

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 高頻度の検測で 軌道の状態変化を診る

鉄道事業者では、軌道の状態を把握するために定期的に軌道形状を測定（軌道検測）しています。従来、多くの線区では専用の軌道検測車による測定が行われていましたが、近年では、営業車による検測が実用化し、高頻度な検測が可能になりました。ここでは、このような高頻度検測データを軌道保守の効率化や安全性向上のために有効に活用する手法やシステム化について進められている最近の研究の成果を紹介します。



**三和 雅史**  
Masashi Miwa  
軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
室長  
[専門分野]軌道保守計画、最適化モデル分析



**矢澤 英治**  
Eiji Yazawa  
軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
主任研究員（上級）  
[専門分野]軌道検測、状態診断



**佐野 弘典**  
Hironori Sano  
前 軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
研究員  
[専門分野]軌道状態の予測、診断



**山口 剛志**  
Tsuyoshi Yamaguchi  
前 軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
研究員  
[専門分野]軌道変位管理、リスク分析

## はじめに

鉄道線路（軌道）においては、列車の繰り返し通過により、軌道の不整（軌道変位、または軌道狂い（☞参照））



図1 従来の軌道検測車（在来線）の例

が徐々に成長（軌道変位進み）し、車両の走行安全性や乗り心地が悪化します。このため、鉄道事業者は定期的に測定（検測）した軌道変位データに基づいて本来の形状に戻すように軌道保守を行っています。この検測には、従来は図1に示すような専用の軌道検測車が使われ、例えば在来線では3ヶ月に1回程度の検測が行われていましたが、近年では、図2に示すような営業車による軌道検測が実用化し、高頻度な検測が可能になりました。このよう



図2 営業車に搭載された軌道検測装置

## ☞ 軌道変位（軌道狂い）

軌道の正規の位置からの「ずれ」のことを「軌道変位」といいます（鉄道事業者によっては「軌道狂い」と表記します）。軌道変位が大きくなると車両の円滑な走行が阻害され、乗り心地の悪化や安全性の低下につながるため、定期的に検査をして状態を把握し、必要に応じて軌道整正作業（軌道保守）が行われます。

