

1515 バラスト軌道における高低変位進み急進箇所の検出手法

正 [土] ○木村 寛淳 正 [土] 田中 博文 ((財) 鉄道総合技術研究所)

正 [土] 下野 勇希 (西日本旅客鉄道株式会社)

A Method for Detecting the Quick Growth of Longitudinal Level Irregularity in Ballasted Tracks

Hiroatsu KIMURA, Railway Technical Research Institute 2-8-38 Hikari-cho Kokubunji-shi, Tokyo

Hirofumi TANAKA, Railway Technical Research Institute

Yuuki SHIMONO, West Japan Railway Company

In some locations, the growth rate of longitudinal level of track irregularity increases more than expected, which requires urgent maintenance work to keep ride comfort or running safety. However, it is difficult to detect such locations from seven track irregularity parameters that are usually monitored to manage track condition. Then, we focused on the time-variation of the track irregularity at locations where the growth rate of track irregularity had increased more than expected in order to detect the predictive sign of the increase of the growth rate. In this study, the combination of the 5m-chord versine and its growth rate was identify to be available for selection of the locations where track irregularity increases more than expected.

Keywords: longitudinal level irregularity, quick growth, ballasted track, asymmetrical chord offset, short wavelength, Shinkansen

1. はじめに

軌道変位は主に検測車により定期的に測定され、統計的手法によってその経時変化が予測されて、保守投入が計画される。しかし特にバラスト軌道では、まれに統計的な予測値から外れる急進的な軌道変位進みが発生し、突発的な軌道保守が必要となるだけでなく、場合によっては列車の徐行を余儀なくされ、安定輸送を妨げる一因となっている。このような急進的な軌道変位進みの発生原因を究明し、軌道変位急進箇所を事前に把握できれば、より効率的な保守投入が可能になると考えられる。また、このような急進的な軌道変位進みはある長い区間で発生するというよりも、まくらぎ数本単位で沈下する等、局所的に発生することが多い。

そこで本研究では、新幹線の高低変位が過去に急進的に進んだ箇所において、軌道検測車の偏心矢データから得られる、波長10mよりも短い波長での軌道検測データの経時変化を分析した。そして、急進的な軌道変位進みの予兆を、軌道検測データのみを使用することで検出する手法について検討した。

2. 急進箇所検出波長の検討

2.1 偏心矢法による軌道検測の概要

現在、新幹線の高低変位と通り変位の測定には、前台車の前後軸の2軸と後台車の後軸の1点で、中心の偏った弦を形成する2台車タイプの検測車が用いられている。図1に、一例として10m弦正矢と17.5m-2.5mの検出特性を示す。10m弦では波長5mで検出倍率がゼロとなるのに対し、17.5m-2.5m偏心矢法の場合では、より短い波長2.5mで検出倍率がゼロとなることわかる。このことにより、偏心矢法では10m弦正矢法では捉えることのできなかったより短い波長まで検出可能であり、より短波長の変位を捉えることができる。

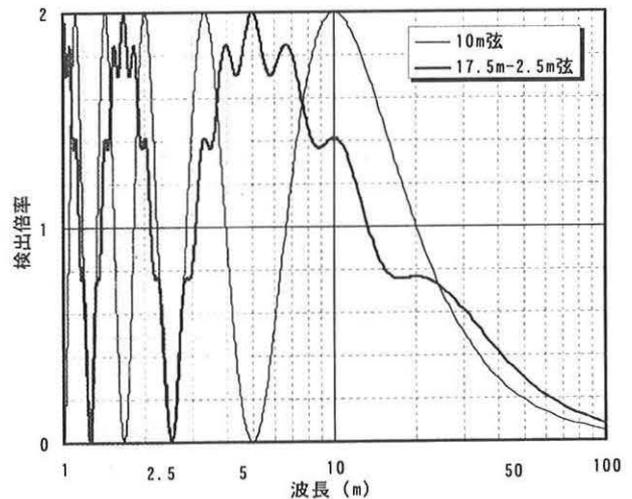


図1 弦の違いによる検出特性

2.2 検出弦長の検討

急進的な高低変位進み箇所は、局所的に発生することが多い。しかし、10m弦正矢では波長10m以下の波長の検出倍率が低いため、局所的な軌道変位を捉えることが困難である。そこで本研究では、既往の研究^{1) 2)}をもとに5m弦正矢を活用して、10m弦高低変位急進箇所の検出手法を検討した。

