここまで紹介してきた装置は、車輪の内側にモーターがない台車に取り付けることが前提の構造です。ところが、九州新幹線には他路線にない急勾配があり、すべての軸にモーターを付けることになりました。そこでこれまでにない方式が求められ、慣性測定法の実用化となりました。装置は図19のように台車の中央部につり下げられています。この装置は内部で測った加速度を積分して、装置がレール上どのあたりを滑空しているか計算します。さらにレールまでの離れをレーザ変位計で測定することにより、10m弦正矢法で測定したかのような波形を出力します。ですから取付方法は図15の装置と似ているように見えますが、これひとつで図15の装置3台車分の働きをすることが決定的な違いとなっています。

この装置は九州新幹線800系1000番台の、図20の箇所

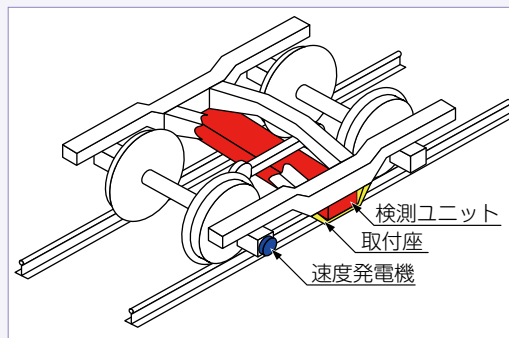


図19 慣性測定による台車搭載型検測装置



図20 800系1000番台用検測装置 (○枠中)

に搭載されています。新幹線のレールのゆがみの検査は、規定上は月1回実施でよいのですが、実際には保線作業の計画などに必要なため、月3回程度行われます。その間に装置を付け外しする余裕はありません。かくしてこの装置は、営業中、常に列車に搭載され、「つばめ号」としてお客様を運びながら、人知れず検査を行っているのです。

【 そして近い将来 】

このようにして、軌道検測技術は3台車から2台車へ、そして1断面測定に行き着きました。現在実用化しているのは台車搭載型装置ですが、より多くの車両に搭載可能な車体搭載型の開発も終盤を迎えています。そして近い将来、営業列車でレールのゆがみを常時監視することが可能になるでしょう。さらにレールの断面が同時に測定できれば、より充実したメンテナンスが可能となります。そしてそのデータの中からトラブルの芽を早期発見して、未然に防ぐことができればと願ってやみません。

(矢澤英治/軌道技術研究部 軌道管理研究室)

文献

- 1) 後藤佐彦, 軌道試験車製作の必要, 鉄道技術研究所業務研究資料, Vol.6, No.8, pp.97-154, 1918
- 2) 早川他, 軌道試験車の研究(第1報~第4報), 鉄道業務研究資料 Vol.7, No.7-Vol.12, No.21・22, 1950-1955
- 3) 矢澤他, 営業列車で線路を検査する, RRR, Vol.66, No.11, pp.18-21, 2009