

バラスト軌道の軌道変位進み予測手法の比較と初期沈下の実態調査

鉄道総合技術研究所 正会員 ○山崎 雅仁

鉄道総合技術研究所 正会員 古川 敦

1. はじめに

バラスト軌道における軌道構造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、従来からいくつかの軌道変位進みの予測モデルが提案されている。本稿では、これらの予測モデルによる予測値と実測値から、各予測モデルの特徴を比較した。合わせて、予測にあたって必要となる保守直後の軌道の初期沈下の実態を調査した。以下、その結果を紹介する。

2. 軌道変位進み予測モデルの概要

本稿では、以下の3種類の軌道変位進み予測モデルを対象に、実測軌道変位進みとの比較を行った。

- ①軌道変位進み予測S式（以下、「S式」という。）として用いられている、1970年代の軌道状態と列車運行条件に基づいた統計解析による方法¹⁾
- ②現在の鉄道構造物等設計標準・同解説 [有道床軌道]（案）²⁾で採用されている、軌道の塑性変形はレール継目部のみで発生し、その全振幅は軌道変位の標準偏差の6倍とするモデル。
- ③筆者らが提案したモデルで、②を改良し、レール継目部と中間部の塑性変形量の差を軌道変位とする方法³⁾

3. 軌道変位進み予測モデルの比較

各軌道変位進み予測モデルの妥当性を検証するために、実際の高低変位進みデータを用いて検証を行った。分析対象区間は、在来線ロングレールの直線区間（年間通過トン数約1,100万トン/年、設計最高速度130km/h）である。

図1は、分析対象線区の軌道保守の翌日に行った軌道検測による10m弦正矢高低変位を0としたときの、軌道保守後の通過トン数と高低変位進み（高低変位振幅の増加分）との関係を示したものである。破線は継目毎の高低変位進みの推移を表している。図中には、①～③の予測モデルによる予測値の関係を併せて示す。なお、②の設計標準の予測値は高低変位の標準偏差の6倍としている。また、③のモデルにおいて継目衝撃率 η は実際の輪重の確率分布から求めた95%確率値の0.47を用いている⁴⁾。

これらの図から、軌道変位はまず急進的な初期沈下が起り、その後の進みは漸進的であることがわかる。そのため、①のS式の非線形モデルが傾向としては実測値に近い。ただし、初期沈下はばらつきが大きく、S式を用いても正確な予測は難しい。

そこで、初期沈下が落ち着いてから軌道変位進みがどのように進行するかを検討するために、図1と同条件で、軌道保守から約200万トン通過後の高低変位を初期値0としたときの高低変位進みを図2に示す。

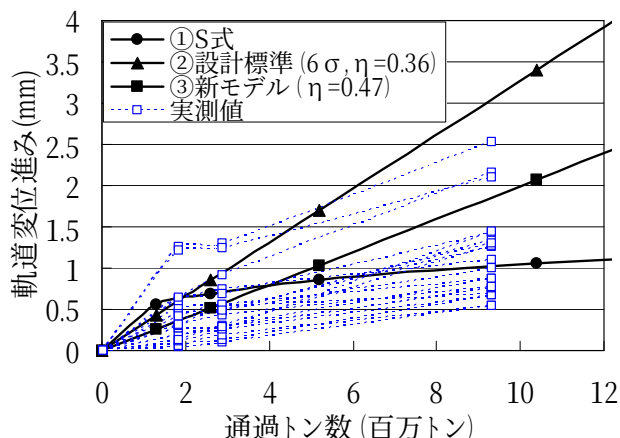


図1 軌道変位進みの実測値と予測値の比較

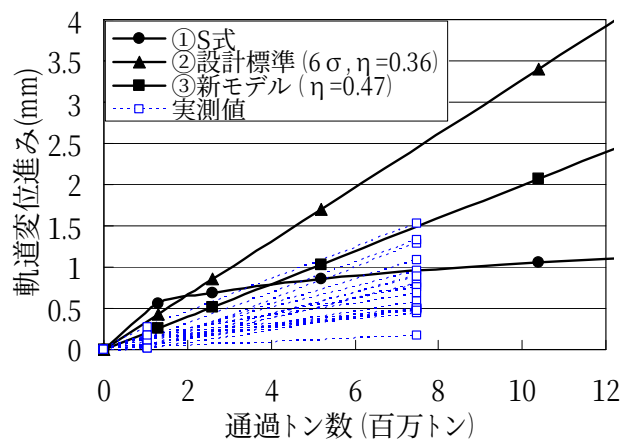


図2 約200万トン通過後を初期値とする
軌道変位進みの実測値と予測値の比較

キーワード 軌道変位進み, 軌道変位進み予測モデル, 輪重変動, 設計標準, 初期沈下

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部(軌道管理) TEL 042-573-7278

初期沈下収束後の軌道変位進みの実測値は、通過トン数に対しほぼ比例していることがわかる。予測モデルと比較すると①S式は、通過トン数の0.35乗に比例して軌道変位が進むため、初期沈下過程では実態に合った予測値を与えるが、通過トン数が増えるにつれて過小評価となる。一方、②の設計標準のモデルは、通トンに対し高低変位進みが比例関係である点は実測値と同様であるが、予測結果は過大評価となっている。③の筆者らの予測モデルでは、実測値の95%確率の継目衝撃率 η^4)を用いることで、ほぼ軌道変位進みの最大値を推定できている。