3. 過去の高低変位急進箇所の分析

3.1 10m弦高低変位急進箇所の急進傾向の分類

新幹線のバラスト区間で、過去2年程度の期間において10m弦高低変位が -7 mm を超過した箇所を抽出し、さらにその中から、10m弦高低変位がある時期を境に急

進している箇所を抽出した。

ここで、急進とは図2のように、いくつかのパターンが考えられる。パターン①は、1検測期間内で基準値を超過するもの、パターン②は、進みの速さが急激に変化して1ヶ月程度の間で基準値を超過するもの、そしてパターン③は、放物線状に徐々に進みの速さが大きくなり、基準値を超過するものである。図3に-7mm超過前の約2ヶ月間の経時変化、図4にその際の波形の変化の実例をそれぞれ示す。パターン①の箇所では、直前まで漸進的な進みをしてきたにもかかわらず、1検測期間で約-4.5mm進行していることがわかる。またパターン②と③では、波形だけを見ただけでは相違点はないが、経時変化を見ると、進行形態が異なることがわかる。

このように、急進は3パターン程度に分類できるが、本研究では、まず最も注意を要するパターン①を検討対象として検出手法を導出し、次にその結果を用いてパターン②を検出できるか検証し、あわせて著大値を発生していない時期においても同様の傾向があるか検証した。

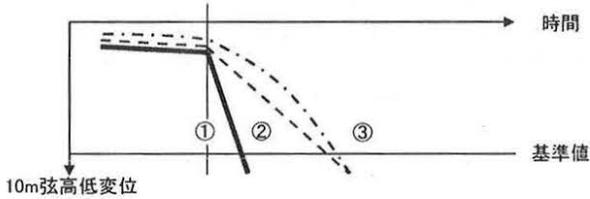


図2 10m弦高低変位急進の経時変化パターン例

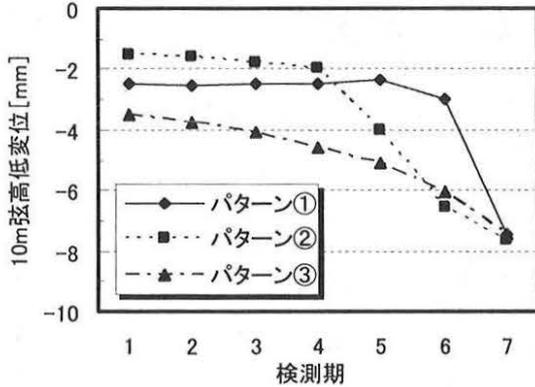


図3 10m弦高低変位急進箇所の経時変化

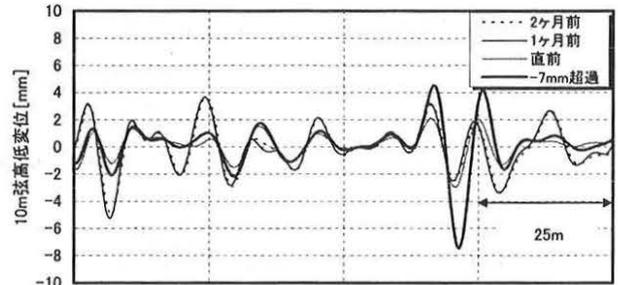
3.2 10m弦高低変位急進箇所の5m弦高低変位

ここでは、パターン①の6箇所の5m弦高低変位を示す。図5に、10m弦高低変位急進前後の5m弦高低変位と10m弦高低変位の値を示す。急進前には、5m弦高低変位は10m弦高低変位の2倍近い振幅である。これに対し、急進後は、10m弦高低変位が急進前から全体に5mm程度大きくなっている一方で、5m弦高低変位については急進したものとそうでないものがあり、比較的小さい変位の箇所が-10mm付近まで急進しているものもあることがわかる。