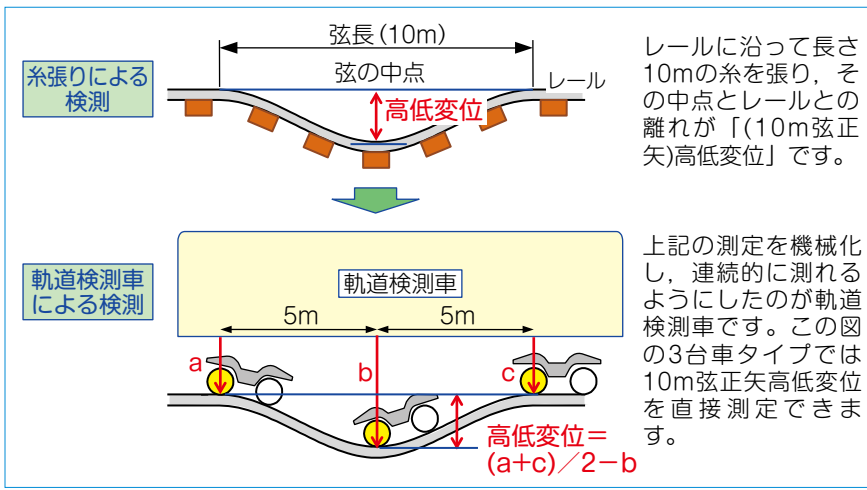


図3 従来の検測車による高低変位の測定法の例

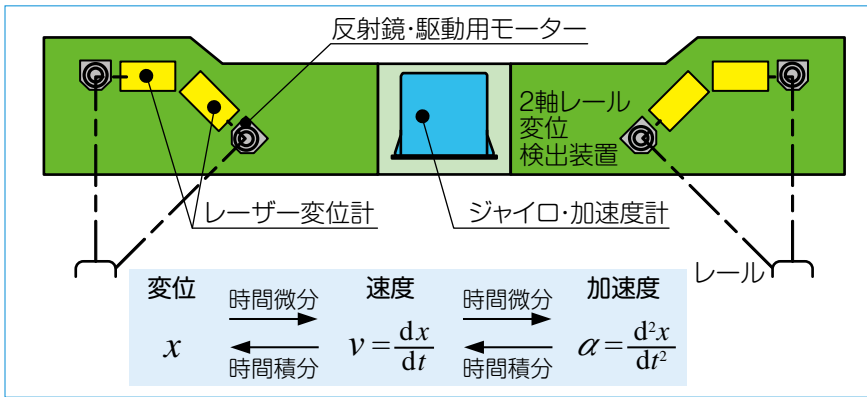


図4 慣性正矢軌道検測装置の内部

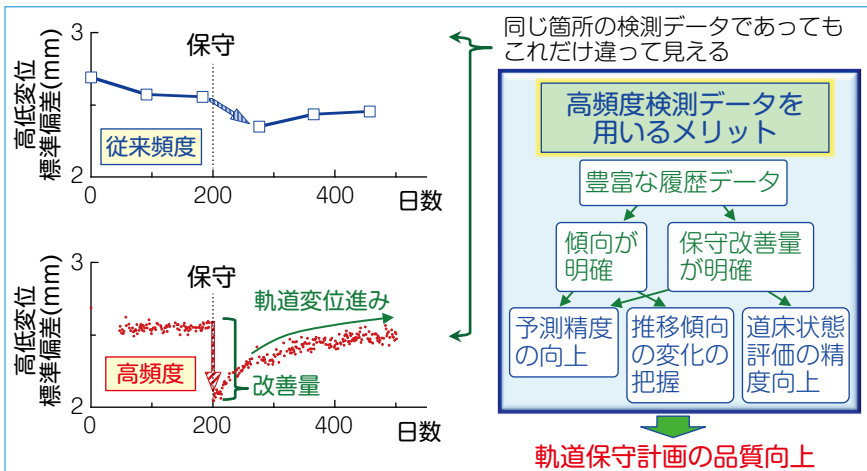


図6 高頻度検測データの特徴と活用法

に、従来より詳細な検査データの取得が可能になった反面、扱うデータ量が一気に増加したため、高頻度検測データの効率的な活用への関心が高まりつつあります。そこで、営業車軌道検測の特徴や得られたデータの活用方法について進められている最近の研究の成果を紹介します。

### 営業車による軌道検測

営業車による軌道検測では、「慣性正矢軌道検測装置<sup>1)</sup>」が用いられています。従来の検測車では、図3に示すようにレール上の3点を測り、各点の位置関係により軌道変位を取得していたのに対し、この装置では、「加速度を2回積分すると変位になる」とい



図5 車体装架型軌道検測装置

う物理の基本法則を用いて1断面を測るだけで取得できます。このため、従来は車両1両分必要だった検測装置が図4のように小型化され、営業車による検測が可能になりました。本装置の中には、加速度計のほか、レール位置を把握するためのレール変位検出装置、装置の空間上の位置や姿勢を把握するためのジャイロなどが搭載されています。先の図2に示した装置は台車に装架されていますが、最近、車体に装架可能な装置も図5のように実用化されました。

### 営業車データの特徴

高頻度検測データでは、図6に示すように毎日のように検測値を取得できます。そのため、豊富な履歴データに基づいて、各箇所の軌道変位推移の傾向を明確に捉えられ、予測精度が向上すると考えられます。また、予測値に含まれる誤差を予め把握したり、季節的な変動がある場合にはそれが推移に与える影響を把握したりすることも期待されます。さらに、軌道変位推移の傾向の変化を早期に把握できることや、保守前後の軌道変位を正確に把握できるため、保守による改善量の予測精度を向上できるだけでなく、バラスト(道床)状態の評価にも活用できます。

