

軌道状態評価モデルにおける材料状態評価指標の閾値の設定法

鉄道総合技術研究所 正会員 ○木村 寛淳 三和 雅史
西日本旅客鉄道 正会員 松丸 和貴

1. はじめに

軌道材料と軌道変位の状態評価結果に基づいて適切な軌道保守方法を提案する軌道状態評価モデル¹⁾において、レールと道床状態の評価指標としてバンドパスフィルタ処理した(波長 0.05~0.2m と 2~5m)軸箱上下振動加速度²⁾が提案されている(以下、前者を軸箱加速度(レール)、後者を軸箱加速度(道床)と記す)。本稿では、その評価に用いる閾値の設定法を検討した結果を示す。

2. 閾値設定の考え方

指標の閾値としては、①発生事象上の閾値、②設計限界上の閾値、③経済上の閾値の3つが考えられる。①は実際の劣化状態に対応した指標としての閾値、②は部材の設計限度値(本稿では著大輪重によるレール折損、PC まくらぎひび割れを想定)に対応する閾値、③は材料保守効果を考慮した総保守費用が最小となる閾値であり、各閾値間には①≦③≦②の大小関係が存在すると考えられる。このうち、①と②については一意に決められるのに対し、③については閾値に応じて材料の維持管理レベルが変わるため、輪重変動や軌道変位保守改善量が増えることを考慮する必要がある。具体的には、閾値を上げると軌道変位保守頻度や随時修繕発生率が増加し、逆に閾値を下げると材料保守頻度が増えるトレードオフの関係に基づいて、③の閾値は設定される。

3. レール状態

3.1 発生事象上の閾値

レール状態評価における発生事象としては、レール凹凸量の増大を考える。波状摩耗発生箇所のレール凹凸量と軸箱加速度(レール)との関係を図1に示す。凹凸量に

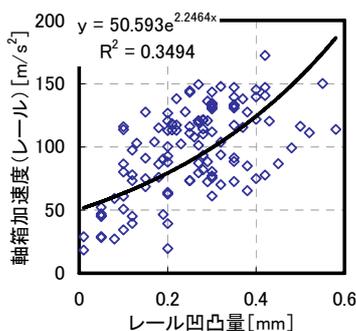


図1 凹凸量と軸箱加速度

じて軸箱加速度(レール)が変化する傾向にある。また、レール削正前後の凹凸量を図2に示す。凹凸量は削正前では最大0.4mm程度であったが、削正後は0.3mm以下に良化している。波状摩耗やシェリング等による落ち込み、溶接部の凹凸やレール削正による保守効果等を勘案すると、一般的に凹凸量0.2~0.3mm程度が保守対象になると考えられることから、軸箱加速度(レール)の発生事象上の閾値を100~125m/s²程度とする。

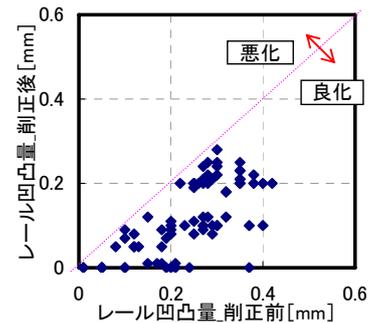


図2 削正前後の凹凸量

3.2 設計限界上の閾値

レール折損(曲げ応力)、PC まくらぎひび割れの観点から定まる輪重の上限値に対応する軸箱加速度を設計限界上の閾値とする。著大輪重(P_{dy})については、静止輪重(P_{st})に輪重変動分を加えて式1²⁾により算定する。本式では、輪重変動分をレール凹凸や道床劣化に対応した軸箱加速度を用いて推定する。

$$P_{dy} = P_{st} + a \times M \times \alpha_R + b \times P_{st} \times \alpha_B \tag{式1}$$

ここに、 M :ばね下質量、 α_R :軸箱加速度(レール)、 α_B :軸箱加速度(道床)、 a, b :補正係数(ここでは、0.7と0.5)。

本式において、軸箱加速度(道床)には検討期間中の最大値を設定し、各材料の設計限界値に対応する軸箱加速度(レール)を算定した。その結果、軸箱加速度(レール)は、レール曲げ応力については352m/s²、PC まくらぎひび割れについては260m/s²となったことから、小さい方の260m/s²を設計限界上の閾値とする。

3.3 経済上の閾値

保守費用としては、軌道変位保守(MTT[計画保守]とTT[随時修繕])とレール保守(本検討はレール削正)を想定する。ここでは、軸箱加速度(レール)の閾値を

キーワード 保守計画、バラスト軌道、レール劣化、道床劣化、軸箱上下振動加速度、高低変位

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 TEL042-573-7278

上げると、削正期間内における平均レール状態が悪くなるのに対応して輪重変動が増加するのを考慮して、軌道変位進みも増えるとする。本分析では文献3に基づいて求めた輪重と軌道変位進みの関係(図3)を用いる。また、軌道変位進みの増加に伴い、軌道変位の基準値超過確率が増加すると考え、これを随時修繕発生確率としてTT保守の費用算出時に考慮する。

