

3508 材料状態を考慮した軌道変位推移予測モデルの構築

正 [土] ○吉田 尚史 (鉄道総研) 正 [土] 矢坂 健太 (鉄道総研)

正 [土] 三和 雅史 (鉄道総研) 正 [土] 安部 聡 (JR 西日本)

Modeling the degradation process for railway track irregularity growth by considering track material condition

Takafumi YOSHIDA, (Railway Technical Research Institute), 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo

Kenta YASAKA, Masashi MIWA, (Railway Technical Research Institute)

Satoshi ABE, (West Japan Railway Company)

For making an effective track maintenance plan, it is important to predict the degradation process of railway track irregularity with high precision. Regarding the prediction model for short-term degradation process, we developed a model before. In this paper, we propose the degradation model for long-term railway track irregularity growth by considering track material condition such as rail and ballast, and those historical data.

Keywords : track irregularity growth, degradation process of railway track irregularity, track material condition, prediction model

1. はじめに

効率的な軌道変位(高低変位)保守計画の作成には、軌道変位の推移の適切な予測が重要である。ここで、保守計画を作成する対象期間が1年程度であれば、過去の履歴から得られた軌道変位進みをそのまま適用する予測モデル¹⁾を用いればよいが、長期的な保守計画を作成する場合には、レールや道床等の軌道材料の経年劣化による軌道変位進みの増加を考慮して軌道変位推移を予測する必要がある。このような材料劣化を考慮した軌道変位進みの予測モデルは過去にも提案例があり²⁾、そこでは力学的なモデルを基本として予測を行っている。しかしながら、一般に、軌道変位進みは同一の軌道条件等であっても箇所によって差があるため、各箇所の推移の特性をある程度考慮する必要がある。つまり、力学的に妥当なモデルを基本としつつ、各箇所の特性をも考慮できる予測モデルの構築が望まれる。

以上のことから本研究では、上記モデルを構築するための基礎的な検討として、個々の箇所の材料状態を考慮した軌道変位進みの予測モデルを提案し、その妥当性を評価した。

2. 従来のモデル

文献1に示すMTTの年度保守計画を作成するようなシステムでは、過去の履歴から軌道変位進みを算出し、今後1年間も同じ進み量が継続すると仮定している。図1にt年度とt+1年度、t+2年度の軌道変位進みの各年度平均値の比較例(25m ロット軌道変位標準偏差)を示す。図より、t年度とt+1年度の軌道変位進みは近いが、t+2年度の進みとの間ではばらつきが増加していることがわかる。これには各箇所の材料状態の劣化等による影響が考えられる。よって、長期的な軌道変位推移を適切に予測するには、各箇所の材料状態等を考慮する必要がある。

