

IV-286

材料劣化を考慮した軌道狂い進み・復元モデルの検討

鉄道総合技術研究所 正会員 内田 雅夫
同 上 正会員 三和 雅史

1. はじめに

列車通過に伴う漸進的な軌道沈下と補修作業による復元が繰り返される有道床軌道では、保守周期の予測や軌道構造の選択等のための軌道状態の劣化・復元モデルの構築は重要な課題である。軌道状態の劣化（軌道狂い進み）の定量化に関しては、これまでも幾つかの理論が提案され実務に供されてきたが、材料劣化の影響等を考慮したより実態に近いモデルが求められている。また、軌道状態の復元に関しても、作業方法等による不確定性や材料劣化の影響等を考慮したモデルが求められている。既に文献1で材料交換等も含めた軌道状態の経時変化モデルが提案されているが、ここでは最近提案された軌道狂い進みに着目した有道床軌道の設計法²⁾の内容を活用して、レール凹凸の成長やバラストの劣化が軌道沈下量や軌道狂い残存量に与える影響等を考慮した軌道狂い進み・復元モデルを提案する。

2. 軌道狂い進み・復元のモデル化

2.1 軌道沈下量と動的列車荷重の算定方法

文献2の軌道沈下量及び高低狂い進みの算定方法を図1に示す。この手法の特徴は、初期沈下終了後に塑性変位を生じない荷重域（閾値）を持つ非線形な道床沈下量算定式（式(1)）であること、道床と路盤の沈下量の合計を軌道沈下量とすること、著大荷重に対する軌道沈下量から高低狂い進み（標準偏差）へ換算すること等である。

$$\beta_{by} = a \cdot (P_t - b)^2 \cdot \ddot{y} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 P_t ：まくらぎ下面圧力 (kN)

$\ddot{y}$ ：道床振動加速度係数、 a 、 b ：係数

同じく文献2では、軌道狂いに対応した車体慣性力とレール凹凸に対応した車両ばね下質量の慣性力を考慮して、上下方向の動的な列車荷重を式(2)で表している。

$$\left. \begin{aligned} P &= (W_0/2) + \Delta P \\ \Delta P &= (W_0/2) \times \{3 \cdot \sigma \alpha_v / g + i \cdot V / 100\} \\ \sigma \alpha_v &= k_v \cdot \sigma_y \cdot V \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 $W_0/2$ ：静的輪重 (kN) ΔP ：輪重変動分 (kN)

$\sigma \alpha_v$ ：車体左右動の標準偏差 (m/s^2)

V ：速度 (km/h) g ：重力加速度 ($=9.8 m/s^2$)

k_v ：車両動揺係数 ($m/s^2/mm/(km/h)$)

σ_y ：高低狂いの標準偏差 (mm)

i ：車両ばね下質量の振動による輪重変動率

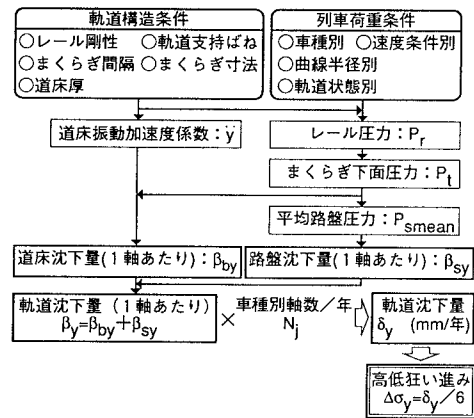


図1 軌道沈下量・高低狂い進み算定フロー

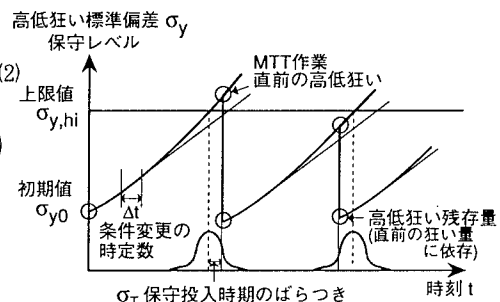


図2 軌道の劣化・復元サイクルのイメージ

2.2 軌道の劣化・復元サイクルのモデル

前節で得られる結果は初期沈下終了後の高低狂い進みに適用する。この場合、後述するレール凹凸量やバラスト劣化率をある時定数のもとに変化させて高低狂い進みを算出する。その後、保守レベル上限値 $\sigma_{y,hi}$ に達した時点で保守投入を行うが、その時期には乱数発生によりばらつきを与える。さらに、マルチ作業(MTT)に伴う軌道狂い残存量は作業直前の軌道状態に依存した形（平均値・標準偏差）で定義するとともに、後述のようにバラスト劣化の影響を考慮する。以上のイメージを図2に示す。