以上の考え方により、閾値をパラメータとして25年間の保守費用を試算した結果を図4に示す。レール保守は閾値を小さくすると保守費用が増える一方、軌道変位保守費は減少する。その結果、総費用が最小となるのは軸箱加速度(レール)が150m/s²のときであり、これを経済上の閾値とする。本閾値は発生事象上と設計限界上の各閾値間に含まれることから、分析対象線区では150m/s²を閾値として設定できる。

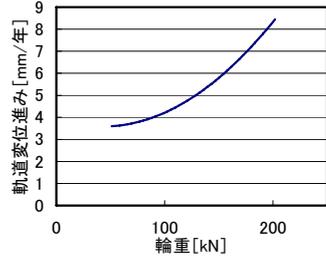


図3 輪重と軌道変位進み

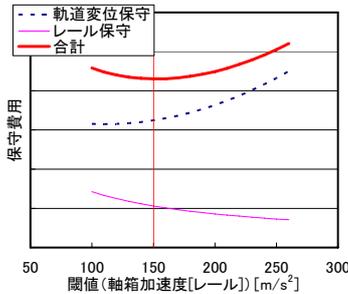


図4 経済上の閾値(レール)

4. 道床状態

4.1 発生事象上の閾値

道床劣化に伴う軌道支持ばねの変化箇所では、軸箱加速度(道床)や高低検測差が大きくなる可能性が高い¹⁾。道床不良箇所における両者の関係(図5)から、軸箱加速度(道床)は1.0m/s²以上、高低検測差は0.3mm以上であり、これを発生事象上の閾値とする。

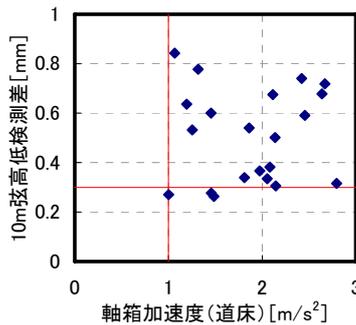


図5 軸箱と高低検測差

4.2 設計限界上の閾値

3.2と同様の方法により、設計限界上の軸箱加速度(道床)の閾値を算定した。なお、輪重算定時に用いる軸箱加速度(レール)には検討期間中の最大値を用いた。その結果、レール曲げ応力については34m/s²、PCまくらぎひび割れについては7m/s²となった。

4.3 経済上の閾値

3.3と同様の方法により、経済上の閾値を分析した。ここでの保守費用には、軌道変位保守と道床交換を想定する。ここでは、軸箱加速度(道床)の閾値を上げると道床交換間における道床状態(平均)が悪くなるのに対応して軌道変位進みが増える他、道床状態の悪化に伴い軌道変位保守改善効果が低下するとする。これについては、分析対象線区において得られた軸箱加速度(道床)と10m弦高低変位標準偏差の軌道変位保守改善率(高低変位の保守後/保守前比)との関係(図6)を用いる。

以上の考え方により、閾値をパラメータとして25年間の保守費用を試算した結果を図7に示す。閾値を下げると、軌道変位保守は単調に減少する一方、道床交換は頻度が増え、施工単価が高いため保守費が大きく増える。その結果、総保守費用が最小となる軸箱加速度(道床)が4m/s²のときであり、これを経済上の閾値とする。本閾値には、発生事象上と設計限界上の各閾値間に含まれることから、分析対象線区では4m/s²を閾値として設定できる。

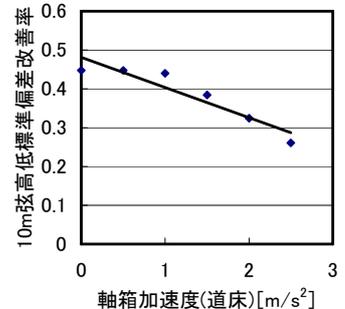


図6 軸箱加速度(道床)と軌道変位保守改善率

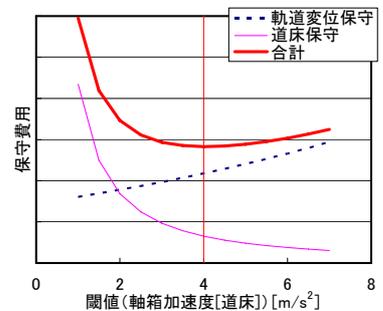


図7 経済上の閾値(道床)

5. まとめ

軌道状態評価モデルにおけるレール、道床状態の評価指標の閾値の設定法を検討した結果を示した。

参考文献

- 1)三和他：レールおよび道床状態を考慮した軌道保守方法の最適選択モデルの構築，鉄道総研報告，Vol.26，No.2，2012
- 2)須永他：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，Vol.13，No.5，1999
- 3)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説—軌道構造，2012