

Adjusting Interval of Track Inspection Data and its Application to Track Quality Management

正 [士] ○福島 誠志 (東海旅客鉄道株式会社)

Seiji FUKUSHIMA, Central Japan Railway Company 1545-33, Ohyama, Komaki-shi, Aichi

In JR Central, track inspection data including track irregularities, vehicles agitation, and train noise is measured by high speed track recording car. The track inspection data has the deviation of a sampling interval because of wear of a wheel, or the influence of idling and gliding. We have devised a new method of adjusting the deviation by combining cross-correlation and up sampling processing. Moreover, it has become clear that the track inspection data from Tokaido Shinkansen can be adjusted with high accuracy by the method. Advanced analysis of track inspection data and efficient maintenance work using tamping machine are expected by application of this method. In this paper, we introduce the algorithm of the method and data flow by explaining the software which we have developed. Furthermore, we describe some examples of application to track quality management utilizing this method.

Keywords: track irregularity, track inspection data, cross-correlation, up sampling,

1. はじめに

JR 東海では、軌道状態の効率的な把握を目的に、定期的に軌道検測車が本線を走行し、軌道狂い・車両動揺・列車騒音等、さまざまなデータ（以下、これらを総称して軌道検測データと呼ぶ）を採取している。

近年、軌道状態管理の各種システム化や、軌道整備手法の高度化が進むなか、この軌道検測データの用途は従来と比べ大きく広がっていると見える。前者の例としては、測定データを時系列分析することで軌道狂い進みを予測し、軌道整備計画を効率的に行う手法などが挙げられる。また後者の例としては、軌道検測データに復元逆フィルタ処理をすることで原波形を計算し、より精度の高い軌道整備を実施する手法の開発などが挙げられる。

このように軌道検測データの活用が広がる一方で、この軌道検測データの測定ごとの微妙な位置ずれや、サンプリング間隔の微妙な変化が問題となっている。これは軌道検測データが車輪の回転パルスに同期してサンプリングされるため、測定開始位置の微妙なずれや、雨や雪による車輪の空転や滑走の影響、あるいは車輪の摩耗による車輪径の微小な変化などの影響を受けるためと考えられる。

今回、相互相関演算やアップサンプリング処理などを組み合わせることにより、軌道検測データの位置ずれを補正し、サンプリング間隔を修正する手法を考案した。また、実際の東海道新幹線の軌道検測データを用いて検証を行った結果、この手法の有効性を確認することができた。

本稿では、今回開発した手法のアルゴリズムと具体的なデータフローについて紹介するとともに、本手法の東海道新幹線のデータでの検証結果を示す。さらに本手法の軌道管理への応用について述べる。

2. 軌道検測データの構成と実際のデータ

まず、軌道検測データの基本的な構成と、実際のデータに発生している位置ずれ及びサンプリング間隔の不整について説明する。なお軌道検測データのデータ形式は、JR 各社で広く利用されている軌道状態管理データベース「マイクロロボックス」によることを前提とする。

2.1 軌道検測データの基本的構成

軌道検測データはデータファイルとキロ程対照表の 2 つより構成される。キロ程対照表とは、東海道新幹線であれば 1km ごとに設置されている反射板、在来線であれば ATS 地上子のキロ程と測定データの番号の対応を示した表であり、これとデータファイルをつきあわせることで、x 軸をキロ程、y 軸を測定データとするチャート表示が可能となる。

2.2 東海道新幹線の軌道検測データ

表 1 は東海道新幹線で実際に測定された複数の軌道検測データにおいて、同一区間に含まれるデータ数をキロ程対照表よりまとめたものである。区間長は 1km、サンプリング間隔は 25cm であるから、正確に 25cm を刻んでいればデータ数は 4000 個になるはずである。しかしながら表からも明らかなように、測定ごとにデータ数が微妙に異なっていることが確認できる。

Table.1 The number of the data in 1km section

	D010903	D010911	D010925	D011003	D011016	D011029
323k000m	4005	4007	4004	4003	4004	4003
324k000m	3985	3985	3982	3981	3982	3982
325k000m	4004	4006	4003	4003	4003	4002
326k000m	4004	4003	4001	4000	4000	4001
327k000m	4001	4003	4000	3999	4000	4000

図 1 に、連続する 2 回の測定結果とその差分演算したものを示す。測定結果の波形を比較すると、両者に差はほとんど見られない。しかしながら、その差分がゼロになっていないことから、両者に微妙な位置ずれを生じていることが確認できる。このことは、チャートを眺めてその箇所の現在の状態を分析する上ではほとんど問題にならないが、現場における厳密な位置を特定したい場合や、波形の時系列変化を差分演算等により、詳細に解析する上では大きな問題となる。

