

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

軌道における データ処理

軌道分野では、軌道検測車に代表される検査装置が数多く利用されており、ここから得られる大量のデータの処理技術にもさまざまなものがあります。さらに昨今ではICT技術の発達により、従来とは桁違いの規模の「ビッグデータ」を解析する技術が進んでいます。本記事では、軌道検測データの処理の歴史と、今後の方向性を解説します。



古川 敦
Atsushi Furukawa
軌道技術研究部
部長
【専門分野】 軌道管理

はじめに

軌道の保守管理では、軌道検測車に代表される各種検査装置を用いて、膨大なデータを取得、処理しています。ICTの活用が進む現在ではテラバイト級のデータを取り扱うことも珍しくありませんが、東海道新幹線が開業した50年前において、すでに1回あたり1000万点以上（※参照）のデータを10日毎に取得し、設備の保守に活用していた産業分野は多くないと思います。

本稿では、軌道における検査データの処理について、軌道検測データを中心に、その変遷を解説します。

軌道狂い指数P値

上記のように、一度に膨大な量のデータが取得されるため、何も加工しないままでは使い勝手が悪い場合があります。そこで、ある一定区間の軌道状態を代表する値として、「軌道狂い指数P値（※参照）」が提案されました。今では一般に「P値」と呼ばれます。なお、統計学で用いられるP値とは別の意味です。

図1に、軌道変位測定波形の例を示します。連続した波形に見えますが、25cm間隔で取得された点データの集合です。この点データの集合の頻度分布を求めると、同図の右端に示すように、0の周りの頻度が高く、0から離

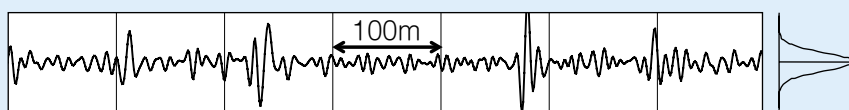


図1 軌道変位の波形例と頻度分布（右端）

※ 1回の軌道検測によるデータ数

高低左・右、通り左・右、軌間、水準、平面性の7項目について、東京～新大阪515km間を31.25cmごとにデータ取得していたため、1回あたり片道1,150万点のデータとなります。

※ 軌道狂い

現在では「軌道変位」と呼ぶことが多いですが、軌道狂い指数については、提案当時の呼称で記します。

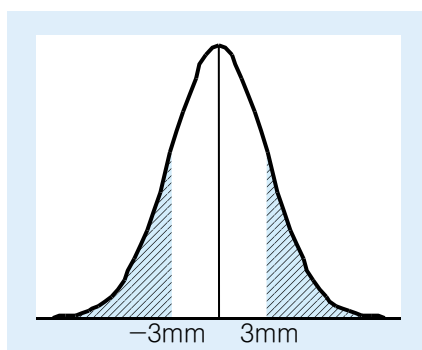


図2 P値の意味
(斜線部の面積の百分率)

れるほど頻度が低い山のような形となります。このような山形の頻度分布を表す関数はいくつかありますが、旧国鉄副技師長を勤められた小野木次郎博士が、軌道変位の頻度分布はおおむね正規分布で近似できる(☞参照)ことを見だし、ここから軌道狂い指数P値を提案しました。

P値は、図2のように、軌道変位の振幅が+3mm以上および-3mm以下の領域の発生確率を百分率で表したものです。これにより、図1のようなランダムな形状をした軌道変位データを、全国鉄統一の指数で表現することができ、軌道状態の経時変化や地域差が一

☞ さまざまな確率分布

上で、「軌道変位の分布がおおむね正規分布で近似できる。」と述べましたが、山形の確率分布にはほかにもさまざまなものがあります。近年の研究によると、軌道変位には、0(平均値)近傍の頻度が正規分布よりも高いロジスティック分布の方が、適合度が良いことがわかっています。

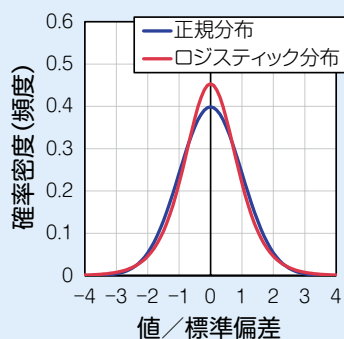


図3 正規分布とロジスティック分布

目でわかるようになりました。言い換えれば、保線に「品質管理」の概念が導入されました。

小野木博士は、昭和30年に国鉄職員を対象に行われた講演会で、以下のように述べています¹⁾。

(前略)～ある1点が1個列車通って、どちらに何ミリ動くかということは、力学的には決定できないが、多くの点を計測すると確率は決定できるということがあります。～(後略)

