

材料状態を考慮した軌道状態の長期推移予測モデルの構築

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○吉田 尚史, 矢坂 健太, 三和 雅史

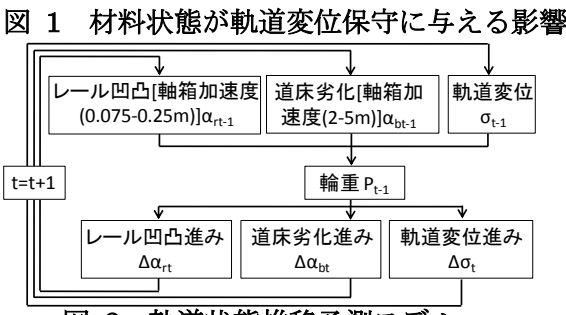
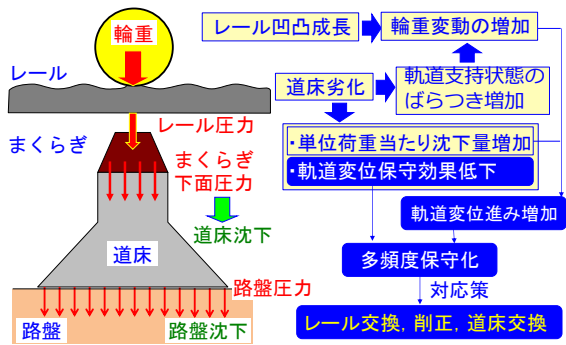
1. はじめに

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必要である。特に、長期的な軌道変位推移にはレールや道床といった材料の劣化が影響するため、軌道変位と材料状態を考慮した軌道変位推移予測モデルを構築した。

2. 軌道状態推移予測モデル

図1のように、レール凹凸や道床劣化が進むと輪重変動が増加し、軌道変位進みが増加する他、道床の劣化は軌道変位保守効果を低下させるため、こうした材料の劣化は軌道変位保守頻度を増加させると考えられる。よって軌道状態の推移予測のためには、軌道変位と材料状態の推移を予測する必要がある。

以上のことから、図2に示す軌道状態推移の予測モデルを構築した。本モデルは、t期における軌道、道床、レール状態を考慮して推定した輪重により、t+1期の軌道状態の劣化を予測するモデルである。ここで、道床、レール状態を表す指標としては軸箱(上下)振動加速度(各々波長域 0.075~0.25m, 2~5mに対応)を用いる。これらの各波長は、それぞれレール凹凸と道床劣化の程度に対応するとされている。



本モデルで用いる輪重の推定式を以下に示す。

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

$$\Delta P_r = a \alpha_r + b$$

$$\Delta P_b = c \alpha_b + d$$

$$\Delta P_y = e^h \times P_{st}^i \times V^j \times z^k$$

P: 推定輪重[kN] P_{st}: 静的輪重[kN]

ΔP_r: 変動輪重(レール凹凸による分)[kN]

ΔP_b: 変動輪重(道床劣化による分)[kN]

ΔP_y: 変動輪重(軌道変位による分)[kN]

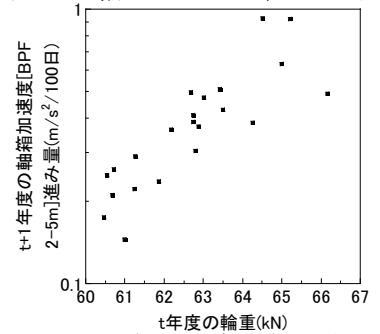
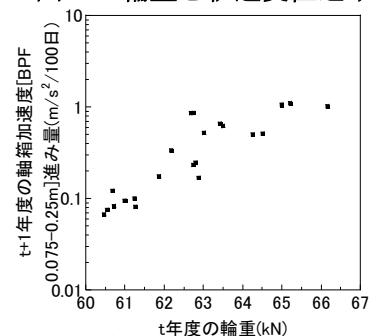
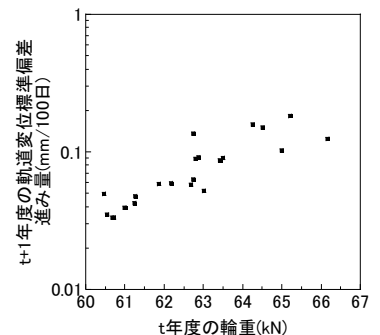
α_r: 軸箱加速度(BPF 0.075 ~ 0.25m)[m/s²]

α_b: 軸箱加速度(BPF 2 ~ 5m)[m/s²]

V: 速度[km/h] z: 高低変位標準偏差[mm]

a, b, c, d, h, i, j, k: 係数

本式では、輪重は静的輪重と変動輪重から成り、変動輪重はレール凹凸や道床劣化による不均一な軌道支持状態、軌道変位によって増減すると考えて算出する。なお、係数 a~k については、車上輪重の実測値等の分析結果により設定する。本式により推定した t 期の輪重と、t+1 期の軌道変位進みの実測値との関係を図3に示す。図より、輪重と軌道変位進みには相関があることがわかる。そこで、この関係を用いて軌道変位進みを次



キーワード 軌道変位保守, 高低変位, 軌道変位進み, 軸箱上下振動加速度, 軌道状態推移予測, 材料状態

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 公益財団法人鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7278

式により予測する.

$$\Delta \sigma = mP^n \quad (\text{式2})$$

$\Delta \sigma$: 軌道変位進み m, n : 係数

また, 輪重と各軸箱加速度の進みとの間にも図 4~5 に示すような関係があることから, 本式と同じモデルにより予測する.