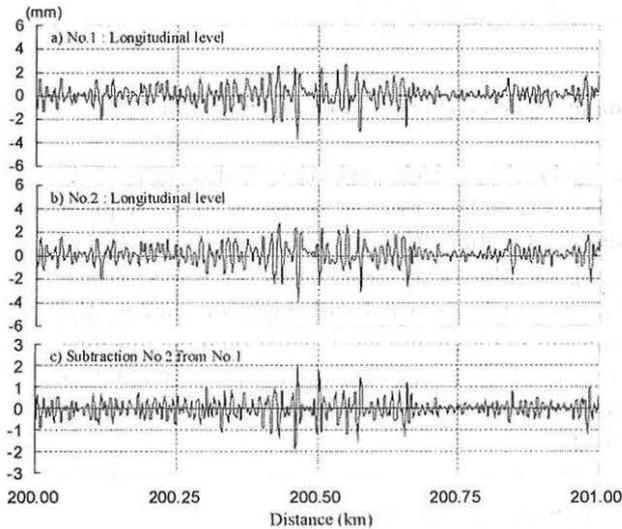


Fig.1 Influence from gaps in sampling points

3. サンプリング間隔補正のアルゴリズム

図 2 にサンプリング間隔補正のイメージを示す。JR 東海管内では、東海道新幹線の場合ドクターイエローが 10 日に 1 度、在来線の場合ドクター東海が 1 ヶ月に 1 度の周期で軌道検測を実施している。一般に軌道狂いは短期間で大きく変化することは稀であるため、直近のデータとの相互相関を計算すれば、極めて高い相関が得られる。このことを利用すれば、測定データを前後にずらしながら直近データとの相互相関を計算することで、位置ずれの量を把握することができる。このずれ量のある区間ごとに補正した後、区間内のデータ数を調整することでサンプリング間隔を一致させることができると考えられる。

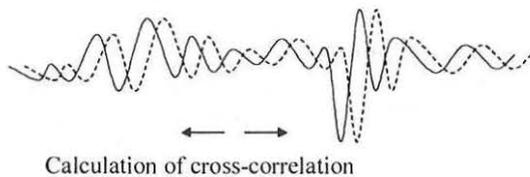


Fig.2 Algorithm of operation

この処理を可能にするためには、軌道検測車が高い再現性を有することが前提となることはいまでもない。また 2 回の測定に保守作業が行われた場合には、相関が得られないことも実際のプログラムを設計する上では考慮しなければならない問題である。

データのキロ程と現場の位置を正確に一致させるためには、可搬式軌道検測装置などを利用した現場調査により、一度そのずれ量を把握する必要があるが、それ以後は軌道検測を行う度に直近のデータとこの処理を行うことにより、すべてのデータのキロ程は現場と一致することになる。

4. 開発したデータ補正プログラム

次にこのアルゴリズムにより軌道検測データを補正する際のデータフロー (図 3) を、今回開発したプログラムを例に、具体的に説明する。開発したプログラムを図 4 に示す。ただし、本プログラムではキロ程対照表のデータ番号は正確であるという前提で処理を行っている。

入力ファイルは、参照データ (直近の測定データ) と修正されるデータ、及びそれぞれのキロ程対照表。出力ファイルは、修正データとそのキロ程対照表、及び修正結果ファイルである。ただし修正データのキロ程対照表は参照データのそれとまったく同じになる。