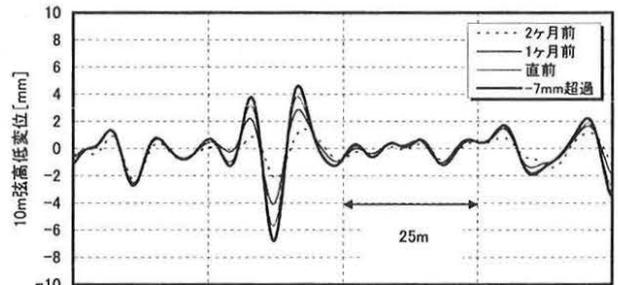
次に、5m弦高低変位の経時変化について示す。図6に10m弦高低変位急進直前の1検測間での10mおよび5m弦高低変位進みを示す。5m弦および10m弦高低変位が良化(=高低変位進みが正)しているような箇所も見受けられるが、急進箇所の5m弦高低変位進みの絶対値は概ね1mmよりも大きい。

このように5m弦高低変位の振幅は、その変化量によ

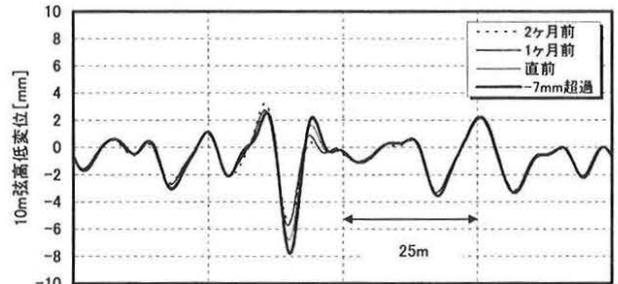
って10m弦高低変位の急進箇所を抽出できると考えられるが、一方でこれらの値が大きくても10m弦高低変位は急進していない箇所も多数存在する。したがって、例えば5m弦高低変位やその変化量にある管理値を定め、これを超過した箇所の現場調査を行うことを考えた場合、調査対象箇所数が膨大になる一方で、その中で実際に急進するものはごくわずかな個数である。そこで、10m弦高低変位の急進箇所の抽出の効率を上げるためには、対



(a)パターン①



(b)パターン②



(c)パターン③

図4 10m弦高低変位急進箇所の波形

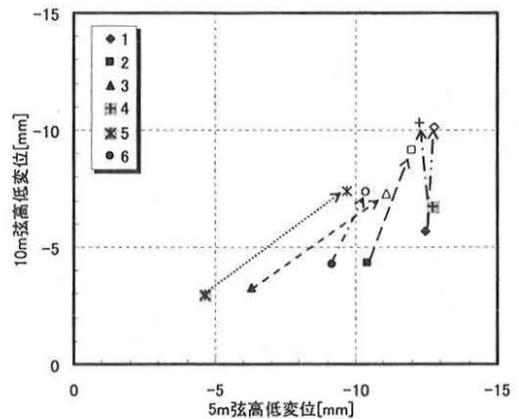


図5 5m弦高低変位と10m弦高低変位の関係

象箇所数の絞り込みが重要であり、表1に示すような複数の指標を、組み合わせる方法が必要と考えられる。

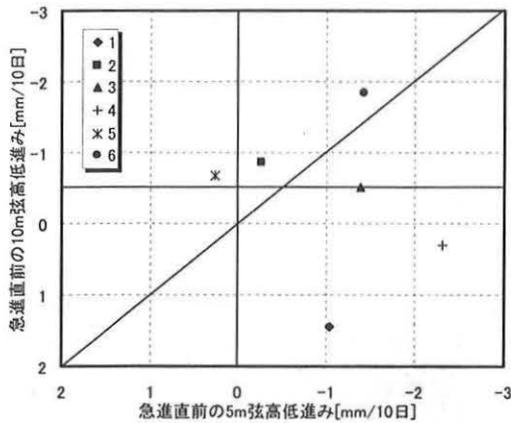


図6 5m弦および10m弦高低変位進みの関係

表1 10m弦高低変位急進箇所の検出(案)