これは、ビックデータ全盛の現代にも通用するもので、ICカードやクレジットカードの使用履歴データから消費者層の購買動向を調査する、といった分析と本質的に同じです。昭和30年に、このような考え方を保線に導入した小野木博士の慧眼^{けいがん}には、脱帽するばかりです。

なお、国鉄の分割民営化以降、新幹線や在来線高規格線区では軌道状態が改善し、P値の値が目に見えて小さくなりました。極端に言えば、±3mm、さらには±2mmを超える軌道変位が無い場合、いずれもP値はゼロとなり、差が生じません。これでは軌道状態を正しく比較できないので、P値に代わり標準偏差(ギリシャ文字σで表されることが多いです。)を指標とすることが多くなっています。

標準偏差のもう一つのメリットは、標本(得られたデータの集合)の中の最大値や最小値を、標準偏差のn倍によっておおむね推定できることです。一般的には標準偏差の3倍で最大値を近似することが多いです。これは、図3の正規分布の場合、横軸の“値/標準偏差”が±3の外側となるデータの発生確率は0.26%と、極めて小さいためです。ただし、500個の標本の最大、最小値は3σでおおむね近似できますが、10,000個の標本となると、

3σを超えるデータが理論上26個もあることになります。3σはあくまで最大値の推定値の一つに過ぎないことを忘れてはなりません。

複合変位

昭和30～40年代には、2軸貨車や2軸ボギーのタンク車の途中脱線が頻発していました。特に大きいものは、昭和38年11月に発生した鶴見事故で、脱線した貨車に旅客車が衝突し、死者161名の惨事となりました。

鶴見事故の後、国鉄内ではさまざまな形で原因調査が行われました。特に、北海道の根室本線の廃線跡を利用した狩勝実験線では、実車による脱線再現試験がさまざまな条件下で行われ、

- ・通りと水準が逆位相で存在し、
- ・このような波形が繰り返される

という2つの条件が重なると、車両がローリング共振を起こし、脱線しやすくなることがわかりました。この結果を踏まえ、式①で定義される複合変位が提案され、全国の貨物列車走行線区に適用されました。

$$\text{複合変位} = |\text{通り} - 1.5 \times \text{水準}| \cdots \cdots \text{①}$$

表1 複合変位の管理値

波数	波高[mm]
全般(単発)	35
40m間に2ヶ所	25
60m間に3ヶ所	21
80m間に4ヶ所	18

さてここで問題となるのは、「○m間に△ヶ所」という計算処理を、軌道検測車上でどのように行うか、ということです。現在の計算機であれば難しくはありませんが、昭和50年代の計算機ではそれほど容易ではありませんでした。特に軌道検測車によるデータの処理は、後からゆっくり行うのではなく、リアルタイムで行う必要があります。これは、検測走行直後に、管理値の超過箇所リストを乗り合わせた保

線区職員に渡し、すみやかに保守を行うためです。これらの事情を考慮し、オンラインで実施できる簡易な計算法が開発が進められました。

その結果生み出された複合変位の算出手順は以下のとおりです²⁾。

- 1) 式①の計算値(ただし絶対値は省く)から最大値(マイナスの場合は最小値)とそのときのキロ程を記憶。
- 2) 1)の最大値を超える値が検出された場合は、順次最大値とそのキロ程を更新。
- 3) ①の符号が変化した際に、それまでの最大値をピーク値とし、18mm未満であればそのピーク値は捨てる。18mm以上であれば、その大きさに応じて、表1に従ってランク分けする。例えばピーク値が19mmであれば、18mm以上21mm未満であるので、ランク4とする。
- 4) 以上の処理を順次繰り返す。

- 5) 表1の区間長に応じて、検出された18mm以上の複合変位を起点として、ランク別に連続する箇所数を算定。
- 6) 表1の管理値を超える区間を出力。区間が重複する場合は、全体を一つの超過箇所として出力。

このような処理によって、車両の共振を誘発する波形の繰り返しを抽出するという、世界でも例を見ない管理法が実現し、現在に至っています。

復元原波形

軌道変位のうち、高低、通り変位は図4のように長さ10mの弦をレールにあて、この弦の midpoint とレールとの離れで測定します。これを10m弦正矢法といいます。図1はこのようなして検出された波形の例ですが、これは、地上の固定点から見た実際のレールの曲がりとは異なります。どのように異なるかはやや専門的になるのでここでは省略しますが、弦の長さが9m