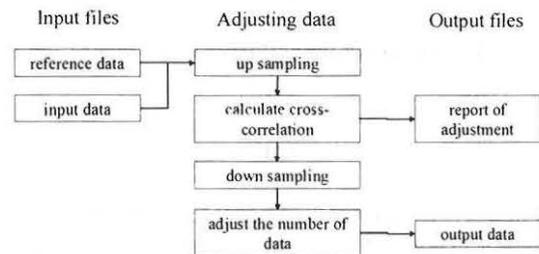


Fig.3 Data flow of operation

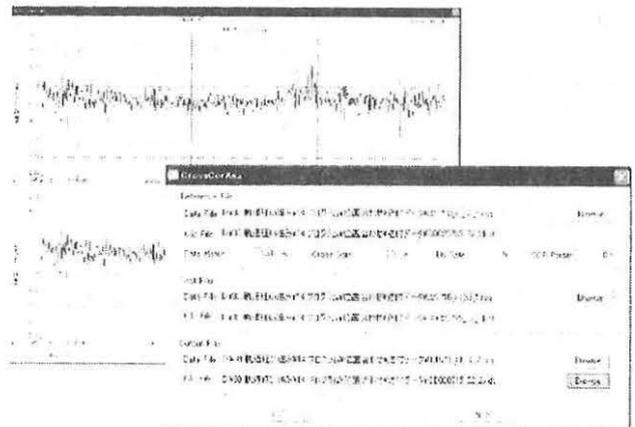


Fig.4 PC software for data adjusting

4.1 アップサンプリング処理

より正確な調整を実現するため、まず任意の倍率でのアップサンプリング処理を行うこととした。これにより、例えば 25cm のサンプリング間隔で測定されている東海道新幹線のデータを 25 倍にアップサンプリングすれば、1cm レベルで正確な位置あわせが可能となる。

アップサンプリングにはゼロ挿入法を利用している。連の流れを図 5 に示す。具体的には、まず新たに設定されたサ

サンプリング間隔にてデータを生成し、データの存在しない部分にゼロを挿入する。次に元データのサンプリング空間周波数(1/m)の1/2でLPF(ローパスフィルタ)処理を行った後、ゲインを調整する。

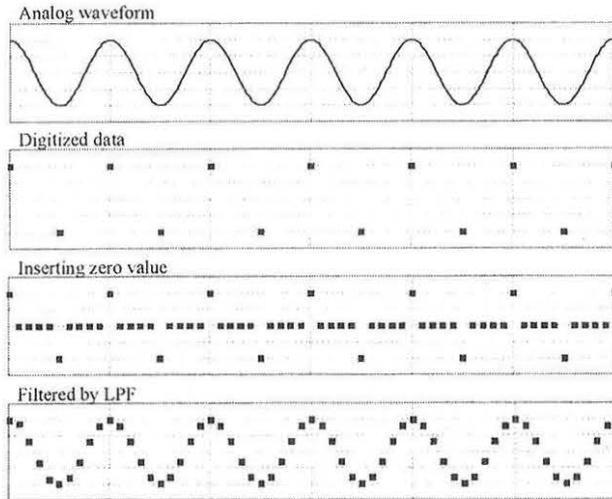


Fig.5 Up sampling by zero inserting

4.2 相互相関演算によるずれ量の把握

次にキロ程対照表を参照して、区間距離からデータ個数を揃えた後、相互相関演算を行い各点のずれ量を把握する。図6はこの処理を模式的に表したものである。例は100m毎に20m分のデータを切り出し、順方向及び逆方向の相互相関演算を行うことを示している。相互相関演算によって得られたずれ量を修正した後(図ではa'点をaへ修正)次の点(b点)の相互相関係数を計算する。この過程をデータ終点まで繰り返す。なおこのとき、相互相関係数があらかじめ設定した値を下回った場合は、その箇所では何らかの保守作業が入ったものとみなし、位置の補正は行わないこととする。

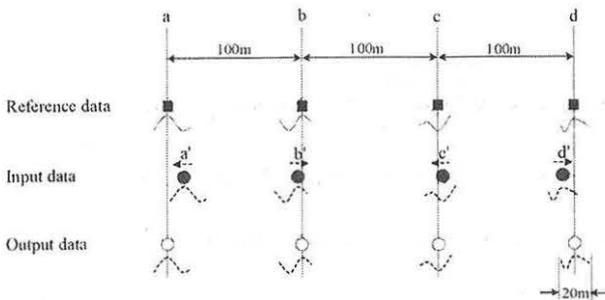


Fig.6 Process of data adjusting

4.3 ダウンサンプリング処理及びデータ個数調整

位置あわせ終了後のデータを元のサンプリング間隔にダウンサンプリングした後、線形補間により参照データと修正データのデータ個数を一致させる。この結果として参照データと修正データのキロ程対照表はまったく等しくなる。

このアップサンプリングからデータ個数調整までの一連の処理によって実現される内容を以下にまとめる。

- ・ アップサンプリング処理及び相互相関演算により微小な位置ずれがすべて補正される。
- ・ 参照データと修正データのサンプリング間隔が等しくなる。

- ・ 任意の区間のデータ個数が参照データと修正データの2つで一致することから、2つのデータの直接的な引き算が可能になる。

なお、今回相互相関による補正に採用するデータとしては、軌道検測車の再現性が最も高い、高低狂いを採用している。また、開発したプログラムは、高低狂いの修正結果を参照して他のデータも同様に修正する機能を有している。