	5m弦高低変位 [mm]	5m弦高低変位進み [mm/10日]
(a)	-10	
(b)	-6	-1

3.3 10m弦高低変位急進箇所の5m弦高低検測差

既往の研究¹⁾によると、検測車の進行方向から1・2・4軸と1・3・4軸の2種類の、载荷条件の異なる偏心矢で測定した動的な高低変位の差である「高低検測差」を用いることで、軌道変位進みが急進する箇所の検出ができる可能性があることが示されている。そのため、パターン①の箇所で高低検測差にどのような傾向があったかを検証した。ここで、高低変位急進箇所の要因は、道床の劣化によるものと仮定する。その中でも、浮きまくらぎや道床噴泥等を考慮すると、一般にその波長は5m以下であるため、今回使用した高低検測差は5m弦とし、この高低検測差が急進箇所の予兆を検出できるか検討した。図7に、軌道状態劣化箇所における高低検測差の概念を示す。

図8および図9に、パターン①の箇所における10m弦高低変位とそれを含む25mロット高低検測差最大値の経時変化を示す。なお、図8はパターン①における高低検測差最大値の箇所であり、図9はその最小値の箇所である。他の4箇所も含めると、概ね10m弦高低変位が変

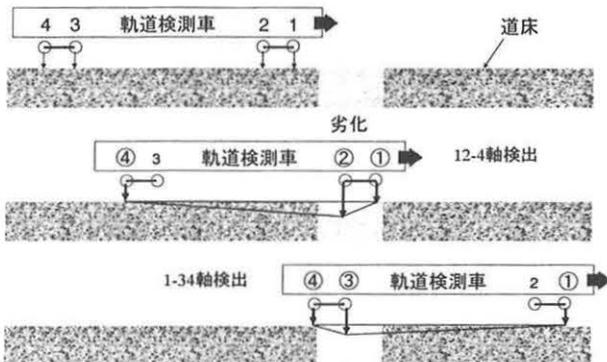


図7 軌道状態劣化箇所における高低検測差の概念図

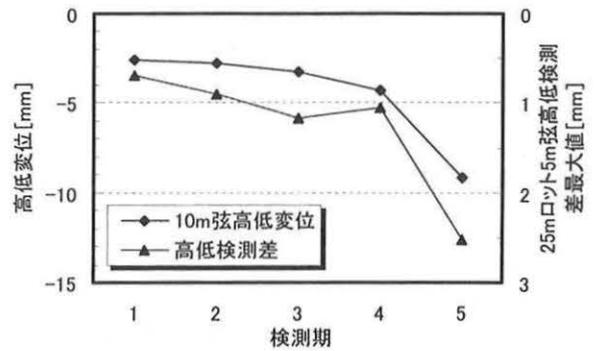


図8 10m弦高低変位急進箇所の高低検測差経時変化(1)

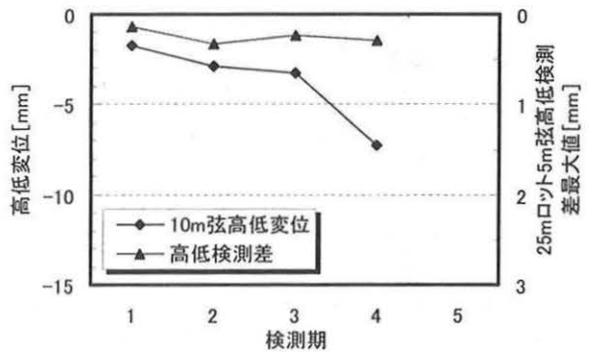


図9 10m弦高低変位急進箇所の高低検測差経時変化(2)