以上のような高頻度検測の導入効果について、実際に得られたデータを用いて検証してみました。

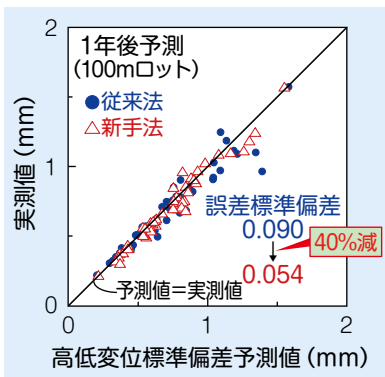


図7 軌道変位の予測精度

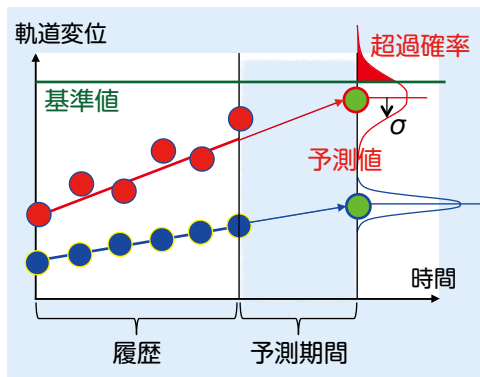


図8 軌道変位予測誤差の考え方

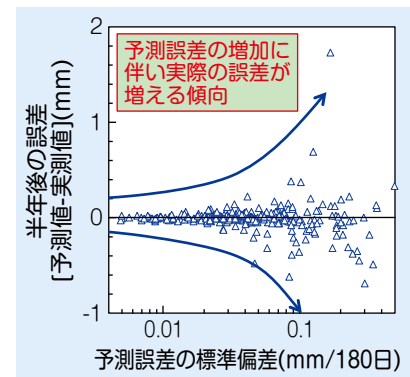


図9 予測誤差と実際に発生した誤差

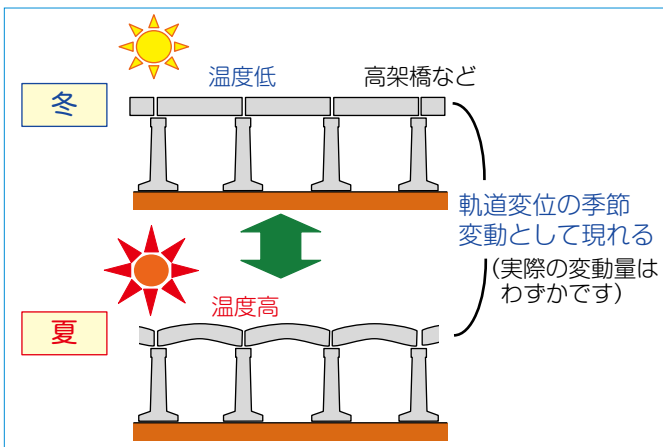


図10 構造物の温度伸縮と軌道変位の季節変動

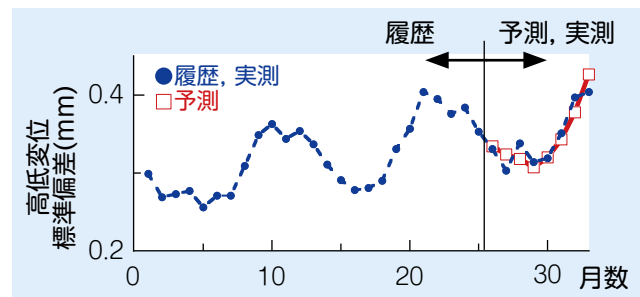


図11 季節変動箇所での推移と予測結果

### 高頻度検測による効果 軌道変位進みの予測精度の向上

各箇所の軌道変位の履歴データを活用して、将来の軌道変位推移を予測することは、従来頻度検測データに対しても行われ、予測結果は軌道変位保守計画の作成などに用いられてきました。その際、軌道変位進みの傾向が、時間と共に変化する可能性があることを考慮して、過去の軌道変位のうち、最近の軌道変位には大きく、以前の軌道変位には小さく重みを与える統計的な方法により将来の軌道変位を予測していましたが、その「重み」の与え方については、線区内の全ての箇所において一定としていました。ところが、高頻度検測データでは、各箇所の履歴データ数が多いため、これに基づいて、この重みの適正値を箇所別に設定できます。そこで、重みを箇所別に適正化しない/する従来法と新手法により、1年後の軌道変位(100mロット高低変位標