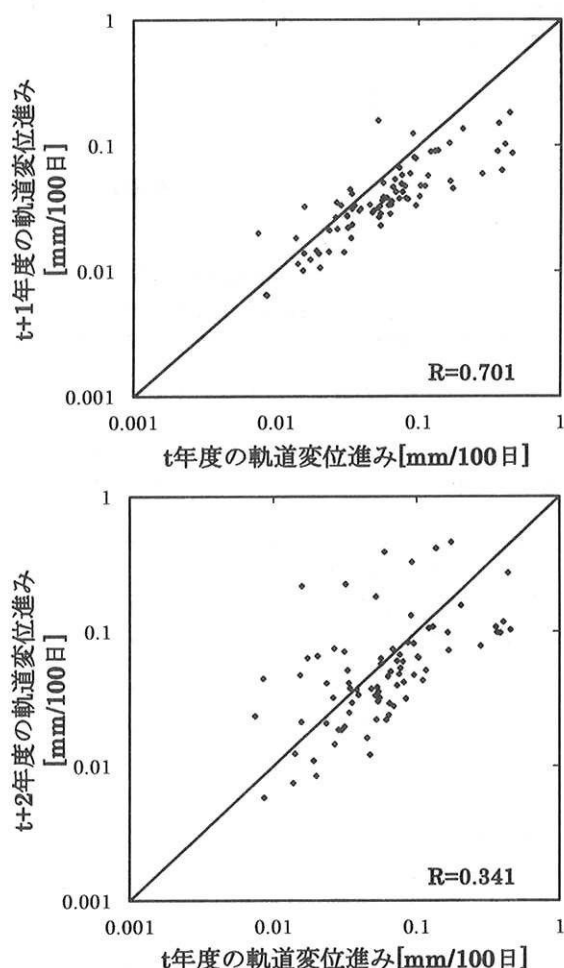


図1 軌道変位進み推移の経年による変化

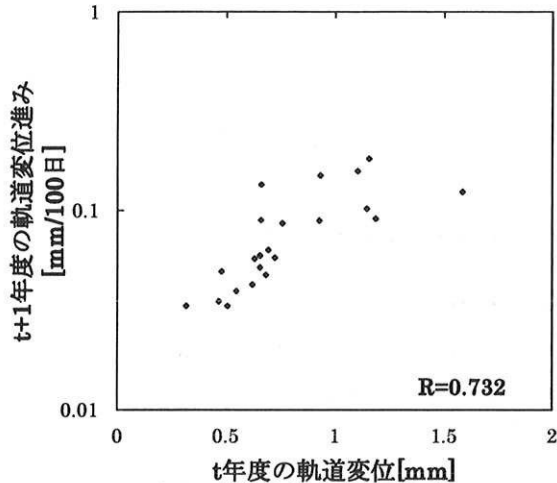


図2 軌道変位と軌道変位進み

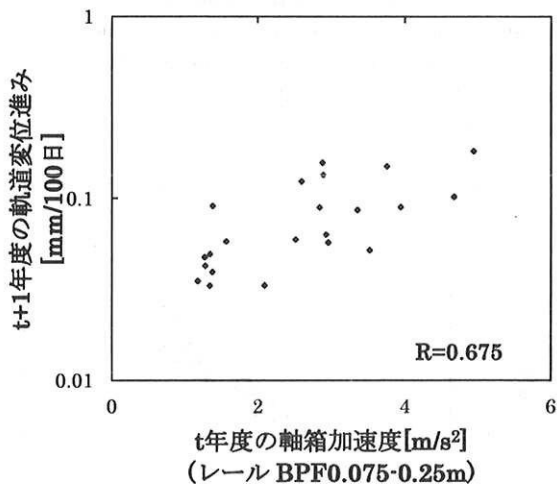


図3 軸箱加速度(レール凹凸分)と軌道変位進み

このような長期的な軌道変位推移の予測モデルに関する先行研究として、軌道変位量、レール状態、道床状態を考慮して軌道変位進みを予測するモデルが提案されている²⁾。これはシミュレーションにより軌道変位、レール状態、道床状態の将来の推移を予測するモデルであり、軌道構造や車両・運転条件を入力とする力学的なモデル³⁾に基づいて構成されている。本モデルは、種々の条件が変化した際にも推移を予測できるという利点がある反面、各箇所の履歴データを考慮したものではないため、各箇所の特性や実状を反映することができない。一般に、軌道構造等の条件が同じであっても、箇所によって軌道変位進みは異なる。よって、文献2の考え方を基本として、各箇所の履歴データを考慮した推定モデルを検討する。

3. 提案するモデル

3.1 モデルの構造

以上のことから、本稿では以下の予測モデルを提案する。一般に、輪重変動が大きいと動的な輪重が増えるため、軌道変位進みは大きくなると考えられる。そこで、図2～4に、 t 年度の軌道変位(図2)、軸箱加速度(レール凹凸)に対応する成分[波長 0.075~0.25m](図3)および道床劣化に対応する成分[波長 2~5m](図4)の各平均値と $t+1$ 年度の軌道変位進みの平均値の関係を示す。なお、今回

