

新たな軌道変位進み予測モデルの提案

軌道技術研究部 軌道管理
研究室長 古川 敦

1. はじめに

バラスト軌道の設計や軌道保守計画の策定の際には、軌道構造や線路線形、輸送条件に応じた軌道変位進みの予測が必要となる。これに対し、レール継目部と中間部の輪重変動に着目した新しい高低変位進みモデルを考案した。ここではこの新しいモデルの概要と、実務への適用法について紹介する。

2. 軌道変位進み予測モデルの構造

2.1 従来の軌道変位進み予測法の概要

バラスト軌道では、列車荷重の繰り返しのよって道床バラストが漸進的に変形する。この変形が全線にわたって一様であれば列車の走行に支障しないが、実際

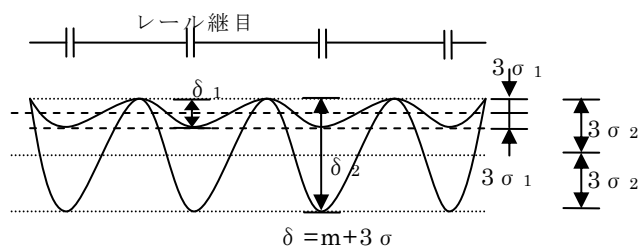


図1 設計標準での軌道変位進みモデル

には地点毎に不均一であり、この不均一さを一般に軌道変位（軌道狂い）と呼んでいる。したがって、軌道変位進みを予測するためには、変形量の地点毎の不均一さをどのように評価するかが重要となる。

このような問題に対し、鉄道構造物等設計標準・同解説〔有道床軌道〕（案）¹⁾（以下、「設計標準」という。）では、図1のように、レール中間部では軌道は変形せず、継目部のみが変形し、かつその全振幅が軌道変位標準差 σ の6倍であると仮定したモデルを使用している。このモデルは、同一の軌道構造および輸送条件における平均的な軌道変位進みを予測するものであり、地点毎の軌道変位進みのばらつきは説明できない。これに対し、地点毎の軌道変位進みを、過去の軌道検測データから統計的に予測するモデル²⁾も開発されているが、このモデルでは、地点毎の軌道構造の違いが将来の軌道変位にどのように影響するかを力学的に説明できず、そのままでは設計に適用できない。

上記の背景に対し、本稿では設計標準で用いられているモデルを補正し、軌道構造や運転条件の違いなどを考慮しつつ、地点毎の軌道変位進みを推定できるモデルを提案する。

2.2 軌道変位進み予測モデル作成にあたっての仮定

新たな軌道変位進み予測モデルの作成にあたって、以下の3つの仮定をおく。なお、ここでは高低変位を対象としている。

- (1) 軌道変位は、中間部と継目部（溶接部を含む）との軌道沈下量の差によって発生する。
- (2) (1)の沈下量の差は、中間部と継目部との輪重の違いによって発生する。
- (3) 軌道変位進みの速さは継目の状態に依存する。したがって継目毎に固有であり、軌道保守（つき固め）作業の前後で変化しない。

実際の軌道では、もちろん(1)の仮定は成立しない。例えば構造物境界など、軌道の支持剛

性が急変する箇所では高低変位進みが速いことが指摘されているが、均質な構造物の上に敷設された軌道であれば、(1)の仮定が一般的に成立するとしても大局的には問題がない。

(2)については、普通継目の場合は軌道剛性の違いも重要な要素と考えられるが、軌道の沈下⇨道床バラストの沈下とすれば、まくらぎ下面圧力の違いこそが重要となる。一般に普通継目では、レール剛性の小ささを補うために大判まくらぎを用いてまくらぎ下面圧力を小さくしている。したがってここでは、継目部の沈下量が大きいのは、継目部で発生する輪重が中間部よりも大きいことが主たる原因と仮定する。

(3)については、実データからこれを検証した。結果は2.4節で紹介する。この結果から、仮定(3)は、レール削正やバラスト交換などが行われぬ限りにおいて成立すると判断した。