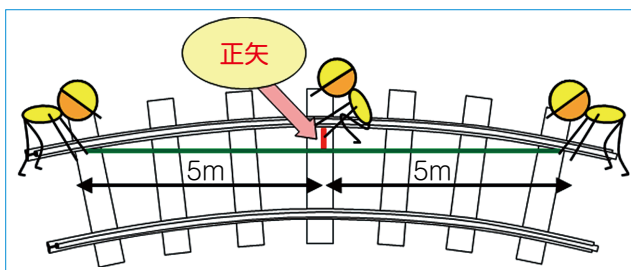


図4 10m弦正矢法

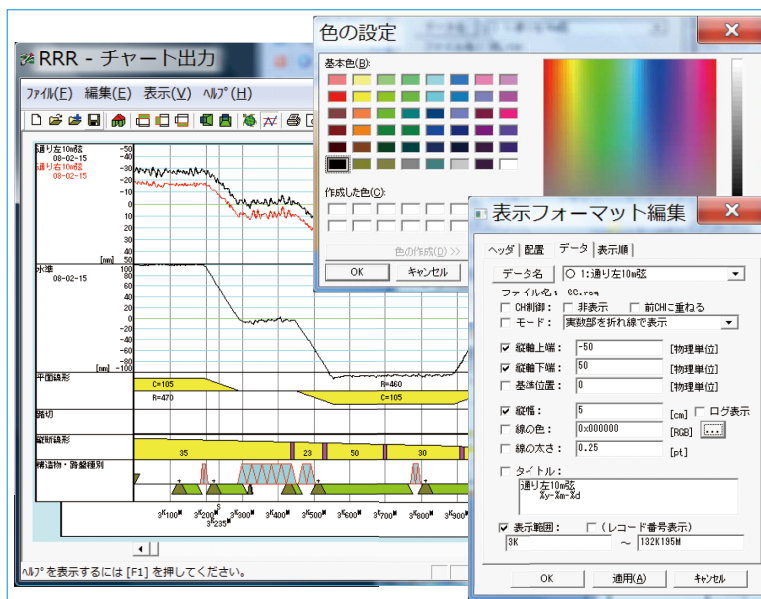


図5 マイクロラボックスの波形描画機能

や11mになると検測結果が変わりますから、10mの場合のみが実形状と同じになることはない、ということは直感的に理解できると思います。

さて、このように実際の軌道形状と異なるデータを用いて問題は無いのか、という疑問が生じます。これについては、在来線の速度域では10m弦正矢の感度と、軌道変位に対する車両の応答感度は類似しているという特性があるので、実務上問題はありません。列車の速度が高い線区では、10m弦正矢だけでは不足する場合があるので、20m弦正矢、40m弦正矢が併用されます。

しかし、10m弦正矢法による検測データを軌道の保守に使用する場合には問題があります。それは、図1の波形だけでは、どの位置のレールを何ミリ移動したら、軌道変位がゼロになるのかがわからないということです。このため、10m正矢法による検測波形

から軌道の実形状を求める方法が、鉄道総研OBである吉村彰芳博士によって昭和62年に提案されました。このようにして求められた軌道の実形状の近似形状を復元原波形といいます。

この演算は、デジタルフィルターを用いる方法であり、軌道管理に信号処理が導入された^{こうし}嚆矢です。現在では、マルチを用いた軌道整備などにおいて、復元原波形が用いられています。

マイクロラボックス

さて、復元原波形算出のような信号処理をスムーズに行うには、専用のソフトウェアが必要となります。このために、JRグループなどで広く用いられているのが、軌道保守管理データベースシステム「マイクロラボックス」です。マイクロラボックスは、吉村博士を中心とする旧国鉄技研の計算機センターが、研究所の日々の活動で得られ