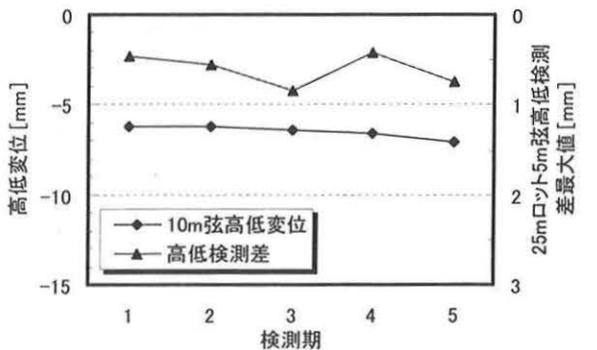


図10 10m弦高低変位漸進箇所の高低検測差経時変化(3)

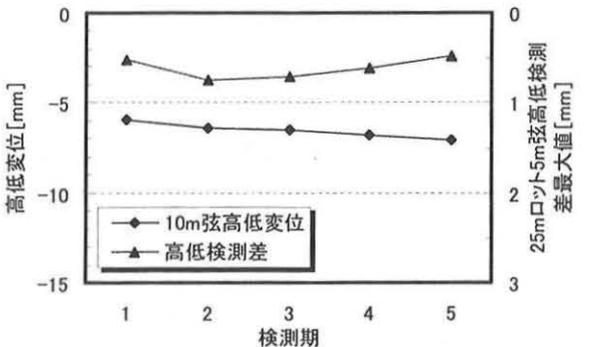


図11 10m弦高低変位漸進箇所の高低検測差経時変化(4)

化するとともに高低検測差も徐々に大きくなっており、加えて10m弦高低変位が漸進している箇所と比較する

と、高低検測差が相対的に大きい、図9の箇所のように小さい箇所も見受けられた。10m弦高低変位の急進直前の最大値は、最小0.23mm程度から最大1.06mm程度の範囲であった。しかし、図10や図11に示すように、10m弦高低変位が漸進的に進行している箇所でも、ある程度25mロット高低検測差最大値は大きい、その値が良化していたり振幅にばらつきがあったりする。

以上のように、今回の検討箇所においては、高低検測差は5m弦高低変位ほど10m弦高低変位の経時変化と明確な相関がみられず、その値にばらつきがあった。高低検測差は、1mm未満の非常に小さい値を用いる指標であり、構造物境界等の影響が含まれること、また今回は下部構造を考慮していないこと等から、検討対象とはしないことにした。今後は、下部構造を含めた変位特性を考慮することが必要である。

4. 高低変位急進箇所検出手法の検証

3.2節に示したとおり、ここでは複数の評価指標を組み合わせて、多段階での抽出法を考える。具体的には、図5、図6等から、(a)5m弦高低変位-10mm以下の箇所、(b)(a)以外の箇所、5m弦高低変位-6mm以下かつ10日換算の変位進みが-1mm以下、という2段階の抽出手法が、急進形態が異なるパターン②の箇所についても適用できるか検討した。

その結果、変位増加傾向の時期を明確に示すことには適用できなかったが、少なくとも図12に示すとおり、10m弦高低変位が-7mmを超過する1検測前では全ての箇所を(a)、(b)の2段階の方法で抽出できることがわかった。