2.3 新たな高低変位進みモデル

以上の仮定に基づき、図2に示す軌道変位進みモデルを提案する。モデルの構造は以下のとおりである。

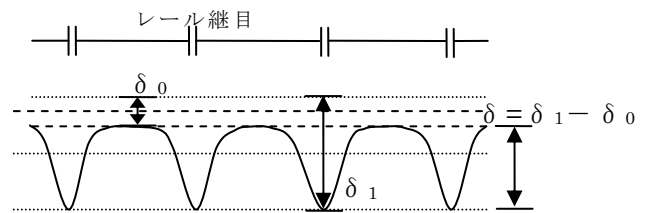


図2 本研究で提案する軌道変位進みモデル

- (1) 高低変位 δ は、継目部での軌道沈下量 δ_1 と一般部での軌道沈下量 δ_0 との差である。一般部の沈下量 δ_0 は、一般部における動的輪重と道床バラストの沈下則から定まる。同様に継目部の沈下量 δ_1 は、継目部における動的輪重と道床バラストの沈下則から定まる。
- (2) 継目部における軌道の变形量は、波長 10m 以下の局所的なものである。したがって継目部における 10m 弦正矢高低変位の値を、そのまま $\delta_1 - \delta_0$ とみなせる。

ここで、それぞれの動的輪重 P_{dy} は以下の式で求める。

一般区間
$$P_{dy} = P_{st} + 3 \times \Delta P_{sp} \dots\dots\dots (1)$$

継目部等
$$P_{dy} = P_{st} + 3 \times \Delta P_{sp} + \Delta P_{unsp} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 P_{st} : 静止輪重、 ΔP_{sp} : 高低変位による輪重変動
 ΔP_{unsp} : 継目部における衝撃的な輪重

本モデルでは、式(1)の輪重による沈下量と式(2)の輪重による沈下量との差を高低変位とするので、式(2)の第3項の ΔP_{unsp} が特に重要となる。これは、設計標準では、次の式で算出することとしている。

$$\Delta P_{unsp} = P_{st} \times \eta \times V / 100 \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 V : 列車の時速、 η : 継目衝撃率 (溶接部の状態に応じた正の値)

設計標準では、継目衝撃率 η に相当するパラメータを「速度衝撃率」と呼んでおり、シミュレーションによる結果に基づいて、例えば在来線特急型車両の溶接部削正ありの場合で 0.14 とされている。実際の η はある確率分布にしたがって分布すると考えられるが、この η が継目ごとに固有でありかつ実際の高低変位進みと相関があれば、上述のモデルで高低変位進みを説明できることになる。

2.4 モデルの検証

上記のモデルの妥当性を、実際の高低変位進みデータを用いて検証した。対象線区は、在

来線ロングレールの直線区間、通トン 1,100 万～2,200 万トン、設計最高速度 130km/h) である。検証の手順は以下のとおりである。

- (1) ロングレール溶接部における実際の高低変位進みの算定
- (2) 継目衝撃率 η を変数とした高低変位進みの推定
- (3) (1) による実測の高低変位進みと(2)の推定値が一致するように η を算定
- (4) 同一地点の保守前後の η の比較

以下具体的な結果を、順を追って示す。

- (1) ロングレール溶接部における実際の高低変位進みの算出

一定時間を隔てた 2 回以上の軌道変位検測データから、単位時間あたりの高低変位進みを算定した。異なる 2 箇所の溶接部における高低変位の経時変化の例を図 3 に示す。

- (2) 継目衝撃率 η を変数とした高低変位進みの算出

式(1)および式(2)の輪重を入力とし、設計標準を用いて軌道沈下量を算出する。両者の差を高低変位進みとする。その際、軌道変位進みを式(2)の第 3 項である継目衝撃率 η の関数として表す。