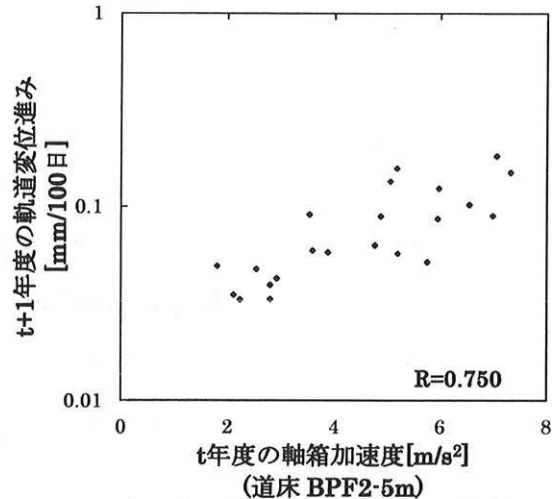


図4 軸箱加速度(道床劣化分)と軌道変位進み

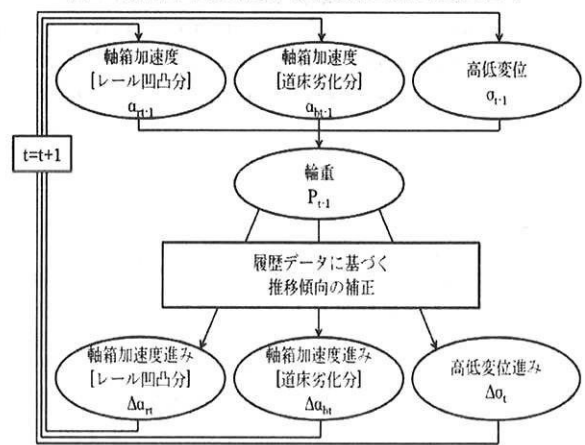


図5 軌道状態経時変化モデル

分析対象としたデータは、走行速度が 200~270km/h のものとした。これらの図から、 t 年度における軌道変位や軸箱加速度が大きいと、翌年度、つまり $t+1$ 年度の軌道変位進みが大きい傾向にあることがわかる。よって、これらの状態に対応して発生する輪重が軌道変位進みに影響すると考えられる。

以上より、ここでは図5のようなモデルを提案する。このモデルでは以下の処理を1年単位で繰り返して将来の状態推移を予測する。

まず、軸箱加速度と軌道変位から輪重を推定する。本モデルではこの輪重をレール凹凸に起因する分、道床劣化に起因する分、軌道変位に起因する分の3つに分けて考え、以下の推定式⁴⁾により算出する。

$$P = P_{st} + \Delta P_r + \Delta P_b + \Delta P_y \quad (\text{式1})$$

$$\Delta P_r = a(M/2)\alpha_r$$

$$\Delta P_b = b(P_{st}/g)\alpha_b$$

$$\Delta P_y = e^{-11.057} \times P_{st}^{0.7461} \times V^{1.6527} \times Z^{1.0061}$$

ここで、

P : 推定輪重[kN]

P_{st} : 静止輪重[kN]

ΔP_r : 変動輪重(レール凹凸分)[kN]

ΔP_b : 変動輪重(道床劣化分)[kN]