準偏差)を予測した結果を図7に示します。両手法の予測値とも実測値に近いですが、新手法では従来法に比べて誤差のばらつき(標準偏差)が40%減少しました。このように、各箇所の履歴データを有効に活用することで、予測精度が向上します。この予測法では、重みを定期的に見直すことで、実際の変化に追従した予測ができるだけでなく、軌道変位推移の傾向の変化時期を早期に把握できます。

次に、従来頻度検測データを用いた予測では、将来の軌道変位を点(1つの値)として予測することが一般的でしたが、多くの履歴データを活用できる高頻度検測データでは、将来の軌道変位を確率分布として予測できます。予測のイメージを図8に示します。履歴データの変動が小さな箇所では、予測値は狭い範囲に分布して得られます。一方、変動が大きな箇所では、予測値は広く分布します。ここで、図9に履

歴データから算出された高低変位の予測誤差(標準偏差)と実際に発生した誤差(予測値-実測値)の関係を示します。予測誤差が大きいと実際の誤差が大きくなる傾向が分かります。このように予測値を分布として得られると、予測値の信頼性を評価できるほか、予測値が目安値を超える確率を得られます。このため、点としての予測値は小さくても超過確率が高い箇所に対して保守の優先度を上げることで、より予防的な保守が可能になると考えられます。

### 軌道変位の季節変動

図10のように、天気や気温の変化が高架橋などの構造物の伸縮などに影響する場合、高頻度検測データに、この影響が現れることがあります。図11は、コンクリート構造の橋の上での高低変位の推移の例です。この図には高低変位の月平均値を示しますが、ほぼ1年の周期で値としてはわずかではあるものの増減を繰り返しながら推移しており、この箇所の軌道変位は季節的に変動している可能性が高いといえます。

このような季節変動箇所に対して、

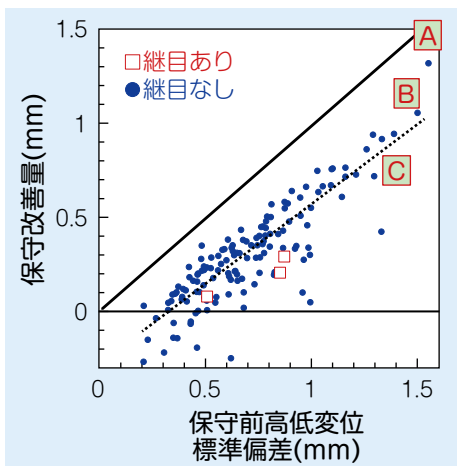


図12 軌道変位保守による改善量

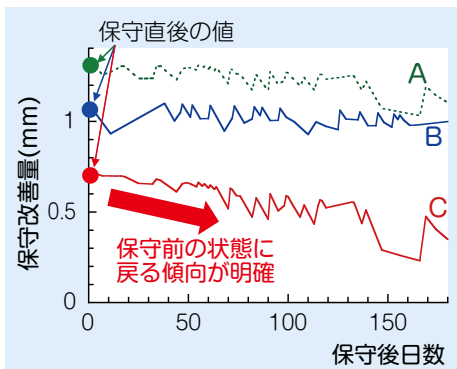


図13 軌道変位保守効果の持続期間

従来のように軌道変位が漸進的に増加することを前提とした予測法を適用しても、十分な予測精度を得られないため、季節変動箇所に適した予測法が必要です。そこで、推移を季節変動成分とその他成分に分解した予測法を提案しました。

本手法を約2年分の履歴データに適用し、8ヶ月間の高低変位を予測した結果を同図に示します。図から、予測値と実測値は十分に近く、高い精度で予測できることが分かります。