- (3) 実測の高低変位進みと合うように η を算定

(2)で算定した高低変位進みの推定値と、(1)で単位時間あたりの高低変位進みの実測値とが一致するよう、この地点における η を算定する。

- (4) 同一箇所の 2 つの期間の η を算定

各継目において、期間 A の高低変位から求めた η と期間 B から求めた η を比較した。結果を図 4 に示す。同図から、継目衝撃率 η は軌道保守前後でほぼ等しいことがわかる。すなわち、軌道構造が大きく変わらない限り、 η は地点固有である。したがって第 2.2 節の仮定(3)は妥当と判断できる。さらにこのことから、継目毎の η がわかれば、各継目の高低変位進みが予測できることになる。

- (5) 継目衝撃率 η と軸箱上下新藤加速度との比較

継目衝撃率 η が継目毎に固有とした場合、その大きさは継目部で発生する輪重と一対一に対応すると考えられる。輪重の測定は困難であるため、軌道検測車で測定した軸箱上下振動加速度（以下、「軸箱加速度」という。）と継目衝撃率 η とを比較した。結果を図 5 に示す。なお、軸箱加速度は当該継目部を含む 25m ロット最大値の左右平均値を用いている。また、軸箱加速度は測定車両の走行速度に依存するので、図 4 に示す各点のうち走行速度がほぼ等しい（96～97km/h）地点のものを用いた。

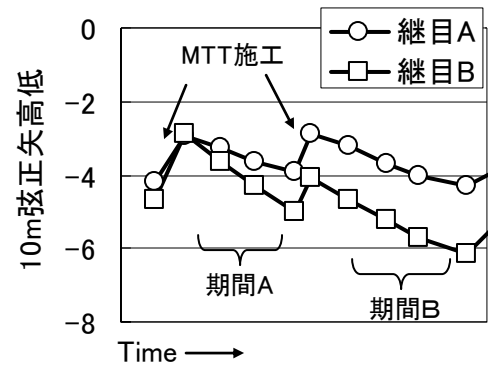


図 3 高低変位経時変化の例

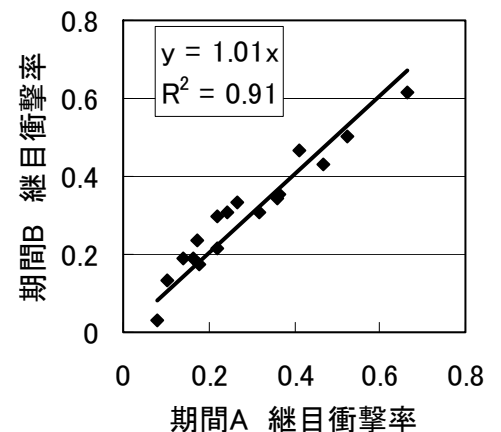


図 4 同一溶接部の 2 期間の継目衝撃率 η

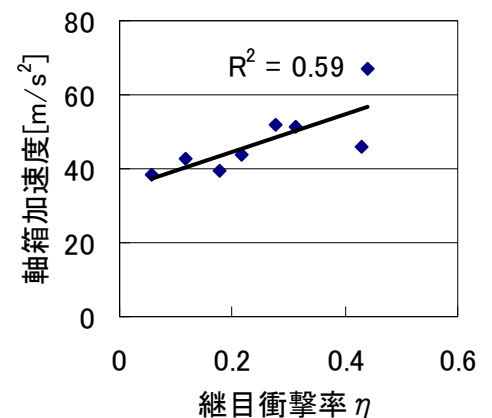


図 5 継目衝撃率 η と軸箱上下加速度との関係

図5より継目衝撃率 η と軸箱加速度の値には弱い相関があることがわかる。このことから、 η は輪重変動とも相関が高いといえる。したがって、継目部と一般部との輪重の違いが高低変位進みに影響しているという本モデルの妥当性が確認されたものと考えられる。さらにこのことは、軸箱加速度から高低変位進みが推定できる可能性を示唆している。