さらに、主に在来線のデータで問題となる断キロや重キロを持つデータについても対応可能となっているほか、データ長の異なる2つのデータについても修正可能となっている。

5. 東海道新幹線の軌道検測データでの検証

開発したプログラムにより、東海道新幹線の実測データを用いてキロ程の補正が実行されているかを確認した。結果を図7に示す。

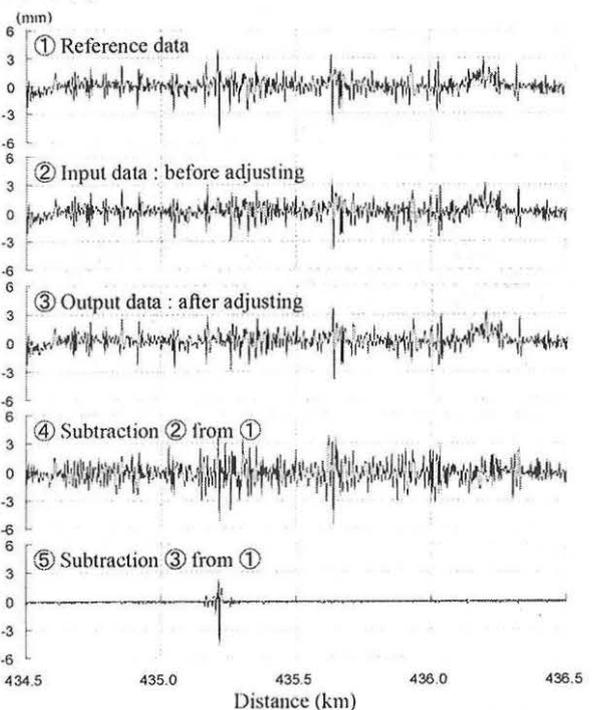


Fig.7 Verification by Tokaido Shinkansen data

チャートは上段より、①参照データ、②修正データ(修正前)、③修正データ(修正後)、④修正前の2回の検測の差分(②-①)、⑤修正後の2回の検測の差分(③-①)である。図では、横軸(キロ程)のスケールが大きいため、②と③を比較してもその差はほとんど確認できず一見問題がないようにも見受けられる。しかしながら、④から明らかなように、微妙な位置ずれやサンプリング間隔の違いから波形変化がほとんどない箇所でも差を生じている。これに対し⑤では、保守作業が実施された箇所のみでその差が顕著となっており、正確なデータ補正が実行されていることが確認できる。

図8は処理結果の例であり、相互相関演算をした各点における位置ずれの量を示している。図より位置ずれは全線において同一方向に発生しているわけではなく、その方向、量ともにばらつきがあることがわかる。この原因としては、曲線部においてレールと車輪の接触位置が変化することにより、エンコーダを装備した車輪の車輪径が変化していることが想定される。このことは、今後列車速度等を勘案しながら検証を重ねていく予定である。

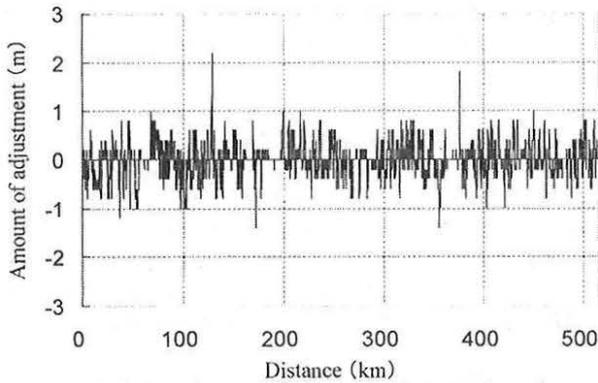


Fig.8 Amount of adjustment in each point

今回の検証では相互相関係数 0.9 を下回る箇所については、保守作業が行われたものとみなし、データ補正を行わないよう設定して処理を実行した。図 9 に今回検証したデータにおける相互相関係数の頻度分布を示す。全体の 95%以上の箇所が 0.9 を上回る高い相関性を示していることがわかる。このことにより、本手法の有効性が確認されるとともに、軌道検測車の高い再現性も改めて確認することができた。