2. 3 レール凹凸の成長と削正の動的荷重への影響

溶接部等におけるレール凹凸（1 mスパン） d (mm) の成長モデルを動的輪重の累積 ΣP (kN) を用いて式(3)で表す。また、削正による凹凸の改善量 Δd を一定値と考える。さらにレール凹凸と輪重変動率の関係を図3で表し、その経時変化を動的荷重の増減に反映させる。

$$d = d_0 + d_1 \times (\Sigma P) \quad (3)$$

ここで、 d_0 ：新設または削正後の初期値

d_1 ：単位輪重あたりの凹凸増加量

2. 4 バラスト劣化による道床沈下と軌道狂い残存量への影響

MTTと列車荷重の累積によってバラストの劣化現象（細粒化・固結等）が進展するものと考え、式(4)によりバラスト劣化率 b （ただし、 $0 \leq b \leq 1$ ）を定義する。

$$b = b_1 \times N + b_2 \times (\Sigma P_t) \quad (4)$$

ここで、 b_1 、 b_2 ：係数 N ：MTTの投入回数

ΣP_t ：まくらぎ下面圧力の累積 (kN)

次に、バラスト劣化率と道床沈下量算定式（式(1)）の係数 a の関係を式(5)で表す。また、MTT作業後の高低狂い残存量とバラスト劣化率の関係は図4で定義する。

$$a = a_0 \times (1 + b) \quad (5)$$

3. 試算例及び考察

上記のモデルに従い、以下の条件を用いて20年間の高低狂いの経時変化を試算した。なお、作業の組合せ（MTT、レール削正、道床交換）による幾つかの計算パターンを設定した。

〔軌道構造条件〕

・50N-ロング、PC3号5形、39本/25m、道床厚250mm、普通路盤

〔車両・運転条件〕

・通勤電車のみ、軸重120kN、速度120km/h、
通トン3000万トン/年、車両動揺係数 $k_v = 0.0010$

〔その他の条件〕

・保守レベル：上限 $\sigma_{y,hi} = 3.5$ mm、初期値 $\sigma_{y0} = 2.0$ mm
・道床沈下係数：初期値 $a_0 = 2.0 \times 10^{-10}$ mm
・バラスト劣化率： $b_1 = 0.02/\text{回}$ 、 $b_2 = 4.8 \times 10^{-11}/\text{kPa}$
・レール凹凸： $d_0 = 0.2$ mm、 $d_1 = 2.0 \times 10^{-10}$ mm/kN
 $\Delta d = 0.2$ mm

・保守投入時期のばらつき（標準偏差）： $\sigma_T = 0.5$ カ月
・高低狂い残存量のばらつき（標準偏差）： $\sigma_1 = 10\%$
・各種条件変化の時定数： $\Delta t = 1$ カ月

計算結果の1例を図5に示す。この結果から、MTT作業のみで長期間推移すると軌道状態の維持が非常に困難になるため、適切な時期に道床交換やレール削正等の軌道狂い進み抑制策を講じる必要があることがわかる。さらに、試算結果に基づく作業種別毎の投入回数と仮定した作業単価の比から保守コストを表1のように算出することができ、経済的な保守作業計画の検討に用いることが可能になる。

〔参考文献〕

- 池守：軌道狂い状態の経時変化モデルとその応用，土木学会論文集，第365号／IV-4，1986.1
- 内田，他：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，Vol.9，No.4，1995.4

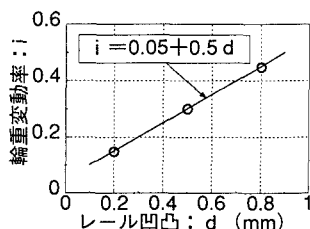


図3 レール凹凸と輪重変動率

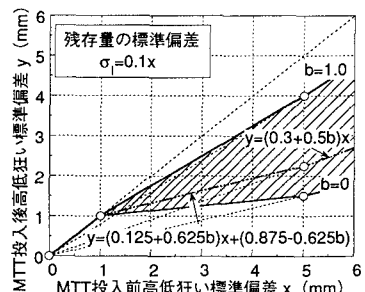


図4 高低狂い残存量のモデル

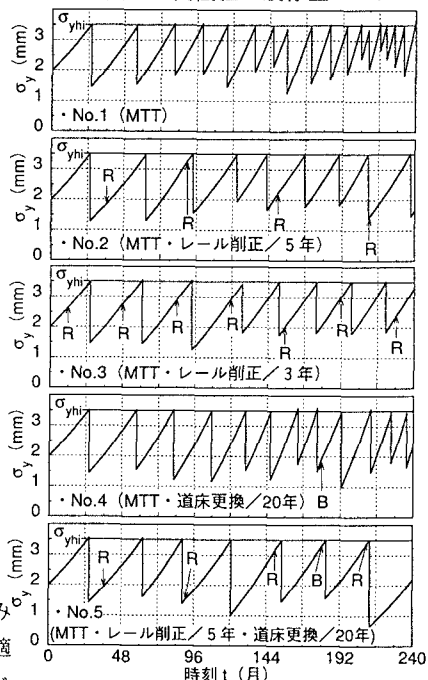


図5 軌道状態の経時変化の試算結果

表1 保守コスト算出結果

条 件	MTT	レール削正	道床交換	計
No.1	18回/20年	0回/20年	0回/20年	18
No.2	9	4	0	13
No.3	8	7	0	15
No.4	12	0	1	17
No.5	7	4	1	16
作業別コスト比	1	1	5	

※ MTT回数は100回のシミュレーションの平均値