3. 高低変位進みモデルの予測例

ここまで述べてきた高低変位進みモデルを用いて、実際の高低変位進みの予測を行った。具体的には期間Aから算出した継目衝撃率 η を用いて期間Bの高低変位進みを予測し、実測値との比較を行った。図6に結果を示す。同図より、高低変位進みが大きくなると実測値と予測値との差が大きくなるが、本モデルによって一定の精度で高低変位進みが予測できているといえる。

4. バラスト軌道の設計への適用

3章の予測結果は、高低変位の実測値や軸箱加速度から、継目衝撃率 η が推定できている場合のものである。新設線の軌道構造設計等の場合は η が未定であるため、過去の事例などから適切な値を設定する必要がある。例えば文献3)では、在来線における η の25mロット最大値の95%発生確率を、定尺区間で0.74、ロングレール区間で0.47としている。このような方法で η を設定した場合の、バラスト軌道の設計フローは図7となる。

5. おわりに

本報告で提案した軌道変位進みは、実際の軌道状態に応じた高低変位が予測できるよう、設計標準で用いられているモデルを改良したものである。今後は、様々な軌道条件、運行条件のもとで本モデルの妥当性を検証するとともに、バラスト軌道の性能照査設計に対応すべく、具体的な設計手順を確立する予定である。

参考文献

- 1) 運輸省鉄道局監修：鉄道構造物等設計標準・同解説[有道床軌道]（案）、1997.3.
- 2) 森本勝、三和雅史：第52回土木学会年次学術講演会第IV部、1997.9.
- 3) 桶谷栄一、古川敦、福山幹康：J-Rail2007、2007.12.

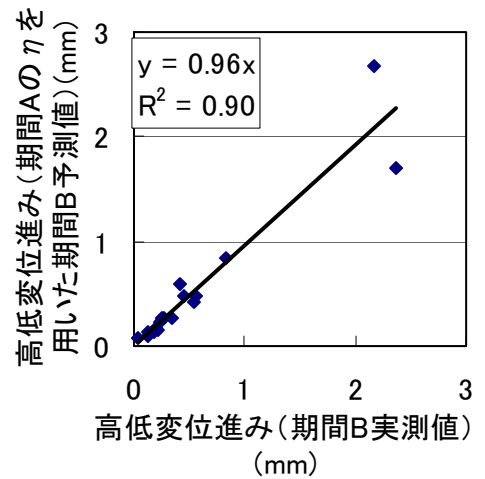


図6 高低変位進みの実測値と予測値の比較

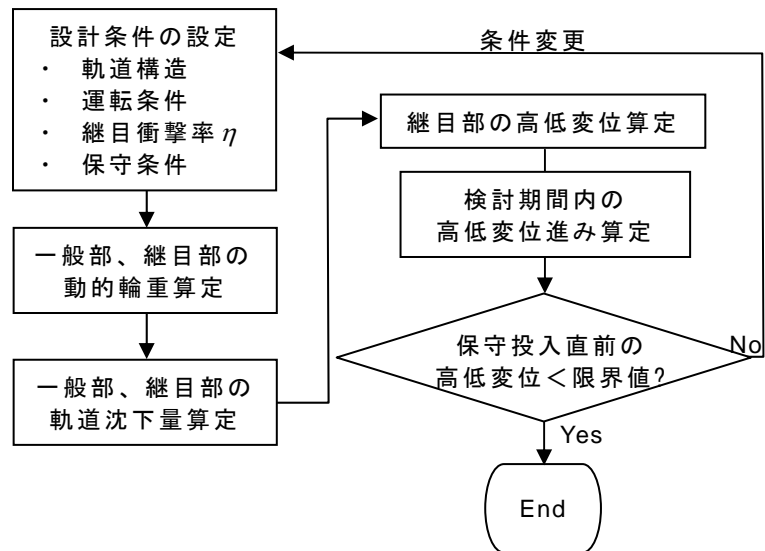


図7 バラスト軌道の設計手順