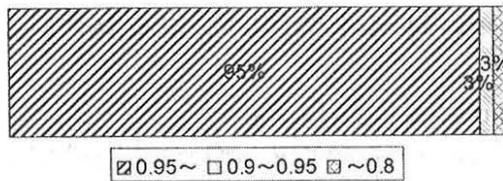


Fig.9 Frequency distribution of cross-correlation

在来線データについては、今回検証することができなかった。在来線の場合、新幹線と比較して検測周期が約 3 倍長くなるため、保守作業や経過時間の影響から相関が低くなることが想定される。これについても今後検証を重ねていく予定である。

6. 軌道管理への応用について

軌道検測車から得られる複数の軌道検測データの位置を正確に補正し、サンプリング間隔の調整を可能とすることによって、軌道状態管理へのさまざまな応用が期待できる。本章では、そのいくつかの例について紹介する。

6.1 軌道狂い時系列推移の定量的把握

軌道狂い時系列推移の分析は、これまで多くの研究がなされている。しかしながら上述したようにデータの正確な位置あわせが困難であるため、その多くは区間代表値である標準偏差や最大値による評価がほとんどであった。この手法では、軌道狂いが進んでいる箇所を把握するためには、チャートを注意深く観察するしか方法がない。

今回の手法を用いてサンプリング間隔補正をした上で差分演算を実行すれば、その区間のなかの軌道狂い進展箇所を容易に追跡することができる。図 10 にその一例を示す。近接した箇所と比較すると、飛び抜けて軌道狂いが進んでいる様子が明確に見て取れる。現段階では詳細な解析をするまでには至っていないが、ごく簡単な演算処理できめ細やかな軌道狂いの捕捉が可能となると考えられる。

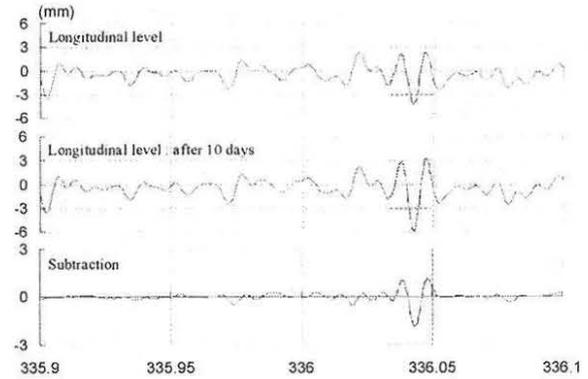


Fig.10 Analysis of irregularity growth

6.2 MTT 施工時の作業位置補正への適用

MTT (マルチプルタイタンバ) による軌道整備作業は、相対基準による方法と絶対基準による方法の 2 つに大別される。最近では、軌道検測データを逆フィルタにより復元して移動量を算出する、半絶対基準ともいえる方法が広く用いられている。この方法で施工する場合、データと施工位置のずれは致命的な問題を起こし得る。

より精度の高い施工を実現するためには、MTT が認識しているキロ程と、軌道検測データより演算された移動量データのキロ程が、完全に一致することが不可欠である。事前に可搬式軌道検測装置により軌道狂いを測定し、位置ずれを補正する方法も提案されているが、検測装置の機動性や処理の煩雑などを理由に採用されていないのが現状である。

ところで MTT は、それ自身が軌道狂いを検測する機構を有している。この検測機構と今回の手法を組み合わせることで、以下の手順により MTT のキロ程と軌道検測データのキロ程を自動的に一致させることが可能となる。

- ① 施工前に MTT で数 10m 程度の測定を実施する。
- ② 測定データを 10m 弦正変換する。
- ③ 今回の手法を用いて軌道検測データとの相互相関係数を算出し、移動量データの現場とのずれ量を補正する。

この方法により MTT のキロ程と軌道検測データの位置あわせを自動的に補正することが可能となり、MTT の施工精度の向上と事前の現場調査を含めた、MTT 作業の大幅な効率化が期待できる。

7. まとめ

今回、軌道検測車から採取される軌道検測データの位置ずれやサンプリング間隔不整の問題を解決するため、相互相関演算やアップサンプリング処理を組み合わせることによりデータの補正をする手法を考案した。東海道新幹線の軌道検測データによる検証結果から、本手法により微小な位置ずれの補正やサンプリング間隔の修正が可能であることが確認された。

在来線データにおける検証や処理に要する時間を短縮するための、最適な演算条件の設定等が残された課題である。現在開発したプログラムは、軌道状態推移の解析にのみ利用しているが、今後はこれを軌道検測車が走行するたびに実行する定例処理への導入を目指す。

また、本文中で述べた軌道管理への応用手法について、具体的な適用方法を検討し実用化へ向けた研究を進めるとともに、その他の応用方法についても検討する予定である。