### 道床状態の診断

一般に、バラスト軌道における軌道変位保守では、道床をつき固めて不整の小さな軌道に戻します。ここで、軌道変位保守改善量が小さい、あるいは改善効果の持続性が低い箇所では、道床状態が不良である可能性が高いと考えられます。高頻度検測データでは、保守前後の軌道変位を正確に把握でき

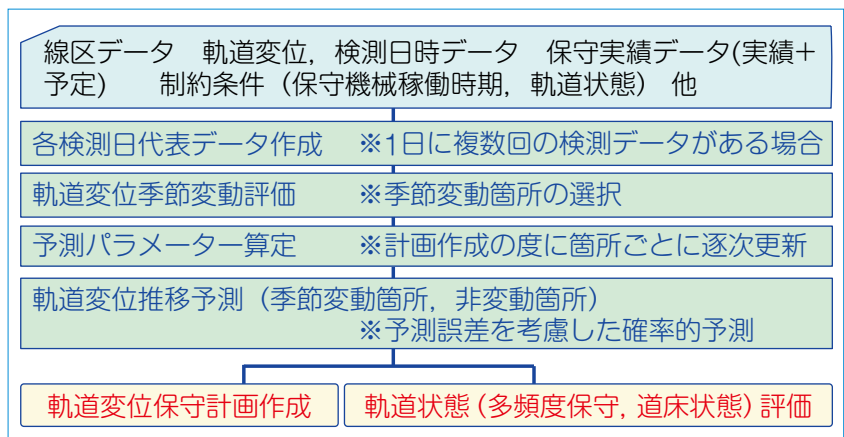


図14 高頻度検測データ対応版システムのデータ処理フロー

るため、道床状態評価の精度向上を期待できます。そこで、高頻度検測データを用いて図12に軌道変位保守前の高低変位と改善量の関係を示します。保守前の高低変位が大きいと改善量は増える傾向があります。この傾向は、従来の検測頻度のデータによる同様の分析結果より明確です。

また、図中の保守前の高低変位が近いロットA~Cについて、改善量の保守後の推移を図13に示します。A, Bでは保守直後の改善量を半年後でも十分に維持できていますが、Cでは改善量が徐々に減少して保守前の状態に戻っていく傾向を確認できます。つまり、Cでは保守効果の持続性が悪く、これには道床状態の不良が影響している可能性が高いと考えられます。

このように改善量の程度や時間的な変化を分析することで、道床状態を精度良く評価でき、道床交換計画を有効に策定できます。

### 軌道変位保守計画システム

これまでに開発した軌道変位保守計画システム(MTS)に対し、以上に述べた分析などを行える新機能を付加して高頻度検測データに対応させました<sup>2)</sup>。新システムにおけるデータ処理のフローを図14に示します。

新システムに高頻度検測データ、また比較のために従来頻度検測データを

適用し、ある線区における半年分の軌道変位保守計画を作成しました。その結果、各頻度の検測データを使用した場合に選ばれた保守箇所はほとんど同じでしたが、約10%の保守箇所が異なりました。この差が生じたのは、軌道変位推移の予測値が異なったためであり、高頻度検測データを使用した場合の方が精度の高い予測結果に基づく計画を作成することができました。

以上のように、高頻度検測データを用いることで、軌道変位保守計画の品質は従来頻度検測データでの計画に比べて向上すると考えられます。

### おわりに

営業車での軌道検測が実用化したことで、高頻度な軌道検測が可能になり、多くの検査データを取得できるようになりました。一方、データ取得技術の進歩は、軌道の検査に限ったものではなく、車両、運転、輸送などの分野でもさまざまなデータを取得できるようになっています。よって、分野をまたいだ横断的なデータの活用法の開発が今後の課題です。[RRR]

### 文献

- 1) 矢澤他：営業列車で線路を検査する，RRR, Vol.66, No.11, pp.18-21, 2009
- 2) 山口他：高頻度検測データを活用したMTT運用計画支援システムの開発，第70回土木学会年次学術講演会，VI-459, 2015