3. 軌道状態推移予測モデルによる予測

3.1 軌道状態推移予測

本モデルを用いて 50 年間の軌道状態推移を予測する. 以下に設定した予測条件を示す.

・軌道条件(初期値)

軌道変位標準偏差: 1mm, 軸箱加速度[BPF0.075~0.25m]標準偏差: 3m/s², 軸箱加速度[BPF2~5m]標準偏差: 3m/s², レール交換後累積通過トン数: 2 億トン, レール削正後累積通過トン数: 5000 万トン

・車両条件

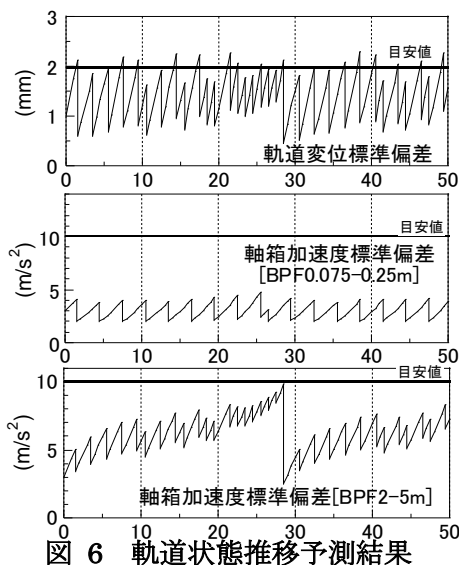
静止輪重: 50.0kN, ばね下質量: 0.994tf, 速度: 270km/h, 年間通トン: 3000 万トン/年

・保守条件(保守投入の目安値)

軌道変位標準偏差: 2mm, 軸箱加速度[BPF0.075~0.25m]標準偏差: 30, 10m/s²(レール交換, 削正), 軸箱加速度[BPF2~5m]標準偏差: 10m/s², レール交換後累積通過トン数: 10 億トン, レール削正後累積通過トン数: 1 億トン

図 6 に予測結果を示す. いずれの指標も増減を繰り返している. これは劣化と保守によるものである.

軌道変位と軸箱加速度[BPF2~5m]は MTT 保守や道床交換により減少し, 特に, 軸箱加速度[BPF2~5m]の減少幅が大きいのは道床交換によるものである.



なお, MTT 保守により道床状態は実際には改善しないが, つき固めの効果により軸箱加速度が減少する実態を考慮した.

軸箱加速度[BPF0.075~0.25m]はレール交換・削正により減少する.

ここで, 軌道変位については目安値付近に到達するたびに MTT 保守により減少するが, 25 年目付近は MTT 保守頻度が高い. 同時期において軸箱加速度[BPF2~5m]が大きいことから, この MTT 保守頻度が高いのは, 道床劣化に伴う軌道変位進みの増加と MTT 保守改善量の減少によるものである. そのため, 28 年目に道床が交換された後には MTT 保守頻度は減少している.

3.2 条件変化に伴う保守回数の増減

本モデルの応用として, 3.1 節で設定した各種条件を基本条件として, 車両・運転条件を変えた際の保守回数の変化を検討する. 表 1 に, (a)基本条件, (b)速度を 300km/h に向上, (c)輪重を 45kN に減少, (d)年間通トンを 4000 万トン/年に増加の各場合において予測を行って得られた保守回数を示す.

条件(b)のように速度を向上させた場合は, 軸箱加速度が増加し, また, 軌道変位に対応した変動輪重も増加するため, 保守回数は大きく増える.

条件(c)のように静止輪重を減らした場合は, 変動輪重と年間通トンが減少するため保守回数は減少し, 特に MTT 回数は基本条件と比べて半分以下になる.

条件(d)のように年間通トンを増やした場合は, 累積通トンによるレールの交換・削正の間隔が縮まるためレール保守回数は増加する. 一方, この効果によって MTT 保守回数はわずかに減少する.

表 1 各条件における保守回数予測

| | 条件 | | | 各種保守回数 | | | |
|-----|-----------|---------------|-----------|--------|-------|-----|------|
| | 静止輪重 (kN) | 年間通トン (万トン/年) | 速度 (km/h) | レール交換 | レール削正 | MTT | 道床交換 |
| (a) | 50 | 3000 | 270 | 1 | 16 | 31 | 1 |
| (b) | 50 | 3000 | 300 | 7 | 22 | 46 | 4 |
| (c) | 45 | 2700 | 270 | 1 | 12 | 12 | 1 |
| (d) | 50 | 4000 | 270 | 2 | 23 | 28 | 1 |

4. まとめ

材料状態を考慮した軌道状態推移予測モデルを構築し, 軌道変位推移を予測した. また, 各種条件を変えた時の保守回数の変化についても予測した.

参考文献

1) 吉田他: 材料状態を考慮した軌道変位推移予測モデルの構築, J-Rail2012, 2012