4. 軌道保守直後の初期沈下の実態調査結果

前述のように、保守後の軌道では初期沈下を生じるため、軌道変位進みの予測には初期沈下の予測が必要となる。しかし、初期沈下にはつき固め直後のバラスト状態等の影響が大きく、定量化が困難である。そこで図3の模式図に示すように、軌道保守直後の軌道変位を図中のcではなく、仮想的な初期沈下を考慮したbとすることで、高低変位進みが通トンに対し線形とするモデルを適用することとする。

ここでは、保守前後の軌道検測データから、軌道保守前の軌道変位(図3の a+b)と初期沈下収束後の軌道保守後軌道変位(同 b)を推定した。さらに保守前の軌道変位を1とした場合の軌道保守後の軌道変位を残存率 G_{yj} と定義して、軌道保守前後の軌道変位進みの実測値から残存率 G_{yj} の実態を検証した。なお、 G_{yj} は式(1)を用いて算出した。

$$G_{yj} = \frac{b}{a+b} \quad (1) \text{ ただし、a:改善量、b:保守後軌道変位}$$

分析対象区間は前章と同様、在来線ロングレール直線区間の複数の継目である。また、軌道保守前の軌道変位が小さい継目の場合、誤差が大きくなり残存率の算出が困難になるため、軌道保守前の軌道変位が-10mm以下の継目(N=104箇所)を対象としている。軌道保守前の軌道変位と残存率 G_{yj} の関係を図4に、残存率の頻度分布を図5に示す。当該区間の残存率 G_{yj} はばらついてはいるが平均すると0.45、標準偏差は0.25であった。

5. まとめ

- (1) 軌道保守を行った直後の軌道変位進みは、初期沈下により高低変位は通トンに対し非線形に進展する。初期沈下が収束した後の軌道変位進み予測は通過トン数に比例する傾向にあり、筆者らのモデルにより実測値の最大値を推定できる。
- (2) 初期沈下の影響を考慮するために軌道保守後の残存率を推定したところ、平均して保守前の0.45倍であることがわかった。

参考文献

- 1) 杉山徳平：軌道狂い進みの実態調査とその解析，鉄道技術研究報告，No.1081，1978.7
- 2) 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
- 3) 山崎雅仁、古川敦：バラスト軌道の軌道変位進みの予測法の提案，J-Rail2007，2007.12
- 4) 桶谷栄一、泉英治、福山幹康：レール継目部等通過時の衝撃的な輪重・横圧の実態調査と推定法，J-Rail2007，2007.12

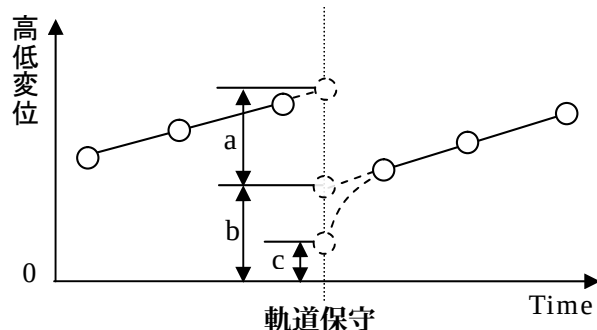


図3 軌道変位進みの時系列の模式図

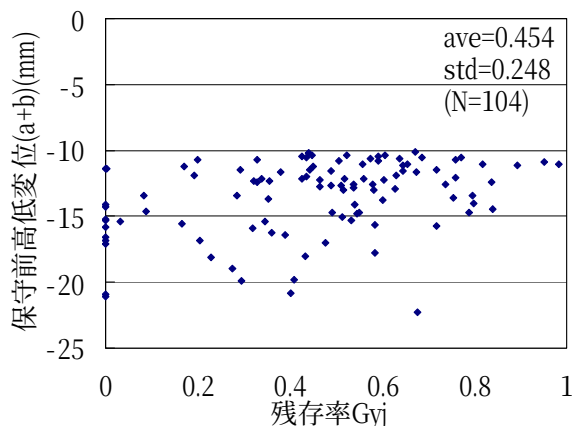


図4 保守前の高低変位と残存率の関係

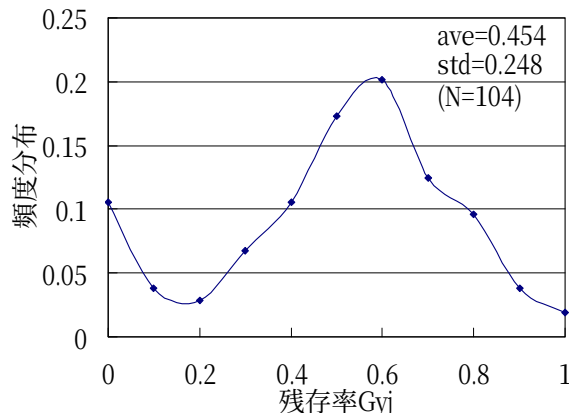


図5 残存率の頻度分布