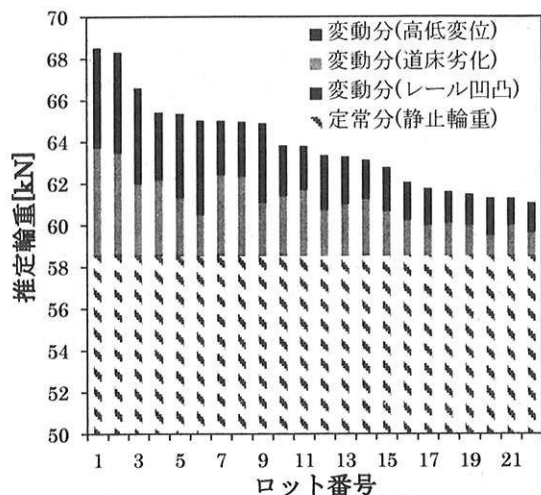


図 6 各ロットの推定輪重

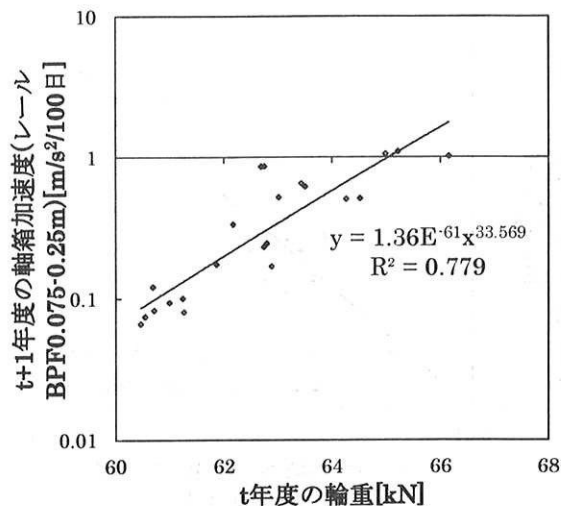


図 9 輪重と軸箱加速度(レール凹凸)進み

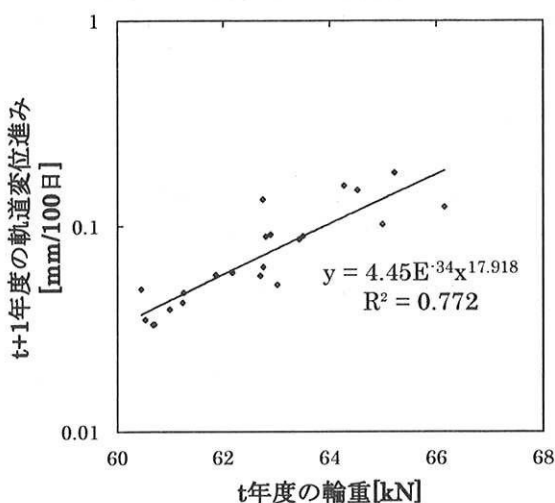


図 7 輪重と軌道変位進み

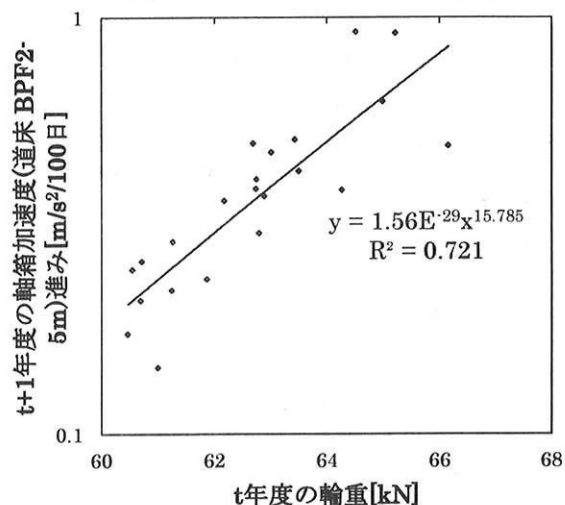


図 10 輪重と軸箱加速度(道床劣化)進み

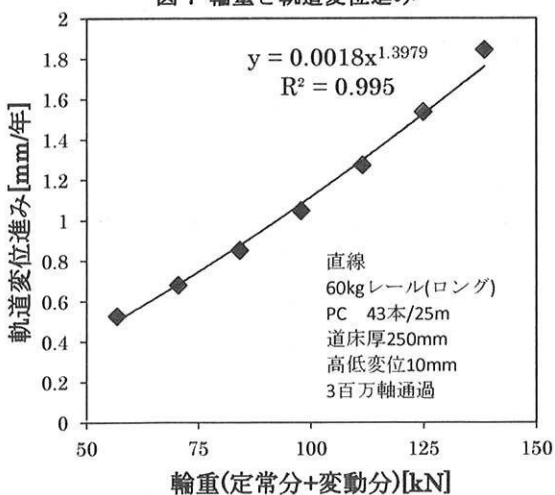


図 8 設計標準における輪重と軌道変位進みの関係

ΔP_y : 変動輪重(軌道変位分)[kN]

a, b: 補正係数

M: 輪軸質量[kg]

g: 重力加速度[m/s²]

α_r : 軸箱加速度[m/s²]

(レール凹凸に対応する分[波長 0.075~0.25m])

α_b : 軸箱加速度[m/s²]

(道床劣化に対応する分[波長 2~5m])

V: 速度[km/h]

z: 軌道変位[mm]

本式により推定した輪重の例を図 6 に示す。ここに示した箇所は高架橋上の直線、ロングレール軌道であり、定期的にレール削正が行われている。このため、輪重変動の多くは道床劣化に伴う 2~5m の軌道面の不正、及び軌道変位によるものであることがわかる。このようにして得られた輪重と軌道変位進みの関係を図 7 に示す。ここでも輪重については t 年度の平均値を用い、軌道変位進みについては t+1 年度の平均値を用いる。この図より、t 年度の輪重と t+1 年度の軌道変位進みの間には十分大きな相関があることがわかる。この輪重と軌道変位進みの関係については、平成 23 年 12 月に制定された軌道構

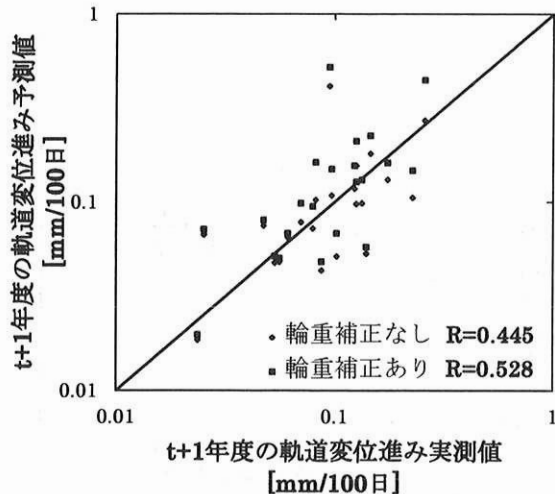


図 11 軌道変位進み実測値と予測値比較

造設計標準⁵⁾によれば図 8 のように表すことができる。この関係に対して、いくつかの曲線をあてはめると、図中に示すような形の曲線の適合性が高いことがわかった。図 7 に示した実測値においてもこの形の関係に対するあてはまりはよい。よって、次式を輪重と軌道変位進みとの関係を表す基本式とする。