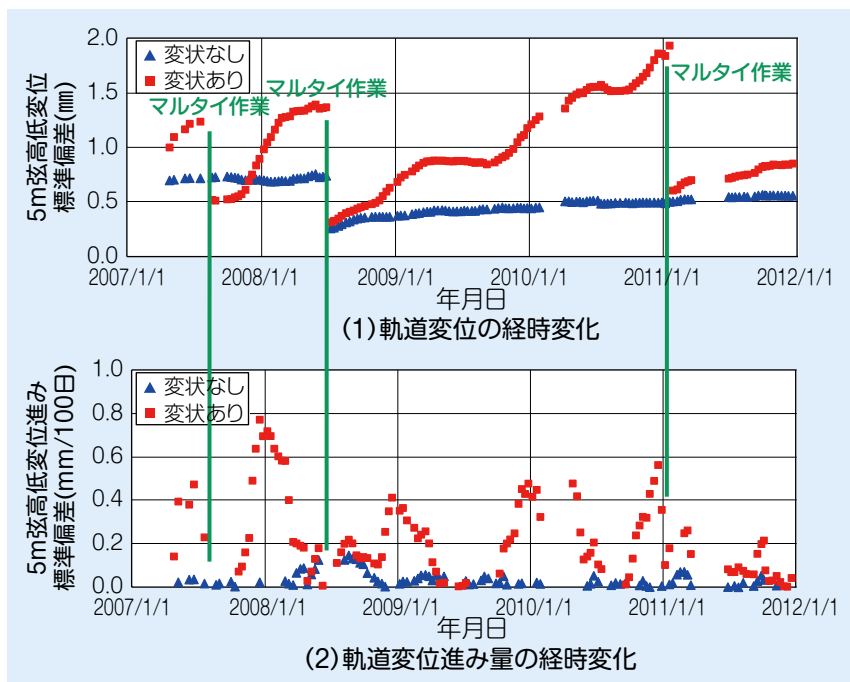


図6 路盤変状箇所における軌道変位の経時変化

る大量のデータの効率的な処理を目的として開発した「会話型時系列解析システムLABOCS/TSA (LABOratory's Conversational System / Time Series Analysis)」を母体としています。LABOCS/TSAは、FFTを駆使したスペクトル解析やデジタルフィルター処理、A/D変換、測定値のキャリブレーションやスペクトル解析など、信号処理に必要な機能を有していました。またLABOCS／ラボックスという名称もこのとき名付けられました。

その後、昭和55年ころから、当時の技研軌道研究室が中心となって、軌道のデータ処理に必要ないくつかの機能をLABOCS/TSAに追加しました。さらに国鉄民営化後の平成2年に、パソコン用のシステムである「マイクロボックス」としてJR西日本へ導入されました。その後、順次JR旅客会社や一部の民鉄に導入され、軌道管理に欠かせないツールとして利用されています。

軌道のデータ処理のために追加された機能には、以下のものがあります。

- ①キロ程とデータ番号の地点照合
- ②復元原波形算出・弦長変換
- ③P値の算定

④軌道検測データと車上測定データの対比

⑤時系列データと軌道環境データの図式表示機能

マイクロボックスの最大の用途は図5のようなチャートの描画ですが、保線現場でデジタルフィルター処理やスペクトル解析などの信号処理を身近にしたことが隠れた功績です。今後とも、パソコン環境の変化に合わせ、機能を向上してまいります。

多頻度検測

これまで、軌道検測の頻度は、新幹線で10日に1回、在来線では1年に数回でした。これに対し、最近、営業用車両に搭載できる軌道検測装置が開発され、毎日、さらには1日数回の軌道検測が可能となりました³⁾。これにより、これまででは把握できなかった軌道状態の経時変化の特徴を把握できる可能性が生まれました。

図6は、高頻度検測結果ではありませんが、10日に1回測定された新幹線の高低検測結果のうち、軌道下の路盤に変状にあった箇所について5m弦正矢の経時変化を追跡した例です。比較

のために、変状が無かった箇所についても示しています。路盤に変状があった箇所では、特定の時期に高低変位が急速に進展していることがわかります。具体的には図6(2)から、冬場(毎年12月～2月頃)の進展が大きいことがわかります。この原因は明確ではありませんが、地下水位などの季節的な変動によるものと考えられます。

従来の軌道保守計画では、軌道変位進みは通過トン数に比例するものとして、その経時変化を予測していましたが、軌道変位の検測頻度が高まることと、データ処理方法の工夫によって、図6■のような、複雑な形態の経時変化の予測も可能になると考えています。

おわりに

軌道検測データは、さまざまな形で加工された上で軌道保守に用いられています。さらに、最後の例で示したように、データ処理方法の工夫によって、軌道のみならず構造物の検査へも適用可能と考えられます。

また軌道では、軌道検測データ以外にもさまざまなデータが取得されています。これらのデータの活用によって、従来よりも人手をかけずに精度の高い軌道状態の診断が可能となります。

少子高齢化の流れの中で、保線に従事する作業員の確保はますます困難になると考えられます。今後とも、新たなデータ処理技術を開発し、より手間がかからず精度の高い検査・診断技術を開発したいと考えています。【RRR】

文献

- 1) 小野木次郎：保線の管理について，保線ニュース，Vol.4，No.4，pp.65-72，1956
- 2) 真田弘，佐藤清：マヤ車検測信号の基準線補正と要注複合狂いの摘出処理，鉄道技術研究所速報，No.A-83-29，1983
- 3) 矢澤英治，松田博之，森高寛功：営業列車で線路を検査する，RRR，Vol.66，No.11，pp.18-21，2009