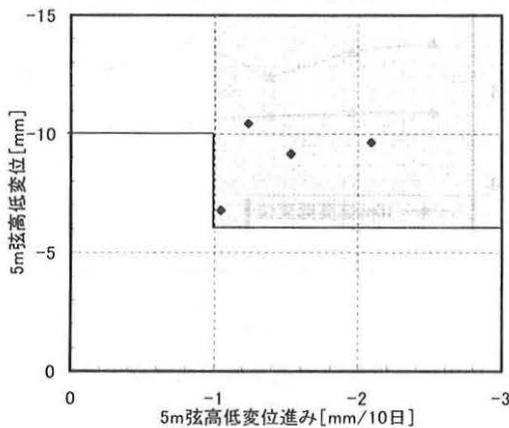


図12 パターン②における10m弦高低変位-7mm超過2検測前の5m弦高低変位と進みの関係

次に実務を考慮して、-7mmを超過していない時期の検測データを用いて、検測車走行後の現場調査等を勘案した妥当性を検証した。図13に、その時期の1検測前の5m弦高低変位とその進みの関係を示す。1ロット長を25mとすると、5m弦高低変位が-10mm以下は9ロット、5m弦高低変位が-6mm以下は235ロット、10日換算の5m弦高低変位進みが-1mm以下は17ロット、高低変位-6mm以下かつ高低変位進み-1mm以下は11ロットであった。それぞれ単独で判定した場合では最大235ロットとなり、次回の検測時に急進する可能性がある箇所として抽出されることになる。それに対し、前述の(a)、(b)を組み合わせると、急進が予測される箇所は19ロットとなる。しかし上述のように、図12で対象と

したデータは、全ロットで急進が発生していない検測日のものであり、これらの18ロットは実際には急進箇所を正しく抽出したものではない。

このように、2年程度の期間で発生した急進箇所を、軌道検測データのみから抽出する目安として、表1が得られた。この値を用いることにより、現場調査対象箇所が増えるが、新幹線の安定輸送を確保するためにも有効であると考えられる。

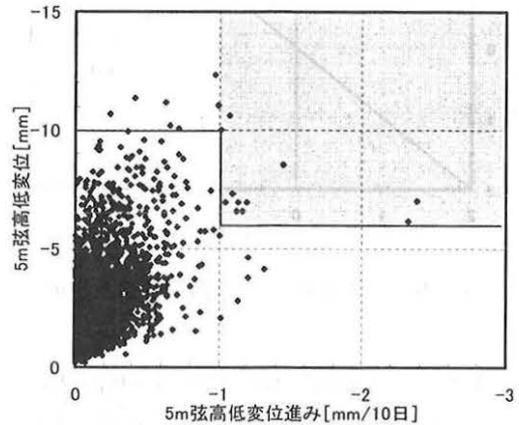


図13 急進箇所を検出していない時期の5m弦高低変位と進みの関係

5. まとめ

本研究では、10m弦高低変位急進の変化点を、過去に発生した急進箇所において、10m弦以外での各種指標により、急進的な軌道変位進みの予兆を、軌道検測データのみを使用することで抽出する手法を検討した結果を以下にまとめる。

- (1) 10m弦高低変位急進箇所の抽出には、5m弦高低変位量、あるいはその変位進みからある程度抽出できる可能性がある。
- (2) 10m弦高低変位急進箇所では、それを含む25mロットの5m弦高低検測差最大値は相対的に大きく、その急進直前は0.23mmから1.06mmの範囲にあるが、急進箇所を明確に抽出するにはばらつきが大きい。
- (3) 10m弦高低変位急進箇所における直前の軌道変位の変化量は、5m弦高低変位の方が大きく、10m弦高低変位が漸進的な進みの時期から5m弦高低変位進みは徐々に進行しており、かつその変化点は概ね-6mm以下である。
- (4) 10m弦高低変位進みの変化点は、5m弦高低変位進みが概ね10日換算で-1mm以下である。
- (5) 10m弦高低変位急進箇所の抽出は、5m弦高低変位が-10mm以下と、5m弦高低変位-6mm以下かつ10日換算の5m弦変位進みが-1mm以下の値が有効である可能性が考えられる。

参考文献

- 1) 森本勝：偏心矢測定による軌道状態の把握手法、鉄道技術連合シンポジウム、pp.417-420, 2002.
- 2) 榎本裕介、安達修一、横内典博：短波長軌道狂いの着目した軌道管理手法の確立、第63回土木学会年次学術講演会概要集、IV-030, 2008.