$$\Delta \sigma = cP^d \quad (\text{式2})$$

ここで、

$\Delta \sigma$: 軌道変位進み

このうち、係数 d は、一般に「弾性力(elasticity)」と呼ばれるものであり、 P が 1% 変化すると $\Delta \sigma$ が $d\%$ 変化することを表している。係数は軌道条件や道床条件によって変化すると考えられ、例えば軌道構造等が同じであっても道床状態が不良な箇所では d は増加すると考えられる。

次に、軌道変位進みを算定する。算定には先に示した基本式を用いるが、これを直近の軌道変位進みデータの補正に用いる。補正式は次の通りである。

$$\Delta \sigma_{t+1} = \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)^d \Delta \sigma_t \quad (\text{式3})$$

ここで、

σ_t, σ_{t+1} : $t, t+1$ 年度における軌道変位進みの平均値
 P_{t-1}, P_t : $t-1, t$ 年度における推定輪重の平均値

本式は、基本式(式 2)により得られる軌道変位進みと軌道変位進みの実測値が常に一定の比の関係にあると仮定して算出したものである。本式を用いることで、輪重との変化率を用いて各年度における軌道変位進みを補正し、次年度の軌道変位進みを予測することができる。

ところで、 t 年度における輪重と $t+1$ 年度の各軸箱加速度の進みとの関係についても図 9 と図 10 に示す。軸箱加速度についても図 7 と同様に高い相関が認められ、同様の曲線に対するあてはまりも図 7 と同程度のよさが認められることから、軸箱加速度の進み量についても式 2 に示す基本式や式 3 に示す補正式を適用できるものと考えられる。

3.2 予測例

構築したモデルにより軌道変位進みを予測した例を図 11 に示す。この図では、式 3 に示した輪重による補正を行った場合と行わなかった場合(t 年度での軌道変位進み $= t+1$ 年度での軌道変位進み)を比較して示す。この図より、1 年程度の予測では補正の有無では予測結果に大きな差はないことがわかる。これは、文献 1 に関する記述において示したように、1 年程度の予測であれば過去の履歴データをそのまま適用して十分精度は高いことを表していると考えられる。よって、更に長い予測期間での比較が必要であり、今後、データ数を増やして評価することが課題である。また、補正の有無に関わらず値がばらついていることから、このばらつきを縮小するための検討も必要である。

4. 終わりに

本研究では、長期的な軌道変位進みの予測手法として、個々の箇所の軌道材料状態を考慮した予測を提案し、予測を行った。その結果、1 年程度の予測では輪重による補正をしても、実測値と予測値には大きな差が出ないことがわかった。

今後の課題として、更に長い期間の軌道変位進みの予測を行い、本補正法の妥当性を検討することが挙げられる。同時に、補正の有無に関わらず発生するばらつきに関しても、縮小法の検討を行う。また、短期予測と長期予測での予測手法の適切な使い分けについても課題として挙げられる。

ところで、本研究における分析の過程において、季節変動のような一定でない軌道変位推移を示す箇所がいくつか見られた。軌道変位進みが単調に増加せず、増加したり減少したりする箇所については予測方法の検討が必要であると同時に、そのような箇所の検出法の開発も課題である。

参考文献

- 1) 河西智司, 三和雅史, 近藤篤: MTT 保守計画モデルによる保守計画の作成とその評価, J-RAIL2003, pp.161-164, 2003
- 2) 内田雅夫, 三和雅史: 材料劣化を考慮した軌道狂い経時変化の予測モデル, 鉄道総研報告, 第 11 巻, 2 号, pp.1-6, 1997
- 3) 内田雅夫, 石川達也, 名村明, 高井秀行, 三和雅史: 軌道狂い進みに着目した有道床軌道の新しい設計法, 鉄道総研報告, 第 9 巻, 4 号, pp.37-42, 1995
- 4) 須永陽一, 佐野功, 井出寅三郎: 高速新幹線における短波長軌道狂いの検出法, 鉄道総研報告, 第 13 巻, 第 5 号, pp.11-16, 1999
- 5) 国土交通省鉄道局監修: 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, 丸善出版, 2012